

STIMA DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI RESIDUI AGRICOLI MEDIANTE L'UTILIZZO DI IMMAGINI SATELLITARI A MEDIA RISOLUZIONE SPAZIALE (ASTER): UNO STUDIO GEOGRAFICO IN SERBIA

G. MAURO (*), A. BON (**)

(*) Dipartimento di Scienze Geografiche e Storiche, Università di Trieste, gmauro@units.it

(**) CETA (Centro per l'Ecologia Teorica ed Applicata), Gorizia, alessandro.bon@ceta.ts.it

Riassunto

L'utilizzo di residui agricoli come fonte energetica rinnovabile per l'alimentazione di caldaie a cogenerazione rappresenta una delle nuove potenzialità del comparto agricolo. Il presente studio è stato sviluppato nell'ambito di un progetto Interreg, svolto in sinergia con la vicina Repubblica di Serbia. L'obiettivo specifico di questa parte del progetto è stato quello di valutare la disponibilità potenziale delle biomasse agricole lignocellulosiche (residui di potatura dei frutteti e dei vigneti) ed erbacee (paglie nel caso del frumento; stocchi, tutoli e brattee nel caso del mais) per l'alimentazione di caldaie a supporto di reti di teleriscaldamento. Le aree di studio sono tre municipalità serbe Sombor, Palilula e Negotin. Per definire la copertura del suolo di questi territori sono state prese in esame alcune immagini satellitari a media risoluzione spaziale (ASTER), che sono state inizialmente classificate in alcune macroclassi (aree urbane, aree agricole, foreste e idrografia), mediante classificazione di tipo *Machine Learning*. Successivamente è stata estratta la macroclasse relativa alle superfici coltivate, allo scopo di discriminare tra aree cerealicole e aree con superfici a frutteti e/o a vigneti (per definire puntualmente le potenzialità delle diverse tipologie di biomassa agricola derivabile). Questa differenziazione dell'uso del suolo agricolo è stata realizzata mediante la classificazione di un indice vegetazionale (NDVI), elaborato sui dati telerilevati ASTER precedentemente selezionati. I dati relativi all'estensione delle diverse classi di superficie agricola sono stati confrontati con le informazioni acquisite dall'Ufficio di Statistica della Repubblica di Serbia, nonché con fonti cartografiche non omogenee fornite dalla *partnership* serba. Una volta verificata l'accuratezza della classificazione, sono stati applicati dei parametri di produttività per stimare le biomasse potenzialmente retraibili dai territori allo studio.

Abstract

This paper put in evidence some results of an Interreg Project, named BIOM-ADRIA ("Biomass as a primary source of energy in the Adriatic Basin countries"), developed from a partnership between the Emilia Romagna Region and Serbian Energetic Agency. As suggest the name, the main issues of this project is to perform and improve the use of non-fossil sources (in this case mainly agricultural residues) as energetic fuel for production of electric and thermal energy. In order to estimate the agricultural residual biomass deriving from cereals or from orchards and vineyards, we used several satellite images, acquired from ASTER sensor. We classified the land cover in some macroclasses (urban areas, agricultural areas, forests and hidrography) with the Machine Learning procedures in three different municipalities (Sombor, Paljlula and Negotin). Then we identified permanent cultures (orchards and vineyards), classifying a NDVI vegetation index computed only on the agricultural areas. Finally, we applied several different markers productivity to estimate and to locate biomass in the three study areas.

