

VITTORIO GARFÌ (\*) - BRUNO LASSERRE (\*) - GHERARDO CHIRICI (\*)  
DANIELA TONTI (\*) - MARCO OTTAVIANO (\*) - NICOLA PULETTI (\*\*)  
CATERINA PALOMBO (\*) - MARCO MARCHETTI (\*)

## STIMA SPAZIALMENTE DEFINITA DELLA PRODUTTIVITÀ POTENZIALE DELLE RISORSE AGRO-FORESTALI PER USO ENERGETICO: IL CASO DI STUDIO DELLA REGIONE MOLISE (1)

(\*) Laboratorio di Ecologia e Geomatica Forestale, Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio, Università degli Studi del Molise, contrada Fonte Lappone, 86090 Pesche (IS), Italia.

(\*\*) Geolab, Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali, Università degli Studi di Firenze, Via San Bonaventura 13, 50145 Firenze, Italia.

*In questo lavoro sono riportati i risultati della stima della disponibilità di biomassa per uso energetico ottenibile dalle risorse agro-forestali a seguito dell'applicazione di criteri di sostenibilità.*

*Le analisi sono state effettuate a due differenti scale geografiche: la prima a livello nazionale e la seconda a livello regionale, basata su strati informativi di maggior dettaglio, e con risultati aggregati a livello comunale. In entrambi i casi sono stati applicati dei vincoli alla produzione di biomassa strettamente connessi alle caratteristiche morfologiche, tecnico-strutturali e gestionali dell'area di studio e all'uso di criteri che garantiscono la sostenibilità della gestione delle risorse forestali basati sulla provvigione minimale.*

*Parole chiave:* biomassa; energia; sostenibilità; modelli di spazializzazione.

*Key words:* biomass; energy; sustainability; spatial estimation models.

*Citazione* - GARFÌ V., LASSERRE B., CHIRICI G., TONTI D., OTTAVIANO M., PULETTI N., PALOMBO C., MARCHETTI M., 2011 – *Stima spazialmente definita della produttività potenziale delle risorse agro-forestali per uso energetico: il caso di studio della regione Molise*. *L'Italia Forestale e Montana*, 66 (4): 283-292. doi 10.4129/ifm.2011.4.03

### 1. INTRODUZIONE

Gli indirizzi di politica ambientale ed energetica scaturiti dagli accordi internazionali sullo sviluppo sostenibile (Convenzione sui Cambiamenti Climatici, per la Biodiversità, per la Lotta contro la Desertificazione, Accordi di Johannesburg, Direttive Europee tra le quali il Pacchetto Clima 2009), la necessità di ridurre la dipendenza energetica dall'estero (tra i Paesi più industrializzati, l'Italia è la nazione con il minor tasso di auto-provvigionamento di energia), l'esigenza di valorizzare le fonti interne d'energia, alternative alle classiche fonti

fossili in via di esaurimento (APAT, 2003; GALLI e PAMPANA, 2004), stanno aprendo prospettive interessanti per le biomasse ligno-cellulosiche agro-forestali (TROSSERO, 2000; APAT, 2003; PARIKKA, 2004; MAGNANI e CANTONI, 2005; HILLRING, 2006). Tra le risorse realmente rinnovabili quelle di origine forestale occupano un posto di primo piano se il loro uso è realizzato secondo i canoni della gestione sostenibile (MARCHETTI, 2004).

Oltre a tali motivazioni vi sono anche aspetti strettamente connessi alle politiche di sviluppo delle aree interne del nostro paese, particolarmente svantaggiate, in cui sono prevalentemente localizzate le risorse forestali.

Tra le diverse fonti di approvvigionamento delle biomasse ligno-cellulosiche si ricordano: (i) colture forestali tradizionali; (ii) scarti o sottoprodotti di attività forestali o agricole (potature

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

in vigneti, oliveti e frutteti, nonché recupero dei residui dei seminativi); *(iii)* colture dedicate in ambiente agricolo secondo il modello del ceduo a turno breve (SRF - *Short Rotation Forestry*).

Le biomasse, tra le forme di energia rinnovabile, sono quelle maggiormente legate al territorio. In effetti la loro quantità e tipologia varia in relazione a fattori stazionali (clima, morfologia, suolo) ed economico-sociali. Le diverse aree geografiche in genere possiedono potenziali di disponibilità di biomassa che variano in funzione dell'uso del suolo, della presenza antropica e dello sviluppo agricolo e industriale, della morfologia del territorio, dei collegamenti e delle distanze tra le infrastrutture. Tali elementi influenzano le scelte nelle forme di utilizzazione delle biomasse a fini energetici in termini: *(i)* tecnici, relativamente alla scelta del tipo di impianti da utilizzare, *(ii)* economici, nella valutazione dei costi di trasporto e della dimensione degli impianti, *(iii)* energetici e ambientali, nella stima dei consumi energetici, dei costi emissivi legati al trasporto e alla gestione sostenibile della risorsa (ZULLO *et al.*, 2005).

In tale ottica è di particolare importanza la conoscenza della localizzazione, quantità e qualità delle risorse capaci di produrre le biomasse da utilizzare nell'alimentazione degli impianti.

