

*GIS and Remote Sensing Techniques for the
Assessment of Biomass Resources for energy Uses
in Rome Metropolitan Area*

ANALISI GEOSPAZIALI PER LA VALUTAZIONE DELLA BIOMASSA ALL'INTERNO DI UN'AREA PROTETTA NEL CONTESTO DELL'AREA METROPOLITANA DI ROMA*

Francesco Solano^a, Nicola Colonna^b, Massimiliano Marani^b, Maurizio Pollino^b

^aDipartimento di AGRARIA, Università Mediterranea, Via dell'Università 25, 89124 - Reggio Calabria, Italia

^bENEA, Centro Ricerche Casaccia, Via Anguillarese 301, 00123 - Roma, Italia

francesco.solano@unirc.it; nicola.colonna@enea.it; massy191090@hotmail.com; maurizio.pollino@enea.it

Abstract

The Metropolitan city of Roma Capitale (Italy) represents a vast area, including many municipalities with the purpose to strength the promotion and coordination of economic and social development. Natural Parks included in the Metropolitan area are able to provide ecosystem services and resources such as agricultural and forest products as well as biomass resources that could be an opportunity to replace fossil fuels, make the city more climate friendly and, at the same time, to relaunch the sustainable management of forest that are often abandoned and prone to degradation risk. The goal of this paper is to investigate and update the actual distribution of the main forest types of the Bracciano-Martignano Regional Natural Park, through GIS and Remote Sensing techniques, in order to assess the biomass potential present in the forest areas. Results showed that there are about 20,000 t of woody biomass per year available and confirmed the importance of Sentinel-2 satellite data for vegetation applications, reaching a high overall accuracy. Rationale forest management can be strategic to deal both with forest degradation and city energy supply.

KEY WORDS: *Sentinel-2 (S-2), Remote sensing, GIS, Biomass Energy, Forestry, Spatial Analysis, Rome Metropolitan Area.*

1. Introduzione

La Città Metropolitana di Roma Capitale è stata istituita nel 2015, secondo la legge n. 56/2014. Essa rappresenta una vasta area, comprendente 121 Comuni, i cui scopi non sono solo legati al ruolo istituzionale, ma sono inerenti anche a funzioni specifiche, tra le quali la promozione e il coordinamento dello sviluppo economico e sociale, al fine di garantire il sostegno alle attività economiche e di ricerca che siano innovative e coerenti con la vocazione dell'area metropolitana. L'ampio territorio naturale della Città Metropolitana è in

grado di fornire servizi ecosistemici (aria, acqua, ricircolo nutrienti) e anche risorse (prodotti agricoli, zootecnici e ittici, legname), a coloro che vi vivono, e per le sue qualità attira un significativo flusso turistico locale che, pur generando una pressione sulle risorse, costituisce soprattutto una ottima opportunità per sostenere la manutenzione e valorizzare le aree agricole e forestali ed i loro prodotti. Tale area potrebbe potenzialmente offrire prodotti a base di legno per l'energia, che sono presenti in grandi quantità ma sottoutilizzati, mentre la città è un grande consumatore di energia, con un impatto emissivo significativo.

* Il documento nella sua interezza è frutto del lavoro congiunto dei quattro autori.

Sviluppo Locale: Spazio Urbano, Spazio Rurale, Aree Interne

L'uso razionale della risorsa biomassa può rappresentare un'opportunità per sostituire parzialmente i combustibili fossili e rendere la città più rispettosa degli impegni post-Kyoto e allo stesso tempo offrire un'opportunità per lo sfruttamento economico delle foreste che sono spesso abbandonate e soggette a fenomeni di degrado (incendi, frane). Dato che all'interno dell'area metropolitana di Roma sono incluse molte aree verdi, nell'ambito del presente lavoro ci si è posti l'obiettivo di stimare il potenziale contributo ottenibile dalla biomassa di origine forestale presente nel territorio per soddisfare una frazione del consumo di combustibili delle aree limitrofe: tale studio è stato condotto attraverso analisi basate sui GIS [1] e dati cartografici e satellitari.

L'obiettivo è quello di fornire un supporto ad una migliore e più corretta gestione delle risorse di biomassa forestale locale, nel contesto di un'area come un parco naturale adatta alla conservazione della biodiversità e allo sviluppo del turismo, senza però compromettere i servizi ecosistemici, ma piuttosto migliorandoli.

