

RAFFAELLO GIANNINI<sup>1</sup>, GIOVANNI BERNETTI<sup>2</sup>, RAFFAELE CAVALLI<sup>3</sup>,  
ORAZIO CIANCIO<sup>4</sup>, PAOLO GROSSONI<sup>5</sup>, ORAZIO LA MARCA<sup>6</sup>,  
GIOVANNI SANESI<sup>7</sup>, GIUSEPPE SCARASCIA MUGNOZZA<sup>8</sup>, LUCA UZIELLI<sup>9</sup>

## Foreste e verde urbano: un percorso tra sostenibilità e criticità. Quale sostenibilità nella gestione forestale?\*

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9</sup> Comitato consultivo per foreste e verde urbano

### PREMESSA

La sostenibilità si configura come «*la possibilità di essere mantenuto o protratto con sollecitudine ed impegno*» (Devoto e Oli, 1980), ovvero il rispetto e la preservazione, nell'uso, delle risorse e della loro potenzialità produttiva nonché della fornitura di altri benefici alla società umana, anche negli anni a venire e per le generazioni future<sup>1</sup>. Il concetto possiede in sé un'impronta dinamica avendo riferimento alle caratteristiche della nostra società la quale, da una parte, è stata ed è sollecitata da forti cambiamenti nel tempo e nello spazio (cambiano le condizioni ambientali, lo stato sociale, la cultura, la tecnologia, le esigenze umane) e, dall'altra, è confinata in un sistema definito come quello terrestre che non dispone di risorse illimitate. Poiché la sopravvivenza e lo sviluppo della società sono legati alla pianificazione nell'uso di queste ultime, si comprende come sia necessario conoscere i processi che governano la funzionalità degli ecosistemi in natura congiuntamente agli effetti dell'impatto arrecato dall'attività umana su di essi. Ciò implica anche che occorre acquisire e dare attuazione a una visione dinamica globale sostenibile dello sviluppo, ovvero porre gli aspetti ambientali sullo stesso piano di quelli sociali ed economici (Bossel, 1999; Ciancio, 2001; Bologna, 2011; Marchetti, 2011; Orlandini, 2019).

\* In collaborazione con Carlo Chiostri, Enrico Marchi, Gianfranco Minotta, Davide Pozzi, Michele Puxeddu, Francesco Sorbetti.

<sup>1</sup> La Conferenza Ministeriale per la protezione delle foreste in Europa nel 1993 indicava che «*la gestione e l'uso delle foreste e dei terreni forestali nelle forme e ad un tasso di utilizzo che consentono di mantenerne la biodiversità, produttività, capacità di rinnovazione, vitalità e potenzialità di adempire, ora e nel futuro, a rilevanti funzioni ecologiche, economiche e sociali a livello locale, nazionale e globale, senza comportare danni ad altri ecosistemi*» (Forest Europe/FAO/UNECE, 2015).

## RAPPORTO UOMO/FORESTA: USI E ABUSI

Nel corso del tempo l'uomo ha seguito un percorso la cui centralità, era, ma lo è ancora, rivolta a uno sfruttamento delle risorse per disporre di benessere economico. L'azione, come conseguenza, ha determinato una alterazione profonda nelle caratteristiche degli ecosistemi naturali modificandone, con cambiamenti spesso permanenti, la struttura e il numero e densità degli esseri viventi in essi presenti.

Nei confronti degli ecosistemi forestali, che molto probabilmente nelle aree geografiche ubicate alle medie latitudini e caratterizzate da condizioni ambientali più favorevoli all'uomo erano i sistemi naturali più ampiamente diffusi, l'impatto ha determinato due situazioni prevalenti: i) la distruzione della foresta (eliminazione e frammentazione) con la sua sostituzione temporanea (ecosistemi agricoli) e/o permanente (urbanizzazione) e ii) l'utilizzo (frammentazione ed erosione) attraverso il ricorso a modelli colturali più o meno rispettosi della complessità e funzionalità dell'ecosistema bosco (utilizzazioni legnose, pascolo). Spesso l'abuso ha portato a situazioni estreme di degrado fino alla desertificazione mentre in altre, in cui le condizioni stagionali non rappresentavano, di per sé, limiti ecologici insormontabili, la dinamica del processo successionale ha consentito la restaurazione di ecosistemi forestali (Giannini e Susmel, 2006). Oggi, lo verificiamo in vaste aree del nostro Paese registrando un incremento naturale della copertura forestale: dal 1990 al 2018 l'aumento è valutato in circa un milione di ettari (Gasparini e Tabacchi, 2011; Marchetti et al., 2012).

Questa espansione del bosco, particolarmente evidente nelle aree collinari-montane interne, è imputabile alle conseguenze della cessazione e dalle modalità in cui questa si è susseguita nel tempo (Giannini e Gabbrielli, 2013), delle attività silvo-pastorali e zootecniche che rappresentavano la base dell'economia locale, ma anche presidio per la tutela del territorio (Marchetti et al., 2018).

Ma se in Italia, così come negli altri Paesi europei, la superficie forestale si accresce, a livello globale essa diminuisce sempre più (ArchaeaGLOBE Project, 2019; Bastin et al., 2019). È preoccupante la situazione creata dal diffuso degrado determinato ad opera di vari fattori tra cui la deforestazione e i cambiamenti climatici associati ai danni da vento e agli incendi. Questi ultimi sono stati e sono attuali in Australia, nella foresta amazzonica, nella taiga siberiana, nelle foreste equatoriali africane di Angola, Zambia, Tanzania, Mozambico, Madagascar, nelle pinete della Gran Canaria, in California, che seguono quelli avvenuti in Portogallo, Grecia, Svezia e in Sardegna. In Europa comunque i danni da vento superano quelli da incendio.

Tra l'altro, la produzione legnosa dei popolamenti artificiali attualmente in coltivazione, non copre il fabbisogno dei Paesi a elevato tasso di industrializzazione che quindi continuano a rifornirsi comunque attingendo alle foreste naturali di altre regioni del globo.

Questi fatti sono ancora attuali sebbene da oltre mezzo secolo venga indicato ripetutamente l'essenziale ruolo svolto del bosco nella biosfera e la necessità di ricorrere a una gestione sostenibile dell'ecosistema foresta (Ciancio, 1996; Giannini et al., 1999; Giannini e Nocentini, 2010).

Lo sviluppo di tale pensiero non è certamente di oggi: il riconoscimento al bosco quale risorsa rinnovabile, caratterizzata da limiti di sopravvivenza, nasce alla fine del diciannovesimo secolo in seguito allo sviluppo degli insegnamenti di Gayer (1880, 1886) e seguiti dalle scuole forestali di Svizzera, Francia e Italia, quando prende origine e si sviluppa il concetto di selvicoltura che interviene nell'ecosistema bosco nei modi più coerenti con i processi naturali di rinnovazione, accrescimento e assetto tassonomico e strutturale nei processi naturali dell'ecosistema (*close to nature silviculture*) in un momento in cui erano emergenti nuovi paradigmi sotto l'influenza dei Fisiocritici e il loro motto *Return to nature* (Schütz, 1999; Bagnaresi et al., 1999; Bagnaresi et al., 2004).

È dagli anni '70 del secolo scorso che si è fatta sempre più diffusa la convinzione della presenza di limiti che non possono essere superati anche nell'uso delle foreste (Meadows et al., 1972). Così merita ricordare alcune tra le più significative azioni che hanno caratterizzato il percorso internazionale coinvolto nella gestione sostenibile delle risorse forestali. Due incontri di importanza globale (1982-1983), il Convegno di Rio De Janeiro e la Conferenza Ministeriale sulla Protezione delle Foreste in Europa (Processo di Helsinki), enunciano alcune regole, che sono le pietre miliari della definizione delle linee guida per la gestione sostenibile e per la conservazione della biodiversità. È l'improrogabile necessità di individuare un percorso comune per costruire uno sviluppo sostenibile che conduce la Comunità mondiale a riunirsi. A Rio i Paesi aderenti riconoscono che le problematiche ambientali devono essere affrontate in maniera universale e che le soluzioni devono coinvolgere tutti gli Stati. Vengono negoziate e approvate dichiarazioni di principi, e firmate convenzioni globali. Inoltre per sovrintendere all'applicazione degli accordi nasce la Commissione per lo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite con il mandato di elaborare indirizzi politici per le attività future e promuovere il dialogo e la costruzione di collaborazioni tra governi e gruppi sociali. In particolare la Dichiarazione dei principi per la gestione sostenibile delle foreste sancisce il diritto degli

Stati di utilizzare le foreste secondo le proprie necessità, senza ledere i principi di conservazione e sviluppo delle stesse.

Nel 1987 il rapporto dal titolo *Our common future* della Commissione Brundtland, *World Commission on Environmental Development* (WCED) definisce lo sviluppo sostenibile come «*quello sviluppo che soddisfa le necessità delle generazioni attuali senza comprometterne la possibilità di utilizzo da parte di quelle future*».

Ma è soprattutto dagli anni '90 del secolo scorso che a livello mondiale viene presa piena coscienza del ruolo fondamentale svolto dagli ecosistemi forestali quali centri vitali del funzionamento dei cicli biogeologici e della conservazione della biodiversità (Nocentini, 2011; Nocentini e Coll, 2013).

L'*International Tropical Timber Organization* (ITTO), nel 1990, definisce la gestione forestale sostenibile come «il processo di gestione continua dei territori forestali, finalizzato ad ottenere uno o più obiettivi chiaramente specificati, con attenzione alla produzione di un flusso perenne di beni e servizi forestali previsti, senza un'indesiderata riduzione dei valori intrinseci e della futura produttività, e senza indesiderati effetti sull'ambiente fisico e sociale di riferimento». Del resto garantire la perpetuità dei prodotti e delle utilità (ambiente, difesa, spiritualità, estetica) forniti dalle foreste ha da sempre rappresentato il fine ultimo della gestione multifunzionale del bosco e del paesaggio naturale nella sua totalità, prima ancora della presenza delle istanze recenti sugli aspetti economici dei servizi (Marchetti, 2011) in quanto l'integrità dell'ambiente è obiettivo primario di tutta l'umanità. Sempre in quell'anno (1990) la MCPFE (Conferenza Ministeriale per la protezione delle foreste in Europa) con la dichiarazione di Strasburgo, dà avvio a una importante azione finalizzata alla ricerca di comuni politiche forestali a livello internazionale.

Nel 1993 la seconda riunione della MCPFE definì, con la *Dichiarazione di Helsinki*, la gestione sostenibile delle foreste come «la gestione e l'uso dei terreni forestali secondo modalità e tassi in grado di mantenerne la biodiversità, la produttività, la capacità di rigenerazione, la vitalità e le potenzialità di svolgere, nel presente e in futuro, le rispettive funzioni ecologiche, economiche e sociali a livello locale, nazionale e mondiale, senza danneggiare altri ecosistemi». Venne così riconosciuto da tutti gli Stati membri dell'UE e dalla stessa Commissione che la gestione sostenibile e la multifunzionalità rappresentavano l'approccio di base alla selvicoltura.

Successivamente a livello internazionale è proseguito un dialogo costante tra i Paesi che ha consentito la raccolta di dati dettagliati sullo "stato della Terra" e ha indicato le strategie da seguire per una gestione sostenibile delle risorse naturali.

È grave che tali continui appelli non siano stati ascoltati: le recentissime conclusioni del Report speciale del Comitato Intergovernativo sul Clima delle Nazioni Unite (*Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC2019*) la cui recensione della giornalista Sara Gandolfi («Corriere della Sera» 09/08/2019) ha come titolo *La Terra divorata*, ancora una volta sottolineano con immensa preoccupazione, l'uso scriteriato del suolo e delle foreste. L'appello alla cooperazione indica come mitigazione, adattamento ai cambiamenti climatici, preservazione della biodiversità rappresentino riferimento prioritario nelle politiche territoriali e ambientali. Poiché alle foreste viene riconosciuto un ruolo importantissimo in tutto ciò, è indispensabile adottare politiche finalizzate a rendere "più verde" il nostro pianeta attraverso una salvaguardia degli ecosistemi forestali e un incremento sostanziale della loro superficie con la "piantagione di nuovi alberi".

Nell'ambito del rimboschimento uno sviluppo sostenibile vede coinvolti gli aspetti ambientali ed economico-sociali del territorio, la scelta delle specie e del materiale di propagazione, la preparazione del suolo, la tecnica e densità d'impianto, la protezione e le cure colturali. Queste ultime, che si accompagnano per tutta la vita del nuovo popolamento, dovrebbero essere dirette a favore di una naturalizzazione dell'impianto artificiale il che potrebbe contribuire alla rinnovazione del soprassuolo per via naturale.

#### GLI ECOSISTEMI FORESTALI: BENI E SERVIZI

Gli ecosistemi forestali, forse più di altri, vengono considerati "capitali vantaggiosi" in quanto, se gestiti in modo rispettoso, sono capaci di fornire flussi diversificati di servizi che comprendono la produzione di beni (produzione di legname e altri prodotti forestali non legnosi), le azioni di difesa e supporto (servizi ecologici), i servizi socio-culturali, i servizi e i valori scenici e paesaggistici che condizionano la vita. Essenziale è poi il ruolo in termini di conservazione della biodiversità e della variabilità genetica (Giannini, 2009; Puxeddu et al., 2010a). Si può affermare che l'insieme delle attese che la foresta può esplicitare sono numerosissime e a queste attese sono stati assegnati valori che in parte si collocano in una concezione strumentale ovvero in un valore intrinseco con riferimento anche a valori etici e spirituali (De Philip-pis, 1991; Nocentini, 2002).

Perseguire una politica di conservazione diretta per entità naturali di forte attrattiva ecologico-naturalistica e di alta attrattiva estetico-paesaggistica,

significa individuare e perseguire metodi di gestione che di volta in volta possono essere indirizzati verso una salvaguardia estrema (nessun intervento) da contrapporre a metodi di corretto uso, difesa e ripristino, individuati da modelli operativi organizzati e definiti attraverso parametri scientifici di conoscenza del sistema complesso bosco.

Come già indicato occorre in concreto considerare che una gestione sostenibile deve valutare in primo luogo i fattori di disturbo e la loro riduzione-eliminazione in un contesto di reali possibilità non conflittuali.

