

# Immagini Sentinel-2 per la mappatura della quercia da sughero (*Quercus suber* L.) in Calabria: capacità e stima quantitativa per le attività di restauro forestale

Giuseppe Modica<sup>1</sup> e Francesco Solano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Agraria - Università degli studi Mediterranea di Reggio Calabria

## 1. Stato dell'arte dello specifico problema

Gli obiettivi di questa ricerca si riferiscono al potenziale nell'utilizzo delle nuove immagini gratuite telerilevate dal satellite Sentinel-2 (S-2) e del rilevamento in situ per la mappatura e il monitoraggio dei boschi di quercia da sughero (*Quercus suber* L.) nella regione Calabria, come supporto per molteplici scopi alla gestione di questa peculiare tipologia forestale. Considerando che le bande spettrali di S-2 sono particolarmente adatte per la stima delle diverse caratteristiche della copertura vegetale, si propone una metodologia per mappare la reale consistenza di questo habitat, utilizzando la porzione spettrale del Red-edge nella riflettanza spettrale della vegetazione, presente nel sensore S-2 per valutare la risposta spettrale della sughera e classificare questo tipo di vegetazione, confrontando il risultato con altre immagini gratuite ottenute dal satellite Landsat 8 OLI.

## 2. Metodologia

### 2.1. L'area di studio ed i dati satellitari

La ricerca è stata condotta in località Angitola (ANG) su di una superficie estesa per 49,2 km<sup>2</sup>, ricadente nella provincia di Vibo Valentia in Calabria (Italia) (fig. 1).

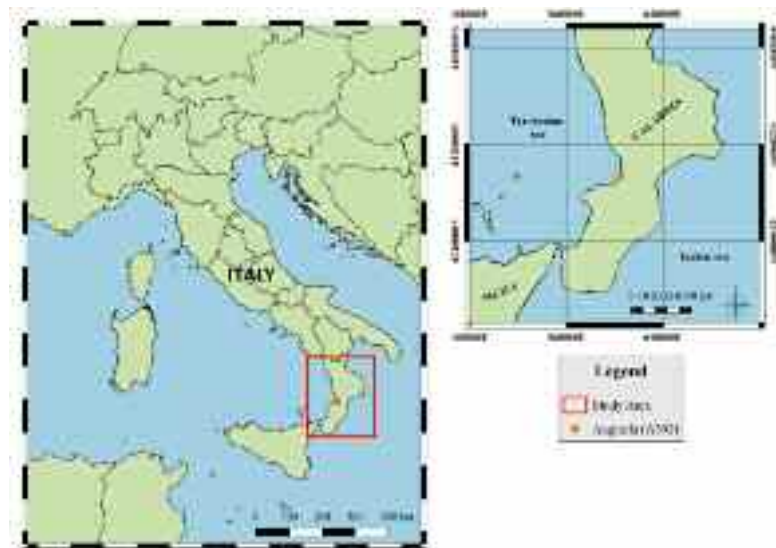


Figura 1. Area di studio in località Angitola (ANG)

Al fine di raggiungere gli obiettivi che il presente studio si prefigge, si è approntato un modello di *geoprocessing* di lavoro che rappresenti la guida attraverso le elaborazioni e l'estrazione delle informazioni utili all'ottenimento dei risultati previsti e se ne riporta di seguito lo schema principale (fig. 2).