2. Materiali e metodi

2.1 Area di studio e Processamento dei dati

La ricerca è stata condotta all'interno del Parco Naturale Regionale di Bracciano-Martignano, ricadente nel contesto dell'Area Metropolitana di Roma Capitale (vedi Fig. 1).

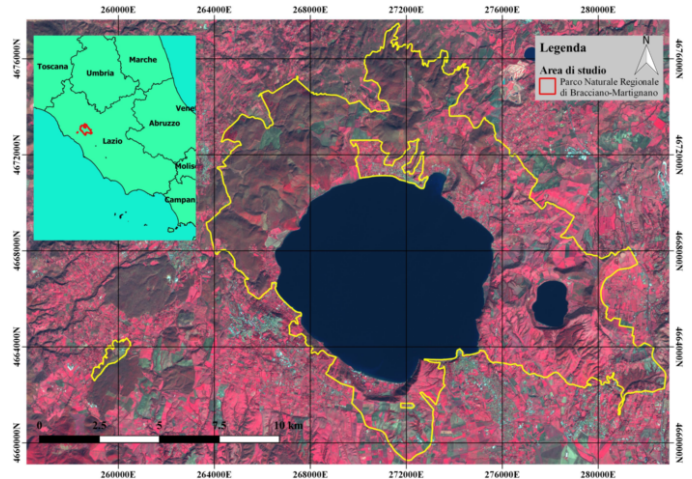


Fig. 1 - Localizzazione dell'area di studio. Immagine Sentinel-2 (acquisita il 29 agosto 2017), combinazione delle bande in falso colore infrarosso [NIR-Red-Green = 843]. La linea continua gialla rappresenta il confine del Parco Naturale Regionale di Bracciano-Martignano (Fonte: Elaborazione propria degli autori [2])