Nel caso della deforestazione, è emblematico il fatto che la sopravvivenza dell'uomo sia condizionata dalla disponibilità di nuove aree da destinare alla produzione agricola. La popolazione mondiale supera i sette miliardi e a tutti i suoi componenti dovrebbe essere assegnato il minimo di cibo per una discreta sopravvivenza. Suscita forte perplessità l'esempio della Cina che acquista in Gabon vaste aree, anche con foreste caratterizzate da elevati stati di naturalità, per la destinazione a colture agricole, così come quello che viene visualizzato da sonde spaziali e che riguarda la foresta amazzonica, soprattutto quando apprendiamo (Bastin et al., 2019) che, a livello mondiale, potrebbero essere disponibili 0,9 miliardi di ettari abbandonati e quindi disponibili per essere trasformati in superficie forestale con un costo stimato in 300 miliardi di dollari. I contenuti dell'articolo sono molto ampi e di estremo interesse in quanto sono inseriti nel grande problema dei cambiamenti climatici e dei processi della loro mitigazione. Pur guardando con favore le nuove piantagioni forestali che hanno rappresentato e rappresentano la strada maestra per il ripristino di situazioni ambientali montane e costiere altamente degradate (es. M.te Ventoux in Francia, Foresta di Giazza Val d'Illasi in Italia – Borghetti, 2010 –, i complessi dunali di Is Arenas in Sardegna – Puxeddu et al., 2010b – e di Feniglia in Toscana – La Marca, 2019 –), in parte di tale superficie potrebbe trovare posto anche l'attività agricola. Da un punto di vista generale la trasformazione nella destinazione d'uso del territorio può essere giustificata di per sé, se guardata dall'interno delle popolazioni in pericolo di sopravvivenza e se quest'ultima è legata veramente a un aumento della superficie coltivabile.

Le foreste rappresentano comunque tutt'oggi, soprattutto per le comunità interne del nostro Paese, una fondamentale risorsa economica fornendo come bene la materia prima legno e realizzando integrazione territoriale con il pascolo, la zootecnia, il turismo, la fauna selvatica, il turismo (Giannini e Gabbrielli, 2013). Sono state, lo sono e lo saranno in futuro, non certo l'ultimo dei valori prioritari da prendere in considerazione nella istituzione di Parchi a Riserve.

Occorre allora caratterizzare in modo più puntuale il ruolo delle aree forestali descrivendone la loro capacità di svolgere funzioni per le quali occorre collocare la loro posizione in una scala di importanza economico-sociale e ambientale. Sarebbe utopistico pensare che il bosco possa sempre e comunque esprimere beni e servizi congiunti di intensità massima.

In un saggio sulle linee guida per la gestione sostenibile delle risorse forestali e pastorali nei Parchi Nazionali (Ciancio, 2002; Ciancio et al., 2002), viene illustrato come la diversità di pensiero porti a riconoscere posizioni differenziate di sostenibilità (*sostenibilità molto debole, debole, forte, molto forte*) in quanto si viene a creare un rapporto (*tecnocentrismo/ecocentrismo*) che delimita «*la diversa concezione dello sviluppo e del valore attribuito alla natura: strumentale illimitato, strumentale limitato, intrinseco*» e che la stessa definizione di «*linee guida per una gestione ecosostenibile delle risorse forestali all'interno dei Parchi Nazionali, derivi dall'interazione fra obiettivi di tutela e caratteristiche degli ecosistemi forestali*».

In altri termini viene posto al centro dell'attenzione l'intervallo ideale compreso tra una gestione finalizzata alla preservazione e quella che prevede comunque l'uso delle risorse.

Nel caso della *preservazione* in senso stretto non viene proposto alcun intervento da parte dell'uomo perché è prioritaria la tutela e quindi la necessità di non alterare i processi in atto la cui osservazione e analisi scientifica può essere momento importante per l'aumento delle conoscenze.

Diversamente viene considerato il concetto di *conservazione* che si riferisce a valori concreti e che fa riferimento esplicito alle possibilità di uso purché venga rispettata la potenzialità produttiva dell'ecosistema foresta. Ai fini gestionali è importante distinguere se la conservazione viene perseguita per il mantenimento della diversità o se è diretta alla massimizzazione di questa. Nel primo caso si adotteranno strategie finalizzate al permanere delle situazioni del momento mentre nel secondo si tenderà a favorire la presenza di tutti gli organismi tipicizzanti un determinato bioma. È chiaro che nel caso di situazioni alterate la conservazione sarà rivolta al ripristino dello stato ritenuto il più efficace nei confronti dell'alterazione stessa.

Per aree caratterizzate da forme differenziate d'uso è prevedibile la conservazione delle attività tradizionali (agro-silvo-pastorali) in quanto in esse si identifica il riconoscimento di un valore di protezione dovuto alla presenza di emergenze antropologiche, storico-tradizionali e paesaggistiche.

Questo pensiero valorizza in particolare gli aspetti positivi forniti da tradizioni e folclore ai quali ancora oggi viene riconosciuto un alto valore positivo gestionale.

## BIODIVERSITÀ, VARIABILITÀ GENETICA ED ADATTAMENTO

Otto H. Frankel (1975) ha scritto *Diversity is indeed 'the essence of life'* perché essa è la base delle strategie che la vita attua da sempre e continuamente per la sua sopravvivenza sul pianeta. La biodiversità e la sua conservazione sono strettamente correlate con la sostenibilità.

Il punto cruciale nella gestione sostenibile delle risorse del nostro pianeta riguarda la conservazione della biodiversità in generale e della variabilità genetica in particolare. È sempre più acuto nel mondo l'allarme per i danni biologici ed economici provocati dalla crescente riduzione della biodiversità biologica. In altri termini alla radice di questa preoccupazione sta la sopravvivenza della popolazione umana che è in forte aumento e che utilizza una produzione primaria fornita da un basso numero di specie per la cui produzione sempre più intensiva si alterano e/o si impoveriscono ulteriormente le risorse dei suoli. A questo si associa il problema della conservazione del germoplasma (IPCC, 2019; FAO, 2019).

Le interazioni tra ambiente e specie a livello di comunità nonché la presenza dell'attività umana, coinvolgono vari aspetti correlati che sollevano considerazioni di natura economica, ecologica, estetica ed etica e che si compenetrano nella protezione delle piante coltivate e di quelle delle specie minacciate nonché nella preservazione di *pool genici* per l'uso delle generazioni future.

Per il settore degli alberi forestali alta valenza di considerazione è certamente l'aspetto ecologico. Difatti l'estinzione di singole specie arboree, che svolgono funzione di driver, o la perdita di parte della loro variabilità genetica intraspecifica, possibile causa di minore sopravvivenza, può comportare la perdita di interi ecosistemi attraverso un effetto a cascata.

L'azione antropica agisce a diversi livelli sugli ecosistemi, per cui la conservazione deve essere orientata verso strategie diversificate per mitigare o eliminare le cause dell'erosione della biodiversità complessiva (Ciancio e Nocentini, 2002, 2003a, 2003b; Nocentini, 2009; Giannini e Nocentini, 2010; Nocentini, 2014) (conservazione degli ecosistemi e del paesaggio), preservando le specie con particolare riguardo per quelle in pericolo di estinzione per riduzione numerica e/o per alterazione degli habitat, ma anche conservando la variabilità genetica intraspecifica (conservazione a livello di popolazione) e interspecifica (conservazione a livello di bioma).

La diversità a livello di ecosistema è dovuta a differenti fattori anche se tre sono di particolare importanza. Il *primo* riguarda l'abbondanza di risorse a livello di ecosistema e la concorrenza fra le specie per la fruizione di queste: un ecosistema avrà comunque bassa diversità se poche sono le specie che

possono usufruirne. Il *secondo* riguarda la dinamica intrinseca dell'ecosistema. Questo è soggetto a disturbi che danno avvio a fasi successionali diversificate che, per la loro azione, determinano un aumento della diversità e della variabilità strutturale. In questo caso la massima diversità a livello di bioma (distribuzione spaziale di stadi o fasi cronologiche di sviluppo) è quella che si può riscontrare in un soprassuolo forestale che, nell'ambito di una ipotetica area (es. particella forestale), abbia subito il più alto numero di disturbi (es. taglio di alberi) in quanto su quella superficie ci si può attendere la presenza ripetuta di più fasi cronologiche che assicurano una più ampia eterozigosità al soprassuolo per effetto della lunghezza del ciclo vitale degli alberi. Se i disturbi sono piccoli, come ad esempio la morte e/o la caduta di una o poche piante, nonché ripetuti nel tempo anche in successione frequente, una grande diversità (quantificabile ad esempio dall'articolazione nello spazio aereo delle chiome) può essere raggiunta anche su aree limitate (1-2 ettari in soprassuoli antropizzati). Se il disturbo è esteso e massiccio (valanga, tromba d'aria, eruzione vulcanica) con bassa frequenza temporale gli stessi valori di diversità potranno ricercarsi su superfici molto più vaste (Susmel et al., 1976). Un *terzo* caso coinvolge il concetto di dominanza specifica. L'abilità di alcune specie di dominare può essere regolata attraverso l'azione di predatori, parassiti, patogeni. L'interazione ambiente/specie può in parte spiegare la diversità. Ma per addivenire alla comprensione più profonda del perché una foresta è più diversa di un'altra, è necessario considerare anche la storia geografica regionale e che ha inciso sulla distribuzione delle specie e l'azione congiunta dei fattori evolutivi su di queste (per esempio: nella seconda metà del '700 i rimboschimenti con pino silvestre e robinia nella brughiera lombarda furono eseguiti per editto promulgato da Maria Teresa D'Austria o la diffusione dei castagneti da frutto nei domini di Lucca da parte della regnante Famiglia Guinigi; Giannini e Gabbrielli, 2013).

La presenza di una specie è presumibilmente spiegabile perché particolari interazioni tra caratteristiche genotipiche e condizioni ambientali e/o casualità dei fenomeni di disturbo (per effetto anche di interventi antropici poco rispettosi dell'ambiente) hanno favorito le progenie di quella specie in quanto caratterizzata da un valore più alto di fitness (numero più elevato di discendenti affermati) rispetto alle concorrenti.

Uno dei punti critici nella conservazione della biodiversità riguarda l'impiego delle provenienze alloctone di specie locali le quali da una parte possono incrementare la variabilità genetica all'interno della specie ma dall'altra possono rappresentare un *point de faiblesse* per l'ecosistema in cui vengono introdotte. Per i rimboschimenti è questa una criticità primaria nel rap-

porto «sostenibilità-conservazione della biodiversità» soprattutto là dove la produzione di legname qualificato non rappresenti lo scopo prioritario se non esclusivo. Oggi è diventato ancora più pressante davanti alla necessità di intervenire anche nel nostro Paese su ampia scala a causa delle distruzioni provocate da incendi e, soprattutto, da eventi meteorici disastrosi. L'uragano Vaia (Motta R., 2018; Motta et al., 2018; Borghetti, 2019a, 2019b; Chirici et al., 2019), e anche quello di entità minore che aveva precedentemente interessato vaste aree dell'Appennino toscano (Giannini, 2015) tra cui la Foresta di Vallombrosa (Chirici et al., 2016; Bottalico et al., 2016), hanno colpito cenosi forestali in aree in cui tradizionalmente si effettuava una selvicoltura "di pregio" impostata prevalentemente su determinate conifere. Il ripristino degli stessi soprassuoli per necessità non solo storiche (Ciancio e Nocentini, 2010) biologiche e paesaggistiche, ma soprattutto per esigenze di economia locale, rischia di scontrarsi con difficoltà per la rinnovazione sia a livello di costi sia, ai fini della conservazione della biodiversità, per il possibile impiego di postime "esotico" o, in ogni caso, geneticamente diverso.

#### RISPETTO ED EQUILIBRIO: FUNZIONALITÀ ECOSISTEMICA E POTENZIALITÀ PRODUTTIVA

Non si dispone della completezza delle basi scientifiche che presiedono il dinamismo dell'ecosistema bosco che, essendo caratterizzato da cicli molto lunghi, solo apparentemente può apparire sistema complesso statico mentre la dinamicità è elevatissima anche per la presenza di elevata diversità.

La letteratura è ricca di esempi in cui viene dimostrata una relazione positiva tra diversità e produttività. Sebbene non sia completamente chiarita la comprensione della relazione, una gestione che ponga la diversità come punto di riferimento centrale è la strada maestra da perseguire nell'ambito concettuale di sostenibilità. Questa è perseguibile attraverso due direttrici principali: la prima è rivolta verso la salvaguardia della complessità funzionale, la seconda coinvolge la quantità di informazioni scientifiche disponibili sulle relazioni tra disturbi e risposta a questi da parte dell'ecosistema stesso ovvero, sulla resistenza e resilienza nei confronti dei cambiamenti che possono influenzare la stabilità produttiva. Purtroppo nel settore forestale i cicli temporali sono molto lunghi per cui la valutazione delle azioni di disturbo, ma anche quelle di ripristino, sono disponibili dopo lunghi periodi di tempo.

Alla domanda dove e in che modo possiamo reperire informazioni da trasferire alla gestione delle foreste coltivate e validare i modelli colturali e/o

gestionali che in queste vengono applicate, la letteratura ci indica che punto di riferimento conoscitivo è espresso dai Boschi Vetusti in quanto capaci di possedere il più alto valore conservativo di specie, di maturità biologica stabilizzata, di adattamento riproduttivo (Clauser, 1954; Korpel, 1982, 1995; Hunter, 1989, 1990; Mosseler et al., 2003; Piovesan et al., 2003; Piovesan et al., 2005; Citterio et al., 2007; Blasi et al., 2010; Marchetti e Blasi, 2010; Nocentini, 2010; Vettori et al., 2010; Chirici e Nocentini, 2010; Piovesan et al., 2010; Calamini et al., 2011; Motta et al., 2015; Piovesan et al., 2019).

Le caratteristiche oro-geografiche del territorio del nostro Paese caratterizzate da accidentalità, ma anche da precarietà e instabilità dei versanti, conferiscono alle foreste una funzione determinante ai fini della conservazione ambientale per cui si richiede un particolare rispetto e un corretto equilibrio tra attività antropica e mantenimento della potenzialità produttiva. In generale appare evidente come in situazioni di protezione dominante, l'obiettivo è quello di preservare la più ampia naturalità all'ecosistema forestale. L'allontanamento sempre più spinto da stati di naturalità comporta una semplificazione dei processi a livello di ecosistema che, se protratta nel tempo, ha come conseguenza una riduzione della funzionalità, la quale, per mantenerne la potenzialità produttiva, richiede aumenti di input energetici.

