

L'alta risoluzione satellitare per lo studio dei "canopy gaps": il caso della foresta vergine di Lom (Bosnia Erzegovina).

Matteo Garbarino (*), Enrico Borgogno Mondino (**), Emanuele Lingua (***), Renzo Motta (*)

(*) Dipartimento AGROSELVITER, Università di Torino, Via L. da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO),
tel: 011 6705535, fax: 011 6705556, matteo.garbarino@unito.it, renzo.motta@unito.it

(**) Dipartimento DEIAFA, Università di Torino, Via L. da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO),
tel: 011 6705523, fax: 011 6705516, enrico.borgogno@unito.it

(***) Dipartimento TESAF, Università di Padova, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD),
tel: 049 8272711, fax: 049 8272713, emanuele.lingua@unipd.it

Riassunto

Obiettivo del presente lavoro è la mappatura e lo studio delle caratteristiche ecologiche delle aperture (*canopy gaps*) presenti nella foresta vergine di Lom, sita nella regione montuosa di Klecovača nella Bosnia nord occidentale. L'analisi è stata condotta accoppiando alle indagini di campo l'utilizzo di un'immagine satellitare ad alta risoluzione (VHR) Komsat-2 acquistata in modalità *Bundle* (banda pancromatica e bande multispettrali mantenute alla risoluzione nominale rispettivamente di 1 e 4 m). Al fine di permettere un posizionamento sufficientemente corretto sull'immagine delle aree di saggio campionate in loco e per dotarsi di una base cartografica aggiornata, l'immagine Komsat-2 è stata ortoproiettata. Successivamente la fotointerpretazione a video ha permesso di analizzare le caratteristiche spaziali ed ecologiche dei *canopy gaps* individuati. Il sottocampione di 14 *gaps* selezionato indica che nella *core area* (≈ 60 ha) della riserva forestale sono presenti soprattutto *gaps* di piccole dimensioni (10 m^2 a 700 m^2) che sono il risultato di dinamiche forestali principalmente legate a fenomeni a piccola scala come la caduta di pochi individui di grandi dimensioni (*gap makers*). L'utilizzo di dati multispettrali (MS) si rende necessario per meglio calibrare la classificazione e la mappatura dei *gaps* a scala di paesaggio.

Abstract

The main goal of this paper was to map the canopy gaps of the Lom virgin forest and to study the ecological characteristics of these gaps. The Lom forest reserve is located within the Klecovača mountainous region in the north-western part of Bosnia and Herzegovina. A very high resolution (1-m Panchromatic and 4-m Multispectral) Kompstat-2 satellite image was acquired for the study area. The satellite image was then orthorectified in order to have a unique geographic system (UTM, WGS84, Zone 33 N) and to obtain an up-to-date cartography of the forest reserve. Photo interpretation of a sub-sample (14 gaps) of the entire dataset permitted to compare field and remote sensing methods to locate and measure small scale ($10\text{-}700 \text{ m}^2$) canopy gaps. The study confirmed that Lom core area (≈ 60 ha) is dominated by small scale natural gaps created by few big gap makers. The use of multispectral data (MS) will be necessary to better calibrate the canopy gaps classification on a landscape scale.

Introduzione

Le aperture o *canopy gaps* sono il risultato della caduta a terra di grossi rami o di interi alberi e costituiscono un elemento di discontinuità avente caratteristiche microclimatiche come luce, temperatura, umidità diverse dal resto del bosco (Hubbell, Foster, 1986). Le caratteristiche dei *gaps* influenzano quindi la struttura forestale condizionando la composizione specifica e l'abbondanza di rinnovazione forestale e sono un'importante elemento di diversità per l'intero sistema forestale

(Clark, 1990; Runkle, 1981). Pertanto lo studio delle dinamiche legate alla formazione ed all'evoluzione dei *canopy gaps*, soprattutto se effettuato in ambienti poco disturbati dall'uomo come le foreste vetuste (Franklin, 1993; Oliver et al., 1996; Frelich et al., 2005), forniscono importanti informazioni sul regime dei disturbi in ambito forestale e sulla capacità di questi ecosistemi di reagire ai principali agenti di disturbo naturale come vento, neve, fuoco, funghi ed insetti.