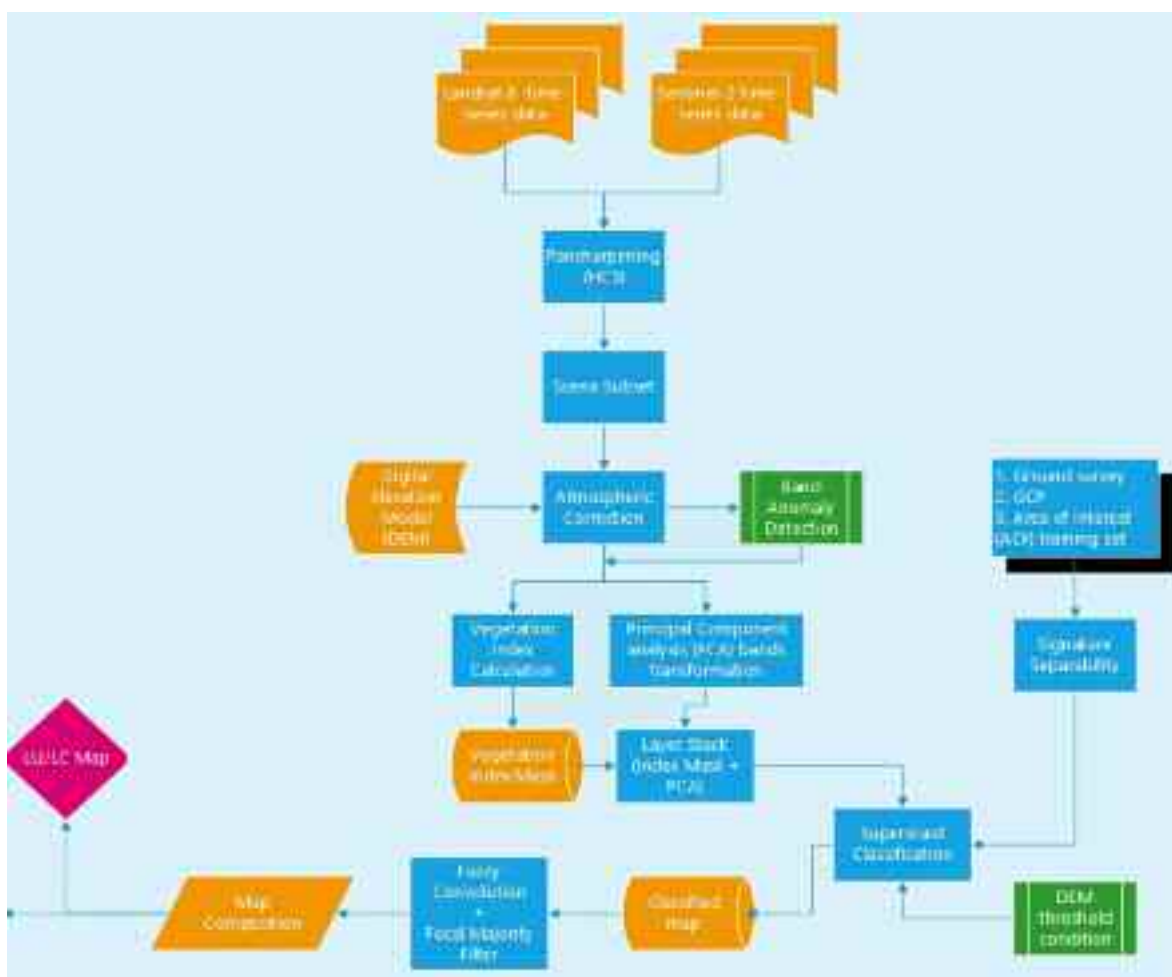


Figura 2. Workflow per l'elaborazione delle immagini per l'individuazione e la mappatura della sughera

Per tutta l'area di studio, sono state ottenute gratuitamente delle immagini S-2A e L8 OLI senza nuvole, con proiezione Universale Trasversa di Mercatore (UTM), nel sistema di riferimento World Geodetic System 84 (WGS 84) (fig. 3 e 4). Tutte le immagini sono state corrette a livello atmosferico e topografico (Richter et al., 2009) alla riflettanza della superficie, utilizzando tutte le bande selezionate (tab. 1), mediante il modulo ATCOR3 per Erdas Imagine® 2016.



Figura 3. Immagine esempio dell'area di studio ANG ripresa dal satellite Sentinel-2, acquisita il 24 Febbraio 2017. La scena è presentata in composizione di bande in falso colore infrarosso (RGB=432)

