

# ANALISI DI IMMAGINI MULTISPETTRALI PER LA VALUTAZIONE E LA PIANIFICAZIONE DEL VERDE URBANO

## ANALYSIS OF MULTISPECTRAL IMAGES FOR THE EVALUATION AND PLANNING OF URBAN GREEN

A. Zoccheddu <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica, 07041 Alghero, Italia, azoccheddu@hotmail.it

**PAROLE CHIAVE:** Remote sensing; immagini multispettrali ad altissima risoluzione; NDVI; copertura verde urbano

**KEY WORDS:** Remote sensing; VHR multispectral images; NDVI; urban canopy cover

### RIASSUNTO

Per molto tempo il ruolo del verde urbano è stato banalizzato come un semplice elemento ornamentale e accessorio delle città; oggi, invece, ci sono studi e ricerche che dimostrano il valore del verde urbano come un'importante risorsa che offre un'ampia varietà di risposte alle esigenze dell'uomo. Alberi e spazi verdi aiutano a pulire l'aria rimuovendo sostanze inquinanti durante il processo di traspirazione, possono alleviare il problema del cosiddetto "effetto di isola di calore urbano" abbassando le temperature percepite grazie all'ombreggiamento e mitigazione del calore. In generale, le aree verdi contribuiscono a mitigare l'impatto ambientale delle attività antropiche sul territorio. Una corretta pianificazione e gestione del verde è di conseguenza fondamentale per preservare le funzioni ecologiche della natura in un ambiente urbano: le informazioni quantificabili sulla disponibilità, distribuzione e monitoraggio del verde, risultano essere pertanto necessarie ed essenziali per raggiungere tale obiettivo. A questo scopo il presente lavoro, servendosi delle tecniche di acquisizione e di analisi di immagini multispettrali, queste ultime sempre più spesso integrate nei GIS, propone un approccio alternativo per la mappatura della copertura vegetale, applicato in una zona campione del centro urbano della città di Alghero. L'applicazione del metodo fa uso del calcolo dell'indice di vegetazione NDVI che, registrando l'elevata risposta spettrale della clorofilla, permette di conseguenza la localizzazione puntuale e la quantificazione del contenuto vitale della vegetazione.

### ABSTRACT

For a long time the role of urban green has been trivialized as a simple ornamental and accessory element of the cities. Currently, several studies and researches all over the world took in consideration the values of urban green as a resource that offers a wide variety of responses to human needs. Trees and green spaces help to clean the air by removing pollutants during the transpiration process; they can reduce the urban heat island effect, lowering the perceived temperatures by shading and heat mitigation; moreover, in wider terms, they can contribute mitigating the environmental impact of the city on the territory. Proper planning and management of the green area is essential to preserve the ecological functions of nature in the city, therefore, the quantifiable information on the availability, distribution and monitoring of green areas are essential and necessary to achieve this goal. To this end, this work, by using techniques of acquisition and analysis of multispectral images, increasingly integrated in GIS, proposes an alternative approach to mapping of urban canopy cover, applied in a sample area of the Alghero city center. The application of the method makes use of the calculation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which by recording the high spectral response of the chlorophyll, consequently allows the precise localization and quantification of the vital content of the vegetation.

### 1. INTRODUZIONE

Gli spazi verdi urbani, come parte integrante delle aree urbane, rivestono oggi una ben nota importanza per il mantenimento della qualità ambientale e delle funzioni ecologiche della natura in città (S. Lang, et al. 2008). Numerosi studi scientifici ed economici hanno ormai dimostrato i diversi benefici associati alla presenza del verde negli ambienti urbani. Dal punto di vista ambientale oltre alla straordinaria capacità delle piante di produrre ossigeno, assorbendo contestualmente CO<sub>2</sub>, gli spazi verdi contribuiscono naturalmente al deflusso delle acque piovane e al disinquinamento di acqua, aria e suolo. In definitiva, tali aree accrescono il valore ecologico e di biodiversità nell'ambiente urbano. Gli spazi verdi promuovono inoltre la salute dei residenti alleviando lo stress psico-fisico e

incoraggiando l'attività fisica. Come luoghi d'incontro, parchi e giardini rafforzano il senso di appartenenza ai quartieri e più in generale, alla comunità. A livello economico, la gestione degli spazi verdi porta alla creazione di posti di lavoro: le attività possono essere sia lavori in tali aree, legati alla gestione e manutenzione degli stessi spazi, sia ricadute positive indirette quali una maggior attrattiva turistica ed economica della città e dei quartieri. Diverse definizioni vengono date al concetto di "verde urbano": in generale, possiamo dire che esso è "l'insieme di spazi verdi presenti nel tessuto urbano, quali parchi e giardini, assieme agli spazi naturali e agricoli periurbani, che presentano una diversità di specie, native ed esotiche e che fanno parte, nel loro funzionamento, di un unico sistema ecologico complesso".