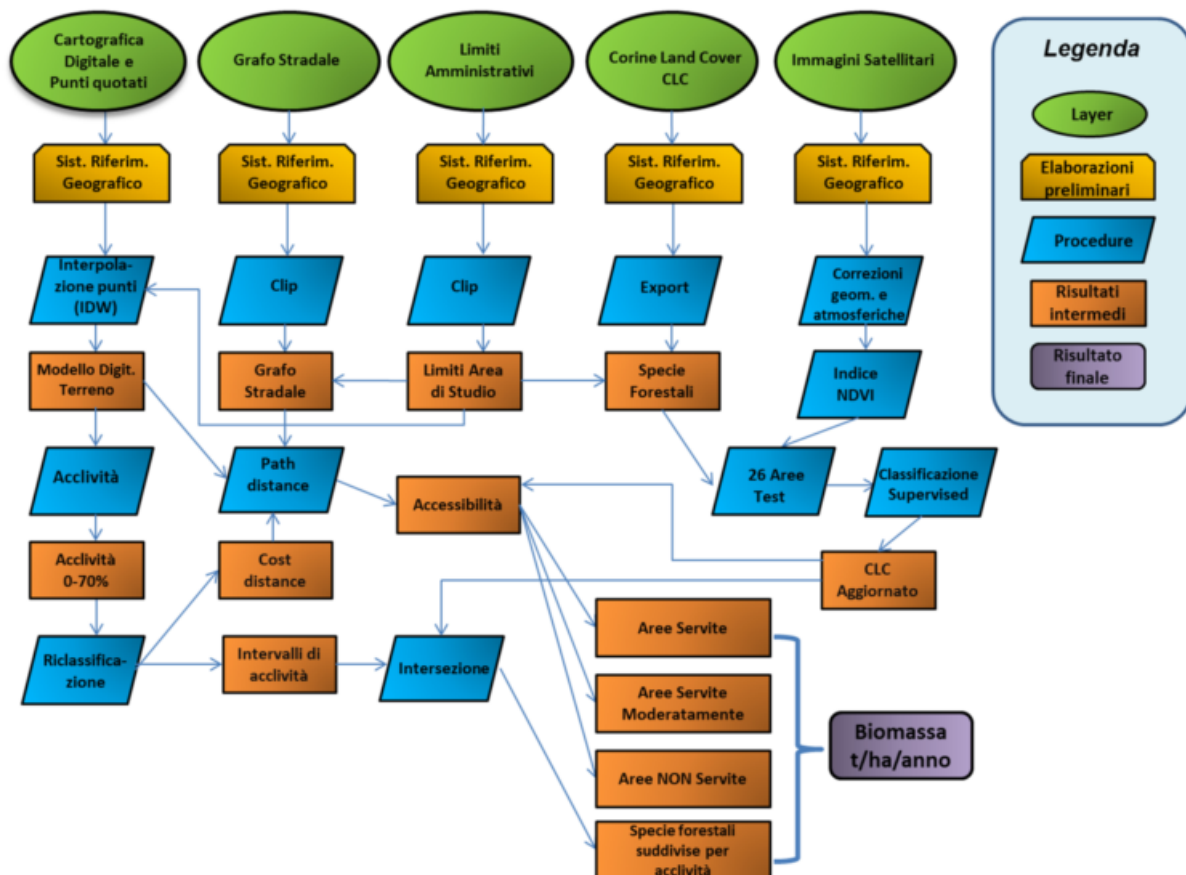


Fig. 2 - Flusso di lavoro dell'elaborazione dati per la stima del potenziale di biomassa forestale (Fonte: Elaborazione propria degli autori [2])

L'area si estende per 16.682 ettari comprendendo le città di Anguillara Sabazia, Bassano Romano, Bracciano, Campagnano di Roma, Manziana, Monterosi, Oriolo Romano, Roma (XV Municipio), Sutri e Trevignano Romano, compresi nella vasta area dei Monti Sabatini.

L'area analizzata è caratterizzata da un paesaggio eterogeneo, con la presenza del lago di Bracciano, diverse attività agricole, aree edificate e zone naturali come faggete, castagneti e querceti nelle aree montuose.

Facendo riferimento all'obiettivo di questa ricerca, viene proposta una metodologia specifica per mappare l'attuale consistenza delle risorse forestali e stimare il potenziale di biomassa presente in questi habitat (si veda il workflow nella figura [vedi Fig. 2]).

2.2 Disponibilità e accesso ai dati

Per effettuare le analisi geospaziali, è stata eseguita preliminarmente una indagine sulla disponibilità dei dati.

In tabella (vedi Tab. 1) è riportato l'elenco completo dei dati e delle informazioni utilizzate. In particolare, alcuni dati sono stati opportunamente elaborati (ad esempio, tramite procedure di importazione GIS, selezione per attributi o per area, sovrapposizione spaziale, interpolazione punti, ecc.) al fine di adattarli alle peculiarità e alla particolare situazione territoriale dell'area di studio.

Dato	Origine	Elaborazioni
Corine Land Cover 4 livello (formato shape file)	https://dati.lazio.it/	Si
Cartografia Digitale del Lazio, 1:5,000 (formato shape file)	https://dati.lazio.it/	No
Punti delle elevazioni (5x5m) formato file .dxf	https://dati.lazio.it/	Si
DTM e Acclività (5x5m) Derivati dai punti delle elevazioni (formato file raster)	https://dati.lazio.it/	Si
Confini delle aree Monumentali (formato shape file)	https://dati.lazio.it/	Si
Immagine satellitare Sentinel-2 (formato file raster)	https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home	Si
Rete stradale (formato shape file)	https://dati.lazio.it/	Si
Rete stradale	https://www.openstreetmap.org/	Si
Confini amministrativi (formato shape file)	https://dati.lazio.it/	Si
Ortofoto (RGB) Servizio WMS	http://www.pcn.minambiente.it/mattm/servizio-wms/	No

Tab. 1 - Dati, fonti, origine ed elaborazioni dei dati
(Fonte: Elaborazione propria degli autori [2])

2.3 Dati satellitari e processamento delle immagini

I dati telerilevati da satellite, opportunamente elaborati, rappresentano una delle fonti più importanti per analizzare le caratteristiche e le dinamiche della copertura del suolo [3], costituendo un supporto efficace alla pianificazione e alla gestione sostenibile del paesaggio [4].

Per studiare l'area di interesse sono state utilizzate le immagini satellitari Sentinel-2 (S-2), selezionando quelle con minore copertura nuvolosa e scaricandole gratuitamente dal sito web <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> (proiezione di mappa UTM-33, datum WGS84, codice EPSG 32633).