Come già indicato l'uomo ha fatto ricorso a tecniche colturali di "validità" per il momento temporale di attuazione. In un contesto di uso sostenibile delle foreste, la selvicoltura si identifica nella scienza (conoscenza dei processi biologici e delle loro interazioni a livello di sistema complesso) e nell'arte (osservazione, esperienza, sensibilità, operatività) di coltivare i boschi, applicando i principi dell'ecologia forestale all'impianto, alla rinnovazione e agli interventi razionali di prelievo. Tutto ciò comunque porta a dei condizionamenti nella collettività della foresta (biocenosi) nella quale i singoli individui (alberi) *«non si ripartiscono il lavoro, ma si condizionano reciprocamente»* (de Philippis, 1949). Si intuisce che è viva la ricerca di una modalità operativa che, su base razionale, consenta la conservazione del bosco per le generazioni future. Nello stesso tempo, fornendo il bosco beni e servizi, questi possono essere valutati sotto l'aspetto economico. Ciò indica che la selvicoltura si configura come strumento di mediazione tra esigenze economiche della società ed esigenze ecologiche e diritti della foresta (Ciancio, 2018).

Invero è vivace la conflittualità insita nell'accettazione o meno delle specie non auctocone (aliene) che contribuiscono anche in modo efficace alla formazione di soprassuoli con funzioni produttive e protettive (es. robinia, douglasia, pino insigne) la cui diffusione in alcuni casi è quasi impossibile da controllare (es. ailanto).

Basandosi su di un concetto imperniato su aspetti prevalentemente conservativi si indicano due scenari descritti nel passato (Giannini et al., 1999; Giannini e Susmel, 2006) che hanno validità tutt'oggi e per i quali sono prevedibili interventi puntuali di gestione. Si tratta delle:

- Foreste di Conservazione: in questo caso gli aspetti conservativi sono prioritari e interessano il paesaggio, l'ecosistema, le specie. Gli ecosistemi forestali di riferimento svolgono funzioni incentrate sulla stabilità funzionale e quindi sulla biodiversità che è massima nella maturità biologica. Questa differisce dalla maturità economica alla quale afferiscono anche i modelli dettati da una selvicoltura basata su concetti ecosistemici che può considerare comunque anche una "coltura" soprattutto di ripristino (rinaturalizzazione).
- Foreste polifunzionali: sono le foreste formate quasi esclusivamente da specie autoctone per le quali sono prevedibili diversità d'uso. La coltivazione si attua con l'individuazione e l'applicazione di modelli colturali riferibili a una selvicoltura incentrata sull'ottenimento della rinnovazione naturale del soprassuolo. Anche se prevalente resta la pressione conservativa, la coltivazione persegue l'obiettivo di raggiungere il migliore equilibrio dinamico fra le funzioni produttiva, protettiva ed estetico-ricreativa della foresta. È dominante l'esigenza di mantenere un flusso continuo di prodotti e funzioni, ma questa non può arrecare riduzione nei valori intrinseci o effetti indesiderati.

#### GOVERNO E TRATTAMENTO: FUSTAIE E CEDUI

La sostenibilità nel governo e trattamento dei boschi, va affrontata in termini pragmatici, sulla base della realtà presente nel nostro Paese e della storia di ogni singolo bosco da cui dipende la situazione attuale. In Italia secondo i dati dell'Inventario Forestale Nazionale (Gasparini e Tabacchi, 2011) i boschi (indicati come Boschi Alti in base a una tipologia che considera l'altezza degli alberi parametro distintivo primario) occupano una superficie di circa 8,6 milioni di ettari di cui 5,7 e 2,9 rispettivamente di proprietà privata e proprietà pubblica. Altri 690.000 ettari sono rappresentati da Arboricoltura da legno (122.000 ha), Boschi bassi (220.000 ha), Boschi radi e Boscaglia (350.000 ha). Ulteriori dati indicano che il bosco ceduo con oltre 3,6 milioni di ettari (di cui circa il 67% di proprietà privata) rappresenta ancora una parte importante del patrimonio forestale italiano.

Per quanto riguarda la genesi, le foreste possono avere origine naturale o artificiale, ma non mancano forme intermedie in cui l'uomo ha operato a favore di un incremento di valore dei prodotti legnosi e foreste artificiali

più o meno naturalizzate o in via di naturalizzazione per effetto di processi successionali.

Come già indicato, tra le foreste naturali notevole importanza scientifica assumono quelle primarie, i boschi vetusti, gli ultimi relitti in cui è possibile rinvenire i caratteri primitivi: composizione floristica, struttura, capacità di autoregolazione. Queste foreste, ma in parte anche quelle poco alterate, rappresentano modelli di riferimento per la gestione e il restauro di formazioni forestali in analoghe condizioni, ma più o meno alterate.

Le foreste secondarie hanno subito alterazioni più o meno importanti da parte dell'uomo che, in genere, ha modificato strutture e composizioni specifiche per ragioni socio-economiche. Il caso più frequente è stata la rarefazione di specie caratterizzate da bassi valori di socialità, valenza ecologica e adattabilità, ma anche per le non eccellenti caratteristiche tecnologiche del legname. In alcuni casi si è giunti a soprassuoli pressoché monospecifici.

Per quanto riguarda la sostenibilità nella gestione, occorre porre rimedio a stati di alterazione degli assetti vegetazionali di degrado e perseguire il miglioramento della stabilità e della funzionalità dell'ecosistema foresta con interventi finalizzati alla conservazione, al restauro e alla ricostituzione riconoscendo comunque che qualsiasi intervento colturale, compresi quelli a basso impatto ambientale, si ripercuote sulla funzionalità e sulla biodiversità (Nascimbene et al., 2013; Di Filippo et al., 2017; Chiarucci e Piovesan, 2018).

Nelle fustaie i trattamenti selvicolturali si applicano con l'obiettivo di affinare la composizione e la struttura riconsiderando la validità dei presupposti che rappresentano la base dottrinale della normalizzazione e regolazione del popolamento (Ciancio, 2009) anche se i cambiamenti del trattamento richiedono tempi molto lunghi e alta perizia attuativa che si acquisisce attraverso una continua ed attenta osservazione della dinamica del bosco in relazione ai prelievi dell'utilizzazione eseguita in precedenza. Esaltare la biodiversità e la sua conservazione, favorire la rinnovazione naturale senza escludere situazioni particolari di valore storico, paesaggistico o economico in cui si possa derogare a favore della rinnovazione artificiale (Ciancio e Nocentini, 2000; Nocentini, 2000). È necessario operare con gradualità facendo ricorso alle conoscenze fornite dalla ricerca scientifica, ma anche mantenere soddisfacenti i livelli provvigionali in relazione alla potenzialità produttiva della stazione. La risultante è un bosco gestito in maniera da soddisfare gli aspetti produttivi e di avere come obiettivo il raggiungimento di un equilibrio colturale che per approssimazioni successive tende a quello naturale.

Tra l'altro un uso sostenibile deve essere rivolto anche a tipi forestali particolari. Si fa riferimento alle formazioni riparie, alle sugherete spesso in con-

flitto con il pascolo o soggiogate agli effetti del fuoco, ai castagneti da frutto. Questi ultimi, che, nel nostro Paese, alla fine del XVII secolo occupavano una superficie di oltre 800.000 ettari (quasi tutti di impianto antropogenico) e sebbene, per motivi sanitari e socio-economici, siano oggi fortemente ridotti (conversione in cedui o rinaturalizzazione, dopo l'abbandono, soprattutto da parte delle specie spontanee della zona fitoclimatica che edificavano i popolamenti dove vennero impiantati o di quelle introdotte dall'uomo), rivestono ancora oggi interesse vivissimo non solo per la produzione del frutto (oltre il 95% della produzione nazionale di castagne proviene da questi popolamenti), ma anche per il ruolo che svolgono nel contribuire alla presenza e presidio in loco della popolazione umana, alla conservazione del paesaggio e della biodiversità, al richiamo delle tradizioni.

Il governo a ceduo, forma di governo già documentata da Columella (*De re rustica*), Plinio il Vecchio (*Naturalis Historia*) e da Plinio il Giovane (*Epistolarium*) (Calzecchi Onesti, 1977, 1984) e diffusa nel nostro Paese dal XIII-XIV secolo (Piussi, 1979, 1980; Agnoletti, 2000; Piussi e Redon, 2001; Agnoletti, 2002), che rappresenta un modello, codificato dalla dottrina, a forte impatto di utilizzazione della biomassa forestale, ma che è tutt'ora una risorsa energetica importante e quindi fonte di reddito soprattutto nel caso della proprietà privata, può essere accettato in un contesto di sostenibilità economica.

Anche in presenza di situazioni di valore dal punto di vista naturalistico e paesaggistico, non si deve escludere il proseguimento del governo a ceduo ma guardando con favore all'allungamento dei turni, alla rimozione delle cause di degrado (pascolo, fuoco, ma anche predazione o danneggiamenti da fauna), alla scelta delle matricine, alla salvaguardia delle specie che fanno parte del corteggio floristico che caratterizza la vegetazione potenziale. Tutto ciò nella ricerca del migliore equilibrio tra leggi ecologiche e leggi economiche ovvero individuando la migliore pianificazione degli interventi nella dimensione e distribuzione spazio-tempo delle utilizzazioni (Ciancio, 1990; Ciancio e Nocentini, 2004; Quatrini et al., 2017).

Del resto in questo senso sono state definite a livello nazionale e regionale le normative di legge e di polizia forestale.

Restano motivi di riflessione tra cui quelli relativi alle valutazioni se il governo a ceduo possieda maggiore o minore resistenza e resilienza a impatti antropici e/o naturali rispetto alla fustaia anche in relazione alla modalità di azione di fattori meteorici correlati ai cambiamenti climatici. Le risposte che comunque difficilmente possono essere generalizzate, devono essere valutate caso per caso, possono essere risolutive, per esempio, per le scelte decisionali sull'attuazione o meno delle conversioni da ceduo a fustaia.

L'attuale diffusa politica gestionale tesa a valorizzare il ceduo stesso (Fabio e Cutini, 2017; Cutini et al., 2018), da un punto di vista generale, è apprezzabile, ma il termine, valorizzare, può assumere differenti significati. Se alla base di questa valorizzazione, si configura una campagna a favore di una gestione finalizzata a un più intenso sfruttamento della biomassa legnosa dei cedui (compresi quelli invecchiati rispetto ai turni prescritti dalla normativa vigente e/o quelli già in fase avanzata di conversione sia di proprietà pubblica che privata), non possiamo escludere come conseguenza, una forte riduzione dei servizi ambientali, protettivi ed estetico-sociali forniti dal bosco, ovvero contrazione della stabilità, benessere e servizi per le generazioni future (Clau-ser, 2018).

Diverso significato ha la strategia che riguarda la valorizzazione degli assortimenti legnosi che i boschi cedui potrebbero fornire (Giannini, 2015; Giannini, 2016). Più in generale occorre tenere sempre ben presenti le condizioni bio-ecologiche della stazione e le indicazioni che vengono fornite dai processi evolutivi del popolamento i quali potrebbero superare in alcuni casi gli aspetti strettamente produttivi legati al governo a ceduo della copertura forestale. Questo ragionamento dovrebbe valere a maggior ragione nelle aree protette di proprietà pubblica nazionale e regionale, nonché in quelle di interesse comunitario (SIC, ZPS) ove soluzioni di conguaglio potrebbero prevedere appositi indennizzi per le proprietà private.

Più in generale la sostenibilità nella gestione forestale non può prescindere dalla regolazione di eventuali cause che costituiscono un qualche impedimento, vedi ad esempio la gestione della fauna selvatica.

## RIMBOSCHIMENTI

Con la fine della prima guerra mondiale prende avvio la prima vasta campagna di rimboschimenti a cui diede un impulso decisivo il RDL 3267/1923 che istituì il vincolo idrogeologico sui terreni di collina e montagna. Con la seconda guerra mondiale si arresta l'opera di rimboschimento che riprende vigore nei primi anni '50 con l'emanazione della legge sulla montagna, l'istituzione della Cassa per il Mezzogiorno e, attraverso successivi incentivi finanziari, si arriva fino alla fine degli anni '70 quando, con il passaggio delle competenze in materia di foreste alle Regioni e la successiva soppressione dell'ASFD, si ha il graduale arresto degli interventi di rimboschimento. Fanno eccezione interventi puntuali come il Progetto Speciale 24 della Cassa per il Mezzogiorno per interventi organici di forestazione a scopi produttivi nel

Mezzogiorno d'Italia e, in ordine cronologico, il Regolamento comunitario ex 2080/1992 che ha incentivato l'imboschimento di terreni agricoli investiti a colture risultate eccedentarie in ambito europeo.

Fino al primo inventario forestale italiano, le superfici boscate in Italia secondo dati ISTAT ammontavano a circa 6 milioni di ettari e rappresentavano circa il 20% della superficie nazionale. Da un punto di vista qualitativo spesso si trattava di boschi per la gran parte eccessivamente degradati da secoli di accanito sfruttamento e dal pascolo. Nel 1985, in occasione del primo IFN risultò che le superfici forestali si erano incrementate fino a 8.675.000 ha (IFNI, 1985) (28% della superficie del territorio nazionale). Successivamente (sebbene un cambiamento nella definizione della parola bosco) il trend non si è arrestato tanto da risultare circa 10,5 milioni di ha all'Inventario del 2005 (34,7%) e sono stimate pari a circa 11,0 milioni di ha (36,4%) nel 2015 (INFC, 2015). In questo incremento sono comprese le superfici abbandonate dalle attività agro-pastorali riconquistate naturalmente dal bosco.

In circa 60 anni si stima che siano stati rimboschiti (rimboschimenti antropogenici) circa un milione di ettari (il 3% circa dell'intera superficie nazionale). In questo ambito l'Italia è diventata famosa nel mondo per le tecniche adottate e per i risultati conseguiti, in considerazione anche delle difficilissime condizioni geo-pedologiche in cui si interveniva.

Quella attività poté attuarsi per il combinarsi di una serie di fattori oggi difficilmente replicabili su così vasta scala, primi fra tutti le vaste superfici da rimboschire e l'ampia disponibilità di manodopera di estrazione agricola a basso costo che consentì di contenere l'onerosità degli interventi. Furono raggiunti traguardi eccezionali abbinando l'impianto del bosco alla sistemazione delle pendici montane o delle aree dunali delle coste. L'opera poi venne adeguatamente supportata da un'attività vivaistica capillarmente distribuita sul territorio nazionale, spesso gestita direttamente dall'ex CFS-ASFD e da altri Enti territoriali di bonifica.

La dimensione di detti rimboschimenti richiese una direzione tecnica assidua e qualificata che contribuì con grande efficacia alla formazione del personale impiegato. Oggi tutto ciò sarebbe impensabile, per gli altissimi costi da sostenere e per la mancanza di maestranze qualificate disponibili e anche, purtroppo, per la difficoltà di reperire sul mercato materiale vivaistico di buona qualità.

Degni di menzione si citano gli impianti realizzati con pino nero (oltre 130.000 ettari), specie pioniera e preparatoria, diffusi in prevalenza nelle aree interne del nostro Paese (La Marca, 2019) e quelli di douglasia effettuati su ampie superfici anche da privati che oggi vengono gestiti con turni medio-

lunghi destinati alla produzione di legname da opera (La Marca, 2017; La Marca e Pozzi, 2017).