Nonostante la diffusione e l'importanza di tali aperture è spesso difficile ottenere dati affidabili su superfici estese (Asner et al., 2004; Nagel, Svoboda, 2008). Tradizionalmente tali dati vengono rilevati in campo su aree limitate e con un notevole dispendio di energie. L'utilizzo di foto aeree e soprattutto di dati multispettrali ad alta risoluzione costituiscono oggi un'importante fonte di dati per l'individuazione e la classificazione dei gaps a scala locale e di paesaggio (Jackson et al., 2000).

Area di studio

La riserva forestale di Lom ha una superficie di circa 300 ha ed è situata nel comune di Drinic ad una latitudine nord compresa tra 44° 27' e 44° 28' ed una longitudine est compresa tra 16° 27' e 16° 30' (DATUM WGS84). La riserva è localizzata sulle pendici del Monte Klekovaca e presenta un'escursione altimetrica di circa 300 m collocandosi tra i 1250 e 1522 m s.l.m. Il substrato è calcareo e la morfologia carsica. Le precipitazioni annuali sono mediamente di circa 1600 mm. La riserva è suddivisa tra un'area di protezione assoluta (*core area*) avente una superficie di circa 60 ha ed una superficie più esterna di rispetto (*buffer zone*). La foresta appartiene all'Azienda Forestale Pubblica Srpske šume della municipalità di Drinic. Le specie forestali maggiormente rappresentate sono in ordine di importanza: abete bianco (*Abies alba* Miller), abete rosso (*Picea abies* (L.) Karsten), faggio (*Fagus sylvatica* L.), acero di monte (*Acer pseudoplatanus* L.) e olmo montano (*Ulmus glabra* Hudson) più sporadico (Bucalo et al., 2007; Maunaga, 2001; Motta et al., 2008).

Materiali e metodi

La campagna di rilievi ha avuto luogo nel maggio 2009 ed ha permesso di osservare e registrare le informazioni relative alle caratteristiche ecologico-forestali (struttura e copertura del suolo) di 55 gaps presenti all'interno della riserva integrale (*core area*), dove sono stati posizionati 3 transeetti (40 x 200 m) intesi all'individuazione delle aperture tra le chiome superiori a 10 m². Per ciascun gap sono stati rilevati: il diametro a 1.3 m (dbh), l'altezza, la specie e le coordinate planimetriche relative delle piante di bordo (*adjacent trees*, AT) e delle piante interne al gap aventi dbh > 7,5 cm e altezza < 20 m (*gap fillers*, GF). Sono state inoltre misurate le dimensioni e lo stadio di decomposizione della necromassa responsabile dell'apertura (*gap makers*, GM), la densità e la composizione specifica della rinnovazione forestale.

Le indagini di campo sono state integrate e supportate attraverso l'utilizzo di un'immagine satellitare ad alta risoluzione Kompsat-2 il cui ruolo è stato, prioritariamente, quello di riferimento cartografico aggiornato ad una scala opportuna (circa 1:10.000). Tuttavia, allo stato attuale, ha già permesso di controllare alcune deduzioni di campo, mentre, in previsione, ne è previsto un utilizzo tematico più spinto.

Il satellite Kompsat-2 (Korea Multi-Purpose SATellite-2), gestito dalla compagnia KARI (*Korean Aerospace Research Institute*) è stato lanciato il 28 luglio 2006 dalla base Plesetsk Cosmodrome (Russia settentrionale) e possiede un periodo di rivisitazione minimo di 3 giorni. Il sensore è in grado di acquisire contemporaneamente in modalità pancromatica (1 m di risoluzione) e multispettrale (4 m di risoluzione) in 4 bande separate (Blue, Green, Red, Near-Infrared) con uno *swath* di 15 km (Lee et al., 2008).