In tale ambito vengono in genere applicate le tecniche geomatiche per la derivazione di cartografie tematiche capaci di fornire una corretta rappresentazione delle caratteristiche del territorio indagato. In particolare vengono integrati dati georeferenziati rilevati a terra a livello puntuale in aree di saggio con immagini telerilevate e altri strati informativi. I metodi che trovano maggiore utilizzo ed efficacia in ambito forestale sono quelli parametrici di tipo correlativo e quelli non-parametrici (CHIRICI e CORONA, 2006). I primi fanno ricorso a modelli regressivi che permettono la stima di una variabile dipendente (attributo oggetto di interesse) misurata a terra tramite aree di saggio e una o più variabili indipendenti disponibili in forma continua sul territorio attraverso strati informativi da banche dati geografiche e/o immagini telerilevate (CORONA, 2000). I secondi in campo forestale sono basati su reti neurali o, più frequentemente, sull'applicazione dell'algoritmo

(*k*-NN) *k-nearest neighbours* (TOMPPO, 1991; TOMPPO, 1996; CHIRICI *et al.*, 2003; MÄKELÄ e PEKKARINEN, 2004; MASELLI *et al.*, 2005; BERTINI *et al.*, 2007; LASSERRE *et al.*, 2011).

In questo lavoro sono riportati i risultati della stima della disponibilità di biomassa per uso energetico ottenibile dalle risorse agro-forestali a seguito dell'applicazione di criteri di sostenibilità. I risultati, geograficamente definiti, sono stati ottenuti da analisi di carattere generale condotte a livello dell'intero territorio nazionale e, per la regione Molise, di maggior dettaglio attraverso l'uso della procedura *k*-NN.

## 2. MATERIALI E METODI

Gli elementi caratterizzanti il processo di analisi per la stima della disponibilità minima di biomassa hanno riguardato l'applicazione di criteri di sostenibilità nella gestione delle risorse forestali e di valori medi di produttività per i residui delle colture agrarie e per i prati, ponderati in relazione ai vincoli considerati così come specificato di seguito.

### 2.1. Stima a livello nazionale

L'informazione di riferimento per le classi di copertura del territorio è stata derivata dalla cartografia Corine Land Cover di IV livello rilevata al 2000 (CLC2000) che rappresenta il riferimento cartografico, omogeneo a livello nazionale, più dettagliato e recente (APAT, 2005). Le classi considerate sono state: le formazioni boscate, i prati e le colture permanenti. A questo strato informativo sono state applicate delle limitazioni derivanti dai seguenti fattori: *(i)* presenza di aree protette, *(ii)* pendenza del terreno e *(iii)* accessibilità.

#### 2.1.1. Presenza di aree protette

Il territorio ricadente all'interno delle aree protette è stato considerato non disponibile alla produzione di biomassa in relazione ai regimi vincolistici presenti. Il risultato è una stima prudenziale, ma la scelta è giustificata dal fatto che attualmente non esistono informazioni di maggior dettaglio omogenee a livello nazionale. Sono stati utilizzati i limiti delle aree

EUAP (5° aggiornamento 2003), non EUAP e NATURA2000 (MATTM-DPN).

### 2.1.2. Pendenza del terreno

La limitazione alle utilizzazioni è stata introdotta sulla base della classificazione proposta dall'European Environmental Agency per le differenti classi di pendenza (EEA, 2006). Le pendenze derivano da un modello digitale del terreno, originariamente con passo di 75 m; i valori di ponderazione per le diverse classi vanno da 1 a 0,15 per pendenze comprese tra valori inferiori al 9% e superiori al 47%. Entro tale soglia di pendenza la meccanizzazione delle utilizzazioni forestali è considerata tecnicamente possibile, per quanto la sua convenienza diminuisca sensibilmente per pendenze superiori al 35%.

### 2.1.3. Accessibilità

Secondo CIANCIO *et al.* (2007) per boschi ubicati a distanze superiori a 2.500 m dall'imposto, i costi di taglio ed esbosco connessi alle utilizzazioni forestali diventano proibitivi e la funzione produttiva può considerarsi nulla, indipendentemente dalla pendenza delle superfici interessate. Pertanto la distanza dalla viabilità, intesa come variabile *proxy* della distanza dall'imposto, può essere considerata il fattore che più condiziona la convenienza economica dell'utilizzazione a fini produttivi delle superfici forestali. Sulla base di tali assunzioni è stato applicato un fattore di riduzione della stima della produttività annua potenziale sostenibile basato sulla distanza dalla viabilità, così come riportato dalla base dati cartografica d'Italia in scala 1:100.000 dell'Istituto Geografico De Agostini. Operativamente si è proceduto derivando una mappa *raster* con cella di 100 m della distanza euclidea dal tratto di strada più prossimo nell'intervallo (0, 2.500 m), successivamente normalizzata nell'intervallo (1, 0) secondo una funzione lineare. Si fa comunque rilevare che l'accessibilità in tal modo calcolata risulta un modello adatto per applicazioni di modesto dettaglio geografico su ampie aree d'indagine. La viabilità considerata nel modello è relativa solo a una parte della rete viabile principale utile a fini forestali (HIPPOLITI e PIEGAI,

2000). Il modello sviluppato si basa sull'ipotesi che la densità della rete viabile considerata sia proporzionale alla densità complessiva della rete viabile utile per scopi forestali.