Introduzione

Nell'epoca del caro petrolio diventa sempre più pressante rivolgere la propria attenzione verso fonti energetiche di origine non fossile. Il presente lavoro espone alcuni dei risultati ottenuti nell'ambito del progetto BIOM-ADRIA ("Biomassa come risorsa primaria di energia nell'ambito dei Paesi del Bacino Adriatico), che nasce da una collaborazione tra il Servizio Politiche Energetiche della Regione Emilia Romagna e l'Agenzia dell'Energia della Repubblica di Serbia. Il progetto ha visto inoltre il coinvolgimento di diversi partners, tra gli altri: l'Iniziativa Centro Europea (In.CE), l'Institute for Nuclear Sciences Vinca (VINCA), il consorzio scienza tecnologia impresa ASTER, CENTURIA RIT (Romagna Innovazione Tecnologia), SONOSAN e il CETA (Centro per l'Ecologia Teorica ed Applicata).

La biomassa agricola indagata è costituita da residui agricoli lignocellulosici ed erbacei, ossia materiale di scarto potenzialmente utilizzabile (dopo essere state opportunamente condizionate, cioè stoccate, essiccate e cippate) in impianti di piccola-media taglia per generare energia termica e/o elettrica. Costi di raccolta e bassa densità per unità di superficie sono fattori che ne limitano le possibilità di impiego (Jodice e Tomasinsig, 2006) per cui diventa molto rilevante una corretta pianificazione per ottimizzare l'utilizzo della risorsa.

Gli obiettivi che tale progetto si propone sono molteplici: la stima della biomassa agricola residua potenziale; la valutazione della localizzazione per nuovi impianti di produzione di energia da biomasse agricole; un'analisi degli aspetti logistici dell'impiantistica; un'analisi dettagliata delle specifiche tecniche dell'impianto prototipo di 3-5MW (dalla caratterizzazione chimica-fisica del combustibile all'analisi della diffusione degli inquinanti; dagli aspetti tecnologici dell'impianto prototipo ad una dettagliata analisi dei costi dell'intero sistema). Nel caso specifico si presentano i risultati relativi all'utilizzo di immagini satellitari a media risoluzione per la stima e la localizzazione della biomassa agricola residuale potenzialmente utilizzabile a scopi energetici.

Inquadramento geografico delle tre aree studio

La Serbia è una giovane repubblica facente parte della Repubblica federale di Jugoslavia, Stato solo recentemente costituitosi (1992), come risposta alla disgregazione della Jugoslavia. Il Paese, che gode di una collocazione geopolitica e geoeconomica centrale nella penisola balcanica e che potenzialmente costituisce un crocevia di scambi commerciali per tutta l'area (Bianchini e Dassù, 1998), riconosce da sempre un'importanza centrale all'agricoltura (Cori e Gasperoni, 1987). In Serbia il costo politico (molto accessibile) della energia elettrica rende questo tipo di fonte la principale risposta alla comune domanda di approvvigionamento energetico, per cui essa viene normalmente utilizzata sia per le attività quotidiane, ma anche per il riscaldamento domestico durante la stagione invernale. È intenzione delle autorità locali cambiare questa situazione in tempi compatibili, rivolgendosi fra l'altro urgentemente verso fonti di tipo rinnovabile.

L'analisi che si propone è stata svolta in tre municipalità (Sombor, Paljlula e Negotin) dislocate in tre diverse zone della Serbia, allo scopo di rappresentare in modo efficace l'intera situazione di questo paese.

Sombor è una piccola cittadina localizzata a Nord-Ovest, al confine con la Croazia e l'Ungheria, posta nel Distretto di Bačka occidentale, nella regione pianiziale della Vojvodina (regione definita "il regno dei cereali"; Cori e Gasperoni, cit.). La municipalità ha una popolazione complessiva poco inferiore alle 100.000 unità, di cui oltre il 60% di etnia serba. L'economia dell'area è prevalentemente agricola, con oltre 90.000 ettari di superficie investita nel settore primario (circa il 76% del territorio, coltivato prevalentemente a cereali), e occupa oltre il 20% dei lavoratori. Tuttavia anche il settore industriale, sostenuto anche da un soddisfacente sistema infrastrutturale, ha conosciuto un buon sviluppo (settore edilizio, fabbricazione della carta, tessile e alimentare), anche se in calo negli ultimi anni.

