

Simone Blanc, Cristian  
Accastello, Angela Mosso,  
Ettore Bianchi, Federico  
Lingua, Filippo Brun

*Dipartimento di Scienze Agrarie,  
Forestali e Alimentari - Università  
degli Studi di Torino*

*E-mail: simone.blanc@unito.it,  
cristian.accastello@unito.it, angela.  
mosso@unito.it, etторе.bianchi@uni-  
to.it, federico.lingua@unito.it, filippo.  
brun@unito.it*

*Parole chiave: Crediti di carbonio,  
gestione forestale, analisi di scenario,  
modelli di accrescimento forestale,  
servizi ecosistemici*

*Keywords: carbon credit, forest  
management, scenario analysis, forest  
growth models, ecosystem services*

*JEL: C31, O13, Q23, Q5*

## **Confronto fra modelli di gestione forestale tradizionale e carbon oriented in ambito alpino**

This paper compares the traditional vs carbon-oriented forest management of two coniferous stands in the Alpine environment, quantifying the carbon sink, the carbon credit generated and the economic results. The results show the economic feasibility of the transition from current forest management strategies to a carbon-oriented method in the considered context. Carbon-oriented management provides relevant environmental benefits, combatting climate change, even though some elements of uncertainty still persist, particularly in relation to achieving a profitable management, specifically due to the volatile voluntary carbon credit market.

---

### **Definizioni**

*Assortimento*: ogni categoria di prodotto legnoso retraibile dal legname ricavato dall'intervento di utilizzazione.

*Auxometria*: branca della dendrologia che studia lo sviluppo volumetrico del bosco.

*Break even price*, è il prezzo dei crediti generati nello scenario *Carbon Oriented* che permette di pareggiare i risultati economici dello scenario *business as usual*.

*Compresa forestale*: la più grande suddivisione di una proprietà forestale accorpata sulla base della sua gestione passata e presente.

*Intervento di utilizzazione*: taglio del bosco realizzato secondo le regole selvicolturali vigenti al fine di ottenere un reddito dalla vendita del legname.

*Particella strutturale*: la più piccola parte accorpata di bosco caratterizzata da un assetto evolutivo-colturale ed uno stadio di sviluppo comune.

*Piano dei tagli*: programma o previsione degli interventi selvicolturali da eseguire in una compresa forestale e per singola particella strutturale.

*Piano Forestale Aziendale*: il piano di gestione delle proprietà boschive, validità 15 anni.

*Provvigione*: il volume di legno presente in bosco.

*Ripresa*: il volume di legno esboscato in conseguenza di un intervento selvicolturale

## 1. Introduzione

La crescita delle attività agricole e industriali dell'ultimo secolo ha determinato l'incremento delle emissioni di inquinanti e dei relativi problemi legati alla qualità dell'ambiente, mettendo in crisi alcuni postulati dell'economia neoclassica e in particolare l'assunto che il mercato sia in grado di raggiungere autonomamente uno stato di equilibrio coincidente con la massima utilità sociale (Tomao *et al.*, 2013). Infatti, il raggiungimento di un elevato livello di benessere è condizionato in misura sempre maggiore da fattori, come l'inquinamento, legati a processi produttivi e di consumo non esplicitamente contemplati dal mercato ma che determinano effetti, anche notevoli, riconducibili al concetto di esternalità (Brun, 2002). Per riassorbire le esternalità all'interno delle dinamiche di mercato si sono nel tempo sviluppati tre approcci, utilizzabili anche in combinazione, come identificati da Giupponi *et al.* (2009): il primo prevede l'introduzione di limiti legali (divieti e soglie minime, tasse ecc.); il secondo si fonda su metodi informativo-educativi (materiali divulgativi, incontri pubblici, ecc); infine, l'ultimo si affida a meccanismi di mercato, sotto forma di incentivi all'interno di mercati già esistenti o attraverso la creazione di nuovi mercati (certificazioni).

Diversi provvedimenti normativi, tanto a livello comunitario quanto a quello nazionale, prevedono una remunerazione delle esternalità ambientali. Tra questi, a livello nazionale un esempio è contenuto nella legge Galli (L. 36/1994), che prevede una tariffazione addizionale del servizio idrico per finanziare interventi forestali nei comprensori montani. A livello europeo si può citare il cosiddetto "greening", definito nell'articolo 37 del regolamento UE n. 1307/2013, che incentiva la conservazione di ambienti agropastorali e la diversificazione delle colture attraverso premi economici. Inoltre, a livello internazionale sono i programmi REDD e REDD+ a stimolare le attività di gestione forestale sostenibile finalizzate alla riduzione delle emissioni e la valorizzazione degli stock di carbonio (World Bank *et al.*, 2017).

Se i processi e gli elementi degli ecosistemi generano una vasta gamma di esternalità positive, le attività umane d'altro canto producono prevalentemente esternalità negative che si traducono in alterazioni dell'ambiente. Una delle alterazioni più preoccupanti è il cambiamento climatico causato dall'aumento della concentrazione di carbonio in atmosfera, dovuto al consumo di combustibili fossili (IPCC, 2018). Come è noto, le foreste hanno un ruolo importante nel ciclo globale del carbonio, infatti trattengono circa i due terzi di quello complessivamente fissato in tutti gli ecosistemi terrestri (IPCC, 2000). Allo stesso tempo esse risultano particolarmente sensibili al cambiamento climatico, poiché il lungo ciclo vitale degli alberi non consente loro di adattarsi alle condizioni ambientali in rapido mutamento (Granata *et al.*, 2019), con impatti differenti a seconda dell'area geografica considerata. Come indicato da diversi autori (Etzold *et al.*, 2019; Lindner *et al.*, 2010; Serra-Varela *et al.*, 2017), per la zona alpina e il Nord Europa tale impatto si manifesterà probabilmente con un aumento dell'accrescimento legnoso, dovuto all'allungamento della stagione vegetativa, mentre nell'area mediterranea si prevede un aumento dei fenomeni di stress, soprattutto idrici, con un conseguente ag-

gravio degli effetti legati ai disturbi biotici e abiotici e una riduzione della capacità delle foreste di fissare il carbonio atmosferico.