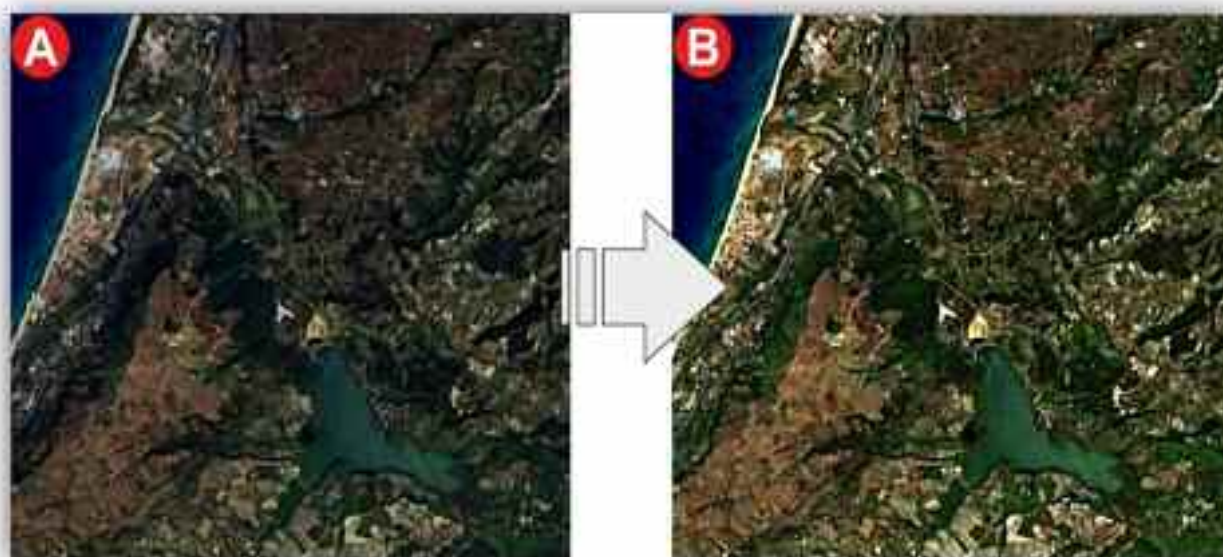


Figura 4. Immagine esempio dell'area di studio ANG ripresa dal satellite Landsat 8 OLI, acquisita il 10 Agosto 2014. La scena è presentata in composizione di bande in falso colore infrarosso (RGB=543)

Landsat 8 (OLI and TIRS)			Sentinel 2A (MSI)		
Band description	Wavelength (µm)	Resolution (m)	Band description	Wavelength (µm)	Resolution (m)
B1 - Coastal aerosol	0.43-0.45	30	B1 - Coastal aerosol	0.443	60
B2 - Blue	0.45-0.51	30	B2 - Blue	0.490	10
B3 - Green	0.53-0.59	30	B3 - Green	0.560	10
B4 - Red	0.64-0.67	30	B4 - Red	0.665	10
B5 - Near infrared	0.85-0.88	30	B5 - Vegetation Red Edge	0.703	20
B6 - Shortwave infrared	1.37-1.65	30	B6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
B7 - Shortwave infrared	2.13-2.29	30	B7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
B8 - Panchromatic	0.50-0.68	15	B8 - Near infrared	0.842	10
			B8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
B9 - Cirrus	1.36-1.38	30	B9 - Water vapour	0.945	60
B10 - Thermal Infrared	10.60-11.19	100	B10 - Shortwave infrared - Cirrus	1.375	60
B11 - Thermal Infrared	11.50-12.51	100	B11 - Shortwave infrared	1.610	20
			B12 - Shortwave infrared	2.190	20

Tabella 1. Confronto tra bande del Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) ed il sensore termico a infrarossi (TIRS) con il satellite Sentinel 2A