Al fine di migliorare la risoluzione spaziale delle bande delle immagini S-2 originali, è stato utilizzato un algoritmo di fusione tra le bande multispettrali di 20 m (B5-B6-B7, Vegetation Red-edge) e le bande con risoluzione spaziale da 10 m (B2-B3-B4-B8, Blue-Green-Red-NIR) attraverso l'algoritmo *hyperspherical colour space* (HCS) [5].

Le immagini sono state così corrette a livello atmosferico e topografico [6] alla riflettanza di superficie, utilizzando

tutte le bande attraverso il modulo ATCOR3 per Erdas Imagine® 2016. Al fine di aggiornare in modo dettagliato la mappa *Corine Land Cover* (CLC) e di individuare e descrivere la distribuzione delle risorse forestali, è stata eseguita una caratterizzazione ed un'analisi di separabilità delle firme spettrali dei diversi tipi forestali sulle immagini S-2 corrette.

È stato così definito un gruppo di usi del suolo ottenendo le loro firme spettrali a partire da una serie di 26 aree di interesse (AOI) - raccolte mediante le classi CLC originali, quindi come set di training per eseguire la classificazione delle immagini. Per l'estrazione della superficie ricoperta dalla vegetazione, si è fatto uso degli indici di vegetazione. In particolare, è stato utilizzato il *normalized difference vegetation index* (NDVI) [7] per ottenere una maschera di vegetazione ad alta risoluzione spettrale all'interno della quale eseguire la classificazione.

L'algoritmo euclidean distance (ED) è stato applicato per misurare la separabilità delle firme spettrali e una matrice di contingenza (CM) per valutare la coerenza dei set di training definiti. I dati derivati dalle AOI sono stati sele-

zionati come campioni di addestramento per eseguire una classificazione supervisionata mediante l'algoritmo MLC (Maximum Likelihood Classification).

Il risultato ottenuto è stato una mappa di copertura del suolo migliorata (ILC - *Improved Land Cover*), più adatta agli scopi dello studio e incentrata sulle aree forestali.

2.4 Analisi geomorfologiche

In questa fase, la rappresentazione della topografia attraverso un modello digitale del terreno (DTM) è stata fondamentale per descrivere le caratteristiche geomorfologiche e dell'area di studio [8].

A tal fine, è stata sfruttata la cartografia tecnica digitale, in scala 1: 5.000, fornita dalla Regione Lazio, che contiene uno strato specifico costituito dai punti quotati (in formato .dxf) che descrive la topografia di tutta la regione. Tali punti sono stati interpolati utilizzando il metodo della distanza inversa ponderata (IDW), generando uno strato informativo di tipo raster che rappresenta il DTM dell'area, con risoluzione spaziale di 5x5 m.

Quindi, dal DTM sopra menzionato, è stata derivata la mappa delle pendenze (espresse in percentuale).

Lo strato informativo delle pendenze è stato poi suddiviso in 4 classi diverse (con intervalli uguali del 20%) [9].

Il passo successivo, in ambiente GIS, è consistito nel sovrapporre lo strato delle pendenze e la mappa ILC, al fine di classificare ulteriormente le classi di copertura del suolo forestale, anche in funzione dell'acclività dei versanti.

2.5 Analisi della viabilità e mappatura dell'accessibilità

Ai fini della valutazione dell'accessibilità per le attività selvicolturali, è stata prodotta, in ambiente GIS, la mappa delle aree servite da strade. Essa è stata elaborata sulla base di operazioni di *Map-Algebra*, basate sugli approcci proposti in altre esperienze italiane utilizzate in contesti simili [10, 11] e tenendo conto della distanza euclidea di ciascuna area considerata in relazione alla pendenza dei versanti. L'approccio scelto per determinare le aree forestali servite da strade si riferisce al metodo di valutazione dell'accessibilità forestale proposto da Hippoliti [12], che si basa sulla determinazione del tempo che un operatore può impiegare per raggiungere a piedi l'area dell'utilizzazione dalla più vicina strada accessibile ai veicoli (adatta per le operazioni con macchine forestali).