Dato il contesto brevemente descritto, risulta di grande rilievo per il mantenimento di ecosistemi forestali resilienti e produttivi, individuare strategie selvicolturali in grado di considerare e contrastare gli effetti del cambiamento climatico. A tal proposito le linee guida della FAO (2013) suggeriscono una gestione volta a rafforzare i popolamenti contro le avversità, tendendo parallelamente ad aumentare lo stock di carbonio nelle foreste. Tale gestione implica talvolta decisioni virtuose, ma spesso antieconomiche, che vanno quindi rese sostenibili attraverso incentivi (Blanc *et al.*, 2018; Ollikainen, 2016). Alcuni meccanismi di mercato per la gestione delle esternalità, nati inizialmente con propositi di conservazione dell'integrità ambientale, sono stati indicati come strumenti idonei anche a perseguire il contrasto al cambiamento climatico (He *et al.*, 2019), quali, ad esempio, i Pagamenti per Servizi Ecosistemici (PES) e i Mercati per Servizi ecosistemici (MES), codificati formalmente tra la fine degli anni '90 e i primi anni 2000 (Gómez-Baggethun *et al.*, 2010).

La comunità internazionale ha espresso il proprio impegno a contrastare il cambiamento climatico, con il protocollo di Kyoto e ha ribadito tale impegno con gli accordi di Parigi. Sulla scorta di questo impegno l'Unione Europea, con la Direttiva 2003/87/CE ha istituito il sistema comunitario per lo scambio dei crediti di carbonio, ovvero delle quote di emissione di gas a effetto serra, successivamente le linee politiche e di azione sono proseguite con il regolamento europeo LULUCF (Reg. EU 2018/841). In Italia il collegato ambientale alla Legge di Stabilità (L.n. 221 del 28 dicembre 2015) ha introdotto un sistema di remunerazione dei servizi ecosistemici e il TUFF, Testo unico in materia di foreste e filiere forestali (D.L. 34 del 4 aprile 2018), all'articolo 7 ha approvato le linee guida per generare crediti di carbonio da attività forestali e agricole.

Il presente lavoro ha l'obiettivo di proporre uno schema metodologico per quantificare i crediti di carbonio *ex ante* in riferimento al contesto normativo della Regione Piemonte che, con la delibera della Giunta Regionale del 6/2/2017 n. 24-4638, ha istituito il mercato forestale volontario del carbonio sul suo territorio. Nello specifico la delibera definisce il quadro generale delle pratiche selvicolturali da assumere come ordinarie in termini di indici di prelievo per ciascuna forma di governo e trattamento (opzione *business as usual*); a partire da questa baseline è possibile identificare le pratiche selvicolturali sostenibili, caratterizzate da maggiori rilasci di massa legnosa, e quantificare l'impegno volontario per una ulteriore conservazione di biomassa in bosco (Arpa *et al.*, 2018).

Lo schema proposto confronta due scenari alternativi: la gestione attuale, attuata in presenza di un piano forestale aziendale approvato che costituisce a tutti gli effetti un vincolo normativo, definita "*business as usual*" (BAU) e una gestione selvicolturale orientata a incrementare la quantità di carbonio in foresta "*carbon oriented*" (CO), ipotizzando la presenza di un piano forestale aziendale che segue le norme e le linee guida della delibera regionale sopra citata. Questi scenari gestionali sono stati confrontati da un punto di vista (i) economico, indagando se i minori ricavi della gestione CO possano essere compensati dalla potenziale vendita dei crediti generati sul mercato regionale volontario, e (ii) ambientale stimando

il *sink* di carbonio ottenuto dalle forme di gestione messe a confronto. Per valutare la fattibilità economica degli scenari CO si è creato uno schema di calcolo del valore economico da attribuire ai crediti generati; successivamente il modello proposto è stato testato su due casi di studio per valutarne l'affidabilità. Il lavoro descrive questi passaggi metodologici, confronta i risultati ottenuti nei due scenari e li commenta mettendone in luce anche le potenziali implicazioni sociali su scala locale che il passaggio alla forma di gestione CO può generare.

## 2. Metodologia

### 2.1 Caso di studio

Le aree considerate nel caso di studio sono due comprensori forestali di proprietà comunale, ubicati in alta Valle Susa, in provincia di Torino, con una superficie complessiva di circa 730 ha di boschi di conifere del piano montano e subalpino con destinazione protettiva-produttiva.

La prima area di studio ricade nel comune di Chiomonte, ha una superficie di 230 ha, dei quali il 25% è servita da viabilità agro-silvo pastorale, è composta prevalentemente da un lariceto (*Larix decidua* Mill.) e per un quinto da abetine (*Abies alba* Mill.). La seconda area di studio ricade nel comune di Sauze d'Oulx, è invece un lariceto in purezza di 500 ha e il 70% è servito da viabilità. I due casi studio presentano inoltre assortimenti legnosi di differente qualità tecnologica e valore di mercato; si tratta di legname che ha prevalente destinazione da imballaggio per Chiomonte, mentre si tratta di legname per travature, falegnameria e segati per Sauze d'Oulx.