Ordinariamente, viene classificato il verde urbano nelle seguenti tipologie:

- Verde storico: ville, giardini e parchi che abbiano interesse artistico, storico paesaggistico e/o che si distinguono per la loro non comune bellezza (ai sensi del D.Lgs 42/2004 e successive modifiche).
- Grandi e parchi urbani: parchi, ville e giardini di grandi dimensioni (superiori agli 8.000 m<sup>2</sup>).
- Verde attrezzato: piccoli parchi (di superficie inferiore agli 8.000 m<sup>2</sup>) con giochi per bambini, panchine ecc., destinate alla fruizione da parte dei cittadini.
- Aree di arredo urbano: aree verdi create a fini estetici e/o funzionali; svolgono un ruolo rilevante di riqualificazione dello spazio urbano (aiuole, piste ciclabili) o possono essere utilizzate come aree di sosta, rotonde, verde spartitraffico o barriere antinquinamento ecc.
- Aree sportive.
- Giardini scolastici: aree verdi e giardini di pertinenza delle scuole.
- Aree boschive: aree boscate di superficie superiore ai 5.000 m<sup>2</sup> non ricadenti in aree naturali protette.
- Verde incolto: aree verdi in ambito urbano non soggette a coltivazioni od altre attività agricole, per le quali la vegetazione spontanea non è soggetta a manutenzioni programmate e controllo.
- Altro: include le classi residuali di verde quali i giardini zoologici, cimiteri.

Non esiste tuttavia, una classificazione universalmente riconosciuta, ogni amministrazioni comunale tende a classificare soggettivamente le aree verdi nelle diverse tipologie. Tanto meno è presente, nel territorio nazionale italiano, un quadro normativo che impone l'istituzione di piani di gestione e di governo del verde urbano. In linea generale, esistono essenzialmente tre strumenti di settore, non alternativi ma complementari e di supporto l'uno all'altro, che le amministrazioni comunali dovrebbero adottare per il governo dei propri sistemi verdi urbani e periurbani, e sono:

- il Censimento del verde
- il Regolamento del verde
- il Piano del verde

Tali strumenti si servono di consuete misure e pratiche di identificazione e ottenimento dei dati, mediante il rilievo topografico, la cartografia numerica, le mappe catastali o ancora per esempio attributi georeferenziati con sistemi di GNSS<sup>1</sup>.

A supporto delle misure di pianificazione e delle pratiche appena citate, lo studio e l'analisi del verde urbano, può essere svolto mediante l'impiego di strumenti e nuove tecnologie geomatiche che offrono importanti soluzioni, sia dal punto di vista nell'ottimizzazione delle attività di rilevamento, in termini di efficienza, che di qualità rispetto alla precisione delle misure. Le tecniche di *Remote Sensing*, intese nel senso più ampio come metodologie di acquisizione di immagini multispettrali da bordo di piattaforme orbitanti e/o aeromobili, sono oggi ben consolidate e le conseguenti analisi multispettrali vengono sempre più spesso integrate nell'ambito dei GIS. L'aumento della risoluzione di acquisizione, definitiva dal cosiddetto GSD<sup>2</sup> offre una possibilità unica, ed a basso costo operativo, di analizzare lo stato vegetativo sia per usi agricoli che, come nel

nostro caso, per analisi pianificatori in ambito urbano. Il fenomeno naturale fondamentale dell'elevata risposta nella banda NIR (*Near Infrared*) della clorofilla, permette infatti, a tal fine, una localizzazione e quantificazione del contenuto vitale della vegetazione. Se si considera che la maggioranza delle moderne camere digitali aerotrasportate che acquisiscono immagini fotogrammetriche nel campo del visibile, posseggono anche sensori nel campo NIR<sup>3</sup>, si comprende come ogni copertura aerofotogrammetrica consente potenzialmente analisi multispettrali ad elevata risoluzione geometrica.