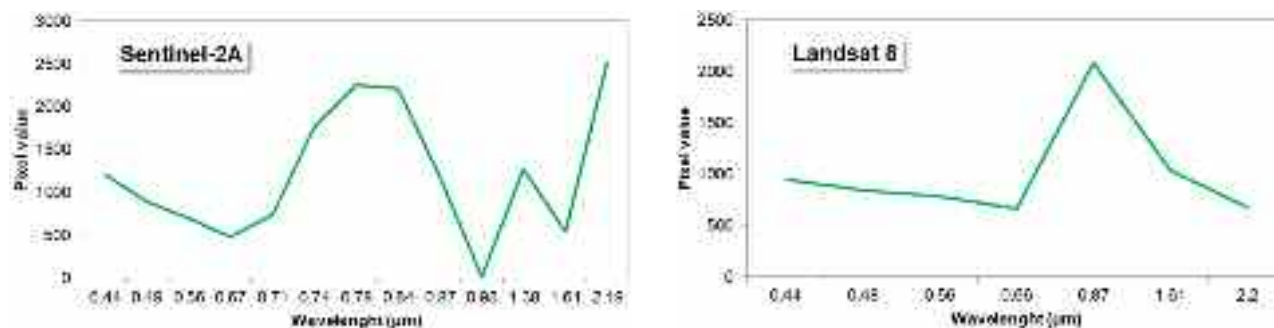
La correzione atmosferica (AC) implementata in ATCOR converte i numeri digitali originali (DN) in radiazione di sensore ( $L\lambda$ ) utilizzando i parametri di calibrazione, i valori di *gain* e di *offset* (Balthazar *et al.*, 2012; Vanonckelen *et al.*, 2014) (fig. 5). Per aumentare la risoluzione spaziale delle immagini L8 si è scelto di utilizzare un algoritmo di fusione tra le bande multispettrali a 30 m (B1-B7) e la banda pancromatica a 15 m (B8) attraverso l'*hyperspherical colour space* (HCS) (Padwick *et al.*, 2010). Per le immagini S-2 è stata seguita la stessa procedura di fusione tra le bande multispettrali a 20 m (B5-B6-B7) e le bande a più alta risoluzione spaziale a 10 m (B2-B3-B4-B8). Quindi, per studiare meglio le caratteristiche delle classi di LU/LC più piccole, è stato eseguito un subset delle immagini in uscita per meglio individuare l'area di studio, per entrambe le piattaforme satellitari. Infine, è stato eseguito un processo di rilevamento anomalie (AD) per identificare i pixel che hanno una firma spettrale che devia notevolmente da molti altri spettri dei pixel nell'immagine (lo spettro di sfondo). In questo studio, l'orthogonal subspace projection (OSP) è stato scelto come metodo di rilevazione AD (Liu *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2012).



**Figura 5.** Esempio che copre l'area di studio Angitola (ANG) che mostra l'immagine Landsat 8 10 agosto 2014 (path 188, row 33). A, la scena a 15 m di risoluzione spaziale; B, la stessa immagine dopo correzioni atmosferiche e topografiche eseguite mediante l'algoritmo ATCOR3. Entrambe le immagini vengono visualizzate in colori reali (combinazione di bande RGB 431)

## 2.2. Processamento dati e classificazione delle immagini

Al fine di meglio individuare i boschi di quercia da sughero, la caratterizzazione e la separabilità delle firme spettrali sono state eseguite sia per S-2 che in L8. A tal fine, è stato definito un gruppo di usi del suolo ottenendo le loro firme spettrali che hanno dato origine ad un insieme di 53 punti di controllo a terra (GCP) - verità sul terreno - raccolte tramite sistema differenziale GNSS con precisione di  $\pm 0.5$  m. Inoltre, questi GCP sono stati utilizzati per ottenere le firme spettrali delle classi di uso/copertura (LU/LC) del suolo definite come segue: "Built-up areas"; "Crops"; "Coniferous woodlands"; "Cork Oak woodlands"; "Other Broadleaves woodlands"; "Inland waters"; "Marine waters". Le firme spettrali di ciascuna classe sono state raccolte utilizzando la loro area di interesse (AOI) per eseguire la separabilità spettrale tra i boschi di sughera e le altre classi e come *training set* per eseguire la classificazione delle immagini (fig. 6). L'algoritmo di distanza euclidea (ED) è stato applicato per misurare la separabilità delle firme spettrali di ciascun AOI ed è stata così definita una matrice di contingenza (CM) per valutare la coerenza dei diversi set. I GCP associati ad altri dati accessori sono stati usati come campioni per eseguire una classificazione *supervised* mediante l'algoritmo di classificazione di massima verosimiglianza (MLC) (tab. 2).