Le singole aree da sottoporre al taglio sono state poi individuate tra quelle "servite o servibili" da viabilità forestale: le prime possono essere utilizzate con i mezzi forestali, impiegando il reticolo stradale presente, le seconde sono quelle raggiungibili con il miglioramento della viabilità previsto nei piani forestali aziendali (PFA).

L'ente che gestisce entrambi i comprensori è il Consorzio Forestale Alta Val di Susa (CFAVS), che dagli anni '50 si occupa delle proprietà silvo-pastorali dei 14 comuni che lo compongono, garantendo la continuità gestionale dei 26 mila ettari che rappresentano le superfici forestali (dei quali 18 mila certificati PEFC) e dei circa 22 mila ettari di superficie pastorale. In questo contesto prevalgono i lariceti, che coprono circa la metà della superficie boscata, seguita da pinete di pino silvestre, castagneti e abetine.

### 2.2 Costruzione degli scenari

Al fine di valutare le conseguenze economiche dell'adozione di una gestione selvicolturale volta all'accumulo di carbonio nelle due comprese forestali analizzate, si è proceduto ad un'analisi di scenario, la cui struttura è descritta in Figura

Figura 1. Struttura dell'analisi di scenario.

Contesto legislativo	Elementi del modello di analisi	Risultati
Regolamento forestale	Carbon Budget Model - CBM	Valore di macchiatico delle utilizzazioni
Linee guida regionali (solo scenario CO)	Spatial-based Economic Model - SEM	Valore attuale netto
	Yet Another Forest Optimiser - YAFO	Reddito annuo equivalente
	CARBOMARK (solo scenario CO)	Crediti di carbonio (solo scenario CO)
		Break even point (ottenuto dal confronto tra i due scenari)

1. Questa tecnica di indagine consente di ipotizzare, tramite delle assunzioni qualitative e/o quantitative, i risultati derivanti dalla variazione di alcuni elementi di influenza, detti *driver* del cambiamento, presi in considerazione (Blanc *et al.*, 2019). L'adozione di scenari inoltre permette di ottenere delle informazioni di primaria importanza nei processi decisionali, fornendo un supporto informativo rilevante, credibile e legittimo ai gestori forestali ed ai decisori politici (Hauck *et al.*, 2019). Si è quindi proceduto alla costruzione di due scenari che si sviluppano per un periodo di un trentennio. Questo arco di tempo è stato scelto in quanto oltre a coincidere con la durata prevista di due PFA, rappresenta il periodo minimo richiesto dalla Regione Piemonte per il mantenimento della gestione forestale finalizzata allo stoccaggio di carbonio.

Il primo scenario sviluppato è il BAU, che simula l'evoluzione del bosco mantenendo gli obiettivi gestionali e le tipologie d'intervento attualmente adottate dai gestori. Il suo fine è perciò la massimizzazione dei redditi derivanti dalla vendita del legname esboscato. La trasposizione in forma quantitativa dei *driver* del cambiamento è stata definita in termini di intensità di prelievo delle utilizzazioni, facendo riferimento agli indici di prelievo ordinari per la Regione (Regione Piemonte, 2018) e ai dati storici ricavabili dai precedenti piani dei tagli. Per le sue caratteristiche, questo scenario costituisce perciò la base di riferimento (*benchmark*) su cui valutare l'influenza dei *driver* considerati.

Il secondo scenario è invece di tipo esplorativo, in quanto mira a valutare le conseguenze economiche derivanti da un cambio di obiettivo gestionale nelle comprese forestali, aggiungendo alla produzione di assortimenti legnosi l'accumulo di carbonio in foresta. Anche questo scenario è di tipo quantitativo e descrive

uno sviluppo alternativo, ma plausibile, dell'attuale situazione. In particolare, il principale elemento preso in considerazione in questo scenario denominato *carbon oriented CO* è la riduzione dell'intensità di taglio rispetto alle condizioni gestionali ordinarie. Nei casi esaminati, le linee guida regionali hanno permesso di identificare i sistemi selvicolturali tecnicamente corretti, perpetuabili nel tempo e compatibili con le caratteristiche stazionali e di composizione del bosco e degli assortimenti legnosi ottenibili, con l'obiettivo di rilasciare in bosco una maggiore quantità di massa legnosa rispetto all'ordinario. Successivamente, per la modellizzazione degli scenari si è fatto ricorso al parere di selvicoltori, che gestiscono i boschi del CFAVS da alcuni decenni, per identificare i corretti prelievi legnosi e le modalità di intervento secondo la gestione BAU e quella CO, basata sulle indicazioni delle linee guida regionali.

### 2.3 Modellizzazione degli scenari

Le due tipologie di gestione sono state applicate ad entrambi i casi di studio. Gli effetti della loro adozione sono stati simulati utilizzando quattro diversi modelli deterministici che hanno permesso di: simulare la crescita del bosco e stimare i cosiddetti *pool* di carbonio, con l'uso del *Carbon Budget Model* (CBM), realizzato da Kurz *et al.* (2009); stimare i prezzi di macchiatico degli interventi realizzabili, grazie all'uso del *Spatial-based Economic Model* (SEM), di Accastello *et al.* (2017); ottimizzare la gestione della foresta secondo un approccio economico, con lo *Yet Another Forest Optimiser* (YAFO), di Hartl *et al.* (2013); e quantificare i crediti di carbonio grazie allo schema metodologico identificato dal progetto Carbomark (Progetto Carbomark, 2011) e adattato al contesto.