## 2. IL CASO DI STUDIO

Il presente lavoro vuole mostrare il contributo significativo dell'applicazione di tecniche di Remote Sensing per lo studio del verde urbano e per la misura di parametri dimensionali e funzionali della componente arborea. La sperimentazione nel contesto urbano della città di Alghero, a partire da immagini multispettrali ad altissima risoluzione e in combinazione con altre informazioni GIS, intende raggiungere i seguenti obiettivi:

- ottenere una mappatura dettagliata e accurata della foresta urbana, che include le componenti di verde pubblico e privato;
- acquisire informazioni sullo stato di salute della vegetazione attraverso la stima locale dell'indice di vegetazione NDVI.

## 3. MATERIALI E METODI

### 3.1 Zona campione

Il contesto territoriale in cui si è svolta l'analisi, è rappresentato da una porzione del centro urbano nel comune di Alghero (Figura 1). L'area di studio, scelta in base alla copertura di un mosaico di 30 immagini aeree ad altissima risoluzione (le cui caratteristiche saranno riportate al paragrafo successivo), comprende una superficie di circa 3,43 km<sup>2</sup> (343 ha). In tale area test vi sono differenti tipi di uso del suolo: un tessuto urbano residenziale principalmente denso e compatto, una parte di tessuto urbano rado e nucleiforme confinata dal sistema del verde periurbano degli uliveti ad est. La popolazione residente totale nell'area è di 18.250 abitanti.

### 3.2 Acquisizione delle immagini

Le immagini aerofotogrammetriche, multibanda, sono state ottenute dagli Uffici della Regione Sardegna che gestiscono il SITR (Sistema Informativo Territoriale Regionale) ed appartengono ai lotti eseguiti nel 2008 per la copertura, ad alta risoluzione, della fascia costiera dell'Isola. Le coperture aeree progettate ed eseguite appunto secondo vari lotti produttivi sono caratterizzate da un GSD dell'ordine di 0,10 m e sono state utilizzate per la produzione dell'ortofotomosaico digitale ad alta risoluzione di tutta la fascia di territorio interessata dalla prima elaborazione del Piano Paesaggistico Regionale. Negli anni seguenti, con appalti successivi, le suddette coperture aerofotogrammetriche sono state adoperate per la costruzione del DBG<sup>4</sup> dei principali centri compresi nella fascia costiera fra i quali la parte urbanizzata di Alghero. Per le riprese è stata

<sup>3</sup> La banda del visibile ha lunghezze d'onda fra circa 0,4 e 0,7µm e può essere espressa nelle bande dei colori fondamentali RGB, mentre quella dell'infrarosso vicino (*Near Infrared*) ha lunghezze d'onda fra 0,75 e 1,30 µm.

<sup>4</sup> Data Base Geo Topografico (DBG), o secondo la Regione Autonoma della Sardegna, Data Base Multi Scala contenendo integrazione di basi cartografiche dal 1:10.000 al 1:2.000.

<sup>1</sup> Global Navigation Satellite System – Sistemi di posizionamento satellitare basati su tecnologie GPS e GLONASS.

<sup>2</sup> Ground Sampling Distance, dimensioni del pixel dell'immagine proiettato a terra, oggi comunemente sub-metrico (0,5 ÷ 0,1 m) per le immagini aeree.



Figura 1. Inquadramento territoriale dell'area di studio

utilizzata la camera aerofotogrammetrica DMC della Zeiss Integraph<sup>5</sup>, tali camere registrano contestualmente alla banda del visibile anche quella del NIR. Le immagini digitali ottenute hanno quindi quattro bande di cui le prime tre (R, G e B) sono state utilizzate per la produzione dell'ortofotomosaico in scala nominale 1:2.000 e GSD di 0,20 m.