### 2.1.4. Aggregazione dei fattori considerati

Ogni poligono di bosco della copertura CLC2000, al netto delle limitazioni, è stato classificato secondo la forma di governo prevalente (fustaia/ceduo), sulla base della distribuzione geografica dei punti inventariali dall'Inventario Forestale Nazionale Italiano del 1985 (ISAFI, 1988) e assegnati i valori medi di volume legnoso per tipi forestali, gruppi di specie e per regioni prodotti dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC, 2009).

Per le fustaie la stima della quantità di volume disponibile annualmente è stata definita applicando ai volumi ottenuti come specificato in precedenza, i criteri di gestione sostenibile che fanno riferimento ai principi della provvigione minima (CIANCIO *et al.*, 1981-1982) (Tabella 1), differenziata in relazione al temperamento delle specie considerate e ai tassi di utilizzazione variabile a seconda del rapporto tra provvigione reale e minima (Tabella 2) (CIANCIO, 2009), seguendo la metodologia messa a punto da NOCENTINI *et al.* (2011).

Per i cedui la stima della produttività potenziale annua è stata calcolata considerando il loro utilizzo allo scadere del turno fisiocratico ( $T$ ), in cui l'incremento corrente di volume ( $I_c$ ) è pari all'incremento medio ( $I_m$ ), e che la superficie totale a bosco ceduo nell'unità territoriale

Tabella 1 – Provvigione minima assegnata in funzione delle caratteristiche del popolamento (da CIANCIO *et al.*, 1981-82).

Caratteristiche del popolamento	Provvigione minima (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
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>sciafile</i>	300-350

Tabella 2 – Saggi di utilizzazione annua in funzione delle relazioni tra provvigione reale e minimale (da CIANCIO, 2009).

Provvigione reale	Prelievo
Uguale o superiore a 2,0 volte la provvigione minimale	1,50 %
Uguale o superiore a 1,8 volte la provvigione minimale	1,25 %
Uguale o superiore a 1,6 volte la provvigione minimale	1,00 %
Uguale o superiore a 1,4 volte la provvigione minimale	0,75 %
Uguale o superiore a 1,2 volte la provvigione minimale	0,50 %

di riferimento ( $S$ ), in questo caso la regione, è assestata; pertanto, la superficie annualmente utilizzabile ( $s$ ) è pari a  $S/T$ . La provvigione potenziale annua, quindi, è pari a:

$$V = \frac{S}{T} \cdot I_m \cdot T = S \cdot I_c$$

Dei volumi così ottenuti, sono stati quantificati gli scarti delle utilizzazioni forestali (rami e cimale) ovvero quella frazione di biomassa derivante dagli scarti di lavorazione del legname prodotto dalla fustaia e dai cedui, tolti gli assortimenti generalmente prodotti (legname da lavoro, legna da ardere, paleria ecc.). Gli scarti sono differenziati per specie e forme di governo con valori compresi tra 8% e 28% (AA.VV., 2009).

Al volume disponibile sono stati applicati il fattore di espansione BEF (*Biomass Expansion Factor*) e il WBD (*Wood Basal Density*) (APAT, 2007), differenziati per ogni specie, per ottenere il valore di biomassa, in tonnellate di sostanza secca, in relazione al volume dendrometrico totale.

La stima della produzione di biomassa potenziale derivante dagli scarti delle utilizzazioni delle principali colture agricole (ulivi e viti) è stata effettuata adottando i coefficienti di produzione unitaria annua (t/ha) di residui legnosi di potature di APAT (2003) e applicati ai poligoni di CLC 2000 al netto delle limitazioni (presenza di aree protette, pendenza del terreno, accessibilità). Lo stesso è stato fatto per i prati utilizzando i dati FAO (2006).

La biomassa totale derivante dai differenti comparti di approvvigionamento è stata, infine, aggregata per regione.

## 2.2. Stima di dettaglio a livello regionale

L'approccio metodologico sviluppato a livello nazionale è stato applicato anche nel caso di studio della regione Molise ma tramite l'utilizzo di strati informativi di maggior dettaglio, ove disponibili.

Nello specifico è stata utilizzata la base dati per la superficie a uliveti (ENERWOOD, 2007) e una base dati appositamente definita per le risorse forestali. Mentre per i vigneti e i prati è stato utilizzato lo stesso strato informativo di CLC2000.

Per le risorse forestali è stata utilizzata una mappa della provvigione realizzata attraverso l'algoritmo  $k$ -NN applicato alla copertura multispettrale di una scena IRS P6 LISS (*Indian Remote Sensing Satellite*) acquisita nel luglio 2006, con risoluzione geometrica del pixel di 20 m, e un set di dati derivanti da 219 aree di saggio di superficie unitaria di 600 m<sup>2</sup> dislocate sul territorio regionale sulla base di un disegno campionario sistematico non allineato.

La distanza multispettrale utilizzata nell'algoritmo  $k$ -NN è stata la multiregressiva non convenzionale con filtro di estrazione di 3x3 e  $k$  pari a 6. Per maggiori dettagli dell'algoritmo  $k$ -NN si rimanda a CHIRICI *et al.* (2008).