L'utilizzo coordinato dei quattro modelli permette, esportando su fogli di calcolo i risultati di CBM e YAFO, originariamente sviluppati con software autonomi (al contrario di SEM e Carbomark), di stimare i prelievi totali, il carbonio sequestrato, i crediti di carbonio generati, il valore del prezzo di macchiatico e il *break even price*, ovvero il prezzo di vendita dei crediti di carbonio generati negli scenari CO che pareggia la perdita di valore di macchiatico degli scenari BAU. Le principali informazioni che costituiscono gli input e output dei diversi modelli utilizzati sono riportate in Tabella 1; data la sequenzialità con cui questi strumenti sono stati utilizzati nei due scenari, si noti la frequenza con cui gli output di un modello costituiscono parte degli input di un altro modello negli step successivi.

Le unità di intervento di riferimento impiegate nei modelli sono le "particelle strutturali" e i dati dendro-auxometrici, impiegati nel modello CBM, sono stati raccolti in campo con rilievi relascopici e sono stati utilizzati per stimare l'evoluzione del bosco nel periodo considerato. Il risultato del modello consiste in diverse serie di dati auxometrici che descrivono l'evoluzione delle particelle in risposta agli interventi selvicolturali effettuabili nel periodo di tempo considerato, stimando sia le quantità di legname ritraibile, sia le quantità di carbonio accumulato in bosco.

Ai dati tecnici così ottenuti, il modello SEM unisce quelli economici, al fine di determinare i valori di macchiatico degli interventi. In dettaglio, i volumi di legna-

**Tabella 1.** Flusso input/output del modello.

Input	Modello	Output
Dati dendrometrici	CBM	Evoluzione auxometrica del popolamento in risposta agli interventi
Intensità degli interventi selvicolturali		Volumi legnosi retraibili dagli interventi
Volumi legnosi retraibili dagli interventi		Stima dei pool di carbonio accumulati
Informazioni topografiche e logistiche	SEM	Definizione della strategia di lavoro più conveniente
Dati economici delle utilizzazioni	YAFO	Localizzazione spazio-temporale degli interventi
Stima dei pool di carbonio accumulati		Valore di macchiatico degli interventi
Valore di macchiatico degli interventi		Piano dei tagli
Stima dei pool di carbonio accumulati	CARBOMARK	Valore Attuale Netto della gestione
Piano dei tagli		Crediti di Carbonio prodotti

me ottenibili dagli interventi stimati dal CBM vengono impiegati dal modello SEM per stimare i ricavi. Per quanto riguarda poi i costi delle utilizzazioni, essi sono valutati combinando costi orari delle macchine e della manodopera con le rese unitarie delle operazioni di abbattimento, concentramento ed esbosco (Sierra-Pérez *et al.*, 2018). La stima delle rese orarie è avvenuta adoperando il “valore di vocazionalità”, un indice che descrive l’attitudine di ogni particella all’utilizzazione forestale sulla base delle sue caratteristiche topologiche e ambientali (Accastello *et al.*, 2018). Questo indice ha inoltre contribuito a selezionare le particelle da includere nell’analisi: infatti le aree in cui esso assumeva valori pari a zero, dove pertanto gli interventi non erano tecnicamente realizzabili, sono state escluse dalle analisi.

Disponendo dei dati auxometrici ed economici necessari, il modello YAFO consente di ottimizzare la gestione forestale nell’arco di tutto il periodo considerato individuando per ogni particella, il momento ottimale in cui intervenire, corrispondente a quello che massimizza il valore di macchiatico (Härtl *et al.*, 2013). I risultati di YAFO, elaborati a livello di particella, forniscono indicazioni sia gestionali, sia di natura economica, dato che la somma dei valori di macchiatico attualizzati costituisce il valore attuale netto (VAN) dell’area. Dall’applicazione del modello ad entrambi gli scenari, si ottiene la stima del minor reddito derivante dalla scelta CO per ogni particella, espresso in reddito annuo equivalente (Blanc *et al.*, 2019); mentre l’insieme di queste indicazioni è la base per individuare il piano dei tagli BAU e CO da applicare nella compresa nei prossimi 30 anni.

Infine, l’aumento di biomassa legnosa conseguente all’adozione della gestione CO, descritta nel piano dei tagli ottimizzato, viene utilizzato dal quarto modello per stimare i crediti di carbonio vendibili sul mercato volontario. La metodologia applicata per questa contabilizzazione trae ispirazione da quella individuata

nell'ambito del progetto CARBOMARK (2011) ed è coerente alla norma ISO 14064-2 "Specifiche e guida, al livello di progetto, per la quantificazione, il monitoraggio, e la rendicontazione delle riduzioni delle emissioni di gas ad effetto serra o dell'aumento della loro rimozione" integrata dalla metodologia VCS (3GreenTree Ecosystem services Ltd. and Ecosystem Restoration Associates Inc., 2013) per la quantificazione delle tonnellate di carbonio equivalente ( $t_{CO2eq}$ ).

Più precisamente, la gestione CO delle due aree considerate corrisponde, secondo la classificazione VCS, a un microprogetto, essendo la superficie interessata inferiore a 1'000 ettari. Per definizione, tale pratica gestionale comporta un incremento del sequestro di carbonio o un abbattimento delle sue emissioni, rispetto ad una tradizionale.