### 3.3 Elaborazioni eseguite

#### 3.3.1 Fasi di orientamento delle immagini

La metodologia più moderna per produrre DEM<sup>6</sup> e ortofoto di un territorio è quella che segue l'approccio SfM (Structure from Motion) che, grazie ad algoritmi tipici della Computer Vision, permette la costruzione di nuvole di punti 3D da una sequenza di fotogrammi dotati di ampia sovrapposizione fra loro. Fra i software più diffusi ricordiamo Photoscan della Agisoft, Pix4D Mapper e Zephyr della 3DFlow. Il primo di questi è stato adoperato per allineare e orientare preliminarmente le 30 immagini prescelte e quindi per risolvere la ben nota procedura di "triangolazione aerea". Le operazioni di georeferenziazione delle immagini hanno richiesto, come di consueto, le coordinate plano-altimetriche di una decina di punti, nitidamente collimabili sui fotogrammi ed individuabili sul territorio. A tal fine, sono stati adoperati dei ricevitori GNSS con correzione RTK<sup>7</sup>, hanno permesso il posizionamento dei punti individuati nel riferimento cartografico ETRF2000 – UTM fuso 32N. Dopo la loro plurima collimazione sulle immagini, si è proceduto al lancio della procedura di triangolazione aerea che ha permesso l'orientamento esterno delle immagini nello stesso riferimento cartografico del DBGT. I risultati delle operazioni di orientamento sono stati molto buoni ed hanno permesso di

<sup>5</sup> Camera DMC modello 2005, dimensione sensore di 7680x13824 pixel e lunghezza focale di 120 mm. Ad una quota relativa di volo pari a 1000 m, e con una distanza focale pari a 120,00 mm hanno permesso il dimensionamento del GSD attorno ai 10 cm.

<sup>6</sup> Digital Elevation Model, Modello digitale delle quote altimetriche, necessario alle fasi di ortoproiezione dei singoli fotogrammi.

<sup>7</sup> Real Time Kinematic – tecnica differenziale di correzione delle coordinate tridimensionali in tempo reale.

ottenere scarti attorno ai 10 cm, paragonabili quindi alle dimensioni del GSD dei fotogrammi. Successivamente sempre in ambiente Agisoft Photoscan è stata generata l'ortoproiezione del mosaico di fotogrammi adoperati con un GSD di 0,20 m.

#### 3.3.2 Fasi di elaborazione delle ortofoto

I processi di elaborazione delle immagini sono stati eseguiti con il ben noto software *open source* QGIS 3.0 a partire da un'ortofoto a 4 bande (Figura2), le bande rossa (R), verde (G), blu (B) e la banda dell'infrarosso vicino (NIR). Si è proceduto alla combinazione delle bande per avere una visualizzazione a falsi colori (*false color composites*)<sup>8</sup> in modo da poter evidenziare meglio le aree coperte dalla vegetazione.

In questo modo è possibile notare delle differenze in base ai colori: a un colore rosso brillante è associabile la vegetazione sana, densa e di crescita vigorosa che produce una grande quantità di clorofilla. Tonalità più chiare di rosso, magenta, rosa rappresentano generalmente una vegetazione che non contiene tanta clorofilla, mentre le piante morte o in cattivo stato di salute appaiono a colori rossi o marroni meno intensi.



Figura 2. Ortofoto a falsi colori

Per ogni pixel è stato quindi calcolato il valore NDVI secondo la nota equazione (1):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

dove NIR = riflettanza nella banda dell'infrarosso vicino  
Red = riflettanza nella banda del rosso

Il risultato è definito in valori reali che vanno da -1 a +1 e permette di costruire un'immagine in scala di grigio in funzione di tali valori del tipo in Figura 3(a). Per delineare la gamma dei valori dei pixel interessati e poter distinguere tra aree vegetate e non vegetate, è stata definita una soglia di NDVI di 0,3 mediante la funzione: Raster > raster calculator, inserendo la formula: ("NDVI@" > 0,3).

<sup>8</sup> Una composizione a falsi colori combina le diverse bande assegnando ai canali R-G-B rispettivamente le bande NIR-R-G, per la visualizzazione dei dati della banda a infrarossi (NIR) che appariranno in toni di rosso.