La mappa della provvigione *raster* è stata segmentata tenendo in considerazione lo strato informativo della carta forestale su basi tipologiche realizzata in scala 1:10.000 (GARFÌ e MARCHETTI, 2011). L'operazione di segmentazione è stata realizzata in ambiente *Definiens (eCognition della Definiens Imaging)* utilizzando un fattore di scala pari a 70.

Ad ogni poligono omogeneo in termini di tipologia forestale e di livello di provvigione sono stati quindi attribuiti: il grado di copertura delle chiome, la forma di governo, la tipologia e la provvigione. Quest'ultima variabile è stata ottenuta dalla media della stima  $k$ -NN dei pixel IRS corrispondenti ai poligoni generati. Le rimanenti variabili erano invece disponibili dalla carta forestale.

Alla mappa della provvigione così ottenuta (Figura 1), differenziata per forme di governo, sono stati applicati i limiti, i tassi di utilizza-

zione e i valori di residui così come effettuato per la stima a livello nazionale.

La biomassa totale derivante dai differenti comparti di approvvigionamento è stata aggregata per comune.

Infine, adottando la metodologia messa a punto da NOCENTINI *et al.* (2011), è stato definito uno scenario di produttività di biomassa a livello regionale per le risorse forestali, gestite secondo i criteri di sostenibilità, per un arco temporale di medio termine pari a 20 anni in cui si possa ragionevolmente supporre costante la superficie.

### 3. RISULTATI E DISCUSSIONI

A livello nazionale la superficie stimata per la produzione potenziale di biomassa, al netto delle limitazioni, risulta pari a 10.478.406 ha (34,77% della superficie nazionale) con una produzione annua di biomassa di 9,8 Mt e con valori di biomassa media ad ettaro compresi tra 0,13 t/ha (Valle d'Aosta) e 2,76 t/ha (Sicilia). La

media nazionale risulta essere pari a 0,94 t/ha (Tabella 3). Le regioni con la maggiore disponibilità sono Puglia, Sicilia, Toscana, Lazio e Piemonte (Tabella 3). Tali risultati sono strettamente connessi in primo luogo alla dimensione regionale e alla relativa percentuale di superficie coperta da biomassa disponibile a fini energetici nonché ai fattori che ne limitano l'uso e, contestualmente, al contributo che fornisce la componente a colture permanenti di cui questi territori sono particolarmente ricchi. Tali colture rappresentano, secondo le stime realizzate, quasi l'80% del totale delle biomasse potenzialmente disponibili (Figura 2). Mentre per il solo comparto forestale (cedui e fustaie), che costituiscono circa il 19% (1,9 Mt) della biomassa totale, la maggior concentrazione è localizzata sull'arco alpino occidentale (Piemonte) sull'Appennino centro occidentale (Toscana, Emilia Romagna) e sull'Appennino meridionale (Calabria) (Figura 3, Tabella 4).

A questo livello di indagine, per la regione Molise la superficie potenziale ammonta a 125.031 ha pari al 28,17% della superficie re-

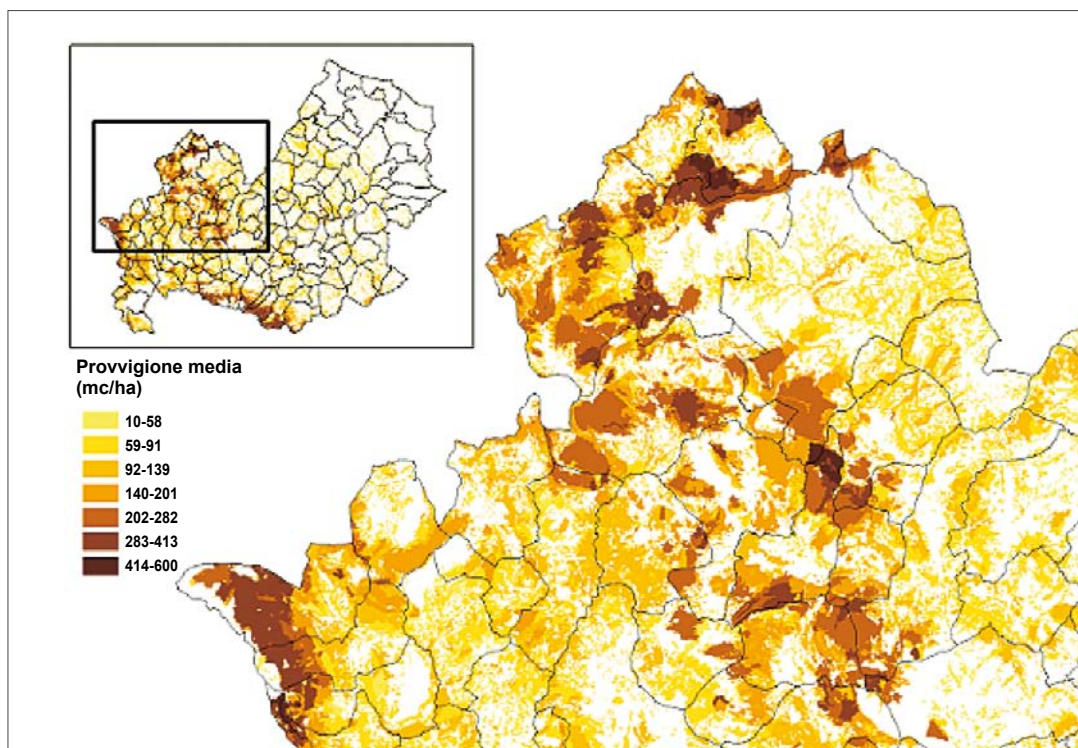


Figura 1 – Mappa della provvigione.