L'immagine a disposizione è di tipo *Bundle* (banda pancromatica e bande multispettrali fornite alla risoluzione nominale rispettivamente di 1 e 4 m) con livello di processamento 2A (dato radiometricamente corretto e approssimativamente georiferito nella proiezione cartografica di riferimento UTM/WGS84). Si tratta di una nuova acquisizione datata 11/06/2009 registrata dal sensore con un azimuth di 248.23° e con un angolo di incidenza di 6.44°. La copertura nuvolosa è

assente sulla scena a disposizione. Le caratteristiche metriche e di georeferenziazione dell'immagine originale risultano insufficienti ai fini di un corretto posizionamento dei rilievi e per eventuali misure dimensionali da condurre, soprattutto considerando che il territorio di interesse risulta caratterizzato da morfologia moderatamente accidentata, responsabile, sull'immagine, di deformazioni geometriche locali soprattutto connesse alla variabilità del fattore di scala.

Tale situazione ha reso necessario procedere alla preventiva ortoproiezione dell'immagine. Questa è stata condotta utilizzando 11 punti di appoggio rilevati, durante la campagna di misure forestali, in modalità speditiva GPS. Le scadenti caratteristiche di precisione dei punti rilevati (Figura 1) soffrono di alcune limitazioni operative: da un lato l'assenza di strutture antropiche di rilievo (fatta eccezione per lo scarno reticolo stradale), hanno condizionato l'inequivocabile riconoscimento del punto rilevato sull'immagine in fase di orientamento esterno; dall'altra, la strumentazione GPS a disposizione, costituita da un solo ricevitore a singola frequenza in grado di registrare unicamente il codice L1 CA ha limitato le possibilità di correzione delle misure.

Preme sottolineare che, in ambiti applicativi in cui l'attività di campo prevalente non è quella topografica, le critiche condizioni di lavoro (di strumentazione e di tempi disponibili) appena descritte non costituiscono un'eccezione. Pertanto gli autori ritengono non trascurabile poter sottolineare il grado di precisione ottenibile in tali sconvenienti situazioni.

Il dato altimetrico utilizzato in fase di ortoproiezione è stato quello ASTGTM (ASTER Global Digital Elevation Model) con passo di 30 m prodotto da NASA e METI (Slater et al., 2009) e recentemente messo gratuitamente a disposizione dell'utenza pubblica. Benché non esistano dati ufficiali circa le caratteristiche di precisione di tale dato, studi passati (Borgogno et al., 2004; Bellone et al., 2006), dimostrano come la precisione assoluta delle quote si attesti intorno ai 10 m (ASTER GDEM Validation Team, 2009). L'ortoproiezione è stata condotta mediante il modello rigoroso di Toutin per i dati Kompast-2, così come implementato all'interno del software commerciale PCI Geomatica 10.2 (modulo OrthoEngine). L'immagine ottenuta è stata utilizzata per la fotointerpretazione a video dei *gaps* allo scopo di confrontare, in ambiente GIS, quanto osservato in remoto con le misure effettuate sul campo.

Al fine di valutare l'effettiva necessità dell'ortoproiezione per questo tipo di applicazioni forestali si è proceduto poi, riferendosi ad un set limitato di *gap* campione (6), a confrontare i valori areali determinabili per foto interpretazione sull'immagine originale georiferita e quelli misurabili sull'ortofoto ottenuta. Al fine di rendere la delimitazione dei confini dei *gap* il più possibile oggettiva è stato utilizzato il software di classificazione *object-oriented* eCOGNITION 4 selezionando e mantenendo costanti i seguenti parametri algoritmici: *scale factor* = 150; *shape factor* = 0.5; *compactness factor* = 0.7 (Weisberg et al., 2007).

Risultati

Il rilievo speditivo dei punti di appoggio (GCP, *Ground Control Points*) è stato condotto con strumentazione GPS Trimble GeoXM (singola frequenza e registrazione di solo codice), stazionando sul singolo punto per 15 minuti. Le misure di campo sono state post-processate mediante correzione differenziale di codice utilizzando effemeridi precise e le contemporanee osservazioni della stazione permanente EUREF di Sarajevo (Bosnia-Herzegovina) posta a circa 130 km dall'area di studio. Tale operazione ha consentito di posizionare i GCP con una precisione planimetrica variabile tra 1.00 m e 3.20 m ed RMSE pari a 1.92 m.