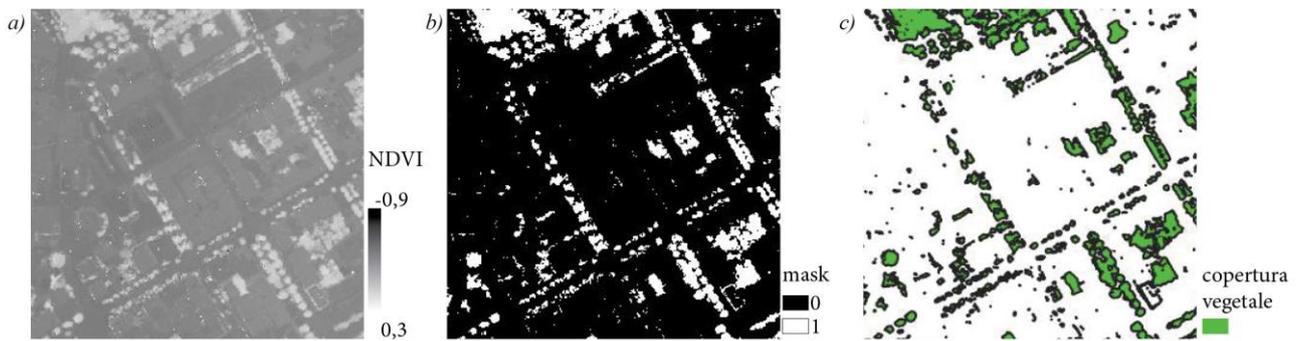


Figura 3. Risultati delle elaborazioni delle immagini nell'area di studio: (a) calcolo dell'NDVI; (b) classificazione tra aree vegetate (1) – non vegetate (0); (c) classificazione della copertura arborea e arbustiva.

Pur essendo tale valore variabile in base al contesto di studio e i dati di input a disposizione, è stato riscontrato l'utilizzo del medesimo valore di soglia in altre situazioni simili (Schöpfer et al., 2005; Santos et al., 2016). Nel presente caso, avendo a disposizione un ortofoto con risoluzione di 0,1 m/pixel, la soglia è stata definita interpretando l'immagine dopo aver eliminato le aree urbanizzate, in ombra o vegetate da quelle in cui visivamente era invece presente la vegetazione. Il risultato è stato classificato secondo uno schema binario di valori 0 e 1 (aree non verdi e aree verdi) come indicato in Figura 3(b). In seguito, dalla classificazione binaria sono stati estratti i pixel corrispondenti alle parti vegetate, che sono stati opportunamente poligonizzati e convertiti in formato vettoriale, come rappresentando in Figura 3(c).

Il risultato finale dell'elaborazione ha quindi permesso l'individuazione dell'intera copertura arborea e arbustiva presente nell'area di studio.

Sono state definite tre tipologie di verde nell'area e, a tal fine, è stata delimitata una sotto area di analisi in cui è stato suddiviso il verde pubblico dal verde privato (in ambito urbano) e la restante parte del verde periurbano (Figura 4). L'interpretazione della delimitazione dell'area è stata realizzata mediante fotointerpretazione dall'ortofoto (Figura 4(a)), identificando un confine e osservando come il sistema degli uliveti andava a definire i limiti del tessuto urbano continuo. Per poter identificare la componente del verde privato, in modo da ottenere la suddivisione tra “verde pubblico – verde privato”, sono stati utilizzate le informazioni dei layer cartografici del DBGT della Regione Autonoma della Sardegna. In particolare è stato utilizzato il livello “01 - VIABILITÀ, MOBILITÀ E TRASPORTI” contenente le classi rappresentanti le aree ad uso pubblico destinate alla circolazione dei pedoni e dei veicoli e, rispettivamente, le classi: “02 - AREA DI CIRCOLAZIONE PEDONALE (ST 01 TE 01 CL 02)” e “01 - AREA DI CIRCOLAZIONE VEICOLARE (ST 01 TE 01 CL 01)”. (Figure 4(b) e 4(c)).

La sovrapposizione col Catasto Terreni ha permesso di verificare la proprietà pubblica e privata e quindi evidenziare le possibili interazioni, di fatto esistenti e peraltro molto importanti, soprattutto se la componente del verde privato è di entità tale da rappresentare un contributo complementare e significativo al verde pubblico in termini di servizi ecosistemici nei confronti della collettività. Oggigiorno è anche possibile effettuare una verifica mediante l'utilizzo di un “catasto digitale” il servizio di consultazione dell'Agenzia delle Entrate basato sullo standard Web Map Service (WMS), accessibile tramite l'indirizzo:

