

SUSANNA NOCENTINI (*) - NICOLA PULETTI (*) - DAVIDE TRAVAGLINI (*)

PIANIFICAZIONE E USO SOSTENIBILE DELLE RISORSE FORESTALI NELLA FILIERA LEGNO-ENERGIA: UNA PROPOSTA METODOLOGICA (1)

(*) Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali, Università degli Studi di Firenze.

Il presente contributo illustra una metodologia per la stima della produzione potenziale di biomassa legnosa applicabile in ambiti territoriali caratterizzati dalla presenza di fustaie. Quale criterio di sostenibilità ecologico-forestale, viene utilizzato il principio della «provvidenza minimale». Il metodo permette di quantificare la biomassa disponibile nel tempo attraverso stime di carattere prudenziale che si svincolano dai metodi dell'assessamento classico.

Per sviluppare la procedura proposta è necessario (i) definire il contesto spazio-temporale (ii) predisporre una compartimentazione in unità di riferimento per il comprensorio esaminato e (iii) stimare la provvidenza reale in funzione delle diverse tipologie forestali presenti. L'entità dell'utilizzazione teoricamente possibile in ciascuna unità di riferimento viene definita sulla base del confronto tra provvidenza reale e provvidenza minimale.

Questa metodologia è stata applicata a un'area di studio in Toscana contraddistinta dalla presenza di fustaie di pino marittimo su una superficie totale di 5476 ettari. La biomassa complessivamente disponibile è stata stimata, per un periodo di 20 anni, in poco meno di 10.000 Mg, con una disponibilità media annua pari a 473 Mg.

Parole chiave: distretto bioenergetico; biomassa forestale; pianificazione forestale; provvidenza minimale.

Key words: bioenergetic districts; forest biomass; forest planning; safe minimum standard.

Citazione - NOCENTINI S., PULETTI N., TRAVAGLINI D., 2011 – *Pianificazione e uso sostenibile delle risorse forestali nella filiera legno-energia: una proposta metodologica*. L'Italia Forestale e Montana, 66 (4): 293-303. doi: 10.4129/ifm.2011.4.04

1. INTRODUZIONE

Il contributo dei combustibili fossili alla produzione di energia è ancora oggi predominante. In Italia, a esempio, i consumi energetici distinti per fonte sono coperti per il 39% da petrolio, il 25% da gas naturale, il 17% da energia elettrica, quasi il 5% da carbone, circa il 4% da rinnovabili e rifiuti e il restante 10% da calore (ENEA, 2010).

I problemi che derivano dall'uso dei combustibili fossili sono principalmente di carattere ambientale – in particolare le emissioni di gas serra nell'atmosfera – e di reperibilità della risorsa stessa – le loro scorte nel nostro pianeta

sono destinate ad esaurirsi (EEA, 2006). Per questo, l'impegno e la sensibilità globale si stanno orientando verso la ricerca di risorse alternative capaci di soddisfare le sempre crescenti richieste energetiche del pianeta, come testimoniato dall'aumento, su scala planetaria, del 230% circa degli investimenti globali per le *renewable energy technologies* nel periodo 2005-2009 (ENEA, 2010).

La Regione Toscana, con Legge n. 39 del 2005 "Disposizioni in materia di energia", cui ha fatto seguito l'elaborazione del Piano di indirizzo energetico regionale (REGIONE TOSCANA, 2008), valido fino al 2010, ha stabilito le proprie linee fondamentali di programmazione energetica. Attraverso il Piano, la Regione fa propri gli obiettivi europei fissati per il 2020 (CONSIGLIO UE, 2007).

In Toscana, il consumo annuo di energia elettrica è di poco superiore a 20.000 GWh, con

¹ Lavoro svolto nell'ambito del progetto MIUR PRIN 2007 "Distretti energetici agroforestali sostenibili" (Coordinatore nazionale: S. Nocentini).

un tasso di crescita pari a circa il 2% annuo (TERNA, 2009). Il comparto industriale ne assorbe circa il 35%, i consumi civili e i trasporti consumano ciascuno poco più del 30%, mentre l'agricoltura meno del 2% (REGIONE TOSCANA, 2008).

Il continuo aumento della richiesta di energia unito alla scarsa autoefficienza energetica del nostro Paese sono elementi che stanno continuando a spingere verso l'uso di fonti alternative ai combustibili fossili. Tra queste, la biomassa forestale assume un ruolo determinante (AA.VV., 2009).

Con le Leggi Finanziarie del 2007 e del 2008, oltre a norme relative al miglioramento dell'efficienza energetica delle abitazioni e degli impianti industriali, sono stati introdotti nel nostro Paese dei sistemi di incentivazione pubblica tesi a favorire lo sviluppo e la diffusione di impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti rinnovabili.

In Toscana, questo sistema di incentivazione pubblica statale incentrato sulla gestione degli impianti è stato integrato dall'impiego di fondi regionali e di fondi comunitari a sostegno dei costi di investimento da sostenere per installare impianti alimentati dalle rinnovabili.

Anche a causa di questo rinnovato interesse verso il legno come fonte di energia, sta crescendo la richiesta di stime sufficientemente attendibili della disponibilità di biomasse forestali destinate all'uso energetico (AA.VV., 2009; LASSERRE *et al.*, 2011).

Condurre analisi di questo tipo, però, è un compito piuttosto complesso (PETTENELLA, 2002), soprattutto perché gli aspetti da considerare sono numerosi e di diversa natura (biologica, ecologica, economica, tecnica, istituzionale, ...) e sono tra loro strettamente interconnessi. È ormai universalmente riconosciuto infatti, che gli ecosistemi forestali forniscono "servizi e benefici multipli al genere umano" (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

Proprio in forza della loro interconnessione, azioni volte al potenziamento dell'offerta di alcuni servizi, come ad esempio la fornitura di biomassa, potrebbero portare a cali in altri – come il ciclo dei nutrienti, la difesa idrogeologica e la conservazione del suolo e della

biodiversità. La pianificazione forestale, in un contesto così variegato e complesso, gioca un ruolo determinante (CICCARESE *et al.*, 2003).