Al fine di poter prevedere eventuali propagazioni dell'errore all'interno del processo di ortoproiezione si è provveduto a mappare gli scarti residui sull'ortofoto ottenuta (Figura 1). In generale è stato possibile osservare errori più contenuti nella parte sud dell'area indagata, in corrispondenza di aree non boscate e situate a quote inferiori (1031 m s.l.m.) rispetto agli altri punti (1160 m s.l.m.). L'ortofoto, generata con risoluzione geometrica di 1m, è stata condotta utilizzando gli 11 GCP rilevati e il DEM ASTGTM. Essa presenta le seguenti caratteristiche di precisione (valutate sui soli GCP per carenza di punti): RMSE_x = 1.15 m, RMSE_y = 0.69 m, RMSE_{tot} = 1.35 m.

Ai fini dell'analisi tesa a dimostrare l'effettiva necessità del processo di ortoproiezione si è proceduto all'individuazione, mediante software eCognition, di 6 grandi *gaps* ($> 700 \text{ m}^2$) sia sull'ortofoto che sull'immagine originale georiferita.

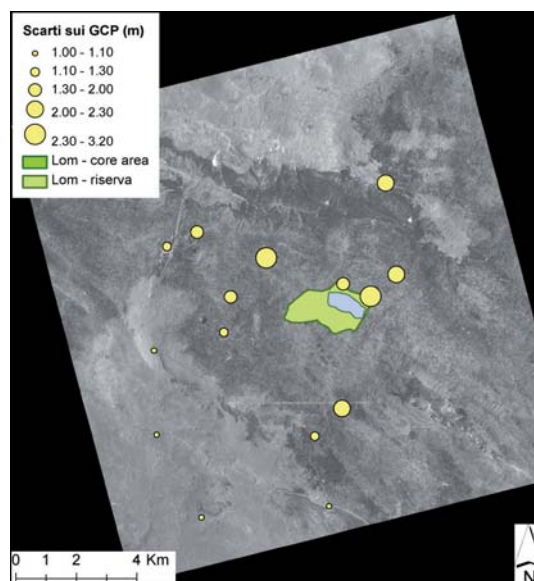


Figura 1 – Distribuzione spaziale dell'errore planimetrico incontrato nell'utilizzo di 15 punti rilevati con dispositivo GPS GeoXM come punti di appoggio per l'ortorettifica dell'immagine Komsat-2.

GAP	A	p	p/A	Ao	po	po/ Ao	ΔA %	Δp %	$\Delta(p/A)$ %
1	2369.00	682.90	0.29	1839.00	664.00	0.36	22.37	2.77	-25.25
2	2434.00	605.80	0.25	1501.00	400.00	0.27	38.33	33.97	-7.07
3	721.50	204.50	0.28	676.00	238.00	0.35	6.31	-16.38	-24.21
4	3301.00	884.90	0.27	2472.00	888.00	0.36	25.11	-0.35	-34.00
5	11431.50	2877.40	0.25	8050.00	3096.00	0.38	29.58	-7.60	-52.79
6	8298.50	1911.80	0.23	4464.00	1814.00	0.41	46.21	5.12	-76.39
Medie	4759.25	1194.55	0.26	3167.00	1183.33	0.35	27.99	2.92	-36.62

Tabella 1 – Confronto delle caratteristiche geometriche (Area e Perimetro) di 6 *gaps* rilevati su un'immagine Komsat-2 ortorettificata (A_o , p_o) e sulla stessa immagine non ortorettificata (A , p). $\Delta A = A_o - A$, $\Delta p = p_o - p$, $\Delta(p/A) = (p/A) - (p_o/A_o)$.

Dall'analisi emerge che i valori areali omologhi misurati sui due supporti presentano sostanziali differenze (Tabella 1). La superficie rilevata sull'immagine ortorettificata risulta superiore in media di circa il 28%. E' possibile inoltre osservare che l'ortoproiezione determina un aumento del rapporto tra perimetro e area (p/A) suggerendo un incremento di complessità delle forme dei *gaps*. Per quanto riguarda la validazione delle misure areali effettuate mediante fotointerpretazione a video dell'immagine Komsat-2 pancromatica ortoproiettata si può osservare come esse risultino leggermente sovrastimate rispetto a quelle di campo (ΔA % media = 17) (Tabella 2). Tuttavia è risultato piuttosto complesso delimitare il confine dei *gaps* stessi utilizzando l'immagine pancromatica come unico *layer*.