<https://wms.cartografia.agenziaentrate.gov.it/inspire/wms/ows/1.php>

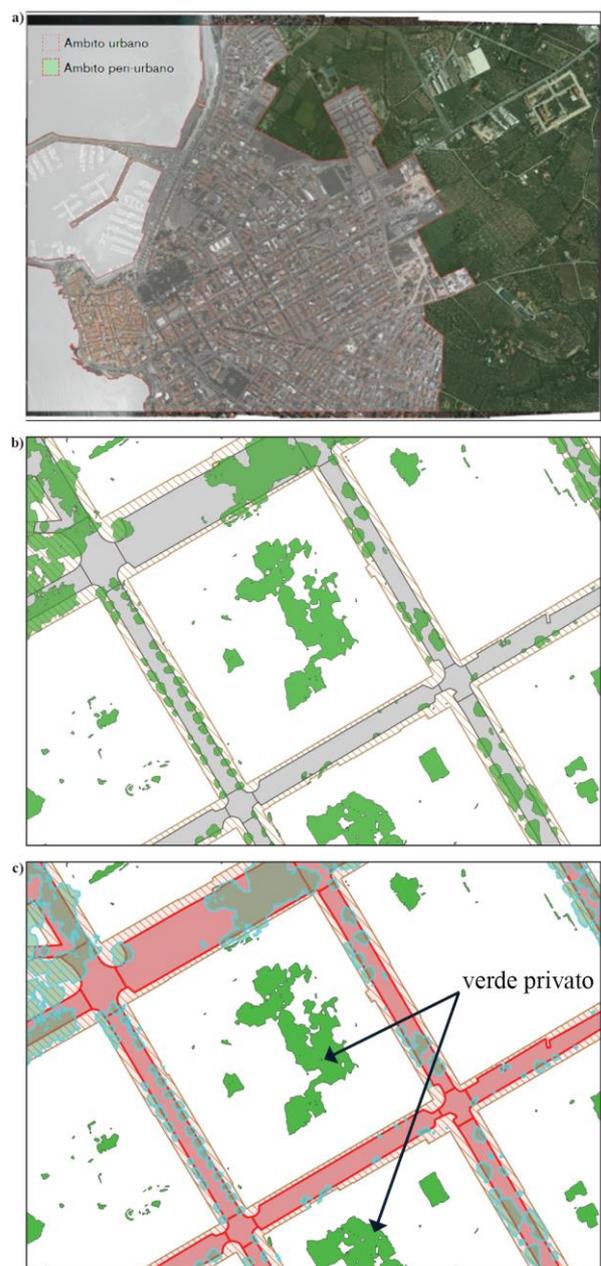


Figura 4. Ambiti di studio e individuazione del verde privato: (a) suddivisione ambito urbano/periurbano; (b) sovrapposizione e selezione (c) dei layer cartografici utilizzati per l'individuazione del verde privato.

#### 4. INTERPRETAZIONE DEI VALORI DI NDVI OTTENUTI

Possiamo assumere che il calcolo dell'NDVI è stato utile per riconoscere in maniera automatica la vegetazione dell'area di studio. Tale metodologia di individuazione del verde che rileva in modo obiettivo e affidabile tutti gli spazi vegetati delle città, indipendentemente dal fatto che siano spazi pubblici o privati, spazi interstiziali e così via. Emerge quindi un chiaro contributo nella identificazione di quella parte di verde arboreo privato e quindi inaccessibile, che non potrebbe essere rilevata con i tradizionali metodi di rilevamento *in situ*. Vengono ora presentati i risultati dell'analisi della copertura arborea e dello stato della vegetazione, del quale si può identificare la condizione di salute qualora i valori di NDVI siano al di sotto di un definito valore di soglia.

##### 4.1 Il verde nell'area di studio

La copertura del verde nell'area di studio corrisponde a 89,37 ettari che rappresentano il 26,15% della superficie totale dell'area di studio (Figura 5(a)). Di questi, solo 21,73 ettari (6,36%) corrispondono al verde che ricade rigorosamente in ambito urbano, mentre 67,64 corrispondono al verde agricolo periurbano (19,79%) (Figura 5(b)). In rapporto al numero di abitanti ricadenti nell'area urbana di studio si hanno 11,91m<sup>2</sup> per abitante. Dei 21,73 ettari di verde urbano, il 65,4% rappresenta il verde pubblico, e il 34,6% la componente di verde privato (Figura 5 (c)) che contribuisce in termini di benefici ambientali e servizi ecosistemici, ma non offre possibilità per uso pubblico.