In relazione al breve arco temporale considerato ed al notevole grado d'incertezza nella stima, ci si è limitati a calcolare il carbonio sequestrato nel soprassuolo, trascurando i serbatoi costituiti dal legno morto, dalla lettiera e dalla parte ipogea. Le stime ottenute sono quindi da considerare conservative. Per calcolare i crediti di carbonio ( $Ct_{CO2eq}$ ) generati, espressi in , si è utilizzata la seguente equazione proposta nel progetto Carbomark (2011), opportunamente modificata e adattata al contesto studiato (Eq. 1):

$$Ct_{CO2eq} = [\sum_{i=1}^n (R_{BAU,i} - R_{CO,i}) \times Sup_i] \times FCEB \times CCBC \times C_{CO2} \quad (1)$$

In cui:

- $R_{BAU}$  = ripresa prevista con lo scenario BAU [ $m^3/ha$ ]
- $R_{CO}$  = ripresa prevista con lo scenario CO [ $m^3/ha$ ]
- $Sup$  = Superficie della particella [ha]
- $FCEB$  = fattore di conversione ed espansione della biomassa per trasformare il volume legnoso cormometrico in biomassa secca totale, [ $t/m^3$ ]
- $CCBC$  = Coefficiente di conversione del volume di biomassa secca in carbonio [tC/t]
- $C_{CO2}$  = Coefficiente di conversione del carbonio in  $CO_{2eq}$  [ $t CO_{2eq}/tC$ ]

In queste valutazioni va ancora ricordato che è opportuno prevedere un margine di sicurezza, chiamato *buffer*, non calcolando una quota di carbonio come compensazione per possibili inversioni di accumulo dovute agli incendi. In base al rischio medio annuo per il tipo forestale caratterizzante l'area di studio, pari a 0,3% (Berretti *et al.*, 2012), l'accumulo di biomassa è stato ridotto in entrambi gli scenari e di conseguenza anche il conteggio dei crediti prodotti.

Si è infine proceduto a calcolare il BEP, espresso in €/t $_{CO2eq}$  ovvero il prezzo al quale i crediti dovrebbero essere immessi sul mercato per compensare la riduzione di reddito a seguito dell'adozione della gestione CO. Per farlo si è utilizzata l'equazione seguente (Eq. 2):

$$BEP = \frac{VAN_{BAU} - VAN_{CO}}{Ct_{CO2eq} CO - Ct_{CO2eq} BAU} \quad (2)$$



Nella quale:

- $VAN_{BAU}$  è il VAN dato dallo scenario BAU [€]
- $VAN_{CO}$  è il VAN dato dallo scenario CO [€]
- $Ct_{CO2eq}CO$  è il risultato ottenuto dall'eq. 1 per lo scenario CO [ $t_{CO2eq}$ ]
- $Ct_{CO2eq}BAU$  è il risultato ottenuto dall'eq. 1 per lo scenario BAU [ $t_{CO2eq}$ ]

I valori stimati di BEP sono lordi dei costi di transazione, necessari per il riconoscimento e la vendita dei crediti di carbonio ottenuti. Questa semplificazione metodologica è legata all'attuale notevole incertezza dei costi di brokeraggio ed è inoltre conforme all'esperienza del progetto ForCredit (Molteni and Blanchard, 2013), in cui i costi di transazione sono stati completamente assorbiti dagli acquirenti.

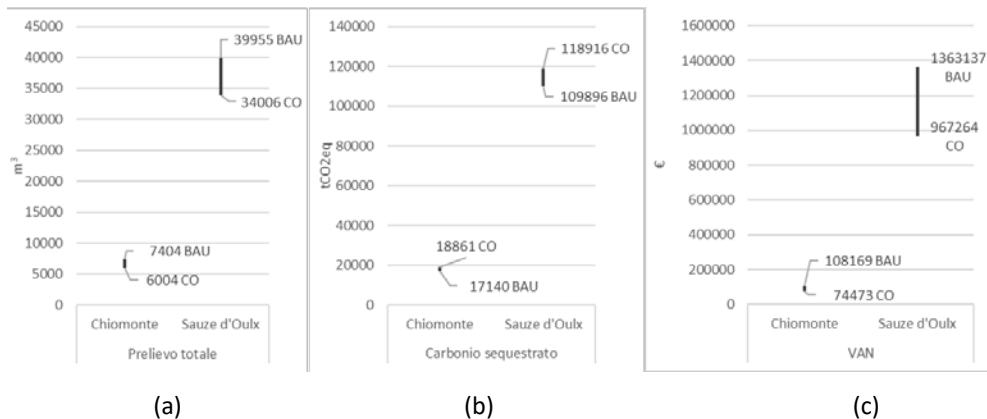
### 3. Risultati

I risultati riportati in Figura 2a evidenziano che gli scenari CO comportano una generale riduzione dell'intensità dei prelievi per entrambi i casi esaminati, rispetto agli scenari BAU, che si riflette sui volumi esboscati durante l'intero trentennio, che scendono del 19% a Chiomonte e del 15% a Sauze d'Oulx.

La differenza tra l'ammontare complessivo di carbonio sequestrato nello scenario CO rispetto a quello BAU (Figura 2b) consente di stimare i crediti di carbonio generati, che sono pari a 1'721  $t_{CO2eq}$  (28 crediti/ettaro) a Chiomonte e a 9'020  $t_{CO2eq}$  a Sauze d'Oulx (25 crediti/ettaro).