Tabella 3 – Superfici e biomassa annua disponibile per regione.

Regione	Totale superficie (ha)	Totale biomassa (t)	Biomassa media (t/ha)
Piemonte	904.323,50	626.012,29	0,69
Valle d'Aosta	90.437,93	11.708,36	0,13
Lombardia	629.491,70	215.287,16	0,34
Trentino Alto Adige	763.125,98	269.433,93	0,35
Veneto	463.584,69	259.705,61	0,56
Friuli Venezia Giulia	311.699,10	108.198,22	0,35
Liguria	353.391,80	174.281,12	0,49
Emilia Romagna	493.725,00	254.969,26	0,52
Toscana	1.171.701,60	884.736,30	0,76
Umbria	350.011,65	190.202,32	0,54
Marche	233.636,82	65.390,66	0,28
Lazio	595.043,22	637.485,92	1,07
Abruzzo	395.944,94	284.371,84	0,72
Molise	125.031,73	80.682,80	0,65
Campania	513.198,32	447.545,67	0,87
Puglia	708.418,44	1.855.731,81	2,62
Basilicata	349.943,72	202.895,07	0,58
Calabria	815.687,40	929.797,05	1,14
Sicilia	762.517,60	2.108.090,17	2,76
Sardegna	447.491,13	193.583,74	0,43
<i>Totale</i>	<i>10.478.406,27</i>	<i>9.800.109,29</i>	<i>0,94</i>

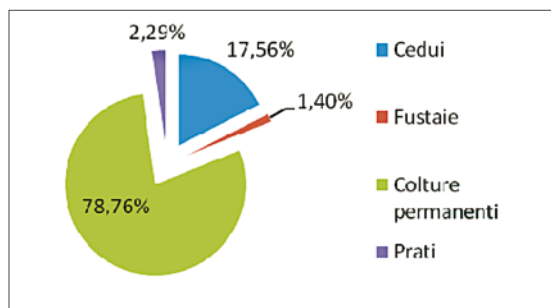


Figura 2 – Percentuale di biomassa per i diversi comparti di approvvigionamento a livello nazionale.

gionale, con una disponibilità potenziale alla produzione di biomassa di 80.682,8 t/anno (Tabella 3) per il 67% circa costituita dalla componente a colture permanenti e per il 32% da cedui (Figura 4).

Le analisi a livello di dettaglio (regionale) per il Molise definiscono una superficie potenzialmente disponibile di 98.672,5 ha, pari al 22,23% della superficie regionale, con una riduzione rispetto al livello di indagine precedentemente effettuata, di 26.359,23 ha pari al 21%. Contestualmente, la biomassa totale disponibile ammonta a 102.937,92 t/anno con un aumento di 22.255,12 t pari al 27,58%. La biomassa media annua ad ettaro, potenzialmente disponibile, è compresa tra 0,05 t/ha (Roccamandolfi)

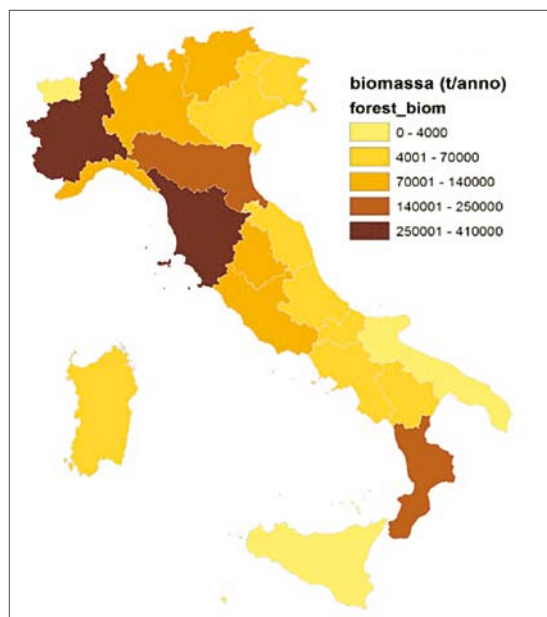


Figura 3 – Biomassa annua potenzialmente ritraibile dal comparto forestale.

e 3,71 t/ha (Mirabello Sannitico). Si ha, quindi, un aumento della disponibilità media annua ad ettaro che passa da 0,65 t/ha, definita con il livello di indagine precedente, a 1,04 t/ha.

Queste differenze sono attribuibili al maggior livello di dettaglio delle fonti informative utilizzate. L'unità minima cartografabile della

Tabella 4 – Superfici e biomassa potenzialmente disponibile dal comparto forestale (cedui e fustaie) per regione.