Il verde pubblico urbano più diffuso si caratterizza inoltre per le sue modeste dimensioni (da 1 a 2 ettari) e per la sua localizzazione prossima al centro cittadino. La restante porzione di verde urbano è costituita dalle aree di arredo urbano e dalle alberature lungo gli assi stradali principali. Dall'indagine svolta, risulta non esserci un disegno evidente di connessione tra parchi e giardini e spazi interstiziali che vada a definire una rete verde ben strutturata. Viene evidenziato inoltre la totale assenza di tetti verdi che potrebbero invece contribuire a dar un apporto significativo a un mosaico integrale del verde urbano.

##### 4.2 Lo stato della vegetazione

Il calcolo dell'indice di vegetazione NDVI ha prodotto i valori le cui caratteristiche principali sono riportate in Tabella 1.

Per la loro analisi locale e la conseguente classificazione è stato assunto un valore sperimentale di soglia, per ottenere in questo modo una mappatura della condizione di salute della vegetazione (Figura 6). Al di sotto del valore soglia di NDVI pari a 0,49 la vegetazione è stata classificata come in "cattivo stato di salute", mentre al di sopra di tale soglia, come in buono stato. Tale valore è stato calibrato empiricamente rispetto al valore 0,322 (valore mean+std indicato in Tabella 1) per evitare l'individuazione di piccole zone insignificanti dal punto di vista vegetativo, eliminando in tal modo alcuni elementi di falsi positivi o falsi negativi generati da picchi di riflettanza nel NIR. Si vuole evidenziare che, per quanto riguarda la vegetazione arborea, la classificazione effettuata prende in considerazione le condizioni di "salute" al livello della superficie dell'intera chioma dell'albero (Q. Xiao, 2005).

Pertanto, se la parte superiore della corona aveva uno strato di foglie "sano", l'albero è stato classificato come albero "sano" (Figura 7), indipendentemente dalle condizioni al di sotto della corona. Tale condizione di salute, derivata da dati telerilevati è



Figura 5. Le diverse entità di verde considerate.

Parametro	Valore
Max	1.0
Mean	0.136
Min	-1.0
Range	2.0
Std_Dev	0.186
Soglia massima (mean+std)	0.322
Soglia minima (mean-std)	0.05

Tabella 1. Principali dati statistici relativi alla completa estensione dell'immagine raster in seguito al calcolo dell'indice NDVI.

una condizione riconducibile alla sensibilità da stress idrico, alle malattie e agli attacchi di insetti che colpiscono direttamente le foglie piuttosto che alla cattiva salute dell'albero causata dalla senescenza all'interno della corona (Jackson et al., 1981). Per tale motivo, non necessariamente si può correlare questa condizione direttamente ai problemi relativi alle radici o al tronco. Se da un lato, un basso valore di NDVI, potrebbe non essere correlato necessariamente a uno stato complessivo di cattiva salute dell'albero, d'altra parte, le informazioni sullo stress idrico della pianta, non necessariamente saranno rilevate dalle squadre sul campo che valutano la salute dell'albero. Ne consegue che dopo una prima valutazione di rilevamento di una cattiva condizione di salute, una valutazione sul campo potrà

confermare e valutare l'effettiva condizione. Questa metodologia fornisce infatti indicazioni georeferenziate relative a un possibile stato di salute del verde, mentre le indagini sul campo possono fornire informazioni dettagliate su una varietà di indicatori di salute e identificare la priorità delle diverse esigenze di gestione. In definitiva, l'utilizzo delle ortofoto con l'approccio tipico del telerilevamento potrebbe quindi essere applicato nelle valutazioni su larga scala, consentendo poi a chi si occupa della gestione di concentrare le proprie attività di lavoro nelle situazioni in cui la salute dell'albero risulta essere più compromessa.