Negli ultimi vent'anni si sono avviate le prime utilizzazioni, ma non vi è dubbio che è manifesta la crisi profonda legata al reimpianto e alla coltivazione del nuovo soprassuolo (rinnovazione artificiale). Addirittura, molte volte si assiste all'apparente paradosso di aziende che preferiscono limitarsi a realizzare un diradamento piuttosto che procedere col taglio raso del soprassuolo, pur di evitare di sostenere gli ingenti costi del rimboschimento ed esporsi alle incertezze della rinnovazione artificiale, spesso più soggetta alle bizzarrie climatiche e l'elevata presenza di erbivori selvatici (Paci, 2004). Nel caso della douglasia i tagli di maturità, in ragione delle elevate provvigioni che vi sono allocate, riescono a raggiungere la positività di macchiatico. Per questa specie si prospetta la rinuncia alla "selvicoltura d'impianto" a favore del ricorso alla rinnovazione naturale (La Marca, 2017; La Marca e Pozzi, 2017).

Buona parte dei rimboschimenti di pino nero sono ancora in essere anche perché svolgono una funzione ambientale, protettiva e paesaggistica molto elevata. Una parte non indifferente versa in precarie condizioni, vuoi per le difficili condizioni stazionali e di accessibilità, che limitano la meccanizzazione delle operazioni colturali ed esbosco, vuoi per l'incremento dei costi di questi interventi rispetto al valore del legname ottenibile (Hippoliti, 2012).

I recenti rapporti dell'ONU sulla biodiversità e sui cambiamenti climatici invitano ad adottare politiche finalizzate a rendere "più verde" il nostro pianeta per contrastare e mitigare l'azione dei cambiamenti climatici attraverso una salvaguardia degli ecosistemi forestali e un incremento sostanziale della loro superficie con la "piantazione di nuovi alberi".

Lo stesso invito è stato avanzato dalle Comunità Laudato sì: piantare 60 milioni di alberi quanto prima possibile. È un invito da accogliere con entusiasmo. Ma la realizzazione di nuovi boschi implica necessariamente un progetto coinvolgente a scala nazionale che preveda la localizzazione e la disponibilità delle aree dove operare, la garanzia di una disponibilità finanziaria valida per diversi decenni e una pianificazione di appositi servizi inseriti in contesto di sviluppo sostenibile coinvolgente gli aspetti ambientali ed economico-sociali del territorio, la scelta delle specie e del materiale di propagazione, la preparazione del suolo, la tecnica e densità d'impianto, la protezione, le cure colturali (Marchetti et al., 2019). La vulnerabilità dei popolamenti coetanei artificiali monoplani e monospecifici non diradati è sempre molto alta e potrebbe aumentare anche a causa delle variazioni dei valori estremi dei parametri climatici e dei forti eventi naturali (vento). I diradamenti, che sono indispensabili (Cantiani et al., 2005) anche quando valutati "pre-commerciali", e che si

accompagnano per tutta la vita del nuovo popolamento partecipando a conferirne stabilità, resilienza e resistenza, dovrebbero, tra l'altro, essere diretti a favorire una rinaturalizzazione spontanea che potrebbe contribuire alla futura rinnovazione del soprassuolo per via naturale, con l'insediamento di specie autoctone tipiche del piano vegetazionale.

La letteratura in questo settore fornisce modalità di attuazione e risultati di grande aiuto (de Philippis, 1949; Sjolte-Jorgensen, 1967; Nocentini, 1995; La Marca, 1999; Nocentini e Puletti, 2009; Nocentini e Corona, 2016; Fararoni e Travaglini, 2018; Mercurio, 2019).

#### BOSCO E FAUNA SELVATICA

La fauna selvatica rappresenta, al pari delle altre componenti biotiche e abiotiche, una parte dell'ecosistema. In ambienti del tutto naturali o comunque poco antropizzati le differenti componenti si autoregolano secondo meccanismi bioecologici che incidono sulle dinamiche delle popolazioni le quali tendono a espandere il proprio biospazio. In ecologia questo concetto coincide con quello di equilibrio naturale degli ecosistemi. Quando il suddetto equilibrio è stato alterato, vedi ecosistemi antropizzati, il modello di riferimento conseguibile con la gestione è rappresentato dall'equilibrio colturale, ovvero un equilibrio soddisfacente in cui l'uomo con la gestione si sostituisce ai dinamismi naturali cercando però di ispirarsi ad essi.

Per quanto concerne in particolare la componente faunistica, le varie popolazioni animali, in relazione all'ambiente nel quale conducono le proprie funzioni vitali, sono caratterizzate da un determinato livello di densità – la cosiddetta densità biologica – al di sopra della quale, in ambienti a elevata naturalità e in assenza di interventi umani diretti, la tendenza a un ulteriore incremento è solitamente controbilanciata da diversi fattori di regolazione esterna e interna.

Quanto più l'ambiente risulta alterato rispetto alla sua situazione originaria, tanto più la capacità di autoregolazione viene resa inefficiente e conseguentemente vengono messi in crisi i delicati equilibri fra le popolazioni faunistiche e l'ambiente, con grave rischio per le popolazioni medesime e per le produzioni agro-forestali.

Erroneamente si ritiene che le foreste siano poco influenzate da situazioni in cui si registrano elevate concentrazioni di ungulati. Ciò è dovuto con ogni probabilità al fatto che in foresta spesso i danni non sono immediatamente rilevabili o non ricevono sufficiente e tempestiva attenzione.

Indagini sull'evoluzione della distribuzione e della consistenza degli ungulati a livello europeo hanno dimostrato una situazione generalmente preoccupante di squilibrio demografico (Apollonio, 2018). Sono stati stimati circa 19 milioni di capi dei quali oltre il 90% è rappresentato dal capriolo (*Capreolus capreolus*) (54,4%), dal cinghiale (*Sus scrofa*) (22,8%) e dal cervo (*Cervus elaphus*) (14,4%) la cui densità varia a livello nazionale e regionale. Così in Austria si indicano in media 18 capi ogni 100 ha mentre per l'Italia la stima è di circa 4 capi ogni 100 ettari, ma se si diminuisce la scala di riferimento, in particolare in situazioni in cui esistono vincoli protettivi, le densità possono presentare valori anche sensibilmente più elevati rispetto al dato regionale.

Ricerche basate su osservazioni in aree sperimentali a carattere permanente, realizzate fin dall'istituzione, del Parco nazionale delle Foreste Casentinesi, Monte Falterona e Campigna, hanno evidenziato consistenze che superato i 15 capi ogni 100 ha. In siffatte condizioni il novellame di abete bianco è del tutto scomparso e allo stesso tempo il danno ha riguardato anche la chioma di piante più sviluppate fino all'altezza raggiungibile dal morso della fauna (Bresciani et al., 2018).

In generale le situazioni di criticità sono state favorite dall'introduzione nel passato di specie alloctone con scopi anche venatori, dalla rigidità della normativa sui prelievi nelle aree protette, dalla assenza dei predatori del primo livello della catena trofica. In siffatte condizioni la rinnovazione di abete bianco è del tutto scomparsa e allo stesso tempo il danno ha riguardato anche la chioma di piante più sviluppate fino all'altezza raggiungibile dal morso della fauna (Bresciani et al., 2018). La presenza di un numero notevole di ungulati, come accade in molte parti del nostro Paese, determina la pressante esigenza di una più attenta gestione delle loro popolazioni, finalizzata non solo alla salvaguardia delle attività produttive agricole e forestali, ma anche alla conservazione nel senso più completo di tutti gli ecosistemi. Il conseguimento di tali obiettivi deve rappresentare, quindi, il principale e doveroso obiettivo di tutti coloro che, a vario titolo, sono chiamati a definire e applicare le regole che governano la complessa catena di rapporti fra conservazione e produzione.

«Dovrebbe essere sottinteso che il genere umano è una parte della natura, dal momento che stiamo usando il termine natura per comprendere tutto il mondo vivente» (Odum, 1966) quindi spetta all'uomo, quando ricopre il ruolo di soggetto deputato alla gestione ambientale, intervenire con azioni adeguate laddove si presentino situazioni di rischio attuale o potenziale per la conservazione degli equilibri ecologici. In questo senso ci è di aiuto il contributo fornito dalla ricerca (Motta, 1966; Memoli, 2003; Paci, 2004;

Berretti e Motta, 2005; Bianchi et al., 2014; Sorbetti et al., 2019) i cui risultati devono ricevere un impulso nella diffusione in quanto possono fornire indicazioni importanti pratico-operative per una gestione sostenibile degli ecosistemi forestali (Nocentini et al., 2019).

Lo sviluppo di politiche di gestione della fauna selvatica che permettano di affrontare in modo razionale gli attuali squilibri fra consistenze faunistiche ed esigenze di conservazione delle varie componenti degli ecosistemi forestali (soprassuoli forestali *in primis*) è fondamentale per far sì che la componente faunistica rappresenti una risorsa piuttosto che un problema (Apollonio, 2018). È quindi necessaria l'adozione di pratiche gestionali che vedano anche nell'adozione di modelli venatori razionali e sostenibili uno strumento di pronta ed efficace realizzazione di condizioni di bilanciamento delle componenti animali negli ecosistemi forestali. Un più ampio e responsabile coinvolgimento della componente venatoria nella gestione faunistica potrebbe consentire di raggiungere tali obiettivi. Non si deve trascurare inoltre la valutazione del possibile reddito derivante dallo sfruttamento degli ungulati selvatici condizionato alla realizzazione di un turismo venatorio di qualità fondato sul principio del raggiungimento di equilibri ecologici sostenibili.

#### ARBORICOLTURA DA LEGNO

L'incremento del consumo di legno a livello mondiale ha imposto, nel tempo, di prendere in considerazione nuove strategie per aumentare la produzione di biomassa. L'interesse riguardava e riguarda soprattutto la messa a punto di tecniche di coltivazione di impianti specializzati di alberi caratterizzati da una rapida crescita con turni di utilizzazione brevi e/o brevissimi. A supporto vi sono i risultati ottenuti a livello mondiale dalle prime piantagioni di cloni di pioppo e di altre specie di conifere (*Pinus radiata*, *P. contorta*, *P. elliotii*, *P. taeda*, *P. hondurensis*, *Pseudotsuga menziesii*) e latifoglie (*Eucaliptus* spp., *Salix* spp.) che sottoposte a regimi intensivi di coltivazione (*Tree Farming*) consentono produzioni di biomassa da 3 a 7 volte superiori a quelle ottenibili in boschi naturali (Faciotto et al., 2015). Si ricorda il caso della *Leucaena* sp., specie nativa dell'America latina, considerata un "miracolo vivente" dai suoi sostenitori, in quanto può crescere fino a 15 metri in 5 anni, produrre legno per fabbricati e quale fonte di energia, produrre foraggio per gli animali e cibo per l'uomo, migliorare le caratteristiche chimiche del suolo attraverso l'azotofissazione oltre a possedere elevata resistenza a stress biotici ed abiotici (Brewbaker & Hutton, 1979). Ma si può citare anche il caso della robinia e della paulownia.

Non pochi poi sono anche gli impianti realizzati perché più “produttivi”, sostituendo formazioni boschive degradate, ma anche popolamenti naturali come è accaduto in Brasile (foresta pluviale) o in Nuova Zelanda (foreste di *Nothofagus* e *Podocarpus*) dove alcune aree boscate ancestrali sono state sostituite con piantagioni di eucalitti nel primo caso e di pino radiata e douglasia nel secondo. In questi casi sarebbe di interesse conoscere quanto la maggiore produttività dipenda dalla fertilità rilasciata dalla copertura forestale primitiva e quanto la stessa sia costante nel susseguirsi nel tempo dei cicli produttivi.

In Sardegna le crescenti esigenze di materiale legnoso da destinare all'estrazione di cellulosa per l'industria cartaria a livello locale, sul finire degli anni '60 del secolo scorso, fu alla base della nascita e dello sviluppo di un programma di coltivazione intensiva, dapprima essenzialmente privato poi sempre più sostenuto dalla pubblica amministrazione, del pino insigne (*Pinus radiata* D. Don.). Con tale programma vennero realizzati, in varie aree dell'Isola (in particolare Monte Grighine e Ogliastra). Oggi sono oltre 11.000 gli ettari di pinete di questa specie (Gasparini e Tabacchi, 2005). Le piantagioni interessarono principalmente praterie, pascoli naturali, incolti produttivi nonché aree caratterizzate da bassa macchia e macchia degradata che negli anni hanno dimostrato notevole vitalità e produttività (800-1000 mc per ettaro di massa totale) in condizioni ecologiche favorevoli (Susmel et al., 1975).

A favore dell'arboricoltura sta anche il fatto che così operando si realizza una contrazione delle utilizzazioni dei boschi esistenti, ma anche la necessità di trovare, in tempi brevi, una destinazione produttiva e protettiva alle aree rese disponibili dall'abbandono delle attività agricole e pastorali, motivi tutt'ora attuali.

Una selvicoltura intensiva richiede di accettare alcuni compromessi: una riduzione della ricchezza di specie e una semplificazione dell'ecosistema. Molti soprassuoli di impianto artificiale realizzati con una unica specie e/o con un unico clone, sono risultati vulnerabili da stress biotici e sotto questa ottica le giustificazioni economiche positive diminuiscono quando si analizzano i probabili costi di lotta e di restauro per situazioni compromesse. Tra l'altro siamo coscienti del fatto che quando una specie non autoctona viene introdotta questa può eliminare una o più specie locali determinando cambiamenti anche di vasta portata a livello di ecosistema. Comunque il successo proprio in Italia di alcune specie introdotte nasceva dallo schema propositivo di Aldo Pavari (Pavari e de Philippis, 1941; Nocentini, 2010a) che considerava l'introduzione una “integrazione nella scelta” per superare l'impossibilità o le carenze delle specie indigene a soddisfare, in tempi relativamente brevi, l'aumento delle richieste di biomassa legnosa.

La normativa nazionale e quella regionale hanno chiaramente identificato che per arboricoltura da legno si intende una coltura arborea di origine artificiale, finalizzata prevalentemente alla produzione di legname e/o biomassa, caratterizzata dalla reversibilità a fine ciclo colturale ed eseguita su terreni non boscati.

È chiaro che in questa definizione gli impianti artificiali destinati alla produzione legnosa, non possono svolgere tutte le funzioni delle foreste naturali. Infatti queste dipendono dalla complessità intrinseca e delle relazioni che si instaurano tra le diverse componenti che le caratterizzano.