Il problema della stima della disponibilità si pone a diverse scale spaziali e, frequentemente, soprattutto quando ci si trova a lavorare su ampie superfici, diventa anche più complesso per l'insufficienza di informazioni di base affidabili, sufficientemente dettagliate e comparabili.

A ciò si aggiunge che per questo tipo di analisi è fondamentale considerare il fattore temporale. È ormai chiaro che limitare la stima alla disponibilità attuale non è sufficiente. Per attivare una filiera bosco-legno-energia è necessario valutarne la sostenibilità nel tempo.

La complessità del problema legato alla richiesta di informazioni attendibili e standardizzate (statistiche, data-base georeferenziati, carte tematiche) può essere affrontata sfruttando in modo adeguato le potenzialità offerte dai Sistemi Informativi Geografici. Attraverso tali strumenti è possibile impostare modelli analitici e predittivi (a es., BÄÄTH *et al.*, 2002; BERNETTI e FAGARAZZI, 2003; LASSERRE *et al.*, 2011) basati sull'integrazione di diverse fonti di dati georeferenziati (dati ambientali, dati telerilevati, dati inventariali e altri dati ancillari) orientati a supportare le scelte di pianificazione territoriale per una gestione sostenibile delle risorse boschive a fini energetici.

Nel caso di comprensori forestali caratterizzati dalla presenza di boschi cedui, in cui si possa ipotizzare il mantenimento di questa forma di governo, la stima della produzione di biomassa potenzialmente destinabile alle filiere energetiche può essere affrontata applicando i metodi classici che si basano sul modello di bosco coetaneo caratterizzato da un turno. Tuttavia, il ceduo produce prevalentemente legna da ardere, che ha già un mercato molto attivo, e quindi il suo contributo di biomassa per la produzione di cippato si riduce spesso alla possibilità di utilizzare una parte dei residui delle utilizzazioni (AA.VV., 2009).

Il problema è più complesso nel caso delle fustaie. Innanzitutto i soprassuoli classificati come fustaie nel nostro Paese solo raramente presentano una struttura e una composizione

riferibile a uno dei modelli strutturali classici, coetaneo o disetaneo (INFC, 2007). Nella maggior parte dei casi, soprattutto in ambienti appenninici, si tratta di soprassuoli con composizione e struttura complessa, non facilmente classificabile in una di queste due categorie. Spesso siamo in presenza di soprassuoli non gestiti per un periodo di tempo più o meno lungo - a esempio fustaie derivanti da interventi di rimboschimento dove con il tempo la riduzione della copertura ha favorito fenomeni di introduzione spontanea di latifoglie (NOCENTINI *et al.*, 2001), oppure forme di ceduo sotto fustaia che per vari motivi sono stati abbandonati (CORONA *et al.*, 2002), ecc.

Al momento attuale, una certa quantità di biomassa da destinare alla filiera energetica potrebbe derivare proprio dalla gestione dei boschi governati a fustaia, dai quali non sempre è possibile ottenere assortimenti legnosi richiesti dal mercato. I modelli previsionali utilizzati fino ad oggi si riferiscono ad una pianificazione di tipo classico, vincolata al concetto di turno o di diametro di recidibilità. Questi modelli, nel caso delle fustaie italiane, non corrispondono quasi mai alla realtà.

Obiettivo del presente lavoro è la messa a punto di una metodologia per la stima della produzione potenziale di biomassa legnosa secondo criteri di sostenibilità per un comprensorio caratterizzato dalla presenza di fustaie. La metodologia è stata applicata a un caso di studio.

2. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

Uno dei criteri guida, utilizzato per determinare se in un dato popolamento sia possibile effettuare un prelievo, è quello della «provvigione minimale» (CIANCIO *et al.*, 1981; CIANCIO *et al.*, 2002; CIANCIO, 2009). La provvigione minimale è definita come il livello minimo di massa legnosa al disotto della quale non è possibile effettuare tagli di qualsiasi entità senza pregiudicare gli equilibri del sistema biologico bosco considerato. Questo criterio risponde all'esigenza ormai riconosciuta di dover sempre agire, nell'uso delle risorse naturali, secondo il

principio di precauzione (CIANCIO e NOCENTINI, 1999) e si identifica con il concetto di *Safe Minimum Standard* (TOMAN, 1992; CALLICOTT, 1997; NOCENTINI 2009).

La metodologia utilizzata per la stima della biomassa forestale disponibile ai fini della pianificazione di un distretto energetico sostenibile nel caso di fustaie si sviluppa secondo le seguenti fasi:

- a) individuazione delle aree potenzialmente idonee al prelievo di biomassa legnosa, eliminando dalla stima tutte le superfici che possono presentare dei vincoli all'uso, come le riserve integrali, le aree a rischio idrogeologico, etc;
- b) definizione della durata del periodo di riferimento per la stima;
- c) stima della provvigione reale in funzione delle diverse tipologie forestali presenti nel comprensorio in esame;
- d) confronto della provvigione così stimata con la provvigione minimale per le diverse tipologie forestali presenti;
- e) stima del saggio di accrescimento per le diverse tipologie forestali presenti.

Graficamente la metodologia può essere rappresentata attraverso un semplice diagramma di flusso (Fig. 1). In generale, per impostare la stima della disponibilità di biomassa sono necessari alcuni dati di base, cioè:

- superficie forestale di riferimento nell'area oggetto di studio (contesto spaziale);
- carta dei tipi di governo (boschi cedui, fustaie);
- divisione della foresta in unità di riferimento;
- stima spazialmente definita della provvigione attuale;
- stima degli incrementi;
- viabilità e accessibilità forestale.