Da un punto di vista economico "tradizionale", legato alla sola vendita degli assortimenti, gli scenari CO sono meno remunerativi rispetto a quelli BAU (Figura 2c). Considerando che i boschi oggetto di studio sono di proprietà comunale, si individuano dei potenziali mancati redditi per le casse comunali, che passano da

Figura 2. Risultati della modellizzazione dei due scenari nei due casi di studio (la barra verticale evidenzia la differenza tra i due scenari per i casi studiati).



79 €/ha/anno a 54 €/ha/anno per Chiomonte e da 169 a 119 €/ha/anno per Sauze d'Oulx. La differenza nei risultati economici tra i due casi è dovuta essenzialmente alla qualità degli assortimenti retraibili, emerge pertanto che l'aspetto di mercato è fondamentale per valutare l'economicità della gestione *carbon oriented*.

Considerando che in presenza di un PFA approvato, come ipotizzato, la vendita dei crediti generati può avvenire anche prima di effettuare l'intervento stesso (*ex ante*), in quanto il piano costituisce a tutti gli effetti un vincolo normativo, la gestione CO permette di annullare i mancati redditi rispetto alla gestione BAU quando il prezzo unitario dei crediti di carbonio (BEP), necessario a pareggiare la redditività tra i due scenari è rispettivamente di 19,57 a Chiomonte e 43,89 €/t<sub>CO<sub>2</sub>eq</sub> a Sauze d'Oulx.

#### 4. Discussione e conclusioni

Gli effetti del cambiamento climatico indotto dall'uomo, per quanto incerti, si prevedono gravosi e la mitigazione preventiva è una soluzione attuabile e consigliata (Şen, 2017). Il riconoscimento economico delle esternalità positive, fornite da una gestione sostenibile delle foreste, appare un obiettivo non solo auspicabile ma anche realizzabile; attraverso strumenti incentivanti la tutela ambientale, quali i sistemi di pagamento per i servizi ecosistemici e i mercati per i servizi ecosistemici (Direzione generale delle foreste del Mipaaf, 2019). Perché queste esperienze siano valide e producano effettivamente ciò per cui sono state ideate è però necessaria una solida struttura normativa di supporto (McAfee, 2016). Per tali motivi l'attuazione di questi strumenti non può prescindere da un interesse manifesto delle istituzioni.

I primi passi mossi dalla Regione Piemonte sembrano in linea con le considerazioni precedenti, essendo indirizzati verso la promozione di un mercato volontario di crediti di carbonio ottenuti dalle pratiche selvicolturali. Il presente lavoro ha proposto degli strumenti ed una metodologia replicabili e utili a valutare, in questo contesto normativo, la fattibilità economica dell'applicazione del mercato dei crediti di carbonio, in contesti forestali gestiti in modo regolare da decenni.

L'uso integrato dei 4 modelli ha permesso di stimare e confrontare i risultati economici e ambientali dei due scenari ipotizzati, rispondendo agli obiettivi che erano stati posti dagli autori. Tuttavia, si tratta di una prima sperimentazione ed entrambi i comprensori forestali analizzati sono poco rappresentativi della realtà forestale italiana, vista la gestione continuativa per fini produttivi che dura da decenni. I selvicoltori interpellati per una prima validazione informale del modello hanno rilevato che il processo concettuale che ha portato alla stima dei crediti e dei risultati ottenuti è coerente, evidenziando le potenzialità di questo strumento per l'ottimizzazione della gestione forestale, e la sua capacità di fornire indicazioni ai gestori sia in termini economici che pianificatori.

Da un punto di vista economico, la gestione CO può rappresentare localmente una valida alternativa alle attività gestionali ordinarie. Ciò sembra particolarmente interessante nei casi in cui i boschi producano assortimenti di media o bassa quali-

tà, situazione molto diffusa nella realtà italiana (Accastello *et al.*, 2018). Invece, nel caso in cui un soprassuolo fornisca assortimenti di maggior pregio, l'elevato prezzo "ombra" dei crediti renderebbe quasi sicuramente difficile la loro collocazione sul mercato.

Va ancora ricordato come, da un punto di vista ambientale, le attuali forme di gestione forestale siano già sostenibili e l'ulteriore incremento di carbonio nella biomassa e nel suolo, ottenibile con una gestione *carbon oriented*, può determinare ulteriori benefici a scala globale per contrastare i cambiamenti climatici. Occorre tuttavia prestare attenzione alle implicazioni sociali correlate alla gestione CO. Mentre il gestore potrebbe compensare le mancate entrate con la vendita dei crediti di carbonio, potrebbero prodursi impatti negativi sulle economie locali, poiché i minori volumi tagliati implicherebbero una contrazione delle filiere legate alla risorsa legno e a livello locale le conseguenze di tale riduzione potrebbero risultare significative e ripercuotersi sull'occupazione e sulla gestione del territorio (Lingua *et al.*, 2019). Tale aspetto potrebbe in parte essere compensato dall'aumento dei prezzi di vendita del legname, considerando che le produzioni nei paesi sviluppati probabilmente caleranno nei prossimi anni a favore di forme di gestione finalizzate allo stoccaggio del carbonio in foresta (Buongiorno and Zhu, 2013). Tuttavia a livello locale tale forma di compensazione potrebbe presentare delle criticità legate alle componenti intrinseche di mercato e alle capacità di implementare questo schema gestionale nelle attuali forme di *governance*.