Regione	Totale superficie (ha)	Totale biomassa (t)	Biomassa media (t/ha)
Piemonte	779.956,50	254.073,29	0,33
Valle d'Aosta	78.541,93	3.529,26	0,04
Lombardia	568.376,70	112.898,36	0,20
Trentino Alto Adige	650.004,98	77.501,43	0,12
Veneto	385.010,69	59.152,11	0,15
Friuli Venezia Giulia	296.085,10	68.735,02	0,23
Liguria	337.057,80	128.102,52	0,38
Emilia Romagna	477.050,00	194.034,36	0,41
Toscana	979.884,60	406.288,30	0,41
Umbria	296.249,65	76.614,82	0,26
Marche	205.516,82	29.979,46	0,15
Lazio	433.158,22	115.735,92	0,27
Abruzzo	311.607,94	41.857,84	0,13
Molise	107.020,73	25.597,00	0,24
Campania	380.689,32	29.749,67	0,08
Puglia	109.151,44	3.578,81	0,03
Basilicata	292.881,72	55.609,07	0,19
Calabria	562.556,40	142.882,05	0,25
Sicilia	192.465,60	3.900,17	0,02
Sardegna	397.574,13	27.823,24	0,07
<i>Totale</i>	<i>7.840.840,27</i>	<i>1.857.642,69</i>	<i>0,20</i>

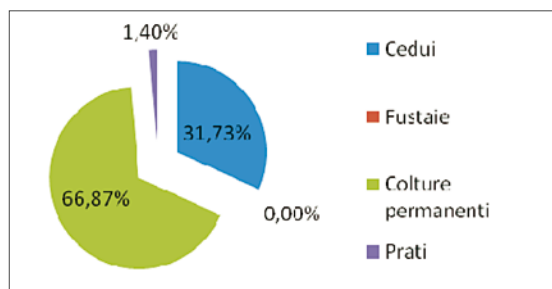


Figura 4 – Percentuale di biomassa per i diversi comparti di approvvigionamento per il Molise mediante analisi a livello generale.

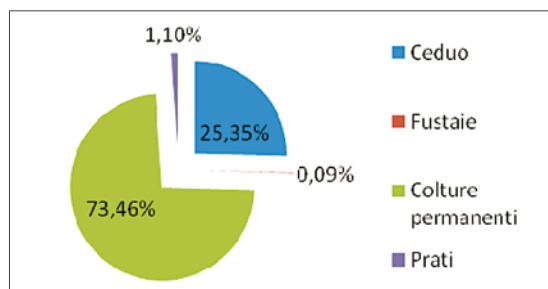


Figura 5 – Percentuale di biomassa per i diversi comparti di approvvigionamento per il Molise mediante analisi a livello di dettaglio.

copertura CLC2000 è di 25 ha mentre quella della cartografia degli uliveti e dei tipi forestali della regione Molise è di 0,5 ha.

Anche a questo livello di dettaglio, il maggior contributo è fornito dalle colture permanenti che rappresentano quasi il 74% (75.616 t) della biomassa totale, seguite dai cedui con circa il 25% (26.094,51 t) (Figura 5).

La localizzazione della biomassa totale è prevalentemente concentrata nei comuni del basso Molise, mentre quella di origine forestale (essenzialmente cedui) è concentrata nella provincia di Isernia e, in particolar modo, nei comuni il cui territorio ricade nella zona dell'alto

Molise, delle Mainarde e parte del Matese (Figura 6).

Infine, per quanto riguarda gli scenari di produttività del comparto forestale nel medio termine, a livello della regione Molise, si evidenzia un leggero aumento con valori che passano da 26.188,02 a 26.278,97 t/anno determinato dalla maggiore disponibilità di biomassa ottenibile dalle fustaie. Questo aumento ottenuto per le fustaie, definito dalla combinazione dei livelli di provvigione minimale e di incremento corrente differenziati per le diverse specie e dal tasso di prelievo adottato, confermano la sostenibilità delle utilizzazioni negli anni.

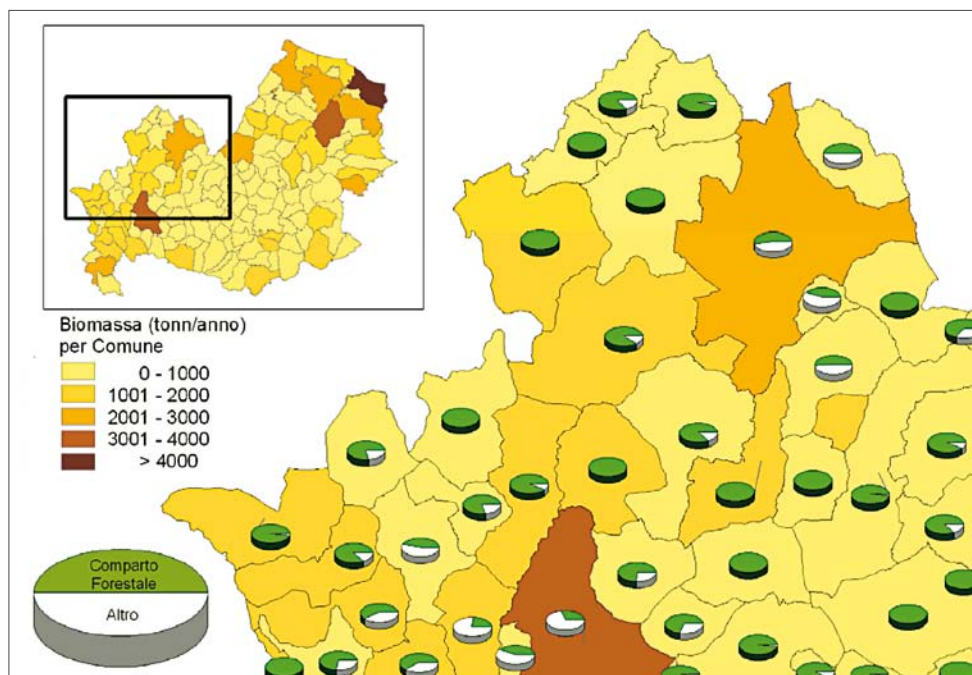


Figura 6 – Biomassa totale annua per comune e per comparto di approvvigionamento - anno 2010.