Ognuno degli strati informativi sopra elencati può essere ottenuto in diversi modi.

La superficie forestale, che costituisce il contesto spaziale di riferimento, è rappresentata da una carta forestale. Può essere ottenuta o dall'acquisizione di cartografie esistenti (per scansione e georeferenziazione successiva) oppure per fotointerpretazione di immagini telerilevate e verifiche a terra delle tipologie individuate. Attraverso tale carta si mettono

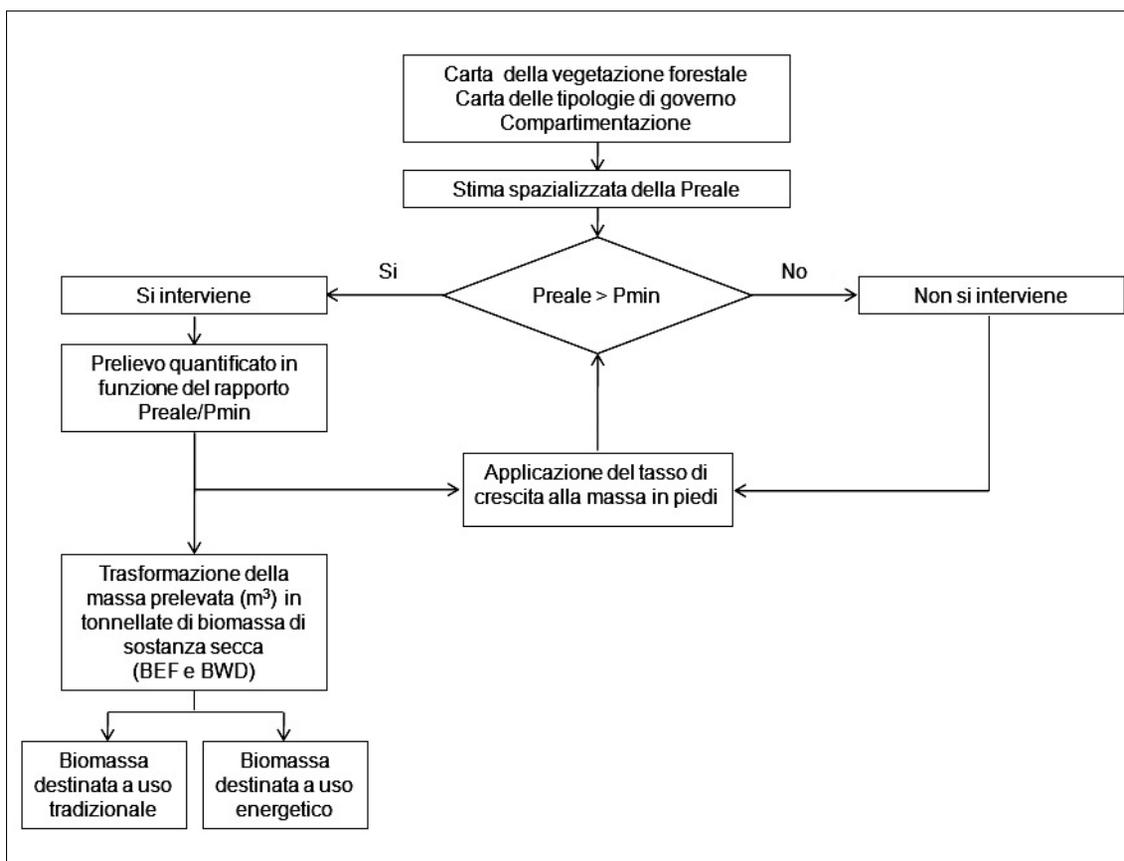


Figura 1 – Rappresentazione schematica del modello proposto (Preale: provvigione reale; Pmin: provvigione minimale).

in evidenza le differenti tipologie forestali, alle quali verrà così associato uno specifico livello di provvigione minimale.

La suddivisione del territorio boscato in comprese e particelle, orientata alla programmazione degli interventi, viene tradizionalmente prodotta con i piani di assestamento forestale. Si tratta di attività molto onerose quando si opera su ampie superfici, dato che la compartimentazione forestale viene solitamente realizzata a scala aziendale (cartografie in scala 1:5.000 - 1:10.000).

Per la stima della disponibilità potenziale di biomassa forestale su aree vaste spesso non sono disponibili piani di assestamento aggiornati o lo sono solo per una parte della superficie indagata. In questi casi è possibile effettuare una simulazione della compartimentazione forestale sulla base di un processo di

segmentazione di immagini telerilevate multi-spettrali. Il risultato della segmentazione è la suddivisione della superficie forestale in unità distinte e spettralmente omogenee (CHIRICI *et al.*, 2003; CHIRICI e CORONA, 2006). Tale suddivisione potrà comunque avvalersi della compartimentazione operata attraverso la definizione di particellari all'interno di piani di assestamento che gravano sull'area di interesse.

La stima della provvigione attuale (reale) è un passaggio fondamentale e necessario nell'applicazione del modello. Di solito, quando ci si trova ad analizzare ampie superfici, si sfruttano tecniche di spazializzazione basate sull'integrazione di dati telerilevati con dati rilevati a terra. Uno degli algoritmi maggiormente utilizzati è basato sul metodo non parametrico *k-Nearest Neighbors* (*k*-NN) (FRANCO-LOPEZ *et al.*, 2001;

TOMPPO e HALME, 2004; MCROBERTS *et al.*, 2007; CHIRICI *et al.*, 2008).

Per offrire stime ancora più vicine alla realtà, il modello può considerare tutta una serie di informazioni che potrebbero limitare le utilizzazioni forestali. Ad esempio, conoscendo la distribuzione della viabilità nell'area di studio considerata e la pendenza del terreno è possibile determinare per ciascuna unità di riferimento un livello di accessibilità che, se non adeguato, potrebbe ridurre la disponibilità di biomassa prelevabile (LASSERRE *et al.*, 2011).