Palilula è uno dei 17 sobborghi urbani di Belgrado. Questa località è posizionata a nord della capitale serba in una pianura di origine alluvionale dei fiumi Danubio e Tamiš, solo recentemente bonificata (a partire dal 1945), ma ancora con ampie superfici paludose. La popolazione, in gran

parte di etnia serba (oltre l'86%), conta oltre 155.000 abitanti ed è in fase di crescita. Anche in quest'area suburbana, l'agricoltura gioca un ruolo importante per l'economia locale: oltre il 60% della superficie (circa 26.000 ettari) è investito nella produzione alimentare (prevalentemente cereali, ma anche frutticoltura, orticoltura, etc.), in strutture agricole anche di tipo statale. La presenza, lungo il Danubio, di banchine portuali giustifica l'elevata densità dell'insediamento industriale, che trova in quest'area una delle zone più prospere del Paese.

L'ultima area presa in esame è quella di Negotin, piccola cittadina posta in un'area collinare situata nel Distretto di Bor, nel Nord-Est della Serbia centrale, al confine con la Romania e la Bulgaria. La popolazione, che conta oltre 40.000 persone (prevalentemente serbi), è sottoposta a forte emigrazione (specie verso l'Europa Occidentale). L'economia è prevalentemente agricola, anche se non sempre in grado di garantire un sufficiente livello di qualità della vita. Data l'orografia di questo territorio, la vocazione agricola è di tipo vitivinicolo, anche se la presenza di cereali rimane comunque prevalente nel settore primario. Notevole è la presenza di foreste, prati e foraggi. Industria e commercio non sono molto sviluppati.

Dati e Metodi

Nel corso del presente studio sono stati presi in esame dati non omogenei, ossia dati statistici e cartografici. Sono stati analizzati, infatti, i dati sull'agricoltura relativi a due macroaree serbe (Vojvodina e Serbia Centrale), disponibili sul sito del Ufficio statistico Serbo (www.webrzs.statserb.sr.gov.yu) per il periodo 1947-2007. Inoltre, per acquisire dati con maggiore risoluzione spaziale, è stato esaminato il Censimento sulle Municipalità, svolto nel 2006 dall'Ufficio Statistico della Repubblica di Serbia (Statistical Office Of Republic Of Serbia, 2006).

Per quanto riguarda i dati cartografici, sono state utilizzate cartografie sia di tipo vettoriale¹, che una serie di immagini satellitari acquisite dal sensore ASTER, satellite Terra. In particolare, si è scelto di utilizzare il prodotto L1B AST14OTH² (immagini ortorettificate nel sistema di riferimento WGS84 UTM-34N, in formato informatico "Geotiff") e delle seguenti cinque immagini: 1) per l'area di Sombor due immagini, acquisite il 21 settembre 2003, ore 9:50 circa; 2) per l'area di Palilula (PKB) un'immagine del 30 gennaio 2002, ore 9:40 circa; 3) per l'area di Negotin due immagini del 5 agosto 2002, ore 9:28 circa.

Relativamente alla metodologia, nella prima fase le immagini satellitari ASTER (opportunitamente mosaiccate³ e mascherate per le sole unità amministrative di interesse) sono state classificate in modalità supervisionata, tramite l'utilizzo di tecniche cosiddette *Machine Learning*. In quattro macroclassi di copertura del suolo (aree urbane, aree agricole, foreste e idrografia). Si indicano come *Machine Learning* (ML) alcune procedure automatiche di elaborazione dei dati in formato digitale basate su operazioni logiche o binarie in grado di "imparare" dei compiti in seguito a input esterni (ossia tramite raffinamenti successivi nel processo di classificazione) (Favretto, 2006). Il software adottato è *Feature Analyst* (FA) della società *Visual Learning System*. Gli algoritmi utilizzati sono *Artificial Neural Network* (ANN) e *K-Nearest Neighbour* (Visual Learning System, 2002). La classificazione gerarchica realizzata secondo questi parametri ha permesso di analizzare sia la risposta spettrale del singolo pixel (attraverso l'indicazione di un'area *training*), sia il contesto