#### 4. CONCLUSIONI

La metodologia di analisi utilizzata consente di definire la disponibilità e la localizzazione delle risorse ligno-cellulosiche per la produzione di biomassa ai fini energetici a seguito dell'applicazione anche di criteri di sostenibilità.

I risultati conseguiti mettono in luce l'insufficiente disponibilità di biomassa totale per l'Italia rispetto al fabbisogno: 9,8 Mt a fronte di una richiesta stimata compresa tra 14,7 e 23,3 Mt (GERARDI e PERRELLA, 1999, 2001; HELLRIGL, 2002; DRIGO *et al.*, 2007). Va tuttavia ricordato che ulteriori apporti di biomassa, qui non considerati, possono essere ottenuti (i) da colture dedicate in ambiente agricolo di *short rotation forestry*, (ii) dagli scarti dell'industria del legno e dei prodotti legnosi a fine vita e (iii) da quanto ottenibile dalla gestione delle diverse formazioni forestali presenti all'interno delle aree protette in cui, probabilmente, la funzione produttiva di tali soprassuoli, non necessariamente in conflitto con quella protettiva, passa in secondo piano a favore di criteri di gestione finalizzati al mantenimento dell'equilibrio dell'ecosistema.

Le colture permanenti (ulivo e vite), sulla base dei criteri utilizzati, sono il comparto che fornisce più del 78% della biomassa potenzialmente disponibile; quello forestale (ceduo e fustaie) rappresenta meno del 20% mentre è del tutto trascurabile il contributo fornito dai prati (circa il 2%).

Le analisi di dettaglio, effettuate per la regione Molise, confermano da una parte tale andamento e dall'altra l'importanza della qualità dei dati disponibili. In tal senso, un contributo importante è stato fornito dall'uso della metodologia *k*-NN per la stima e la mappatura della biomassa di origine forestale prodotta da dati puntuali di tipo inventariale.

Nonostante la disponibilità di biomassa sia insufficiente rispetto alla richiesta, la possibilità di avere una visione sinottica della localizzazione, qualitativa e quantitativa, delle differenti fonti di approvvigionamento apre nuovi scenari legate alle scelte pianificatorie quali, ad esempio, la definizione di distretti energetici agroforestali capaci di alimentare impianti di piccola potenza diffusi sul territorio.



SUMMARY

*Spatially explicit estimation of potential production of biomass for energy from forest and agricultural lands: the case study of the Molise Region (Italy)*

This paper focuses on the assessment of the potential production of woody biomass for energy from forest and agricultural lands through an innovative methodology based on sustainable use of the resource. The analysis was performed at two different geographic scales: the first at national level and the second one at regional level, based on more precise data, with results aggregated at municipality level. The common characteristics of the analysis is the application of constraints to biomass production related to morphological, technical-structural and managerial characteristics of the studied area and the implementation of a criteria to ensure sustainable management of forest resources based on the concept of a minimum growing stock.