Si deve riconoscere comunque che a fianco della produzione di legno, da alcuni decenni sono state riconosciute all'arboricoltura anche importanti funzioni ambientali e sociali. Queste possono fare riferimento (Paris e Della Valle, 2017; Corona et al., 2017) a:

- sinergia con altri interventi verdi per la realizzazione o il miglioramento di reti ecologiche;
- miglioramento del paesaggio;
- protezione delle risorse idriche, in particolare in pianura e nelle aree ad agricoltura intensiva;
- assorbimento di carbonio e mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici;
- protezione del territorio e del suolo da fenomeni di desertificazione;
- protezione del suolo da fenomeni di erosione e dissesto idrogeologico.

In Italia nel corso degli ultimi decenni è cresciuta sia nel mondo della ricerca scientifica sia nelle pubbliche amministrazioni l'attenzione verso la sostenibilità ambientale dell'arboricoltura e in particolare della pioppicoltura che costituisce una parte importante anche dal punto di vista storico e scientifico di queste colture. L'importanza in termini di superfici destinate ha subito forti oscillazioni nel corso degli anni anche in funzione delle possibili risorse finanziarie a supporto degli investimenti. Dopo l'espansione delle superfici determinata dall'applicazione delle misure previste dal Reg. CEE 2080/1992, si è avuta una contrazione dell'arboricoltura da legno che è stata solo in parte mitigata agli inizi del 2000 dalle misure previste dalla programmazione del PSR 2000-2006, grazie al quale sono state realizzate nuove piantagioni inclusi anche i cedui a rotazione breve e brevissima (*short rotation forestry*). L'oscillazione dell'interesse verso le piantagioni per arboricoltura da legno è condizionata anche dal mercato sia in termini di prezzi sia nell'organizzazione.

Le produzioni, specie quelle legate agli impianti più recenti, sono concentrate prevalentemente nel centro nord Italia.

Le principali problematiche che riguardano la sostenibilità dell'arboricoltura da legno in Italia sono sia di ordine tecnico sia di carattere finanziario (Corona et al., 2017).

Gli investimenti nel corso degli ultimi trent'anni sono stati fortemente condizionati dalle politiche comunitarie e dai finanziamenti erogati. Per quanto riguarda le produzioni a ciclo medio-lungo (40-50 anni) il fattore tempo e la possibilità di avere ricavi a fronte degli investimenti effettuati rimane un problema fondamentale. Le lavorazioni del terreno per le manutenzioni, le potature e i diradamenti costituiscono importanti voci di costi. A queste si aggiungano le aleatorietà climatiche che influiscono in modo importante sulla entità degli accrescimenti e sulla loro regolarità le quali influenzano il valore del prodotto da immettere sul mercato.

Nelle produzioni pioppicole finalizzate all'ottenimento di materiale da sfogliato, l'impiego ancora prevalente di cloni di tipo tradizionale (es. I 214) determina un notevole utilizzo di fitofarmaci e talvolta anche di fertilizzanti e di risorse idriche. Fitofarmaci e fertilizzanti causano un elevato impatto sulla qualità delle acque superficiali e di falda.

Per fare fronte a queste problematiche, a partire dall'inizio del XXI secolo è stata incentivata la certificazione della gestione sostenibile secondo gli schemi FSC e PEFC. Detta certificazione prevede il rispetto di un protocollo colturale messo a punto in collaborazione tra Istituti di ricerca, Amministrazioni Regionali e Organizzazioni di categoria. Questo protocollo è ovviamente mirato ad attenuare l'impatto della pioppicoltura sulle diverse componenti dell'ambiente, quali aria, acqua, suolo e fauna. Ad oggi ammontano a circa 6500 gli ettari di pioppeto certificati su un totale di circa 46.000 ettari impiantati a pioppo presenti in Italia, ma è prevedibile che detta certificazione si estenda ulteriormente anche in funzione di possibili incentivi da parte dell'ente pubblico. Ai fini di una ulteriore riduzione dell'uso di presidi fitoiatrici è stata incoraggiata, anche attraverso l'erogazione di contributi pubblici, una diversificazione clonale attuata soprattutto con cloni di pioppo resistenti alle principali avversità biotiche, ciò con riferimento ai cosiddetti cloni MSA (cloni a Maggiore Sostenibilità Ambientale) (Deidda et al., 2018). Si tratta, ad oggi, di circa 25 cloni del genere *Populus* di diversa origine, tutti caratterizzati da una elevata o discreta resistenza alle maggiori avversità biotiche. Tra questi cloni, rivestono un particolare interesse i genotipi dotati anche di una soddisfacente qualità tecnologica ai fini della sfogliatura per la produzione di compensati, individuati sulla base di specifiche ricerche recentemente condotte. Quest'ultima caratteristica è infatti essenziale perché un clone sia accettato dall'industria e quindi sia appetibile per i pioppicoltori.

Si citano anche le indagini sperimentali recentemente attuate circa la possibilità di realizzare una pioppicoltura “di precisione” mediante l’impiego delle più moderne tecniche GIS e di telerilevamento. Ciò può consentire di ottimizzare nel tempo e nello spazio gli interventi antiparassitari, le concimazioni e le irrigazioni, riducendo anche drasticamente la quantità di prodotti chimici e/o di acqua irrigua immessa nel sistema, senza apprezzabili effetti negativi sulla produttività degli impianti dal punto di vista quantitativo e qualitativo.

Queste innovazioni possono avere un effetto non solo sulla riduzione di mezzi tecnici (presidi fitoiatrici, fertilizzanti, acqua), ma si riflettono anche in modo positivo sulla capacità di immagazzinare il carbonio nel sistema suolo-pianta (Seufert, 2010). Esse inoltre possono favorire l’attuazione della pioppicoltura in aree sensibili, quali ad esempio le aree della rete Natura 2000, ove risulta meno accettabile l’impiego di sostanze potenzialmente inquinanti. Ciò anche a vantaggio del consenso sociale che questa attività può suscitare in un contesto come quello attuale, caratterizzato da una opinione pubblica molto attenta ai temi ambientali.

Per ridurre ulteriormente l’impatto ambientale della pioppicoltura e dell’arboricoltura da legno in generale, sono stati sviluppati sistemi colturali in grado di incrementare il valore ambientale delle piantagioni salvaguardando la qualità delle produzioni legnose (Chiarabaglio et al., 2014). Tra questi si citano gli impianti polispecifici e policiclici, caratterizzati dalla consociazione di diverse specie arboree da legno con differenti lunghezze del ciclo produttivo (es. pioppo da sfogliato consociato con specie a legno pregiato e/o con cedui a brevissimo ciclo).

Oltre agli aspetti gestionali, negli ultimi anni la ricerca scientifica ha incentrato i propri sforzi anche sulla pianificazione degli interventi sia al fine di differenziare le produzioni e di garantire al tempo stesso una regolarità nell’offerta di prodotti sul mercato sia di integrare l’arboricoltura da legno nel contesto delle produzioni aziendali in modo anche da conseguire sinergie ed economie. A quest’ultimo riguardo sono in corso studi nel nostro Paese circa la coltivazione di specie da legno nell’ambito di sistemi agroforestali di moderna concezione, similmente a quanto da vari decenni effettuato in molti altri Paesi europei ed extra europei (Puxeddu et al., 2012; Puxeddu e Citterio, 2018; Camoriano et al., 2019; Corona et al., 2019; Paris et al., 2019).

#### LOGISTICA DEL PRELIEVO DELLA BIOMASSA

La sostenibilità nella logistica del prelievo della biomassa legnosa considera due elementi tra loro strettamente correlati: le macchine e le attrezzature per

il prelievo e il trasporto e la viabilità silvo-pastorale attraverso la quale si sposta la biomassa legnosa.

Entrambi gli elementi contribuiscono alla Gestione Forestale Sostenibile, così come definita dalla Conferenza Ministeriale per la Protezione delle Foreste in Europa nel 1993, attraverso l'applicazione della *sustainable forest operation* recentemente definita nell'ambito della *Task Force IUFRO Climate change and forest health* (IUFRO, 2019).

Per quanto concerne le macchine e le attrezzature diverse sono le soluzioni tecnologiche e operative che si possono adottare per soddisfare i vincoli della sostenibilità: dalla motoristica adottata ai dispositivi di propulsione, dai combustibili e lubrificanti ai materiali costruttivi e alle modalità di intervento.

Il contributo alla sostenibilità dei motori utilizzati nelle macchine e attrezzature forestali si realizza con interventi diversi secondo le differenti tipologie di motori. Nel caso dei motori a due tempi alimentati con miscela benzina-olio, adottati principalmente sulle attrezzature portatili, oltre a innovazioni sul controllo della carburazione in relazione al carico motore e alla pressione atmosferica, per assicurare un impiego efficiente della miscela, si interviene sulle caratteristiche dei combustibili per migliorare la qualità delle emissioni. L'utilizzo di benzina alchilata assicura, infatti, una riduzione delle percentuali di sostanze residue dalla combustione dannose per la salute dell'operatore e dell'ambiente (Neri et al., 2016).

Sempre riguardo alle attrezzature portatili, un passo in avanti sulla riduzione degli impatti diretti è assicurato dall'adozione di motori elettrici alimentati da accumulatori ricaricabili.

Per quanto riguarda le macchine motrici, la motoristica adottata, di norma costituita da motori a quattro tempi a ciclo Diesel, soddisfa i livelli degli standard Tier 4B e EU Stage IV (in alcuni casi anche lo standard EU Stage V) mediante l'adozione di unità di controllo del motore che gestiscono non solo il motore, ma anche il sistema di post-trattamento del catalizzatore, riducendo notevolmente la percentuale di emissione di NOx (Reuter, 2017).

Anche se appena all'inizio, l'introduzione di sistemi ibridi, basati sulla combinazione di motore Diesel e motori elettrici, sembra riservare notevoli potenzialità, in particolare nell'efficienza nell'uso del combustibile con importanti riduzioni nei consumi a parità di potenza e coppia erogate. Ciò accresce potenzialmente la sostenibilità nei confronti del consumo di combustibili da fonti non rinnovabili e delle emissioni di sostanze inquinanti (Johnsen, 2017).

Considerando le diverse macchine operatrici impiegate nelle operazioni di utilizzazioni forestali su terreni trafficabili (trattori con differenti attrezzature,

harvester, forwarder) va tenuto conto degli impatti prodotti sul terreno, con una serie di ripercussioni negative sulle caratteristiche fisiche, idrologiche e biologiche del suolo (Cambi et al., 2015).

In questi casi la sostenibilità può essere garantita intervenendo soprattutto sui dispositivi di propulsione delle macchine operatrici con lo scopo di limitare il compattamento del terreno e i deleteri effetti che questa modifica delle condizioni del suolo comporta.

Due sono le linee di intervento che si prendono in considerazione: 1) dispositivi di propulsione atti ad aumentare la superficie di contatto con il terreno, limitando la pressione specifica esercitata sul suolo o lo slittamento, fonte questa di un compattamento dinamico del terreno, o entrambi i fattori; 2) dispositivi atti a favorire l'auto-dislocamento delle macchine motrici su terreni pendenti, con effetti positivi sullo slittamento.

Sono applicazioni che seguono la prima linea di intervento i pneumatici a larga sezione, le catene, i sovracingoli, i semicingoli e i cingoli integrali. A queste si aggiungono, in particolare per le macchine da trasporto (*forwarder*) l'adozione di assi accessori nella parte posteriore del veicolo che consentono una più equilibrata ripartizione della massa del carico.

La seconda linea di intervento comprende argani che sono installati su *harvester* e *forwarder* o che equipaggiano macchine indipendenti (per esempio escavatori) e collegati ad *harvester* e *forwarder*. In entrambi i casi, l'argano ha la funzione di agevolare la mobilità della macchina principale nei terreni in pendenza, evitando lo slittamento delle ruote motrici e il conseguente compattamento dinamico del terreno (Cavalli e Amishev, 2019).

Nei terreni non trafficabili l'impiego di sistemi di esbosco basati su gru a cavo costituisce la soluzione ottimale, non solo dal punto di vista tecnico, ma anche da quello della sostenibilità potendo tali macchine assicurare il prelievo della biomassa legnosa con impatti ridotti.

Per quanto riguarda il ruolo di combustibili e lubrificanti, si è già menzionata la benzina alchilata per i motori a due tempi. Per i motori Diesel è generalizzato l'utilizzo del gasolio cui è aggiunta una percentuale di biodiesel che può arrivare fino al 7% o di quello cui è aggiunta una percentuale di 15% di oli idrogenati di origine biologica. Nel caso invece dei lubrificanti e dei fluidi per i circuiti idraulici è diffuso il ricorso a prodotti di origine vegetale che garantiscono prestazioni equivalenti a quelli di origine sintetica, ma presentano una minore eco-tossicità e una più elevata biodegradabilità.

Anche nei materiali utilizzati per la costruzione di macchine e attrezzature, si sta ponendo sempre più attenzione ai criteri di sostenibilità.

L'esempio dei pneumatici, pur se non esclusivo del settore forestale, può essere comunque chiarificatore: nella produzione dei pneumatici si sta cercando di aumentare la quota di componenti sostenibili mediante il ricorso a gomme termoplastiche derivate da biomasse (legno, paglie, ecc.). Nello stesso settore anche l'utilizzo di sottoprodotti di lavorazione della gomma e di materiali a fine vita, opportunamente trattati, per la produzione di pneumatici nuovi può rappresentare un contributo importante alla sostenibilità.

Infine va ricordato l'adozione di soluzioni tecniche e di materiali innovativi che permettono di limitare la massa delle macchine con ovvie ripercussioni sui consumi di combustibile.

Le modalità con cui interviene nel prelievo e nel trasporto della biomassa legnosa possono influenzare la sostenibilità delle diverse operazioni. I criteri definiti dalle linee guida proprie del *Reduced Impact Logging (RIL)* costituiscono i presupposti per la gestione forestale sostenibile a scala locale e si riferiscono in particolare a un'attenta pianificazione di tutte le singole operazioni da realizzare in rapporto alle diverse condizioni selvicolturali e ambientali (Putz et al., 2008). La programmazione degli interventi richiesti dall'utilizzazione forestale, l'individuazione delle modalità con cui si realizzano le diverse operazioni nel contesto specifico dell'intervento nonché la scelta dei mezzi idonei a operare nelle condizioni identificate costituiscono la base per soddisfare i requisiti di sostenibilità del prelievo della biomassa legnosa.

Riguardo la viabilità silvo-pastorale, il soddisfacimento dei vincoli posti dalla sostenibilità passa attraverso le modalità di pianificazione e di progettazione, le tecniche costruttive, i piani di manutenzione e ripristino. Una rete viabile ben pianificata e progettata, dimensionata sulla base delle effettive esigenze del territorio e della sua gestione, consente di svolgere in maniera ottimale ed efficiente le attività di gestione, di tutela, di valorizzazione e di fruizione del patrimonio forestale.