¹ In particolare sono stati presi in esame i layer tematici relativi a confini delle unità amministrative a differente scala (stato, regione e distretto), all'idrografia (fiumi e laghi) e alle infrastrutture viarie (strade e ferrovie) e alle aree urbane. I dati sono stati in parte forniti dalla *partnership* serba (VINCA) e in parte acquisiti da un database on-line costantemente aggiornato, messo a disposizione dalla Berkeley University per studi a carattere ecologico-geografico (biogeo.berkeley.edu/bgm/gdata.php).

² Tra i prodotti disponibili dal sito della NASA LP DAAC, è possibile acquisire immagini satellitari ortorettificate, sulla base di un altro prodotto standard AST14DEM, ossia il modello di elevazione digitale prodotto a partire dalle immagini ASTER. L'immagine ortorettificata comprende le bande nel visibile e nel vicino infrarosso (VNIR), nell'infrarosso medio (SWIR) e nell'infrarosso termico (TIR) con una risoluzione spaziale rispettivamente di 15, 30 e 90 metri. Sul distributore LP DAAC, la disponibilità di questo tipo di prodotto è possibile a partire da Maggio 2006 (Abrams, 2007).

³ Le immagini in questione, relative alle aree studio di Sombor e Negotin, sono state acquisite dal sensore sequenzialmente per cui non si è resa necessaria l'applicazione di alcun algoritmo correttivo nella fase di mosaicatura.

posizionale del pixel stesso nelle immagine. Il software richiede la definizione di un *training set* (costituito da alcune *training area*, ossia poligoni di pixel omogenei da ritenersi campioni rappresentativi delle macroclassi considerate) e la determinazione di alcuni parametri (bande utili alla classificazione, geometria spaziale di riferimento per la classificazione contestuale o *input representation*, tipo di risultato vector o raster) per il processo di estrazione delle macroclassi di cui sopra. Nel caso specifico si sono state utilizzate le prime 9 bande del prodotto L1B AST140TH di ogni immagine, data la loro migliore risoluzione spaziale. L'*input representation* prescelto è il *Manhattan* (ampiezza 5), utile per l'identificazione di oggetti rettangolari o lineari.

In un secondo momento, per differenziare puntualmente i terreni occupati da colture non permanenti da quelli a frutteti e/o vigneti⁴, è stato applicato l'indice di vegetazione NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) sulla macroclasse "aree coltivate"⁵. Essendo le immagini satellitari acquisite in date (e stagioni) differenti, i valori per la classificazione dell'indice di vegetazione non sono risultati omogenei⁶.