Utilizzando gli strati informativi di base del modello, si potranno conoscere, per ciascuna unità di riferimento, i valori di provvigione reale espressi ad ettaro. Seguendo il principio della provvigione minimale, in ogni unità deve essere garantita la presenza di una provvigione superiore al livello minimo individuato in relazione alle caratteristiche delle specie che compongono il soprassuolo (Tab. 1). Qualora la provvigione reale (P_r) sia inferiore a quella minimale (P_m) per il tipo di bosco in esame, non si interviene. Quando, viceversa, il rapporto tra provvigione reale e provvigione minimale è superiore a 1 è possibile intervenire con tassi di prelievo determinati sulla base della quantità di provvigione effettivamente presente. Per motivi precauzionali l'utilizzazione è prevista quando la provvigione reale supera quella minimale di almeno il 20% (Tab. 2). Al crescere della provvigione reale cresce anche la percentuale di prelievo consentita (CIANCIO *et al.*, 2002). I valori di prelievo indicati sono quelli massimi teoricamente possibili, ma che non devono essere necessariamente applicati.

La massa così ottenuta può essere in parte destinata agli usi tradizionali mentre un'altra quota (gli scarti) può essere indirizzata alla produzione di energia. Per ottenere il valore di biomassa in tonnellate di sostanza secca in relazione al volume dendrometrico totale, alla massa complessiva annualmente disponibile per uso energetico vengono applicati i coefficienti di espansione della biomassa (*Biomass expansion factors*, BEF) e un fattore di densità basale (*Wood Basic Density*, WBD) differenziati per specie (APAT, 2007).

Tabella 1 – Livelli di provvigione minimale nella gestione delle fustaie orientata alla selvicoltura sistemica (da CIANCIO *et al.*, 2002, modificato).

Caratteristiche del popolamento	Provvigione minimale (m ³ ha ⁻¹)
Popolamenti costituiti prevalentemente da specie che non tollerano l'aduggiamento, comunemente definite <i>eliofile</i>	100-150
Popolamenti costituiti prevalentemente da specie a temperamento intermedio	200-250
Popolamenti costituiti prevalentemente da specie che sopportano l'aduggiamento, comunemente definite <i>sciofile</i>	300-350

Tabella 2 – Tassi di prelievo annui in funzione del rapporto tra provvigione reale e minimale (da CIANCIO, 2009).

Rapporto Preale/Pmin	Prelievo annuo (%)
> 2,0	1,50%
tra 1,8 e 2,0	1,25%
tra 1,6 e 1,8	1,00%
tra 1,4 e 1,6	0,75%
tra 1,2 e 1,4	0,50%
< 1,2	Non si interviene

3. APPLICAZIONE DEL MODELLO A UN CASO DI STUDIO

3.1. Il contesto spazio-temporale

3.1.1. L'area di studio

La metodologia proposta è stata applicata a un comprensorio caratterizzato dalla presenza di fustaie di pino marittimo (*Pinus pinaster* Ait.) localizzato nel settore centro-meridionale della Regione Toscana, a cavallo tra le province di Siena e Grosseto (Fig. 2), nei territori comunali di Chiusdino, Civitella Paganico, Monticiano (in Provincia di Siena), Roccastrada e Sovicille (in Provincia di Grosseto). Nell'area esaminata ricadono anche due ex Comunità Montane: Val di Merse e Colline Metallifere. La superficie complessiva dell'area è pari a circa 90.000 ettari all'interno dei quali sono presenti 7 Riserve Naturali Regionali e 4 SIC.

Si tratta di formazioni forestali che derivano per lo più da rimboschimenti su superfici a macchia o a gariga (GABELLINI e DE DOMINI-

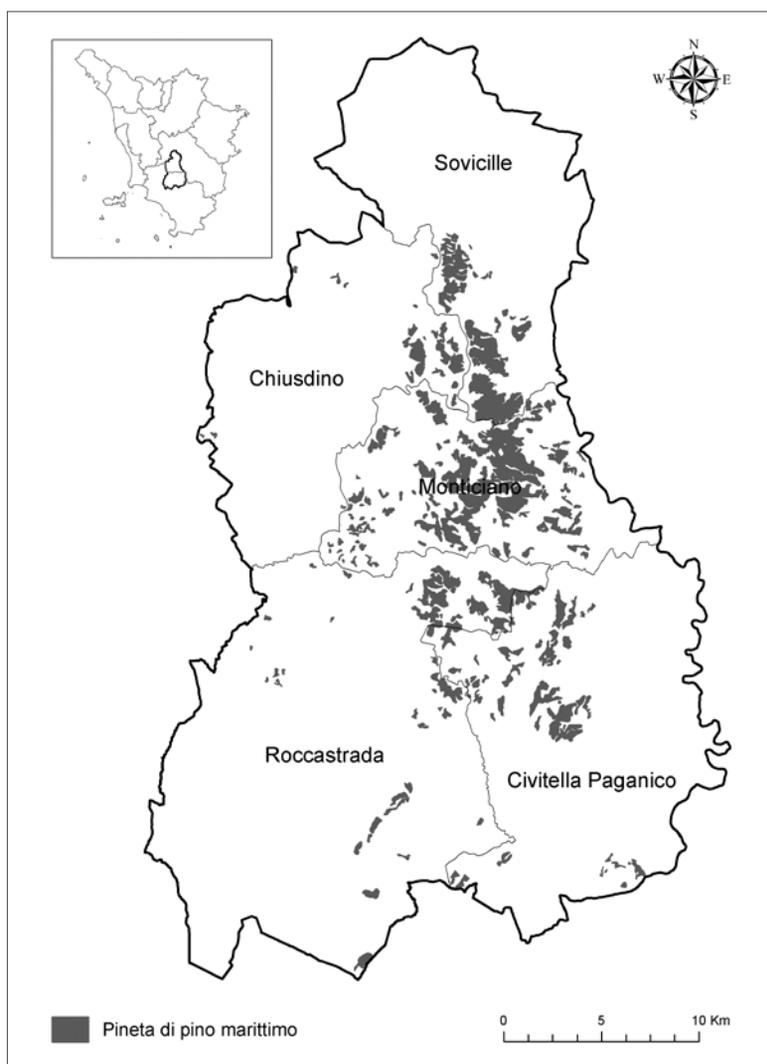


Figura 2 – Collocazione dell'area di studio e distribuzione delle pinete di pino marittimo nell'area di studio.