La conoscenza dei potenziali effetti sull'ambiente e la competenza sulle tecniche di realizzazione sono alla base delle buone pratiche da adottare in fase di progettazione, di costruzione e durante l'uso delle strade. La valutazione dell'impatto (effetti/influenze) delle strade è complessa e articolata e passa attraverso la misura degli effetti diretti dovuti al miglioramento dell'accessibilità e delle influenze negative sull'ambientale (idrologia, flora, fauna, suolo ecc.) e sul paesaggio (Grigolato et al., 2019).

L'applicazione delle buone pratiche esistenti in materia di pianificazione, progettazione, costruzione e manutenzione consentono di massimizzare i vantaggi e di ridurre al minimo gli svantaggi della viabilità forestale.

## CONCLUSIONI

L'evoluzione del pensiero e della tecnica selvicolturale in Europa, nel corso degli ultimi due secoli, ha portato a un rapporto tra il bosco e l'uomo (Ciancio e Nocentini, 1996) sempre più attento alle esigenze e ai fattori della conservazione del bosco, della sua rinnovazione naturale, della produttività primaria e degli altri benefici ecosistemici. Sulla scia dei fondatori della scienza dell'ecologia come Haeckel, Clements, Tansley, Sukachev e Odum, una schiera di ecologi forestali e selvicoltori, soprattutto a partire dagli anni '50, ha contribuito ad accumulare un patrimonio di conoscenze e a formulare nuove ipotesi e teorie sulle successioni ecologiche, sul ruolo delle alterazioni ambientali in rapporto alla rinnovazione naturale e alla struttura degli ecosistemi forestali, sull'interazione tra diversità biologica e trattamenti selvicolturali e, ancora, sul rapporto tra cicli biogeochimici, produttività e gestione forestale. La realtà forestale è stata progressivamente analizzata secondo una prospettiva completamente diversa, determinando così lo sviluppo di un nuovo paradigma scientifico che si propone l'obiettivo di pervenire ad una *gestione forestale di tipo ecosistemico*.

Già alcuni anni fa la prestigiosa rivista «*Science*» ha dedicato un intero fascicolo, dal titolo esplicito *Human Domination of Earth's Ecosystems*, al tema della gestione delle risorse naturali (Vitousek et al., 1997) ritenendo che «tutta la biosfera sia in qualche modo sotto l'influenza del genere umano; pertanto tutti gli ecosistemi, anche quelli naturali e più remoti, in un modo o in un altro dovrebbero essere curati, custoditi e gestiti dall'uomo». La società umana deve quindi assumersi la responsabilità di una gestione, indirizzata dai principi e dai concetti della scienza della sostenibilità, del sistema Terra poiché le evidenze scientifiche mostrano che anche gli angoli più lontani e più naturali del nostro pianeta sono influenzati, addirittura dominati, in modo diretto o indiretto, dall'impatto delle nostre svariate attività economiche. Se non vi sono ecosistemi che possano dirsi al di fuori della nostra influenza è evidente che dobbiamo porci la domanda su quali ne siano gli impatti e su quali azioni devono essere intraprese per mitigarne gli effetti e favorirne, in varia misura, l'adattamento e la resilienza. Più recentemente Rockström e colleghi (Rockström et al., 2009; Stefen et al., 2015), sempre partendo dalla considerazione che nell'era attuale dell'Antropocene le azioni umane sono diventate il motore principale dei cambiamenti ambientali globali, mostrano che esiste un rischio fortissimo che il sistema terrestre sia spinto fuori dalla stabilità ambientale che ha caratterizzato gli ultimi 10,000 anni della nostra storia naturale, ovvero l'era dell'Olocene, con conseguenze dannose, addirit-

tura catastrofiche, per il benessere e il futuro della società umana. Rockström ha così introdotto il nuovo paradigma dello “spazio di sicurezza” in cui l’umanità può operare ponendo ogni attenzione a non oltrepassare una serie di limiti ambientali riguardanti una decina di fattori e processi biofisici fondamentali per la sopravvivenza della biosfera, tra cui la perdita di biodiversità, i cambiamenti climatici e i cicli dell’azoto, del fosforo e dell’acqua.

Da questi modelli concettuali sui meccanismi e i processi alla base delle rapide trasformazioni ambientali a carico della biosfera e tenuto conto dell’assoluta importanza delle foreste a livello globale come principale scrigno di biodiversità e come primo comparto biosferico per l’assorbimento dei gas serra, superiore anche agli oceani, deriva il grande dibattito scientifico di questi ultimi vent’anni sull’opportunità e sulle modalità operative della gestione forestale come possibile strategia per la conservazione, l’adattamento e la capacità di mitigazione dei cambiamenti ambientali da parte delle foreste.

Recenti studi e osservazioni sperimentali condotte in varie parti del globo (Luyssaert et al., 2008; Pugh et al., 2019) hanno dimostrato che le foreste *old growth*, ovvero le foreste “primarie”, non gestite dall’uomo mantengono anche ad età elevata, perfino oltre i 300 anni, valori positivi di assorbimento di gas serra, misurati come produttività netta di ecosistema. Queste foreste possono continuare ad accumulare carbonio, contrariamente alla teoria sulla loro *C-neutrality*, accettata normalmente nel passato. Vi sono però dei *caveat*, delle precisazioni da avanzare in merito a questi risultati scientifici come sottolineato dagli stessi autori: il bilancio ecosistemico positivo del Carbonio, anche ad età avanzate, è probabilmente legato in gran parte alla fertilizzazione carbonica e azotata degli ecosistemi, verificatasi in questi ultimi 50-60 anni ovvero all’aumento sempre più rapido della concentrazione di CO<sub>2</sub> atmosferica e delle deposizioni azotate al suolo che favoriscono molto più che in passato la fotosintesi e la produttività primaria netta delle foreste *old growth*. Inoltre, indispensabile affinché queste foreste mantengano un bilancio del Carbonio positivo, anche ad età avanzate, è che negli ecosistemi forestali, come quelli studiati, vi sia un’adeguata ripartizione delle diverse classi cronologiche ovvero che la rinnovazione naturale sia pressoché continua a livello di ecosistema forestale e che la densità strutturale diminuisca costantemente con l’età e al crescere della biomassa accumulata, per effetto della legge naturale dell’auto-diradamento. Processi questi che sono generalmente confermati nelle foreste naturali primarie ma che si ritrovano con difficoltà nelle foreste gestite e poi abbandonate del nostro continente europeo che sottostanno a un processo di invecchiamento e di lenta rinaturalizzazione.

In ogni caso, come osservato da numerosi autori sia in Nord America e sia in Europa la gestione delle foreste per la mitigazione ovvero per l'accumulo di Carbonio può trovarsi spesso in conflitto con altre esigenze anch'esse fondamentali come l'adattamento e la resilienza ai disturbi ambientali e ai cambiamenti climatici. Come hanno dimostrato Millar et al. (2015), Seidl et al. (2017) e Kimmins (2008) l'andamento crescente della frequenza dei disturbi ambientali (incendi, vento, parassiti) e dei mega-disturbi (ondate combinate di calore e siccità) stanno rendendo sempre più critica la stabilità degli ecosistemi forestali soprattutto delle foreste temperate e boreali. A parte il crescente fabbisogno di legname, biomateriale rinnovabile e a basse emissioni di Carbonio, per l'economia mondiale, una motivazione forte a favore della gestione forestale attiva deriva proprio dalle opportunità fornite dalla selvicoltura per favorire l'adattamento e la resilienza degli ecosistemi forestali nei confronti dei cambiamenti ambientali a livello globale.

Sulla base di numerosi esperimenti selvicolturali a scala di ecosistema, condotti soprattutto in Nord America e in Europa, grazie anche a simulazioni modellistiche validate mediante la rete *FluxNet* dei siti di misura dei flussi di C e altri gas, diversi gruppi di ricerca coinvolti (D'Amato et al., 2011; Ruiz-Peinado, 2017; Collalti et al., 2018) concludono sottolineando l'importanza di considerare una molteplicità di obiettivi per la gestione forestale, combinando la funzione di mitigazione e allocazione del Carbonio nell'ecosistema con il riconoscimento di altri processi fondamentali, quali la diversificazione strutturale e genetica, per assicurare l'adattamento di lungo termine dell'ecosistema nel contesto del cambiamento ambientale. Un esempio di interessante strategia per bilanciare queste diverse priorità potrebbe essere l'impiego di sistemi forestali disetaneiformi e a tagli successivi non uniformi, con elevato accumulo di Carbonio negli alberi maturi e nel terreno, combinata con la pratica dei diradamenti per creare eterogeneità spaziale e specifica per favorire un incremento del saggio di assorbimento di C negli alberi giovani, migliorando contemporaneamente la complessità strutturale e in specie. Peraltro, lo studio degli effetti della gestione selvicolturale è ancora più importante in ambiente mediterraneo, considerato particolarmente vulnerabile all'impatto dei cambiamenti climatici.

Nabuurs et al. (2017), grazie a ricerche finanziate da fondi intergovernativi a livello europeo con il coordinamento dello *European Forest Institute*, arrivano a proporre un nuovo modello di gestione forestale, la cosiddetta *climate smart forestry*, ovvero una gestione forestale orientata all'adattamento climatico e alla sostenibilità (selvicoltura clima-adattativa o resiliente) che favorisca l'allungamento dei turni e del ritmo di accrescimento arboreo grazie ai

diradamenti, l'accumulo di carbonio nel suolo mediante un'attenta gestione dei tagli e dei disturbi ambientali, lo stoccaggio di C nei prodotti legnosi a più lunga vita (uso strutturale del legno) e poi un loro impiego energetico alla fine del ciclo-di-vita, la conservazione delle foreste a maggior valore ecologico e la conversione di boschi degradati. Gli autori stimano che in questo modo sarebbe possibile raddoppiare il contributo del settore forestale alla mitigazione delle emissioni totali di Carbonio in Europa portandolo dall'attuale 13% a oltre il 20%, con un contributo significativo agli obiettivi di riduzione fissati con l'accordo di Parigi al 40% entro il 2030.

Si può sicuramente affermare con Bellassen & Luysaert (2014) che la gestione forestale è attualmente oggetto di un acceso dibattito scientifico e politico in rapporto agli obiettivi di accumulo del Carbonio e della resilienza al cambiamento del clima. Gli alberi assorbono anidride carbonica dall'atmosfera e, al contempo, il legno può sostituire i combustibili fossili e altri materiali ad alta intensità di carbonio come il cemento e l'acciaio con grandi benefici per la mitigazione climatica e in accordo con le diverse Convenzioni internazionali sull'ambiente. Tuttavia, se molto è stato appreso sul ciclo del carbonio nelle foreste, ci sono ancora troppe lacune nelle nostre conoscenze. Dobbiamo quindi incoraggiare i contributi scientifici sul funzionamento e la gestione degli ecosistemi forestali attraverso un vasto programma di ricerche ed esperimenti selvicolturali, di ecologia e biodiversità forestale.

#### BIBLIOGRAFIA

- AGNOLETTI M. (2002): *Bosco ceduo e paesaggio: processi generali e fattori locali*, in *Il Bosco ceduo in Italia*, a cura di O. Ciancio e S. Nocentini, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 23-62.
- APOLLONIO M. (2018): *L'evoluzione della distribuzione e consistenza degli ungulati in Europa*, «I Georgofili. Quaderni», 2017, II, pp. 7-18.
- ARCHAEOGLOBE PROJECT (2019): *Archaeological assessment reveals Earth's early transformation through land use*, «Science», 362, pp. 897-902.
- BAGNARESI U., FRATELLO G., GIANNINI R., PINZAUTI S., PROIETTI PLACIDI A., RADDI S., ROFFI F. (1999): *Analisi di modelli culturali multifunzionali in fustaie delle Alpi Orientali*, in *Progetto strategico foreste e produzioni forestali nel territorio montano*, Direzione Azienda FF. DD., pp. 135-156.
- BAGNARESI U., GIANNINI R., MERLO M., GRASSI G., MINOTTA G., FRATELLO G., PAFETTI D., PINI PRATO E., BRUNETTI M., PROIETTI PLACIDI AM. (2004): *Caratteristiche strutturali, biodiversità e produzioni sostenibili delle peccete disetanee del Comelico*, «Annali», Accademia Italiana di Scienze Forestali, 53, pp. 143-196.
- BASTIN J-F, FINEGOLD Y., GARCIA C., MOLlicONE D., REZENDE M., ROUTH D., ZIH-

- NER C. M., CROWTHER T.W. (2019): *The global tree restoration potential*, «Science», 365, pp. 76-79.
- BELLASSEN V. AND LUYSSAERT S. (2014): *Managing forests in uncertain times*, «Nature», 506, pp. 153-155.
- BIANCHI L., BARTOLI., PACI M., POZZI D. (2014): *Impatto degli ungulati sui boschi cedui della Valle del Bisenzio (Prato)*, «Forest@», 11, pp. 116-124. – doi: 10.3832/efor1259-011.
- BLASI C., BURRASCANO S., MATURANI A., SABATINI F.M. (2010): *Foreste vetuste in Italia*. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Palombi & Partner S.r.l., Roma, pp. 221.
- BOLOGNA G. (2011): *Biodiversità e scienza della sostenibilità*, «Annali», Accademia Italiana di Scienze Forestali, 59-60, pp. 37-74.
- BORGHETTI M. (2006): *Giazza, la foresta “creata” dai forestali un secolo fa*, «Forest@», 3, pp. 449-453.
- BORGHETTI M. (2019a): *Dopo la tempesta, i piani dell’uomo e la ricostituzione della foresta*, «Forest@», 16, 1-2. - doi: 10.3832/efor0071.016.
- BORGHETTI M. (2019b): *La doppia faccia del vento, come Jekyll e Hyd*, «Forest@», 16, 37-39. -doi: 10.3832/efor0070-016.
- BOSSEL H. (1999): *Indicators for sustainable development: theory, method, applications*, International Institute for Sustainable Development, ISBN: 1-895536-13-8.
- BOTTALICO F., NOCENTINI S., TRAVAGLINI D. (2016): *Linee guida per la ricostituzione del potenziale forestale nelle aree danneggiate dal vento: il caso dei boschi della Toscana*, «L’Italia Forestale e Montana», 71, 227-238. <http://dx.doi.org/10.4129/ifm.2016.4.04>.
- BRESCIANI A., LA MARCA O., RINALDINI G. (2018): *Indagine sui rapporti tra fauna ungulata e bosco nelle Foreste Casentinesi*, «I Georgofili. Quaderni», 2017-II, pp. 19-50.
- BREWBAKER J.L., HUTTON E.M. (1979), «New Agricultural Crop», Am. Assoc. Advance Sci. Selected Symp. 38, Washington D.C., 259, pp. 207-259.
- CALAMINI G., MALTONI A., TRAVAGLINI D., IOVINO F., NICOLACI A., MENGUZZATO G., CORONA P., FERRARI B., DI SANTO D., CHIRICI G., LOMBARDI F. (2011): *Stand structure attributes in potential Old-Growth Forests in the Apennines, Italy*, «L’Italia Forestale e Montana», 66, 365-381. <http://dx.doi.org/10.4129/ifm.2011.5.01>.
- CALZECCHI ONESTI R. (1977): Traduzione da Columella: *De re rustica*. Libro IV, Einaudi, Torino, pp. 329.
- CALZECCHI ONESTI R. (1984): Traduzione da Plinio il Vecchio: *Naturalis Historia*. Libro XVII, Einaudi, Torino, pp. 597-599.
- CAMBI M., CERTINI G., NERI F., MARCHI E. (2015): *Impact of heavy traffic on forest soils: a review*, «Forest Ecology and Management», 338, pp. 124-138.
- CAMORIANO L., FACCIOTTO G., MINOTTA G., TANI A. (2019): *Arboricoltura da legno e agroselvicoltura*, «Il Bosco», Accademia Italiana di Scienze Forestali, pp. 135-155.
- CANTIANI P., IORIO G., PELLERI F. (2005): *Effetti dei diradamenti in soprassuoli di pino nero (Pettenaio, Perugia)*, «Forest@», 2, pp. 207-216.
- CAVALLI R., AMISHEV D. (2019): *Steep terrain forest operations – challenges, technology development, current implementation, and future opportunities*, «International Journal of Forest Engineering», 30 (3), pp. 175-181.
- CHIARABAGLIO P.M., GIORCELLI A., ALLEGRO G. (2014): *Environmental sustainability of poplar stands*, in Actas de las Jornadas de Salicáceas 2014, Cuarto Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina “Sauces y Álamos para el desarrollo regional” Ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina, March 18-21, 2014. ISSN 1850-3543: pp. 8.