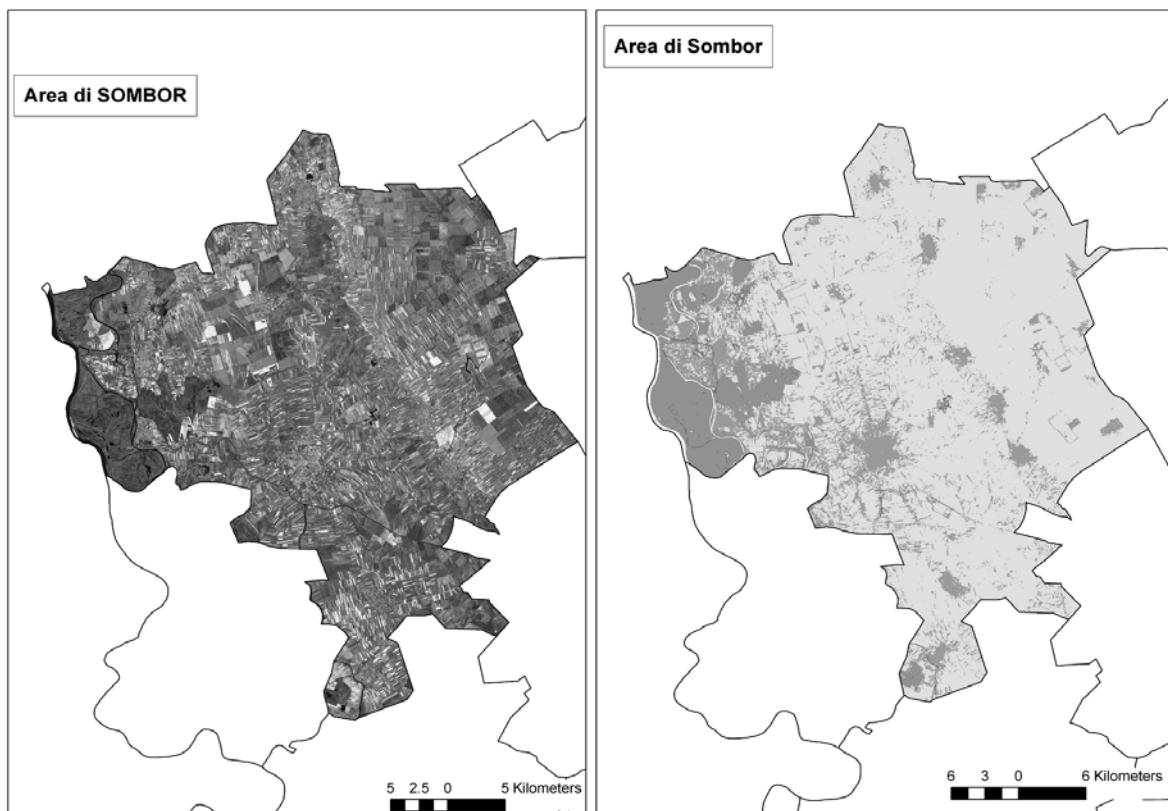


Figura 1: Classificazione in macroclassi della municipalità di Sombor. A sinistra l'immagine ASTER mascherata, a destra il risultato della classificazione (verde: foreste latifoglie; rosso: aree urbane; blu: idrografia; marrone chiaro: aree agricole).

La bontà dei risultati è stata valutata procedendo sia attraverso la sovrapposizione dei *layer* tematici acquisiti dal database on-line della Berkeley University e da VINCA (vedasi nota 1), che mediante

⁴ Infatti nella fase di classificazione ML è stata riscontrata una difficoltà nella discriminazione tra aree forestate e colture permanenti come i frutteti.

⁵ Come fatto precedentemente per le tre municipalità, anche in questo caso i pixel afferenti alla classe "aree coltivate" sono stati selezionati mediante mascheramento dell'immagine originale.

⁶ Nello specifico, per discriminare le colture permanenti dalle altre colture si sono registrati valori più elevati di NDVI per le immagini acquisite durante il periodo estivo (rispettivamente 0,42 per Sombor e 0,38 per Negotin) e decisamente più ridotti per le immagini acquisite nel periodo invernale (0,18 per la municipalità di Palilula).

utilizzo di aree test rilevate a terra. Per la verifica della qualità della classificazione è stata prodotta una *Confusion Matrix*, al fine di calcolare l'accuratezza globale (*Overall Accuracy*) e il *Coefficiente K*.

L'estensione delle aree coltivate a colture non permanenti (prevalentemente cerealicole e industriali) e permanenti è stata, inoltre, confrontata con i dati del Censimento sulle Municipalità del 2006. Visto che si tratta di dati temporalmente non coincidenti (le immagini satellitari sono state acquisite nel 2002 e 2003, mentre i dati statistici nel 2006), è stato valutato anche il trend di lungo periodo (1947-2007) delle superfici investite nelle principali coltivazioni cerealicole e industriali per macroarea di riferimento (Vojvodina, in cui ricade Sombor; Serbia Centrale in cui ricadono Palilula e Negotin). Lo scopo era comprendere il grado di coerenza dei risultati ottenuti.