**Figura 6.** Confronto tra le firme spettrali medie dei boschi di sughera nell'area di studio ANG estratte dalle scene Sentinel-2 (sinistra) e Landsat 8 OLI (destra)

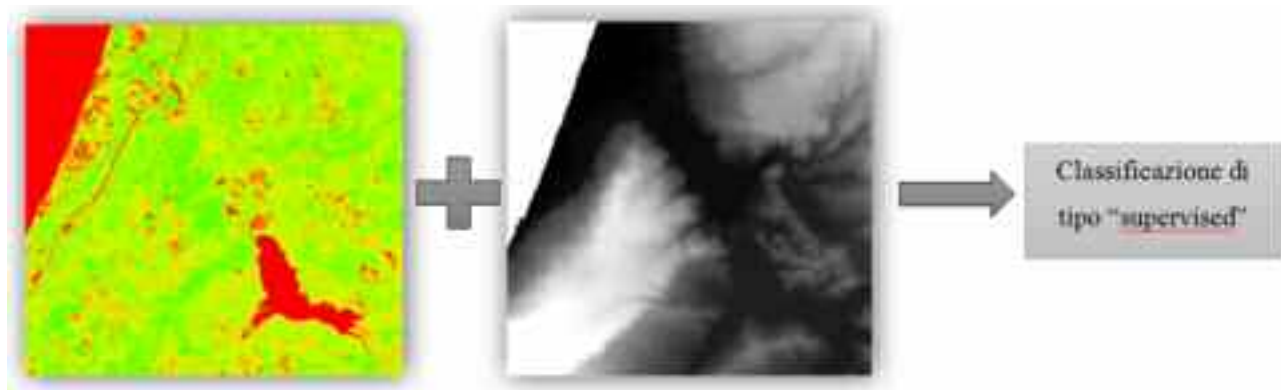
<i>Satellite dataset</i>	<i>LU/LC class pairs</i>	<b>SENTINEL-2A (24 February 2017)</b>	<b>LANDSAT 8 (10 August 2014)</b>
<b>Euclidean Distance (ED)</b>	Co-Cr	903	1510
	Co-Cw	581	625
	Co-Bw	1052	591
<b>Divergence (D)</b>	Co-Cr	83	586
	Co-Cw	137	224
	Co-Bw	162	140

**Tabella 2.** Sintesi dell'analisi di separabilità spettrale eseguita per entrambe le immagini satellitari per l'area di studio ANG. "Crops" (Cr); "Coniferous woodlands" (Cw); "Cork oak" (Co); "Other broadleaves woodlands" (Bw). Valori più alti di Distanza Euclidea (ED) e valori inferiori di Divergenza (D) rappresentano la migliore separabilità di classe spettrale tra LU/LC

### 3. Applicazione del metodo

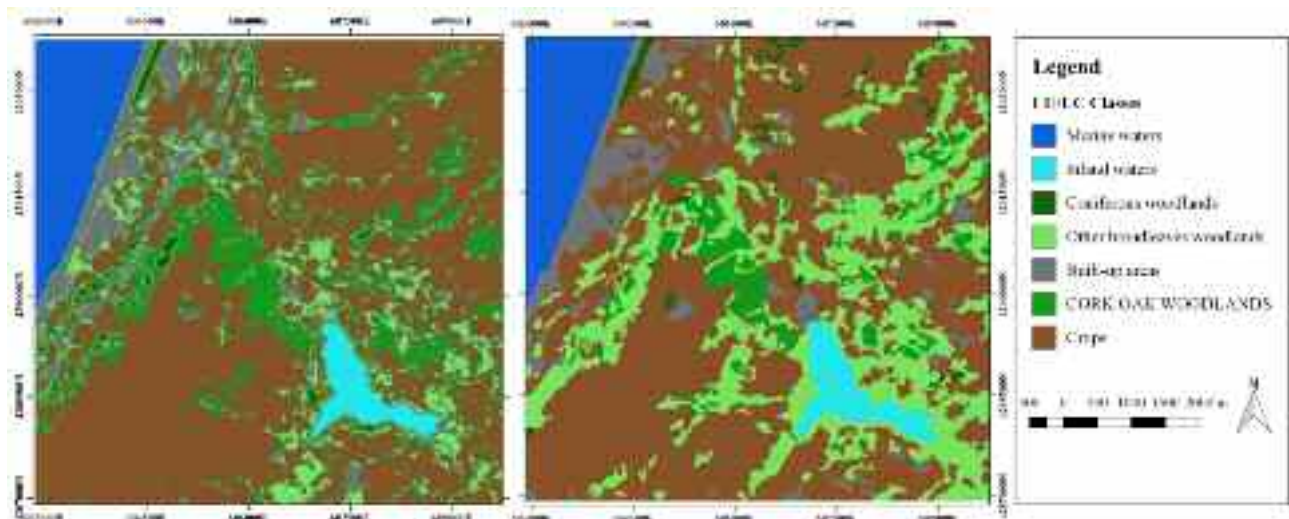
#### 3.1. Mappatura dei boschi di sughera e valutazione della precisione