I parametri considerati nella valutazione dell'accessibilità all'area sono: (i) la distanza dell'area dalla strada e (ii) la differenza di quota dell'area rispetto al punto di partenza sulla strada. L'area di interesse è stata quindi indicizzata in base al tempo di percorrenza [12] e in relazione alle caratteristiche di pendenza, ottenendo una cosiddetta mappa *raster cost distance*. La distanza dalla strada (distanza reale) e la differenza di quota sono state calcolate mediante il DTM (5x5 m) sopra menzionato.

Attraverso una funzione GIS per il calcolo delle distanze cumulate (*Path Distance*), è stato creato un nuovo set di dati che rappresenta il grado di accessibilità di ciascun punto della mappa.

La classificazione delle aree forestali di interesse, in relazione all'accessibilità per scopi selvicolturali, è stata quindi ripartita in tre classi: (1) aree servite; (2) aree moderatamente servite; (3) aree scarsamente servite.

2.6 Stima della biomassa forestale

L'ultimo passo dell'approccio seguito ha riguardato la sola considerazione dei tipi forestali più frequenti, tra cui i castagneti, querceti, boschi di faggio e rimboschimenti di pini. Partendo da un *dataset* derivato da una ricerca bibliografica per l'area di studio, per la stima della biomassa forestale ottenibile, sono stati utilizzati i dati della provvigione legnosa per ettaro per le differenti tipologie forestali, forniti da professionisti ed esperti locali in possesso di una conoscenza approfondita e specifica del territorio.

Questo dato è stato quindi riferito all'area forestale, ottenuta dalla carta aggiornata dei tipi forestali ILC, che ha portato alla stima di un approvvigionamento di legname espresso in t·ha⁻¹.

3. Risultati

3.1 Stima della biomassa forestale

La copertura forestale è caratterizzata principalmente da querce [13], castagni, faggi e pinete artificiali. I boschi di faggio (*Fagus sylvatica* L.) sono considerati patrimonio dell'UNESCO e siti di interesse comunitario (SIC).

I tipi forestali che occupano la maggiore superficie sono i castagneti con 1.992 ha ed i querceti con 2.087 ha totali (vedi Fig. 3).

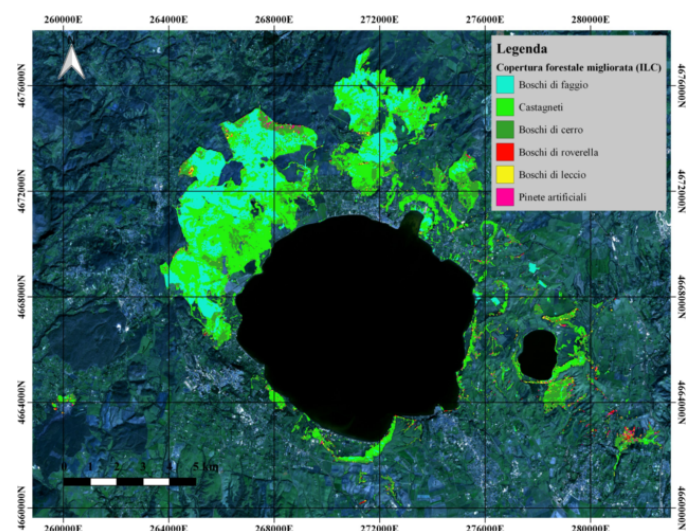


Fig. 3 - Mappa della copertura forestale migliorata (ILC)
(Fonte: Elaborazione propria degli autori [2])

Inoltre, è possibile osservare che la maggior parte del territorio ha un eccellente livello di accessibilità (vedi Fig. 4).

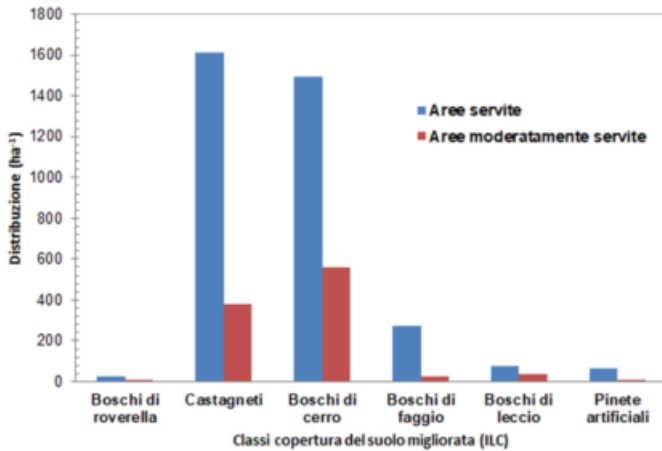


Fig. 4 - Distribuzione dei principali tipi forestali in relazione al grado di accessibilità per scopi selvicolturali, basata sulle classi derivate dalla copertura del suolo migliorata (ILC) (Fonte: Elaborazione propria degli autori [2])