CIS, 2003). L'espansione successiva delle pinete di pino marittimo è riconducibile a più fattori, fra i quali si ricordano: la capacità colonizzatrice e il rapido accrescimento di questa conifera (GIACOBBE, 1942; FENAROLI e GAMBI, 1976; GAMBI, 1983; BERNETTI, 1995); le caratteristiche edafico-climatiche dell'area idonee alle esigenze ecologiche della specie (BIANCHI, 1984); la capacità del pino marittimo di diffondersi nelle aree percorse da incendi forestali (BERNETTI, 1995).

Queste pinete presentano problemi di carattere fitopatologico, in particolare per opera della cocciniglia *Matsucoccus feytaudi* (Ducasse). Le prime infestazioni di questo insetto

nella zona del Farma Merse sono state segnalate nel 2003 (CEPPATELLI *et al.*, 2006). Le infestazioni hanno colpito in modo particolare i soprassuoli di pino marittimo situati nei Comuni di Monticiano e Sovicille.

Per reazione agli stress provocati dal *Matsucoccus*, la pianta produce una certa quantità di resina che, essendo molto infiammabile, rende il bosco di pino marittimo molto suscettibile agli incendi. Per tentare di arginare l'avanzata della cocciniglia ed evitare la diffusione di materiale infetto, sono stati definiti provvedimenti di carattere fitosanitario nelle pinete attaccate ed è fatto obbligo di smaltire il legname infetto

seguido protocolli stabiliti per legge (DM 22/11/1996 e LR 39/2000).

I costi di realizzazione degli interventi resi obbligatori per legge, potrebbero essere ridotti – se non azzerati – se il materiale derivato dai tagli fitosanitari e dalle ripuliture per prevenire gli incendi venisse utilizzato per produrre cippato. Proprio la marginalità economica che caratterizza questi boschi, può rappresentare dunque un punto di partenza nell'implementazione di una filiera bosco-legno-energia.

3.1.2. Il contesto temporale

Il periodo di tempo a cui si riferisce la simulazione è di venti anni. Questa scelta è determinata dal fatto che la realizzazione di un impianto a biomasse deve essere programmata ipotizzando una durata pari almeno a 20 anni. Nel caso di studio qui esaminato il periodo di tempo considerato è stato suddiviso in due frazioni di dieci anni ciascuna, ovvero pari alla durata minima di un piano di gestione forestale come previsto dal Regolamento Forestale della Regione Toscana.

3.2. Dati

3.2.1. Carta della distribuzione delle pinete di pino marittimo

La carta delle pinete di pino marittimo è stata elaborata in ambiente GIS per fotointerpretazione di ortofoto digitali a colori e di immagini in falso colore (RGB432) prodotte dalla combinazione delle bande multispettrali del satellite Landsat 5 TM. Inoltre sono stati utilizzati i seguenti dati ancillari: Corine Land Cover 2000, Carta della Vegetazione Forestale della Regione Toscana, Carta dei tipi fisionomici e dei tipi forestali del complesso forestale "Farma-Merse", Carta della vegetazione del complesso forestale "Farma-Merse".

Sono stati cartografati i soprassuoli a prevalenza di pino marittimo (copertura del pino superiore al 75%) di estensione superiore a 1 ettaro.

3.2.2. Compartimentazione forestale

È stata effettuata una ricognizione preliminare per verificare la presenza di piani di gestione forestale nell'area di indagine. Da que-

sta ricognizione è emersa la presenza di due piani, al cui interno ricadono parte delle pinete di pino marittimo oggetto di studio. La compartimentazione forestale prevista dai piani di gestione è stata acquisita in formato digitale. Sul resto della superficie a pino marittimo la compartimentazione è stata prodotta per segmentazione di immagini telerilevate dal satellite SPOT 5 con risoluzione spaziale di 20 m. In particolare, la segmentazione è stata realizzata sull'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) calcolato dalla combinazione delle bande satellitari; è stato utilizzato un fattore di scala pari a 10 per generare oggetti di superficie simile a quella solitamente utilizzata nella compartimentazione forestale (1-5 ettari); per quanto riguarda l'omogeneità degli oggetti segmentati è stato assegnato un peso maggiore alla omogeneità spettrale (0.8) rispetto alla forma (0.2) degli oggetti generati (CHIRICI *et al.*, 2003).

Le unità di superficie prodotte per segmentazione sono state combinate con le unità estratte dai piani di gestione forestale.

3.2.3. Stima della provvigione reale

L'applicazione del modello proposto prevede la definizione spaziale della provvigione presente. Tale informazione è stata derivata attraverso l'algoritmo di stima non parametrico k -NN. Tale metodo permette di stimare il valore di una variabile Y per gli N elementi di una popolazione per i quali sia noto il valore vero di variabili ausiliarie (ancillari) correlate con Y , posto che per un campione di n elementi (detto *reference set*) sia noto anche il valore vero di Y .

Nell'area di studio sono stati effettuati rilievi a terra del volume presente in bosco. Complessivamente sono state eseguite 78 aree di tipo relascopico utilizzando un fattore di numerazione pari a 2. In ciascuna area è stato misurato il diametro a petto d'uomo delle piante incluse nella prova di numerazione angolare e l'altezza di un campione di piante. Le aree sono state individuate utilizzando una maglia di celle quadrate di 1 km di lato. La maglia è stata sovrapposta alla carta delle pinete di pino marittimo e in ciascuna cella è stato fatto cadere casualmente un punto all'interno del bosco di pino.