La grande criticità derivante dall'applicazione di una gestione selvicolturale orientata all'accumulo di carbonio è rappresentata dalle incertezze del mercato volontario dei crediti e dalla necessità che le condizioni considerate permangano costanti nel trentennio. Al momento in Italia non vi è un'offerta stabile di crediti e questo impedisce l'affermarsi di una domanda reale, facendo supporre che siano ancora possibili notevoli variazioni di prezzo. Gli scambi di crediti che si sono verificati negli ultimi anni si configurano infatti più come contrattazioni tra privati che come scambi sul libero mercato. Questo elemento rappresenta tuttora la criticità del MES, infatti nonostante i PES siano stati introdotti dalla Legge di Stabilità del 2015, D.L. 25 dicembre 2015, che prevede la remunerazione del servizio di fissazione del carbonio, ai principi legislatori non è seguito un decreto attuativo di disciplina dei processi economici connessi. Anche il Testo unico in materia di Foreste e Filiere Forestali, D.Lgs. n.34 del 3 aprile 2018, individua i principi e i criteri generali dei PES (Direzione generale delle foreste del Mipaaf, 2019), enfatizzando la necessità di sensibilizzare amministratori e gestori sul ruolo delle foreste e della gestione delle risorse per lo stoccaggio del carbonio e la valorizzazione economica di questo servizio di regolazione. Dall'altra è evidente la necessità di intraprendere un ulteriore sforzo per passare dalle dichiarazioni di intenti e dalle fonti normative e regolatorie a un effettivo mercato dei diversi servizi ecosistemici che fornisce la foresta.

In conclusione, il nostro lavoro ha permesso di mettere in evidenza le variabili necessarie per disegnare e valutare scenari alternativi nella gestione forestale attiva, considerando le implicazioni legate al cambiamento climatico. Pur trattandosi di un'applicazione realizzata in condizioni specifiche (boschi di conifere in ambito

montano, con piani di gestione attivi da tempo), vi sono le premesse per estendere queste prime valutazioni ad altri contesti. Lo schema di valutazione adottato si è rivelato efficace, tuttavia necessita di una implementazione, specialmente integrando al meglio i pareri dei diversi esperti interpellati, ad esempio introducendo l'uso di tecniche di analisi multicriterio per scopo decisionale (Sacchelli and Bernetti, 2018). Allo stesso modo, anche l'uso integrato dei diversi modelli può essere migliorato, includendo delle analisi di sensitività che consentano di individuare le variabili più influenti nel determinare il risultato finale (Accastello *et al.*, 2018), e degli elementi di variabilità nelle assunzioni che costituiscono la base informativa degli stessi (ad es. il prezzo del legno), al fine di aumentare il grado di affidabilità dei risultati forniti. Si auspica perciò che il modello proposto possa divenire uno strumento di supporto alla gestione attiva delle proprietà forestali interessate ad inserirsi nel mercato dei crediti di carbonio.

## Bibliografia

- 3GreenTree Ecosystem services Ltd., Ecosystem Restoration Associates Inc. (2013). *VCS Verified Carbon Standard - A global benchmark for Carbon. Quantification of GHG emission reductions and removals*. [WWW Document]. URL <http://www.3greentree.com/> (accessed 5.7.19).
- Accastello C., Blanc S., Mosso A., Brun F. (2018). Assessing the timber value: A case study in the Italian Alps. *For. Policy Econ.* 93, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.05.010>
- Accastello C., Brun F., Borgogno-Mondino E. (2017). A Spatial-Based Decision Support System for wood harvesting management in mountain areas. *Land use policy* 67: 277-287. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.05.006>
- Arpa, Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Regione Piemonte (2018). Relazione sullo stato dell'ambiente - Piemonte 2018 - Sezione 4. Foreste [WWW Document]. URL <http://relazione.ambiente.piemonte.it/2018/it/territorio/fattori/foreste> (accessed 5.6.19).
- Berretti R., Bottero A., Bruno E., Della Beffa G., Freppaz M., Giordano L., Gonthier P., Gottero F., Mosca A., Motta R., Nicolotti G., Vacchiano G., Viglietti D., Wermelinger B. (2012). *Foreste di protezione diretta: disturbi naturali e stabilità nelle Alpi occidentali*. Compagnia delle foreste, Arezzo.
- Blanc S., Accastello C., Bianchi E., Lingua F., Vacchiano G., Mosso A., Brun F. (2019). An integrated approach to assess carbon credit from improved forest management. *J. Sustain. For.* 38: 31-45. <https://doi.org/10.1080/10549811.2018.1494002>
- Blanc S., Gasol C.M., Martínez-Blanco J., Muñoz P., Coello J., Casals P., Mosso A., Brun F. (2019). Economic profitability of agroforestry in nitrate vulnerable zones in Catalonia (NE Spain). *Spanish J. Agric. Res.* 17: e0101. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019171-12118>
- Blanc S., Lingua F., Bioglio L., Pensa R., Brun F., Mosso A., 2018. Implementing Participatory Processes in Forestry Training Using Social Network Analysis Techniques. *Forests* 9: 463. <https://doi.org/10.3390/f9080463>
- Brun F. (2002). Multifunctionality of mountain forests and economic evaluation. *For. Policy Econ.* 4: 101-112. [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(02\)00010-2](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(02)00010-2)
- Buongiorno J., Zhu S. (2013). Consequences of carbon offset payments for the global forest sector. *J. For. Econ.* 19: 384-401. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2013.06.005>
- Direzione generale delle foreste del Mipaaf (2019). *RaFITALIA 2017-2018, rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia*. Prima ed. 3emmegrafca S.n.c., Firenze.
- Etzold S., Ziemnińska K., Rohner B., Bottero A., Bose A.K., Ruehr N.K., Zingg A., Rigling A. (2019). One century of forest monitoring data in Switzerland reveals species- And site-specific trends of climate-induced tree mortality. *Front. Plant Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00307>