L'analisi dei dati storici ha fornito, inoltre, altre importanti indicazioni, come ad esempio la ripartizione percentuale delle principali categorie di coltivazione cerealicole per macroarea, informazione non contenuta nel Censimento sulle Municipalità. Questo dato risulta essenziale per l'applicazione successiva dei corretti parametri di produttività (q/ha) delle biomasse (Jodice e Tomasinsig, 2006), allo scopo di valutare la produttività potenziale di biomassa cerealicola residuale dei tre bacini presi in considerazione.

Risultati e Conclusioni

L'applicazione della metodologia di cui sopra ha permesso di definire le carte dell'uso del suolo per le tre aree studio prese in esame. I risultati migliori della classificazione⁷ si sono ottenuti per l'area di Sombor, probabilmente spiegabili con la data di acquisizione dell'immagine e la morfologia planiziale dell'area. Maggiori problemi si sono verificati nell'area di Negotin, dove la bassa qualità dell'immagine iniziale (copertura nuvolosa del 5%), nonché anomalie nella trasparenza dell'atmosfera hanno parzialmente invalidato la classificazione.

Applicando i parametri percentuali della classe cereali calcolati sui dati del Censimento (rispettivamente 64% nel caso di Sombor, 47% nel caso di Palilula e 59% nel caso di Negotin) alle estensioni stimate da satellite per la classe "colture non permanenti" si ottengono risultati differenti. Infatti essi sovrastimano le superfici investite a cereali nella municipalità di Sombor (59.300 ettari contro i 58.724 ettari stimati nel Censimento) e sottostimano quelle relative alle due altre municipalità (Palilula: 11.500 ettari da satellite contro i 12.420 ettari stimati dal Censimento; Negotin: 20.500 ettari da satellite contro i 22.689 ettari stimati dal Censimento). Queste differenze sono abbastanza coerenti anche con il calo alla superficie investita a cereali, che interessa in particolare la Serbia Centrale e che viene in parte compensato (almeno in Vojvodina) dal costante incremento delle colture industriali⁸.

L'applicazione dei parametri di produttività sulle differenti superfici stimate essere coltivate a cereali vernini autunno-invernali (frumento e orzo) e estivi (mais)⁹ o a colture permanenti ha evidenziato l'elevata disponibilità di biomassa residuale in tutte e tre le realtà (fig.2). A tal proposito si riporta il caso della progettazione impiantistica prevista dal progetto BIOM-ADRIA per la municipalità di Palilula. In una prima fase si prospettava la costruzione di una centrale termica a biomassa di 1,5 MW per il riscaldamento di circa 1 ettaro di serre nell'area del Poljoprivredna Korporacija "Beograd" (PKB), una grossa azienda statale che opera nell'area prossima alla capitale. Questo impianto prevedeva la richiesta minimale di circa 20.000 t di biomassa cerealicola; la stima

⁷ I valori di accuratezza globale (*Overall Accuracy*, OA) e del Coefficiente K per le tre aree sono rispettivamente i seguenti: Sombor: OA 86,1%, Coeff. K 0,78; Palilula: OA 78,7%, Coeff. K 0,65; Negotin OA 75,1%, Coeff. K 0,63.

⁸ Un'analisi più dettagliata delle colture cerealicole mette tuttavia in evidenza che, mentre l'andamento per il frumento è di calo in entrambe le macroaree serbe, le superfici investite a mais in Vojvodina hanno conosciuto negli ultimi 60 anni un costante aumento.