- CHIARUCCI A., PIOVESAN G. (2018): *La gestione forestale sostenibile non può prescindere dalla conoscenza ecologica e conservazionistica attuale*, «Forest@», 15, pp. 51-55. – doi 10.3832/efor2782-015.
- 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): *Forest damage inventory after the "Vaia" storm in Italy*, «Forest@», 16, pp. 3-9.
- CHIRICI G., BOTTALICO F., GIANNETTI F., ROSSI P., DEL PERUGIA B., TRAVAGLINI D., NOCENTINI S., MARCHI E., FODERI C., FIORAVANTI M., FATTORINI L., GUARIGLIA A., CIANCIO O., BOTTAI L., CORONA P., GOZZINI B. (2016): *Stima dei danni da vento ai soprassuoli forestali in Regione Toscana a seguito dell'evento del 5 marzo 2015*, «L'Italia Forestale e Montana», 71, pp. 197-213. <http://dx.doi.org/10.4129/ifm.2016.4.02>.
- CHIRICI G., NOCENTINI S. (2010): *Old-Growth forests in Italy: recent research developments and future perspectives*, «L'Italia Forestale e Montana», 65, pp. 475-480.
- CIANCIO O. (1996): *Il Bosco e l'uomo*, a cura di O. Ciancio, Accademia Italiana di Scienze Forestali, pp. 335.
- CIANCIO O. (2001): *Teoria e metodo della gestione forestale sostenibile*, «L'Italia Forestale e Montana», 56, pp. 313-319.
- CIANCIO O. (2002): *Teoria della gestione forestale sostenibile*. In: «Linee guida per la gestione delle risorse forestali e pastorali nei Parchi Nazionali», a cura di O. Ciancio, P. Corona, M. Marchetti, S. Nocentini, Accademia Italiana di Scienze Forestali, pp. 13-46.
- CIANCIO O. (2018): *Quale selvicoltura nel XXI secolo?*, «L'Italia Forestale e Montana», 73, pp. 3-48.
- 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, pp. 21-115.
- CIANCIO O., NOCENTINI S. (2000): *Il Silvomuseo di Vallombrosa: piano di assestamento dell'abetina dei Monaci Vallombrosani*, «L'Italia Forestale e Montana», 56, pp. 409-450.
- CIANCIO O., NOCENTINI S. (2002): *La conservazione della biodiversità nei sistemi forestali. 1. Ipotesi per il mantenimento degli ecosistemi*, «L'Italia Forestale e Montana», 57, pp. 505-512.
- CIANCIO O., NOCENTINI S. (2003a): *La conservazione della biodiversità nei sistemi forestali. 2. Specie, strutture, processi*, «L'Italia Forestale e Montana», 58, pp. 1-6.
- CIANCIO O., NOCENTINI S. (2003b): *La conservazione della biodiversità nei sistemi forestali. 3. Biodiversità, gestione forestale e metodo scientifico*, «L'Italia Forestale e Montana», 58, pp. 61-70.
- CIANCIO O., NOCENTINI S. (2004): *Il bosco ceduo: Selvicoltura assestamento gestione*, Accademia Italiana di Scienze forestali, Firenze, pp. 721.
- CIANCIO O., CORONA P., MARCHETTI M., NOCENTINI S. (A cura di) (2002): *Linee guida per la gestione delle risorse forestali e pastorali nei Parchi Nazionali*, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 165.

- CITTERIO G., PUXEDDU M., GIANNINI R. (2007): *The Quercus pubescens relic forest on the Gennargentu Mountains (Sardinia, Italy)*, «Forest@», 4, pp. 11-18.
- CLAUSER F. (1954): *Boschi ed economia forestale del Parco d'Abruzzo*, «Collana Verde. Ministero Agricoltura e Foreste», Roma, pp. 85.
- COLLALTI A., TROTTA C., KEENAN T.F., IBROM A., BOND-LAMBERTY B., GROTE R., VICCA S., REYER C.P.O., MIGLIAVACCA M., VEROUSTRATE F., ANAV A., CAMPIOLI M., SCOCIMARRO E., ŠIGUT L., GRIECO E., CESCATTI A. AND MATTEUCCI G. (2018): *Thinning Can Reduce Losses in Carbon Use Efficiency and Carbon Stocks in Managed Forests Under Warmer Climate*, «Journal of Advances in Modeling Earth Systems», <https://doi.org/10.1002/2018MS001275>
- CORONA P., CHIANUCCI F., QUATRINI V., CIVITARESE V., CLEMENTEL F., COSTA C., FLORES A., MENESATTI P., PULETTI N., SPERANDIO G., VERANI S., TURCO R., BERNARDINI V., PLUTINO M., SCRINZI G. (2017): *Precision forestry: riferimenti concettuali, strumenti e prospettive di diffusione in Italia*, «Forest@», 14: pp. 1-21, - doi: 10.3832/efor2285-014.
- CORONA P., TOGNETTI R., MONTI A., NARDI S., FACCOLI M., SALVI S., CASINI L., PANTALEO M.A., PERGHER G., CAVALLI R., CORTI G., BUZZINI P., TERRIBILE F., MOTTA R., TONON G., ROMANO R., PLUTINO M., PALETTO A., SALLUSTIO L., COMINO R., GARRONE C., MARTELO G., ANGELINI P., MONARCA D., ZIMBALATTI G. (2019): *Produzioni agricole e forestali per biomassa a impiego energetico*, «Forest@», 16, pp. 26-31. - doi: 10.3832/efor3001-016.
- CUTINI A., MATTIOLI W., ROGGERO F., FABBIO G., ROMANO R., QUATRINI V., CORONA P. (2018): *Selvicoltura nei cedui italiani: le normative sono allineate alle attuali condizioni?*, «Forest@», 15, pp. 20-28. - doi: 10.3832/efor2772-015.
- 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, pp. 803-816.
- DE PHILIPPIS A. (1949): *I diradamenti boschivi nella scienza, nella sperimentazione nell'arte culturale*, Universitaria Editrice, Firenze, pp. 340.
- DE PHILIPPIS A. (1991): *L'ecosistema forestale*, «Selvicoltura ed ambiente», Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 24-50.
- DEIDDA A., BERGANTE S., CASTRO G., CHIARABAGLIO P.M., FACCIOTTO G., PAGLIOLICO S., CARBONARO C. (2018): *Life Cycle Assessment (LCA): i nuovi cloni di pioppo a maggiore sostenibilità ambientale permettono vantaggi ambientali tangibili*, Atti del IV Congresso Nazionale di Selvicoltura, Torino, 5-9 novembre 2018 (In corso di stampa).
- DEVOTO G., OLI G.C. (1980): *Dizionario della lingua italiana*, Dizionari Le Monnier, Firenze, pp. 2712.
- DI FILIPPO A., BIONDI F., PIOVESAN E., ZIACO E. (2017): *Tree ring-based metric for assessing old-growth forest naturalness*, «Journal of Applied Ecology», 54, pp. 737-749. - doi: 10.1111/1365-2664.12793.
- FABBIO G., CUTINI F. (2017): *Il ceduo oggi: quale gestione oltre le definizioni ?*, «Forest@», 14, pp. 257-274, - doi: 10.3832/efor2562-014.
- FACCIOTTO G., MINOTTA G., PARIS P., PELLERI F. (2015): *Tree farming, Agroforestry and the new green revolution, a necessary alliance*, Proceedings of the Second International Congress of Silviculture, Florence, November 26th - 29th 2014, Vol. II: pp. 658-669.
- FRANKEL O.H., BROWN H.D., BURDON J.J. (1995): *The conservation of plant biodiversity*, Cambridge University Press. Cambridge (UK), pp. 299.

- GASPERINI P., TABACCHI G. (a cura di ) (2011): *L'inventario nazionale della foreste e dei serbatoi di carbonio INFC 2005. Secondo inventario nazionale italiano. Metodi e risultati*, MIPAAF, CFS, CRA, Edagricole, Milano.
- GAYER K. (1880): *Der Waldbau*, Wiegandt, Hempel & Parey, Berlin, pp. 700.
- GAYER K. (1886): *Der gemischte wald, seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirthschaft*, Parey, Berlin, pp. 168.
- GIANNINI R. (1999): *Rimboschimento*, in *Ecologia Applicata (Società Italiana di Ecologia)*, a cura di A. Provini, S. Galassi, R. Marchetti, Citta Studi Edizioni, Torino, pp. 505-516.
- GIANNINI R. (2015): *La valorizzazione della biomassa legnosa*, in *Il vino nel legno*, a cura di R. Giannini, Firenze University Press, 173, pp. 111-129.
- GIANNINI R. (2015): *Luragano del 5 marzo 2015*, «Forest@», Sisefeditor.org, <https://sisef.org/2015/03/26/editoriale-luragano-del-5-marzo-2015/>.
- GIANNINI R. (2016): *Legno ed enologia.*, «L'Italia Forestale e Montana», 71, pp. 319-329. <http://dx.doi.org/10.4129/ifm.2016.6.01>.
- GIANNINI R., SUSMEL L. (2006): *Foreste, boschi, arboricoltura da legno*, «Forest@», 3, pp. 464-487.
- GIANNINI R., NOCENTINI S. (2010): *Selvicoltura: biodiversità, risorse genetiche, aree protette e fauna*, «L'Italia Forestale e Montana», 65, pp. 97-111
- GIANNINI R., GABBRIELLI A. (2013): *Evoluzione e ruolo dei sistemi agricoli e forestali multifunzionali di montagna*, «L'Italia Forestale e Montana», 68, pp. 259-268. <http://dx.doi.org/10.4129/ifm.2013.5.0>.
- GIANNINI R., GIORDANO E., STETTLER R.F. (1999): *Biodiversità e miglioramento genetico in una selvicoltura sostenibile*, Atti del II Congresso Nazionale di Selvicoltura, Venezia 24-27 giugno 1998, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 175-21.
- GRASSI G. (2006): *Fino a che età le foreste accumulano carbonio?*, «Forest@», 3, pp. 459-460.
- GRIGOLATO G., MARCHI E., LASCHI A., CAVALLI R. (2019): *Considerations on forest road networks and related works to support the implementation of the operative guidelines of the consolidate law on forests and forest chains*, «Forest@», 16, pp. 49-55. - doi: 10.3832/efor3175-016.
- HIPPOLITI G. (2012): *Sui problemi delle utilizzazioni nelle foreste di faggio*. In *Sul trattamento delle faggete in Italia: dal metodo scientifico all'empirismo dei nostri giorni*, «I Georgofili. Quaderni», 2012, III, pp. 17-48.
- HUNTER M.L. (1989): *What constitutes an old-growth stand?*, «Journal of Forestry», 87, pp. 33-35.
- HUNTER M.L. (1990): *Wildlife, Forests, and Forestry. Principles of Managing Forests for Biological Diversity*, Prentice & Hall, Englewood Cliffs, N.Y., pp. 370.
- IUFRO (2019): *Climate change and forest health*, in <https://www.iufro.org/science/task-forces/former-task-forces/climate-change-forest-health/>
- JOHNSON T. (2017): *Logset 12H GTE hybrid-electric harvester*, «Forestry.com.», in <https://www.forestry.com/editorial/logset-12h-gte-electric-hybrid-harvester/>
- KIMMINS J.P. (2008): *From science to stewardship: Harnessing forest ecology to the service of society*, «Forest Ecology and Management», 256, pp. 1625-1635.
- KORPEL S. (1982): *Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest on example of natural forests of Slovakia*, «Acta Facultatis Forestalis», 24, pp. 9-30.
- KORPEL S. (1995): *Die Urwalder der Westkarpaten*, Fischer, Stuttgart, Jena, New York, pp. 310.