Figura 6. Mappatura della condizione di salute della vegetazione

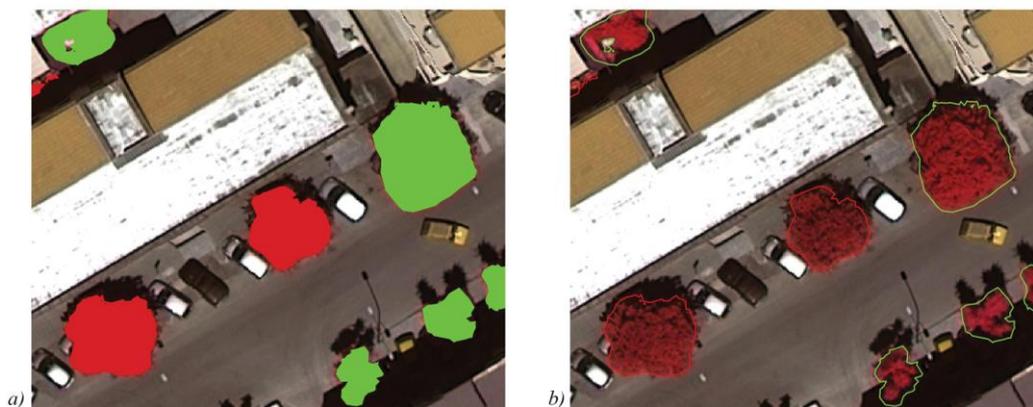


Figura 7. Esempio di classificazione di salute dell'albero (a). È possibile apprezzare nell'immagine a falsi colori (b) le differenti tonalità di rosso che confermano il risultato della classificazione ottenuta.

## 5. CONCLUSIONI

L'aumento delle aree verdi urbane è una decisione centrale nel paradigma delle "città sostenibili", confermato dal fatto che, secondo l'Unione europea, la promozione delle infrastrutture verdi è un obiettivo prioritario che può essere generalmente realizzato attraverso opportune iniziative politiche.

Il raggiungimento di tale obiettivo presuppone una corretta predisposizione, acquisizione ed elaborazione di informazioni e dati sull'ambiente costruito, per i quali le tecnologie di telerilevamento hanno dimostrato essere una fonte efficiente.

Con il metodo proposto in questo articolo è stata dimostrata la potenzialità delle analisi di immagini aeree multispettrali con tecniche proprie del telerilevamento per l'analisi del verde pubblico. L'applicazione di queste tecniche, può rappresentare l'alternativa al rilevamento *in situ* per identificare in maniera puntuale il verde in città, ma può essere estesa anche a supporto di altre esigenze della pianificazione urbanistica. In questo modo è possibile stimare quanto una città è in grado di guadagnare globalmente in termini di nuovi spazi verdi, e quindi di migliorato assorbimento di CO<sub>2</sub>. Intendendo per spazi verdi, non soltanto quegli spazi ad uso ricreativo e transitorio, di norma inseriti nelle scelte di piano della pianificazione urbanistica comunale, ma nel significato più complessivo, di tutti quegli spazi che offrono l'insieme di servizi, ecologici e regolatori, di cui si è parlato, al fine di aumentare le condizioni di abitabilità e la qualità della vita in città.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano, il prof. Maurizio Minchilli per il supporto nella realizzazione dell'elaborato di tesi da cui trae origine questo lavoro, Nicola Liscia per l'essenziale contributo nella fase del lavoro relativa al processo fotogrammetrico.

## BIBLIOGRAFIA

E. Schöpfer, S. Lang, T. Blaschke, 2005, *A "Green Index" incorporating remote sensing and citizen's perception of green space*. In Proceedings of the ISPRS joint conference 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas.

R. D Jackson, S.B. Idso, R.J Reginato, and Pinter, P.J. Jr. 1981, *Canopy temperature as a crop water stress indicator*. Water Resour. Res. 17, 1133–1138.

S. Lang, E. Schöpfer, D. Hölbling, T. Blaschke, M. Moeller, T. Jekel, E. Klo, 2008, *Quantifying and Qualifying Urban Green by Integrating Remote Sensing, GIS, and Social Science Method*, in Use of Landscape Sciences for the Assessment of Environmental Security -- Part of the NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Petrosillo, I., Müll, 93-105.

T. Santos, J.A Tenedório, J.A. Gonçalves, 2016, *Quantifying the City's Green Area Potential Gain Using Remote Sensing Data*. Sustainability, 8, 124.

Q. Xiao, E.G. McPherson, 2005, *Tree health mapping with multispectral remote sensing data at UC Davis, California*. Urban Ecosystems, 8: 349–361.