Nel metodo k -NN la scelta delle variabili

ancillari, del tipo di distanza multidimensionale e di k è in genere condotta empiricamente attraverso una procedura *leave-one-out* (LOO) di valutazione dell'accuratezza delle stime prodotte (FRANCO-LOPEZ *et al.*, 2001). In questo studio, i parametri generali adottati per la stima con metodo k -NN sono:

- popolazione (N): *pixel* ricadenti all'interno della carta del pino marittimo (§ 3.2.1);
- variabile di interesse (Y): provvigione in m^3/ha ;
- *reference set* (n): 78 aree di saggio realizzate attraverso la costruzione di un piccolo inventario locale nel 2009 con valore noto (y_i) della variabile di interesse (Y);
- *target set* ($N-n$): *pixel* con valore incognito (y_j) della variabile di interesse (Y);
- variabili ancillari:
 - 4 bande multispettrali del satellite SPOT 5 acquisite nel 2006 (risoluzione geometrica pari a 20 metri);
 - un modello digitale del terreno (DTM) alla stessa risoluzione geometrica delle bande multispettrali;
 - indice di vegetazione (NDVI);
 - prime due componenti principali (PCA1 e PCA2) estratte dalla combinazione delle bande multispettrali SPOT e del DTM.

La migliore configurazione k -NN (RMSE pari a $70 m^3/ha$) per effettuare la stima spazializzata della provvigione delle pinete, selezionata sulla base dei risultati ottenuti attraverso il LOO, è la seguente:

- variabili ausiliarie: PCA1, PCA2 e DTM;
- distanza multidimensionale: euclidea;
- k pari a 6.

Le stime per *pixel* della provvigione sono state aggregate a livello delle unità di riferimento. In ciascuna unità la provvigione reale è stata calcolata come media dei valori di provvigione dei *pixel* inclusi nell'unità.

3.2.4. Stima della biomassa disponibile per uso energetico alternativo

Per determinare il prelievo annuo su ciascuna unità individuata, si è confrontata la provvigione reale a ettaro con quella minimale. Nel modello, per la specie oggetto di studio (il pino), si è scelto di adottare il limite massimo

della classe ($150 m^3 ha^{-1}$) in modo da avere stime comunque prudentziali. Così, se in una unità di riferimento di 5 ettari la Pr all'anno 0 è pari a $250 m^3 ha^{-1}$, poiché il rapporto Pr/Pm è compreso nell'intervallo 1,6-1,8 si può intervenire prelevando al massimo nell'anno circa $2,5 m^3 ha^{-1}$ (cioè l'1%).

Reiterando il meccanismo e sommando tra loro i prelievi annui per il periodo di tempo considerato (10 + 10 anni), si è ottenuto il quantitativo di massa complessivamente ritraibile dal territorio oggetto di studio. Occorre nuovamente ricordare che quello ottenuto è un valore di prelievo massimo che, come tale, non deve essere obbligatoriamente raggiunto.

La sostanza prelevata (espressa in $m^3 ha^{-1}$) è stata quindi convertita in $kg ha^{-1}$ di biomassa utilizzando i coefficienti BEF e WBD².

Non tutta questa quantità potrà essere consumata per alimentare una centrale a biomasse. Una quota parte potrebbe essere comunque destinata per scopi più remunerativi. In questo caso specifico, però, trattandosi di pinete caratterizzate da problemi di carattere fitosanitario piuttosto rilevanti e quindi economicamente non interessanti per gli usi tradizionali, si è ipotizzato che tutta la biomassa prelevata venga utilizzata per produrre cippato.

4. RISULTATI

La superficie totale delle pinete di pino marittimo è stata stimata in 5476 ettari. La distribuzione delle pinete all'interno dell'area di studio è rappresentata in Fig. 2.

La maggior parte delle pinete è situata nella zona centrale del territorio esaminato. Nel Comune di Monticiano le pinete occupano una superficie di 2254 ettari, pari al 41% della superficie totale delle pinete. Nel Comune di Sovicille i soprassuoli di pino marittimo sono concentrati nel settore meridionale, dove ricoprono una superficie di 1050 ettari. Nei Comuni di Roccastrada e di Civitella Paganico la superficie delle

² Per il pino, il prodotto tra questi due coefficienti è circa 0,6.

pinete è risultata rispettivamente di 905 e 931 ettari. In questi due comuni la maggior parte dei boschi di pino marittimo è situata nel settore settentrionale del territorio amministrativo. Nel Comune di Chiusdino le pinete di pino marittimo occupano una superficie di 336 ettari. Qui la maggior parte delle pinete è situata a ovest del territorio comunale, verso il confine con i Comuni di Monticiano e Sovicille.

Il valore medio di provvigione a ettaro, calcolato come:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^N p_i}{\sum_{i=1}^N s_i}$$

dove p_i è il valore di provvigione (espresso in m^3) per l' i -esimo *pixel*, mentre s_i è la sua superficie, è risultato pari a $178,48 m^3 ha^{-1}$.

La biomassa complessivamente disponibile da una utilizzazione dei soprassuoli di pino marittimo orientata alla produzione di cippato, nel periodo di tempo considerato (10 + 10 anni), è stata così stimata in 9460 Mg di biomassa, con una disponibilità media annua pari a 473 Mg (Tab. 3)³.

5. CONCLUSIONI

L'individuazione di contesti territoriali nei quali ipotizzare il ricorso sistematico alle biomasse forestali per contribuire alla soddisfazione dei fabbisogni energetici della società attuale pone al centro il ruolo della pianificazione forestale. In questo senso, la pianificazione deve essere in grado di valutare la compatibilità di tali attività sia con i principi di tutela ambientale che con le esigenze di sviluppo sostenibile delle popolazioni locali.