- LA MARCA O. (2019): *Gli schianti nella pineta della Feniglia: un danno annunciato*, «Gergofili INFO. Newsletter 27 novembre 2019», pp. 1-2.
- LUYSSAERT S., DETLEF SCHULZE E., BORNER A., KNOHL A., HESSEMOLLER D., LAW B.E., CIAIS P., GRACE J. (2008): *Old-Growth Forests as global carbon sinks*, «Nature», 455, pp. 213-215.
- MARCHETTI M. (2011): *International perspectives on evolution of systemic silviculture*, «L'Italia Forestale e Montana», 65, pp. 203-217. - doi: 10.4129/ifm.2011.3.04.
- 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, pp. 170-184. - doi: 10.3832/efor0696-009.
- MARCHETTI M., BLASI C. (2010): *Old-Growth Forests in Italy: towards a first network*, «L'Italia Forestale e Montana», 65, pp. 679-698.
- MARCHETTI M., MOTTA R., PETTENELLA D., SALLUSTIO L., VACCHIANO G. (2018): *Le foreste e il sistema foresta-legno in Italia: verso una nuova strategia per rispondere alle sfide interne e globali*, «Forest@», 15, pp. 41-50. - doi: 10.3832/efor2796-015.
- MARCHETTI M., MOTTA R., SALBITANO F., VACCHIANO G. (2019): *Piantare alberi in Italia per il benessere del pianeta. Dove come e perché*, «Forest@», 16, pp. 59-65. - doi: 10.3832/efor3260-016.
- MEADOWS D., ZAHN E., MILLING P. (1972): *The limits to growth*, Universe Book, N.Y.
- MEMOLI A. (2003): *Ruolo della fauna selvatica negli equilibri ecologici dei boschi dell'Appennino Tosco-Romagnolo*, «L'Italia Forestale e Montana», 5, pp. 408-420.
- MERCURIO R. (2019): *La rinaturalizzazione dei rimboschimenti: significati, tecniche e aspettative*, «I Gergofili. Quaderni», 2018, II, pp. 13-28.
- MERCURIO R., SCHIRONE B. (2015): *Black Pine Afforestation in Abruzzo (Central Italy): Perspectives and Management*, «Journal of Environmental Science and Engineering», 4, pp. 494-500.
- MILLAR C. AND STEPHENSON N.L. (2015): *Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance*, «Science», 349, pp. 823-826.
- MOSELLER A., MAJOR J.E., RAJORA O.P. (2003): *Old-growth red spruce forests as reservoirs of genetic diversity and reproductive fitness*, «Theor. Appl. Genet.», 106, pp. 931-937.
- MOTTA R. (1966): *Impact of wild ungulates on forest regeneration and tree composition of mountain forests in Western Italian Alps*, «Forest Ecology and Management», 88, pp. 93-98. - doi: 10.1016/S0378-1127(96)03814-5.
- MOTTA R. (2008): *Il ciclo del carbonio nelle foreste vetuste*, «Forest@», 5, pp. 302-305.
- MOTTA R. (2018): *L'equilibrio della natura non esiste (e non è mai esistito!)*, «Forest@», 15, pp. 56-58. - doi: 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, pp. 94-98.
- MOTTA R., GARBARINO M., BERRETTI R., MELONI F., NOSENZO A., VACCHIANO G. (2015): *Development of old-growth characteristics in uneven-aged forest of Italian Alps*, «European Journal of Forest Research», 134, pp. 19-31. - doi: 10.1007/s10342-014-0830-6.
- NABUURS G.J., DELACOTE PH., ELLISON D., HANEWINKEL M., HETEMÄKI L., LINDNER M. (2017): *By 2050 the Mitigation Effects of EU Forests Could Nearly Double through Climate Smart Forestry*, «Forests», 8, 484 - doi: 10.3390/f8120484.
- NASCIMBENE J., THOR G., NIMIS P.L. (2013): *Effects of forest management on epiphytic lichens in temperate deciduous forests of Europe: a review*, «Forest Ecology and Management», 298, pp. 27-38. - doi: 10.1016/j.foreco.2013.03.008.

- NERI F., FODERI C., LASCHI A., FABIANO F., CAMBI M., SCIARRA G., APRE M.C., CENNI A., MARCHI E. (2016): *Determining exhaust fumes exposure in chainsaw operations*, «Environmental Pollution», 218, pp. 1162-1169.
- NOCENTINI S. (1995): *La rinaturalizzazione dei rimboschimenti: Una prova su pino nero e laricio nel complesso di Monte Morello (Firenze)*, «L'Italia Forestale e Montana», 50, pp. 423-435.
- NOCENTINI S. (2000): *La rinaturalizzazione dei sistemi forestali: aspetti concettuali*, «L'Italia Forestale e Montana», 55, pp. 211-218.
- NOCENTINI S. (2002): *Inquadramento etico*, in Ciancio O., Corona P. Marchetti M., Nocentini S., *Linee guida per la gestione sostenibile delle risorse forestali e pastorali nei Parchi Nazionali*, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 47-62.
- NOCENTINI S. (2010a): *Le specie forestali esotiche: la sperimentazione di Aldo Pavari e le prospettive attuali*, «L'Italia Forestale e Montana», 65, pp. 449-457, ISSN: 0021-2776
- NOCENTINI S. (2010b): *Old-Growth Forests in Italy: inputs for forest management and planning in areas with long-standing human impact*, «L'Italia Forestale e Montana», 65, pp. 545-555.
- NOCENTINI S. (2011): *The forest as a complex biological system: theoretical and practical consequence*, «L'Italia Forestale e Montana», 66, pp. 191-196, <https://doi.org/10.4129/ifm.2011.3.02>.
- NOCENTINI S. (2014): *Biodiversità e sistemi forestali*, in O. CIANCIO, *Storia del pensiero forestale. Selvicoltura filosofia etica*, Rubettino Editore, Soveria Mannelli, pp. 451-479, ISBN: 9788849841145
- NOCENTINI S. (2019): *La gestione del bosco come sistema biologico complesso: una questione di teoria e di metodo*, «L'Italia Forestale e Montana», 74, pp. 11-23, <https://doi.org/10.4129/ifm2019.1.02>.
- NOCENTINI S., COLL L. (2013): *Mediterranean Forest: Human Use and Complex Adaptive Systems*, in *Managing Forests as Complex Adaptive Systems. Building Resilience to the Challenge of Global Change* (C. Messier, K.J. Puettmann, K.D Coates eds.), Routledge, London, N.Y., pp. 214-243.
- NOCENTINI S., CORONA P. (2016): *Linee guida per la gestione sostenibile delle fustaie di pino nero e delle fustaie e dei cedui "invecchiati" di cerro della Toscana*, Regione Toscana, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 78.
- NOCENTINI S., MASUTTI L., MOTTA R. (2019): *Selvicoltura, biodiversità, Fauna*, in *Il Bosco bene indispensabile per un presente vivibile e un futuro possibile* (a cura di O. Ciancio, S. Nocentini), Accademia Italiana di Scienze Forestali, pp. 39-51.
- NOCENTINI S., PULETTI N., (2009): *La rinaturalizzazione dei rimboschimenti. Prova sperimentale su un popolamento di pino nero e laricio*, Atti del III Congresso di Selvicoltura, 16-19 ottobre 2008, Taormina (ME), Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 217-227 - doi: 10.4129/CNS2008.028.
- ODUM E.P. (1973): *Principi di Ecologia*, Piccin Editore, Padova, pp. 584.
- ORLANDINI S. (2019): *Sostenibilità della coltivazione del nocciolo in Italia*, Atti Giornata di studio: *Analisi e prospettive della coltivazione del nocciolo in Italia*, Accademia dei Georgofili, Firenze. (In corso di stampa).
- PACI M. (2004): *Problemi attuali della selvicoltura naturalistica*, «Forest@», 1, pp. 59-69.
- PARIS P., CONSALVO C., ROSATI A., MELE M., FRANCA A., CAMILLI F., MARCHETTI M. (2019): *Agroselvicoltura ed intensificazione ecologica*, «Forest@», 16, pp. 10-15, - doi: 10.3832/efor3053-016.

- PARIS P., DALLA VALLE C. (2017): *Hybrid poplar and oak along drainage ditches*, «Agroforestry Innovation», Agforward Research Project, E.U., [www.agforward.eu](http://www.agforward.eu).
- PAVARI A., DE PHILIPPIS A. (1941): *La sperimentazione di specie forestali esotiche in Italia. Risultati del primo ventennio*, «Annali della Sperimentazione Agraria», 38.
- PIOVESAN G., DI FILIPPO A., ALESSANDRINI A., BIONDI F., SCHIRONE B. (2005): *Structure, dynamics and dendroecology of an old-growth Fagus forest in the Apennines*, «Journal of Vegetation Science», 16, pp. 13-28.
- PIOVESAN G., ALESSANDRINI A., BALIVA M., CHITI T., D'ANDREA E., DE CINTI B., DI FILIPPO A., HERMANIN L., LAUTERI M., SCARASCIA MUGNOZZA G., SCHIRONE B., ZIACO E., MATTEUCCI G. (2010): *Structural patterns, growth processes, carbon stocks in an Italian network of old-growth beech forests*, «L'Italia Forestale e Montana», 65, pp. 557-590. - doi: 10.4129/ifm.2010.5.07.
- PIOVESAN G., BERNABEI M., DI FILIPPO A., ROMAGNOLI M., SCHIRONE B. (2003): *A long-term tree ring beech chronology from a high-elevation old growth forest of centrale Italy*, «Dendrochronologia», 21, pp. 1-10.
- PIUSSI P. (1979): *Le traitement en taillis de certaines forêts de la Toscane du XVIème au XXème siècle*, «Actes du Symposium International d'Histoire Forestiere», Nancy, 24-28 Septembre 1979, E.N.G.R.E.F., Tome I, pp. 50-57.
- PIUSSI P. (1980): *Il trattamento a ceduo di alcuni boschi toscani dal XVI al XX secolo*, «Dendronatura», 1, pp. 8-15.
- PIUSSI P., REDON O. (2001): *Storia agraria e selvicoltura*, «Medievistica italiana e storia agraria (a cura di A. Cortonesi e M. Montanari)», CLUEB, Bologna, pp. 179-209.
- PRATO E., BRUNETTI M., PROIETTI PLACIDI A. (2004): *Caratteristiche strutturali, biodiversità e produzioni sostenibili delle peccete disetanee del Comelico*, «Annali Accademia Italiana Scienze Forestali», 53, pp. 143-196.
- PUGH T.A.M., LINDESKOG M., SMITH B., POULTER B., ARNETH A., HAVERD V. AND CALLE L. (2019): *Role of forest regrowth in global carbon sink dynamics*, «PNAS», 116, pp. 4382-4387.
- PUTZ F.E., SIST P., FREDERICKSEN T., DYKSTRA D. (2008): *Reduced-impact logging: challenges and opportunities*, «Forest Ecology and Management», 256, pp. 1427-1433.
- PUXEDDU M., CITTERIO G., GIANNINI R. (2010a): *The last Gennargentu downy oak giants*, «L'Italia Forestale e Montana», 65, pp. 783-787.
- PUXEDDU M., CITTERIO G., GIANNINI R. (2010b): *Monitoraggio spazio/tempo della pineta costiera di Is Arenas (OR)*, Atti del Terzo Simposio Internazionale. *Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: problematiche e tecniche di misura*, Livorno, IBIMET-CNR, pp. 139-144.
- PUXEDDU M., MARRAS G., MURINO G. (2012): *Paulownia tree planting in Sardinia (Italy) and its evaluation for agroforestry systems and sustainable land use*, «Journal of Environmental Science and Engineering», 1, pp. 1192-1195.
- PUXEDDU M., CITTERIO G. (2018): *Fraxinus angustifolia for planting in Sardinia (Italy). A case study of innovative agroforestry system*, «International Journal of Environmental e Agriculture Research», 12, pp. 8-10.
- QUATRINI V., MATTIOLI W., ROMANO R., CORONA P. (2017): *Caratteristiche produttive e gestione dei cedui in Italia*, «L'Italia Forestale e Montana», 72, pp. 273-313. - doi: 10.4129/ifm.2017.5.01.
- REUTER F. (2017): *EU & US Emission Standards for Diesel engines in forest machines*, «Forestry.com.», in <https://www.forestry.com/editorial/equipments/eu-us-emission-standards-diesel-engines-forest-machines/>

- ROCKSTRÖM J., STEFFEN W., NOONE K., PERSSON Å., CHAPIN III F.S., LAMBIN E.F., LENTON T.M., SCHEFFER M., FOLKE C., SCHELLNHUBER H.J., NYKVIST B., DE WIT C.A., HUGHES T., VAN DER LEEUW S., RODHE H., SÖRLIN S., SNYDER P.K., COSTANZA R., SVEDIN U., FALKENMARK M., KARLBERG L., CORELL R.W., FABRY J., HANSEN J., WALKER B., LIVERMAN D., RICHARDSON K., CRUTZEN P., FOLEY J.A. (2009): *A safe operating space for humanity*, «Nature», 461, pp. 472-475.
- RUIZ-PEINADO R., BRAVO-OVIEDO A., LOPEZ-SENEPLEDA E., BRAVO F. AND DEL RIO M. (2017): *Forest management and Carbon sequestration in the Mediterranean region: a review*, «Forest Systems», 26, pp. 1-25.
- SCHÜTZ J.P. (1999): *Close-to-nature silviculture: is this concept compatible with species diversity?*, «Forestry» 72, pp. 361-368.
- 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. AND REYER C.P.O. (2017): *Forest disturbances under climate change*, «Nature Climate Change», 7, pp. 395-402.
- SEUFERT G. (2010): *Il "Kyoto Experiment" del CCR di Ispra: La Pioppicoltura come sequestratore di carbonio*, presentation held at the VII th Edition of Vegetalia Agroenergie, March 19-21 2010, Cremona (Italy).
- SJOLTE-JORGENSEN J. (1967): *The influence of spacing on growth and development of coniferous plantations*, «International Review of forestry Research», II, pp. 43-94.
- SORBETTI GUERRI F. (2018): *Sistemi innovativi per il monitoraggio faunistico, la prevenzione e la gestione dei danni da ungulati selvatici*, «I Georgofili. Quaderni», 2017, II, pp. 76-95.
- STEFFEN W., RICHARDSON K., ROCKSTRÖM J., CORNELL S.E., FETZER I., BENNETT E.M., BIGGS R., CARPENTER S.R., DE VRIES W., DE WIT C.A., FOLKE C., GERTEN D., HEINKE J., MACE G.M., PERSSON L.M., RAMANATHAN V., REYERS B., SÖRLIN S. (2015): *Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet*, «Science», 347.
- SUSMEL L., CAPPELLI M., VIOLA F., BASSATO G. (1975): *Autoecologia del pino radiato al Grighini (Sardegna centro-occidentale)*, «Annali Centro di Economia Montana delle Venezie, IX», CEDAM, Padova, pp. 180.
- SUSMEL L., VIOLA F., BASSATO G. (1976): *Ecologia della lecceta del Supramonte di Orgosolo (NU)*, «Annali del Centro di Economia Montana delle Venezie», CEDAM, Padova, pp. 261.
- VETTORI C., PAFFETTI D., CIANI L., GIANNINI R. (2010): *Fonte Novello Old-Growth-Forest*, «L'Italia Forestale e Montana», 65, pp. 637-651.
- VITOUSEK P.M., MOONEY H.A., LUBCHENCO J., MELILLO J.M. (1997): *Human Domination of Earth's Ecosystems*, «Science», 277, pp. 494-499.