Dalle caratteristiche ecologiche dei primi 14 *gaps* esaminati è possibile notare che all'aumentare della dimensione del *gap* aumenta in maniera lineare ($r^2 = 0.92$) il numero di *gap fillers* (GF). Per

quanto concerne la rinnovazione forestale si osserva un debole incremento, in corrispondenza dei gaps più grandi, dei *saplings* (Sa, dominati dal faggio) e dei *seedlings* (Se, dominati dall'abete bianco).

GAP	Fotointerpretazione		Rilievo a terra		ΔA %	GM	Caratteristiche ecologiche				
	Af	pf	Ar	pr			GF	Fs	SA	SE	Sp
1	184.8	79.5	708.0	140.7	-283.1	7	45	0.33	1	25	AA
2	43.1	30.9	35.0	25.1	18.8	1	6	0.83	0	8	AA
3	58.2	35.1	27.6	22.4	52.6	3	4	0.75	1	5	AP
4	187.3	83.1	61.2	34.0	67.3	4	2	1.00	0	2	AA
9	667.4	225.4	635.2	118.3	4.8	7	39	0.64	0	1	Ap
11	142.2	80.3	79.4	37.6	44.2	4	8	0.38	4	23	AA
12	40.5	42.1	8.1	15.8	80.0	5	1	0.00	1	16	FS
13	122.6	62.4	31.2	22.6	74.6	3	0	0.00	2	34	AA
16	221.3	114.2	129.3	52.5	41.6	11	20	0.65	2	9	AA
17	98.9	61.3	11.1	13.9	88.8	5	3	0.00	2	5	AA
18	252.5	109.2	42.3	25.1	83.2	3	10	0.60	2	4	FS
19	146.2	73.3	29.9	25.1	79.5	6	9	0.78	3	11	FS
21	291.3	125.7	356.4	101.3	-22.3	12	20	0.80	11	35	AA
22	122.5	51.4	234.7	82.5	-91.6	12	20	0.80	2	28	AA
Medie	184.2	83.8	170.7	51.2	17.0	6	13	0.54	2	15	

Tabella 2 – Sintesi delle caratteristiche geometriche ed ecologiche di 14 gaps rilevati con fotointerpretazione e misurati in campo.

Discussione

Il rilievo GPS effettuato attorno alla foresta vergine di Lom ha permesso di ortoproiettare l'immagine Kompsat-2 ottenendo un errore RMSE totale di 1.35 m.

Tale valore, pur esprimendo la sola precisione relativa che caratterizza l'ortofoto rispetto ai punti utilizzati per generarla, consente di assumere che per questo tipo di applicazioni, anche una strumentazione GPS semplificata e condizioni di misura più che speditive, possono, se trattate correttamente, produrre risultati accettabili.

Inoltre, questo lavoro fornisce preliminari indicazioni, supportate dai confronti effettuati, circa l'effettiva necessità del processo di ortoproiezione (rispetto al livello 2A di correzione con cui le immagini Kompsat-2 sono fornite), laddove l'immagine debba diventare uno strumento di misura. Infatti l'insieme alle distorsioni rimosse dal processo di ortoproiezione, ha causato un sostanziale aumento delle superfici e della complessità di forma dei *gaps* investigati.

La dimensione del *gap* pare una variabile fondamentale nel condizionare le caratteristiche strutturali del bosco. In particolare la densità nella ricostituzione del *gap* è fortemente positivamente correlata alla dimensione del *gap* stesso; anche la rinnovazione ai primi stadi evolutivi sembra favorita dalla dimensione del *gap*, ma la relazione tra le due variabili appare molto più debole.

Dal sottocampione analizzato è emerso che l'immagine pancromatica permette una agevole individuazione e delimitazione dei gaps superiori a 700 m² di superficie, ma risulta una fonte di dato ancora insufficiente per lo studio di gap di dimensioni inferiori. Pertanto essendo l'area studiata una foresta in cui i *gaps* si formano a causa della morte naturale di pochi individui di grandi dimensioni (*gap makers*) si rende necessario l'utilizzo dei dati multispettrali a disposizione ed il loro incrocio con i dati geometrici ed ecologici rilevati sul campo.