BIBLIOGRAFIA

- APAT, 2003 – *Le biomasse legnose. Un'indagine delle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia*. Rapporti APAT 30/2003, 99 p.
- APAT, 2005 – *La realizzazione in Italia del progetto Corine Land Cover 2000*. Rapporti APAT 36/2005, 86 p.
- APAT, 2007 – *Italian Greenhouse Gas Inventory, 1990-2005*. National Inventory Report 2007. APAT, Miscellanea/2007.
- AA.VV., 2009 – *Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana*. Manuale ARSIA, 2009. ISBN 978-88-8295-109-2. ARSIA - Regione Toscana, Firenze.
- BERTINI R., CHIRICI G., CORONA P., TRAVAGLINI D., 2007 – *Confronto di metodi parametrici e non-parametrici per la spazializzazione della provvigione legnosa tramite integrazione di misure a terra, dati telerilevati e informazioni ancillari*. Forest@, 4 (1): 110-117. doi:10.3832/efor0439-0040110
- CHIRICI G., CORONA P., 2006 – *Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione nel rilevamento delle risorse forestali*. Aracne Editrice, Roma.
- 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, 122 (5): 2686-2700. doi:10.1016/j.rse.2008.01.002
- CHIRICI G., CORONA P., TRAVAGLINI D., FILIBERTI F., 2003 – *Segmentazione multirisoluzione e classificazione object oriented di immagini telerilevate*. In: "L'informazione territoriale e la dimensione tempo". Atti della 7ª Conferenza Nazionale ASITA, Verona, 28-31 ottobre 2003, vol. 1: 729-734.
- 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., MARINELLI M., PETTENELLA D. (a cura di), 2007 – *Valutazione dei danni da incendi boschivi*. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze.
- CIANCIO O., MERCURIO R., NOCENTINI S., 1981-1982 – *Le specie forestali esotiche nella selvicoltura italiana*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Arezzo, vol. XII e XIII, 731 p.
- CORONA P., 2000 – *Introduzione al rilevamento campionario delle risorse forestali*. Edizioni Cusl, Firenze.
- DRIGO R., CHIRICI G., LASSERRE B., MARCHETTI M., 2007 – *Analisi su base geografica della domanda e dell'offerta di combustibili legnosi in Italia*. L'Italia Forestale e Montana, 62 (5/6): 303-324. doi:10.4129/IFM.2007.5-6.01
- EEA, 2006 – *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?* EEA Report N° 7/2006.
- ENERWOOD, 2007 – *"Enerwood" Interreg III a transfrontaliero adriatico. Energia rinnovabile e gestione del patrimonio boschivo*. Regione Molise.
- FAO, 2006 – *Woodfuel Integrated Supply / Demand Overview Mapping (WISDOM)*. Slovenia - Spatial woodfuel production and consumption analysis. Prepared by R. Drigo and Ž. Veselič. FAO Forestry Department - Wood Energy Working Paper, see: <http://www.fao.org/docrep/009/j8027e/j8027e00.HTM>
- GALLI M., PAMPANA S., 2004 – *Le fonti rinnovabili per la produzione di energia: il ruolo delle biomasse*. In: "Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm". Quaderno ARSIA 6: 12-29.
- GARFÌ V., MARCHETTI M. (a cura di), 2011 – *Tipi forestali e preforestali della regione Molise*. Alessandria, Edizioni Dell'Orso S.r.l., 280 p.
- GERARDI V., PERRELLA G., 1999 – *Consumi Energetici di Biomasse nel Settore Residenziale in Italia nel 1997*. Roma, ENEA, 51 p.
- GERARDI V., PERRELLA G., 2001 – *Consumi Energetici di Biomasse nel Settore Residenziale in Italia nel 1999*. Roma, ENEA, 35 p.
- HELLRIGL B., 2002 – *L'uso energetico del legno nelle abitazioni in Italia*. Sherwood, 75: 15-26.
- HILLRING B., 2006 – *World trade in forest products and wood fuel*. Biomass and Bioenergy, 30: 815-825. doi:10.1016/j.biombioe.2006.04.002
- HIPPOLITI G., PIEGAI F., 2000 – *Tecniche e sistemi di lavoro. La raccolta del legno*. Compagnia delle Foreste, Arezzo.
- INFC, 2009 – *I caratteri quantitativi*. Prima parte, versione 2. 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-ISAFa, Trento. [on line] URL: <http://www.infc.it>
- ISAFa, 1988 – *Inventario Forestale Nazionale Italiano 1985 (IFNI 85)*. Istituto sperimentale per l'Assessment forestale e per l'Alpicoltura.
- LASSERRE B., CHIRICI G., CHIAVETTA U., GARFÌ 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

- MAGNANI F., CANTONI L., 2005 – *Biomasse forestali e produzione di energia: un caso di studio in Emilia-Romagna*. *Forest@ 2* (1): 7-11. [online] URL: <http://www.sisef.it/>. doi: 10.3832/efor0262-002
- MÄKELÄ H., PEKKARINEN A., 2004 – *Estimation of forest stand volume by Landsat TM imagery and stand-level field-inventory data*. *Forest Ecology and Management*, 196: 245-255. doi:10.1016/j.foreco.2004.02.049
- MARCHETTI, M. (a cura di), 2004 – *Standard di buona gestione forestale per i boschi Appenninici e Mediterranei (SAM)*. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze.
- MASELLI F., CHIRICI G., BOTTAI L., CORONA P., MARCHETTI M., 2005 – *Estimation of Mediterranean forest attributes by the application of k-NN procedures to multitemporal Landsat ETM+ images*. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 3781-3796. doi:10.1080/01431160500166433
- 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
- PARIKKA M., 2004 – *Global biomass fuel resources*. *Biomass and Bioenergy*, 27: 613-620.
- TOMPPPO E., 1991 – *Satellite Image-Based National Forest Inventory of Finland*. In: "Proceedings of the symposium on Global and Environmental Monitoring, Techniques and Impacts". September 17-21, 1990 Victoria, British Columbia, Canada. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 28, part 7-1: 419-424.
- TOMPPPO E., 1996 – *Multi-source National Forest Inventory of Finland*. In: "New Thrusts in Forest Inventory" (Päivinen R., Vanclay J., Miina S. eds.). *EFI Proceedings*, 7: 27-41.
- TROSSERO M., 2000 – *The current wood energy use in Europe*. Lavoro presentato alla Conferenza "Woody biomass as an energy source challenges in Europe". EFI, University of Joensuu, Ita Bionergy, Cost E21, Silva Network, 25-28 Settembre 2000, Joensuu, Finlandia.
- ZULLO L., FIORESE G., GATTO M., GUARISCO G., CONSONNI S., 2005 – *Stima della disponibilità di biomassa e alternative di utilizzo energetico: un'applicazione alla provincia di Piacenza*. In: "Atti XV Congresso della Società Italiana di Ecologia", Torino, p. 1-10.