⁹ In Vojvodina negli ultimi anni (2000-2007) la percentuale di cereali investita a mais è di circa il 61% mentre quella a frumento e orzo di circa il 37%. In Serbia centrale si registrano valori più ridotti per il mais (28%) e simili per i cereali autunno vernini (38/ %). Applicando queste percentuali si è stimata la superficie investita nei diversi cereali nelle tre aree studio.

eseguita anche con l'ausilio delle immagini satellitari valuta valori circa tre volte superiori in un'area come quella di Palilula dotata di una buona rete infrastrutturale. L'elevata disponibilità della materia prima ha spinto i tecnici ad analisi utili per la realizzazione un impianto a biomasse di maggiori potenza e di tipo cogenerativo.

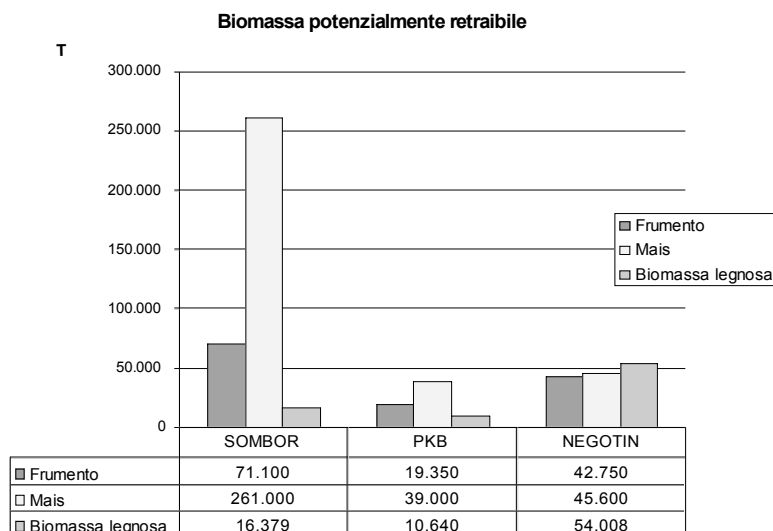


Figura 2: Biomassa residuale (T) potenzialmente retraibile nelle tre aree studio.

La classificazione della copertura del suolo nelle tre aree studio e l'applicazione di parametri di produttività di biomassa residuale da cereali ha evidenziato una buona disponibilità di risorsa, nonché una distribuzione centrata sulle realtà rurali più rilevanti. L'analisi della disponibilità della risorsa energetica non fossile trova perciò nell'utilizzo delle immagini satellitari una strategia di pianificazione efficace in grado di fornire molte indicazioni utili ai processi decisionali.

Bibliografia

- Abrams M. (2007), "The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) on NASA's Terra platform", *Rivista italiana di Telerilevamento*, 39.
- Bianchini S., Dassù M. (a cura di) (1998), *Guida ai paesi dell'Europa Centrale, Orientale e Balcanica*, Annuario politico-economico, Guerini e Associati, Milano.
- Cori B., Gasperoni R. (1987), *Le grandi unità regionali dell'Europa*, Franco Angeli, Milano.
- Favretto A. (2006), *Strumenti per l'analisi geografica, GIS e Telerilevamento*, Patron Editore, Bologna.
- Jodice R., Tomasinsig E. (a cura di) (2006), *Energia dalle biomasse, Le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici e ambientali*, AREA SciencePark – Progetto Novimpresa, Trieste.
- Statistical Office Of Republic Of Serbia (2006), *Municipalities of Serbia*. (www.webrzs.statserb.sr.gov.yu)
- Visual Learning System (2002), *User Manual – Feature analyst for ERDAS IMAGINE 8.X*, Visual Learning System, Missoula.

Nota: il presente contributo è stato realizzato in piena collaborazione tra gli Autori. Tuttavia a fini concorsuali si precisa che a Giovanni Mauro si devono i paragrafi Inquadramento geografico delle tre aree studio, Dati e Metodi, mentre ad Alessandro Bon Introduzione, Risultati e Conclusioni.