Riferimenti bibliografici

Asner G.P., Keller M., Silva J. (2004), "Spatial and temporal dynamics of forest canopy gaps following selective logging in the eastern Amazon", *Global Change Biology*, 10: 765-783.
 ASTER GDEM Validation Team (2009), "ASTER Global DEM Validation" Summary report, June 2009, p. 28.

- Bellone T., Borgogno Mondino E., Comoglio G., Giulio Tonolo F. (2006), "Validazione di DEM mediante tecniche statistiche", Convegno nazionale SIFET 2006, Taranto (Italia), atti su CD.
- Borgogno Mondino E., Giulio Tonolo F., Boccardo P., Bellone T. (2004), "DTMs Generation from Satellite Stereo Images: Accuracy Tests in Mountain Region", 11th SPIE International Symposium on Remote Sensing, Proc. SPIE Vol. 5574, Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology IV, ISBN 0-8194-5521-0, p. 341-350, Gran Canaria (Spain), Ottobre 2004.
- Bucalo V., Brujic J., Travar J., Milanovic D. (2007), "Survey of flora in the virgin reserve "Lom"". Glasnik Sumarskog Fakulteta, Univerzitet u Beogradu: 35-48.
- Clark D.B. (1990), "The role of disturbance in the regeneration of neotropical moist forest". In: Bawa K.S., Hadley M (Eds), *Reproductive Ecology for Tropical Forest Plant*. UNESCO, Paris, 291-315.
- Franklin J.F. (1993), "Lesson from old-growth". *Journal of Forestry* 91: 10-13
- Frelich L.E., Cornett M.W., White M.A. (2005), "Controls and reference conditions in forestry: the role of old-growth and retrospective studies". *Journal of Forestry* 103: 339-344.
- Jackson R.G., Foody G.M., Quine C.P. (2000), "Characterizing windthrown gaps from fine spatial resolution remotely sensed data", *Forest Ecology and Management*, 135: 253-260.
- Hubbel S.P., Foster R.B. (1986), "Canopy gaps and the dynamics of a neotropical forest". In: Crawley M.J. (Ed.), *Plant Ecology*. Blackwell Scientific, Oxford, 77-96.
- Lee D.H., Seo D.C., Song J.H., Choi M.J., Lim H.S. (2008), "Summary of calibration and validation for Kompsat-2", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII(B1): 53-56.
- Maunaga Z. (2001), "Management plan for forests with special purpose in the strict natural reservations "Janj" and "Lom". Bosnia and Herzegovina Forestry project". Republic of Srpska., Banja Luka, p 121.
- Motta R., Maunaga Z., Berretti R., Castagneri D., Lingua E., Meloni F. (2008), "La riserva forestale di Lom (Repubblica di Bosnia Erzegovina): descrizione, caratteristiche, struttura di un popolamento vetusto e confronto con popolamenti stramaturi delle Alpi italiane", *Forest@*, 5: 100-111.
- Nagel T.A., Svoboda M. (2008), "Gap disturbance regime in an old-growth *Fagus-Abies* forest in the Dinaric Mountains, Bosnia-Herzegovina", *Canadian Journal of Forest Research*, 38: 2728-2737.
- Oliver C.D., Larson B.C. (1996), *Forest Stand Dynamics*. John Wiley & Sons, New York.
- Runkle J.R. (1981), "Gap formation in some old-growth forests of the eastern United States", *Ecology*, 70: 555-558.
- Slater J.A., Heady B., Kroenung G., Curtis W., Haase J., Hoegemann D., Shockley C., Tracy K. (2009), "Evaluation of the New ASTER Global Digital Elevation Model", *National Geospatial-Intelligence Agency*, July 29, 2009 report.
- Weisberg P.J., Lingua E., Pillai R.B. (2007), "Spatial patterns of pinyon-juniper expansion in central Nevada". *Rangeland Ecology and Management*, 60: 115-124.