Infatti la cartografia classificata dell'accessibilità presenta principalmente due livelli: aree servite e aree moderatamente servite. Su una superficie totale di 4.533 ha, circa 3.547 ha sono stati classificati come aree servite e 1.006 ettari come aree moderatamente servite (vedi Tab. 2).

Livello di accessibilità	Copertura suolo	Superficie [ha]	Superficie utilizzabile (4% del totale) [ha]	Biomassa [t]
Aree Servite	Querceti	1.521	61	6.710
	Castagneti	1.614	65	9.100
Aree Moderatamente servite	Querceti	566	23	2.530
	Castagneti	378	15	2.100
Totale		4.079	164	20.440

Tab. 2 - Distribuzione dei principali tipi forestali basati sulla copertura del suolo migliorata (ILC) dell'area di studio (Fonte: Elaborazione propria degli autori [2])

3.2 Viabilità e valutazione dell'accessibilità

La maggior parte del territorio dell'area di studio è dotato di una buona rete stradale. Questa rete è caratterizzata da strade/piste utili sia per l'accesso ai boschi da parte degli operatori forestali, sia per l'accesso dei mezzi forestali.

3.3 Caratterizzazione e distribuzione della biomassa

Dopo aver stimato la superficie delle aree accessibili e delle aree moderatamente accessibili, è stata stimata la biomassa forestale ottenibile sull'intera superficie. Come punto di partenza sono state valutate tutte le specie forestali presenti nel territorio, per definire il cosiddetto potenziale lordo di biomassa, per poi passare a identificare le specie effettivamente utilizzabili a fini energetici (potenzialmente disponibili), considerando solo i bo-

schi di querce e castagno. Per le foreste di querce si è valutata una resa media di circa $100 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ per cui si stimano circa $110 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ di provvigione legnosa, mentre per i boschi di castagno per una media di $140 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ si è stimata una provvigione di circa $140 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

In conformità con la legge forestale regionale, per gestire in modo sostenibile il patrimonio forestale, si è ipotizzato che solo il 4% dell'intera superficie di studio possa essere utilizzato ogni anno.

Dai risultati ottenuti è stato possibile stimare che l'area di interesse è in grado di fornire circa 20.440 t di biomassa forestale ogni anno senza incidere sul potenziale di produzione forestale locale.

4. Conclusioni

I risultati confermano l'importanza dell'utilizzo della banda del *Red-edge* delle immagini Sentinel-2 per le applicazioni riguardo la vegetazione, grazie alla possibilità di poter combinare un'alta risoluzione spaziale di 10 m con l'utilizzo di una peculiare firma spettrale per analizzare il comportamento della vegetazione.

La classificazione delle immagini per la distribuzione dei boschi ha suggerito che, quando queste immagini si integrano con altri dati ancillari, diventa possibile mappare le specie nonché effettuare altri studi su scala regionale con un'elevata accuratezza complessiva [14].

Nella mappa ILC, le specie forestali che occupano la superficie maggiore sono i castagni (*Castanea sativa Mill.*) con 1.992 ettari e le querce (principalmente cerro e roverella) con 2.087 ettari in totale.

L'analisi dell'accessibilità, incentrata sulle aree forestali, definita in base alla disponibilità e dislocazione delle strade e alle pendenze dei versanti, ha mostrato come nei boschi presenti nell'area la quantità potenziale complessiva di biomassa potrebbe essere facilmente utilizzata e raccolta a fini energetici in quanto ricadente nella zona classificata come servita.

Secondo un gran numero di esperienze [15, 16] una buona accessibilità è una condizione preliminare per lo sfruttamento tecnico ed economico delle risorse forestali, ma non è sufficiente.