La metodologia qui proposta permette di determinare con sufficiente approssimazione la quantità di biomassa destinabile all'uso

Tabella 3 – Biomassa disponibile stimata nei Comuni dell'area di studio con il modello predisposto.

Comune	Biomassa (in Mg)	
	(su 20 anni)	(media annua)
Chiusdino	489	24,4
Civitella P.	1343	67,2
Monticiano	4910	245,5
Roccastrada	1439	72,0
Sovicille	1279	63,9
<i>Totale</i>	<i>9460</i>	<i>473,0</i>

energetico, proveniente da attività di carattere forestale, in ambiti spazialmente e temporalmente definiti e per comprensori caratterizzati dalla presenza di fustaie. Per la sua implementazione sono indispensabili solo pochi strati informativi: carta della vegetazione forestale, carta dei tipi gestionali e distribuzione della provvigione.

Come dimostrato nell'applicazione a un caso di studio in Toscana, la procedura risulta particolarmente semplice e funzionale e permette di svincolarsi dai modelli dell'assestamento classico che possono risultare difficilmente applicabili in contesti reali. L'introduzione del concetto di provvigione minimale rappresenta il momento fondamentale e più innovativo del metodo. Questo concetto, che corrisponde al criterio del *safe minimum standard*, garantisce una gestione realmente sostenibile delle risorse forestali.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Comunità Montana della Val di Merse e la Comunità Montana delle Colline Metallifere per aver messo a disposizione i dati dei Piani di assestamento. Grazie al dott. Mvolo Cyriac Serge per avere contribuito alla realizzazione della cartografia forestale e alla dott.ssa Francesca Bottalico per avere collaborato alla revisione e al controllo a terra della cartografia. Un riconoscimento particolare va al dott. Fabio De Francesco per avere realizzato i rilievi in bosco.

³ Questa quantità si avvicina molto alla richiesta di una caldaia di dimensioni medio-piccole (500-1000 kWt), per la quale servono circa 300 Mg annui di cippato.

SUMMARY

Planning and sustainable use of forest biomass in the forest-energy chain: a methodological proposal

In this paper we present a method for estimating the potential production of wood biomass in areas characterized by the presence of high forest stands. The method is based on ecological sustainability and adopts the principle of a safe minimum standard, i.e. a minimum standing volume which should always be present on the management unit. The method estimates the amount of available biomass over time and is disengaged from the classical forest regulation approach.

To apply the method it is necessary to (i) define the space-time reference, (ii) divide the study area in reference units and (iii) estimate the standing volume for each forest type. The allowable cut in each reference unit is estimated through the comparison between real standing volume and the minimum standing volume for that particular forest type.

The method has been applied to a study area located in Tuscany and characterized by *Pinus pinaster* stands on a total area of 5476 ha. The total biomass available over a period of 20 years has been estimated in approx. 10000 Mg, with an average annual production of 473 Mg.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 2009 – *Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana*. Manuale ARSIA, 2009. ISBN 978-88-8295-109-2. ARSIA - Regione Toscana, Firenze.
- APAT, 2007 – *Italian Greenhouse Gas Inventory, 1990-2005*. National Inventory Report 2007. APAT, Miscellanea/2007.
- BÄÄTH H., GÄLLERSPÅNG A., HALLSBY G., LUNDSTRÖM A., LÖFGREN P., NILSSON M., STÄHL G., 2002 – *Remote sensing, field survey, and long-term forecasting: an efficient combination for local assessments of forest fuels*. Biomass and Bioenergy, 22 (3): 145-157. doi:10.1016/S0961-9534(01)00065-4
- BERNETTI G., 1995 – *Selvicoltura speciale*. UTET.
- BIANCHI M., 1984 – *Analisi della dinamica di accrescimento della pineta di Tocchi (Siena)*. L'Italia Forestale e Montana, 39 (4): 185-200.
- BERNETTI I., FAGARAZZI C. (a cura di), 2003 – *BIOSIT: una metodologia GIS per lo sfruttamento efficiente e sostenibile della "risorsa biomassa" a fini energetici*. E.T.A., D.E.A.R.T., D.E., Firenze.
- CALLICOTT J.B., 1997 – *Conservation Values and Ethics*. In: Meffe G.K., Carroll C.R. (a cura di), Principles of conservation biology. Second edition. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts.
- CEPPATELLI A., GABELLINI A., TOCCAFONDI P., 2006 – *Matsucoccus feytaudi D. - Danni e interventi di protezione su pino marittimo in Valdimerse (SI)*. Sherwood, 126: 39-45.
- CHIRICI G., CORONA P., 2006 – *Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione nel rilevamento delle risorse forestali*. Aracne Editrice, 186 p.
- CHIRICI G., CORONA P., TRAVAGLINI D., 2003 – *Sperimentazione di tecniche di classificazione object-oriented di immagini quickbird a fini forestali*. L'Italia Forestale e Montana, 4: 231-250.
- CHIRICI G., BARBATI A., CORONA P., MARCHETTI M., TRAVAGLINI D., MASELLI F., BERTINI R., 2008 – *Non-parametric and parametric methods using satellite images for estimating growing stock volume in alpine and Mediterranean forest ecosystems*. Remote Sensing of Environment, 112: 2686-2700. doi:10.1016/j.rse.2008.01.002
- CIANCIO O., 2009 (a cura di) – *Riserva Naturale Statale Biogenetica di Vallombrosa. Piano di Gestione e Silvomuseo 2006-2025*. Corpo forestale dello Stato. UTB Vallombrosa, Reggello (FI). ISBN: 978-88-87553-17-8.
- CIANCIO O., CORONA P., MARCHETTI M., NOCENTINI S. (a cura di), 2002 – *Linee guida per la gestione sostenibile delle risorse forestali e pastorali nei Parchi Nazionali*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione Conservazione della Natura e Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze. 300 p.
- CIANCIO O., MERCURIO R., NOCENTINI S., 1981 – *Le specie forestali esotiche e le relazioni tra arboricoltura da legno e selvicoltura*. Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Arezzo, vol. XII: 1-103.
- CIANCIO O., NOCENTINI S., 1999 – *La gestione forestale sistemica e la conservazione della biodiversità*. L'Italia Forestale e Montana, 54 (4): 165-177.
- CICCARESE L., SPEZZATI E., PETTENELLA D., 2003 – *Le Biomasse Legnose. Una Indagine sulle Potenzialità del Settore Forestale Italiano nell'Offerta di Fonti di Energia*. APAT, Roma, 99 p.
- CONSIGLIO UE, 2007 – *Conclusioni della Presidenza*. Bruxelles, 2 maggio 2007 (04.05) (OR.EN) 7224/1/07 REV 1.
- CORONA P., CHIRICI G., VANNUCCINI M., 2002 – *Contributo conoscitivo sugli aspetti dendrometrici, auxometrici e gestionali dei cedui italiani*. In: "Il bosco ceduo in Italia" (a cura di O. Ciancio e S. Nocentini). Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze.
- ENEA, 2010 – *Rapporto energia e ambiente. Analisi e Scenari*. A cura dell'Ufficio Studi ENEA, 134 p., Ed. ENEA. ISBN: 978-88-8286-233-6.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA), 2006 – *How Much Bioenergy Can Europe Produce Without Harming the Environment?* EEA Report no. 7.
- FENAROLI L., GAMBÌ G., 1976 – *Alberi*. Dendroflora Italica. Trento.
- FRANCO-LOPEZ H., EK A.R., BAUER M.E., 2001 – *Estimation and mapping of forest stand density, volume and cover type using the k-nearest neighbors method*. Remote Sensing of Environment, 77: 251-274. doi:10.1016/S0034-4257(01)00209-7
- GABELLINI A., DE DOMINICIS V., 2003 – *Caratteristiche ecologiche delle pinete di Pino marittimo dell'area Farn-Merse e spunti per una futura gestione*. Parlatorea, 6: 163-170.
- GAMBÌ G., 1983 – *Le pinete di pino marittimo*. Monti e Boschi, 34 (2): 29-36.
- GIACOBBE A., 1942 – *Il pino marittimo*. Società Dante Alighieri, Firenze.
- INFC, 2007 – *Le stime di superficie 2005 – Prima parte*. Autori G. Tabacchi, F. De Natale, L. Di Cosmo, A. Floris, C. Gagliano, P. Gasparini, L. Genchi, G., Scrinzi, V. Tosi. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF - Corpo Forestale dello Stato - Ispettorato Generale, CRA - ISAFSA, Trento. [on line] URL: <http://www.infca.it>