Per l'estrazione della superficie coperta dalla vegetazione si è fatto ricorso al calcolo di indici di vegetazione. In particolare sono stati utilizzati il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Rouse *et al.*, 1974) ed il *Normalized Difference Red Edge Vegetation Index* (NDRE) (Barnes *et al.*, 2000). Questi indici sono combinazioni di misurazioni di riflettanza in regioni dello spettro elettromagnetico sensibile agli effetti combinati della concentrazione di clorofilla, della superficie e della copertura da parte della chioma. Essi misurano la quantità e la qualità del materiale fotosintetico, indispensabile per comprendere lo stato della vegetazione (Vincini *et al.*, 2008). Gli indici misurano la riflessione delle bande Red, NIR (in NDVI) e NIR, Red-edge (in NDRE) delle regioni dello spettro elettromagnetico nella curva di riflettanza che descrive la transizione dall'assorbimento della clorofilla alla dispersione. L'utilizzo di misure NIR, con maggiore profondità di penetrazione attraverso la copertura delle chiome, consente di stimare la quantità totale di materiale verde. La misurazione nella regione del Red-edge consente a questi indici di essere più sensibili a modifiche minori nella salute della vegetazione (Pauly, 2014). NDVI e NDRE, rispettivamente per le immagini S-2 e L8, sono stati calcolati per ottenere una maschera di vegetazione ad alta risoluzione spettrale. Poi un modello digitale delle elevazioni (DEM) è stato utilizzato come soglia di limite ecologico-altitudinale per bloccare la maschera di vegetazione dove eseguire la classificazione (fig. 7).



**Figura 7.** Esempio di mappa NDVI (sinistra) elaborata per l'immagine acquisita da L8 e mappa delle elevazioni del terreno (DEM) (destra)

Allo scopo di ridurre gli effetti di "sale e pepe" nella restituzione finale della mappa di distribuzione, è stato applicato un algoritmo di tipo *fuzzy convolution* seguito da un filtro *focal majority* sulle immagini classificate (per entrambe le operazioni è stata adottata una matrice di kernel 3x3 pixel). Le mappe di distribu-



**Figura 8.** Risultati ottenuti nel rilevamento dei boschi di quercia da sughero con immagini S-2A (sinistra) e L8 OLI (destra) nell'area di studio Angitola (ANG). Tutte le immagini classificate sono state prodotte applicando l'algoritmo di classificazione della massima verosimiglianza. LU/LC, uso del suolo/copertura del suolo

Per valutare l'accuratezza della classificazione delle immagini ottenute, è stata applicata una matrice di confusione alle immagini classificate. Quattro indici significativi e metriche di confusione sono stati ricavati da una tabella di contingenza che esprimono l'accuratezza in termini di errori di omissione/commissione (fig. 9 e tab. 3). I risultati confermano l'importanza delle bande Red-edge di Sentinel-2 per applicazioni riguardo la vegetazione, grazie alla combinazione della sua elevata risoluzione spaziale di 20 m e la possibilità di utilizzare indici di vegetazione peculiari per analizzare il comportamento della vegetazione stessa. Nel caso specifico della mappatura dei boschi di sughera i risultati mostrano che una maggiore accuratezza nell'identificazione si è raggiunta con le immagini derivate da Sentinel-2 piuttosto che da quelle derivate da Landsat 8 OLI (tab. 3). La ridotta ampiezza spettrale tra le bande del Red-edge e del NIR in Sentinel-2 rispetto ai valori di Red e NIR del sensore Landsat 8 OLI, porta ad immagini che presentano un maggior contrasto tra le superfici ricoperte da vegetazione e quelle ricoperte da un altro uso del suolo, migliorando così la classificazione e la raccolta dati di convalida (Roy *et al.*, 2014).