- FAO (2013). *Climate change guidelines for forest managers*. [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/3/a-i3383e.pdf>
- Giupponi C., Galassi S., Pettenella D., Secco L., Gatto P., Costantini M. (2009). *Definizione del metodo per la classificazione e quantificazione dei servizi ecosistemici in Italia. Progetto: "Verso la Strategia Nazionale per la Biodiversità: i contributi della Conservazione Ecoregionale"*. Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione per la Protezione della Natura, Roma.
- Gómez-Baggethun E., de Groot R., Lomas P.L., Montes C. (2010). The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecol. Econ.* 69: 1209-1218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>
- Granata M.U., Gratani L., Bracco F., Catoni R. (2019). Carbon dioxide sequestration capability of an unmanaged old-growth broadleaf deciduous forest in a Strict Nature Reserve. *J. Sustain. For.* 38: 85-96. <https://doi.org/10.1080/10549811.2018.1504685>
- Härtl F., Hahn A., Knoke T. (2013). Risk-sensitive planning support for forest enterprises: The YAFO model. *Comput. Electron. Agric.* 94: 58-70. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.03.004>
- Hauck J., Schleyer C., Priess J.A., Veerkamp C.J., Dunford R., Alkemade R., Berry P., Primmer E., Kok M., Young J., Haines-Young R., Dick J., Harrison P.A., Bela G., Vadineanu A., Görg C. (2019). Combining policy analyses, exploratory scenarios, and integrated modelling to assess land use policy options. *Environ. Sci. Policy* 94: 202-210. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.009>
- He J.J., Huang J., Zhao S. (2019). Internalizing governance externalities: The role of institutional cross-ownership. *J. financ. econ.* <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2018.07.019>
- IPCC (2018). *Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. World Meteorol. Organ.
- IPCC (2000). *Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. [WWW Document]. URL <https://www.ipcc.ch/report/land-use-land-use-change-and-forestry/> (accessed 5.6.19).
- Kurz W.A., Dymond C.C., White T.M., Stinson G., Shaw C.H., Rampley G.J., Smyth C., Simpson B.N., Neilson E.T., Trofymow J.A., Metsaranta J., Apps M.J. (2009). CBM-CFS3: A model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards. *Ecol. Modell.* 220: 480-504. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.10.018>
- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer M.J., Marchetti M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* 259: 698-709. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023>
- Lingua F., Mosso A., Brun F., Blanc S. (2019). A Survey of Innovative Training Preferences Among Italian Loggers. *Small-scale For.* 18: 21-38. <https://doi.org/10.1007/s11842-018-9406-5>
- McAfee K. (2016). Green economy and carbon markets for conservation and development: a critical view. *Int. Environ. Agreements Polit. Law Econ.* 16: 333-353. <https://doi.org/10.1007/s10784-015-9295-4>
- Molteni F., Blanchard G. (2013). *Piani forestali aziendali per la valorizzazione dei crediti di carbonio*. Fondazione per l'Ambiente T. Fenoglio ONLUS, Torino.
- Ollikainen M. (2016). Forest management, public goods, and optimal policies. *Annu. Rev. Resour. Econ.* 8: 207-226. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100815-095450>
- Progetto Carbomark (2011). *Manuale di gestione dei crediti locali del carbonio* [WWW Document]. URL <http://www.carbomark.org>
- Regione Piemonte (2018). *Statistiche sui tagli boschivi - Regione Piemonte* [WWW Document]. URL <https://www.regione.piemonte.it/web/temi/ambiente-territorio/foreste/gestione-bosco-taglio/statistiche-sui-tagli-boschivi> (accessed 5.6.19).
- Sacchelli S., Bernetti I. (2018). Integrated Management of Forest Ecosystem Services: An Optimization Model Based on Multi-objective Analysis and Metaheuristic Approach. *Nat. Resour. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11053-018-9413-4>
- Şen Z., 2017. Flood modeling, prediction and mitigation. *Flood Modeling, Prediction and Mitigation*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52356-9>

- Serra-Varela M.J., Alía R., Daniels R.R., Zimmermann N.E., Gonzalo-Jiménez J., Grivet D. (2017). Assessing vulnerability of two Mediterranean conifers to support genetic conservation management in the face of climate change. *Divers. Distrib.* 23: 507-516. <https://doi.org/10.1111/ddi.12544>
- Sierra-Pérez J., García-Pérez S., Blanc S., Boschmonart-Rives J., Gabarrell X. (2018). The use of forest-based materials for the efficient energy of cities: Environmental and economic implications of cork as insulation material. *Sustain. Cities Soc.* 37. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.008>
- Tomao A., Carbone F., Marchetti M., Santopuoli G., Angelaccio C., Agrimi M. (2013). Boschi, alberi forestali, esternalità e servizi ecosistemici. *L'Italia For. e Mont.* 68: 57-73.
- World Bank, Ecofys, Vivid Economics (2017). State and Trends of Carbon Pricing 2017. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1218-7>