- INFC, 2009 – *I caratteri quantitativi 2005 – parte 1, vers. 2*. Autori P. Gasparini, F. De Natale, L. Di Cosmo, C. Gagliano, I. Salvadori, G. Tabacchi e V. Tosi. http://www.sian.it/inventarioforestale/doc/INFC_I%20caratteri%20quantitativi_maggio_2009.pdf
- LASSERRE B., CHIRICI G., CHIAVETTA U., GARFI V., TOGNETTI R., DRIGO R., DiMARTINO P., MARCHETTI M., 2011 – *Assessment of potential bioenergy from coppice forests through the integration of remote sensing and field surveys*. *Biomass and Bioenergy*, 35: 716-724. doi:10.1016/j.biombioe.2010.10.013
- MCRROBERTS R.E., TOMPPPO E.O., FINLE A.O., HEIKKIEN J., 2007 – *Estimating areal means and variances of forest attributes using the k-Nearest Neighbors technique and satellite imagery*. *Remote Sensing of Environment*, 111 (4): 466-480. doi:10.1016/j.rse.2007.04.002
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005 – *Guide to the Millennium Assessment Reports*. [online] URL: <http://www.millenniumassessment.org>
- NOCENTINI S., 2001 – *La rinaturalizzazione come strumento di recupero dei sistemi forestali semplificati nell'Italia Meridionale*. *L'Italia Forestale e Montana*, 56 (5): 344-351.
- NOCENTINI S., 2009 – *Le solide fondamenta della selvicoltura sistemica*. *Forest@*, 6: 337-346 [online: 2009-11-23] URL: <http://www.sisef.it/forest@/>. doi: 10.3832/efor0603-006
- PETTENELLA D., 2002 – *Bilancio economico-ambientale e sistemi di incentivazione per la produzione di biomasse legnose*. In: "Biomasse agricole e forestali per uso energetico", Villa Cahen, Selva di Meana - Allerona (TR), 28-29 settembre 2000. AGRA Editrice Roma, p. 292-314.
- REGIONE TOSCANA, 2008 – *Piano di indirizzo energetico regionale (PIER)*. [online] URL: http://www.regione.toscana.it/regione/multimedia/RT/documents/1215774931634_TESTO_APPROVATO_IN_AULA_8LUGLIO08.pdf
- TERNA, 2009 – *Consumi di energia elettrica in Italia*. [online] URL: <http://www.terna.it/LinkClick.aspx?fileticket=wiWWluAMTOc%3d&tabid=418&mid=2501>
- TOMAN M.A., 1992 – *The difficulty in defining sustainability*. *Resources (published by Resources for the future)*, No. 106 (winter): 3-6.
- TOMPPPO E., HALME M., 2004 – *Using coarse scale forest variables as ancillary information and weighting of variables in k-NN estimation: a genetic algorithm approach*. *Remote Sensing of Environment*, 92: 1-20. doi:10.1016/j.rse.2004.04.003

304 BIANCA