**Figura 9.** Un insieme di 200 punti scelti in modo casuale dall'immagine classificata sono stati utilizzati nel processo di valutazione della precisione

Accuracy assessment (%)				
LU/LC	Satellite Scene			
	Sentinel 2A		Landsat 8	
	UA	PA	UA	PA
Mw	100	100	100	100
Iw	100	100	100	100
Cw	100	100	100	100
Co	83.33	100	25	100
Bw	50	100	66.67	46.15
Cr	100	83.33	28.57	33.33
Bu	100	100	100	100
<b>Overall accuracy</b>	90.63		63.33	
<b>Kappa coefficient</b>	0.8611		0.5346	

**Tabella 3.** Valutazione della precisione (%) a livello di pixel per il metodo di classificazione MLC e riferito a tutto il set di immagini classificate acquisite dai satelliti Sentinel-2 (S-2) e Landsat 8 OLI (L8).

### 3.2. Conclusioni

La classificazione delle immagini di distribuzione della quercia da sughero ha suggerito che, quando queste immagini si integrano con altri dati ausiliari, diventa possibile mappare le specie e effettuare altri studi a scala regionale con un'alta precisione complessiva. Gli indici di vegetazione derivati si sono rivelati uno strumento preciso, capace di rilevare e monitorare in futuro la salute dei boschi di quercia da sughero, anche a sostegno di numerose attività (restauro forestale, monitoraggio della biodiversità, filiera produttiva, ecc...).

### Riferimenti bibliografici

- Balthazar V., Vanacker V., Lambin E.F., 2012, «Evaluation and parameterization of ATCOR3 topographic correction method for forest cover mapping in mountain areas», *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18, 436–450. doi:10.1016/j.jag.2012.03.010.
- Barnes E., Clarke T., Richards S., Colaizzi P., Haberland J., Kostrzewski, M., Waller P., Choi C., Riley E., Thompson T., Lascano R.J., Li H., Moran M., 2000, «Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data», in *Fifth International Conference on Precision Agriculture*.
- Liu, Y., Gao, K., Wang, L., Zhuang, Y., 2014, «A hyperspectral anomaly detection algorithm based on orthogonal subspace projection», in: Sharma G., Zhou F., Liu J. (eds.), p. 93012E, doi:10.1117/12.2072616.
- Padwick C., Scientist P., Deskevich M., Pacifici F., Smallwood S., 2010, «WorldView-2 pan-sharpening», *Asprs* 2010 48, 26–30.
- Pauly K., 2014, «Applying Conventional Vegetation Vigor Indices To UAS-Derived Orthomosaics: Issues And Considerations», Ispa.
- Richter R., Kellenberger T., Kaufmann H., 2009, «Comparison of Topographic Correction Methods». *Remote Sensing* 1, 184–196, doi:10.3390/rs1030184.
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., 1974, «Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with Erts», in: Stanley Freden C., Mercanti Enrico P., Becker M.A. (eds.), *Third Earth Resources Technology Satellite 1 Symposium*, NASA, Washington, D.C., USA.
- Roy D.P., Wulder M.A., Loveland T.R., C.E. W., Allen R.G., Anderson M.C., Helder D., Irons J.R., Johnson D.M., Kennedy R., Scambos T.A., Schaaf C.B., Schott J.R., Sheng Y., Vermote E.F., Belward A.S., Bindenschadler R., Cohen W.B., Gao F., Hipple J.D., Hostert P., Huntington J., Justice C.O., Kilic A., Kovalsky V., Lee Z.P., Lymburner L., Masek J.G., McCorkel J., Shuai Y., Trezza R., Vogelmann J., Wynne R.H., Zhu Z., 2014, «Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research», *Remote Sensing of Environment* 145, 154–172, doi:10.1016/j.rse.2014.02.001.

Vanonckelen S., Lhermitte S., Balthazar V., Van Rompaey A., 2014, «Performance of atmospheric and topographic correction methods on Landsat imagery in mountain areas», *International Journal of Remote Sensing* 35, 4952–4972, doi:10.1080/01431161.2014.933280.

Vincini M., Frazzi E., D'Alessio P., 2008, «A broad-band leaf chlorophyll vegetation index at the canopy scale», *Precision Agriculture* 9, 303–319. doi:10.1007/s11119-008-9075-z.

Wang L., Li Z., Sun J., 2012, «Anomaly detection in hyperspectral imagery based on spectral gradient and LLE», *Applied Mechanics and Materials* 121–126, 107–120, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.121-126.720.