I prossimi passi del presente studio riguarderanno l'analisi della logistica della biomassa legnosa e la domanda potenziale di calore per esigenze di riscaldamento al fine di collegare la domanda di energia alla disponibilità delle risorse e promuovere la raccolta e l'uso della biomassa come volano per lo sviluppo locale.

Bibliografia

- [1] Modica G., Laudari L., Barreca F., Fichera C.R., *A GIS-MCDA Based Model for the Suitability Evaluation of Traditional Grape Varieties*. In: *Int J Agric Environ Inf Syst*, 5, pp. 1 - 16 , 2014
- [2] Solano F., Colonna N., Marani M., Pollino M., *Geospatial analysis to assess Natural Park biomass resources for energy uses in the context of the Rome Metropolitan Area*. In: Calabrò F., Della Spina L., Bevilacqua C. (eds): *New Metropolitan Perspectives. ISHT 2018. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 100, Springer, Cham, 2018
- [3] Nolè G., Lasaponara R., Lanorte A., Murgante B., *Quantifying Urban Sprawl with Spatial Autocorrelation Techniques using Multi-Temporal Satellite Data*. In: *Int J Agric Environ Inf Syst*, 5, pp. 19 - 37, 2014
- [4] Di Palma F., Amato F., Nolè G., Martellozzo F., Murgante B., *A SMAP Supervised Classification of Landsat Images for Urban Sprawl Evaluation*. In: *ISPRS Int J Geo-Information* 5: p. 109, 2016
- [5] Padwick C., Scientist P., Deskevich M., Pacifici F., Smallwood S., *WorldView-2 pan-sharpening*. In: *Asprs 2010*, 48, pp. 26 - 30, 2010
- [6] Pflug B., Makarau A., Richter R., *Processing Sentinel-2 data with ATCOR*. In: *Geophysical Research Abstracts*. EGU General Assembly 2016, pp. 17 - 22, Vienna, Austria. 2016
- [7] Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., *Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with Ertis*. In: Stanley Freden C, Mercanti, Enrico P., Becker MA (eds) *Third Earth Resources Technology Satellite 1 Symposium*. NASA, Washington, D.C., USA, 1974
- [8] Modica G., Pollino M., Lanucara S., La Porta L., Pellicone G., Di Fazio S., Fichera C.R., *Land suitability evaluation for agro-forestry: Definition of a web-based multi-criteria spatial decision support system (MC-SDSS): Preliminary results*. In: *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, pp 399 - 413, Cham, 2016
- [9] Hippoliti G., Piegai F., *Tecniche e sistemi di lavoro per la raccolta del legno*. Compagnia delle Foreste, Arezzo, 2000
- [10] Chirici G., Marchi E., Rossi V., Scotti R., *Analisi e valorizzazione della viabilità forestale tramite G.I.S.: la foresta di Badia Prataglia (AR)*. In: *L'Italia For e Mont*, pp. 460 - 481, 2003
- [11] Bulfoni D., De Vetta R., Magrini A., *Pianificazione della viabilità forestale. Impiego di dati lidar nella Foresta di Fusine (UD)*. In: *Sherwood*, pp. 19 - 24, 2010
- [12] Hippoliti G., *Sulla determinazione delle caratteristiche della rete viabile forestale*. In: *L'Italia Forestale e Montana*, pp. 242 - 255, 1976
- [13] Modica G., Solano F., Merlino A., Di Fazio S., Barreca F., *Laudari L., Fichera C.R., Using Landsat 8 imagery in detecting cork oak (Quercus suber L.) woodlands: a case study in Calabria (Italy)*. In: *J Agric Eng* 47, p. 205, 2016
- [14] Di Fazio S., Modica G., Zoccali P., *Evolution Trends of Land Use/Land Cover in a Mediterranean Forest Landscape in Italy*. In: *ICCSA 2011. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6782, pp 284 - 299. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011
- [15] Colonna N., Del Ciello R., Petti R., *Biomasse agroforestali: valutare il potenziale a scala regionale*. In *Ambiente Risorse e Salute*, 127, pp. 20 - 24, 2010
- [16] Lupia F., Pulicani P., Colonna N., *Un modello di processamento per lo sfruttamento ottimale delle biomasse legnose*. In: *Atti IX Conferenza Utenti ESRI*, Aprile 2006, Roma, 2006

