



## Indici radiometrici per il calcolo del verde totale nelle maggiori aree urbane

Stefano Mugnoli, ISTAT DIPS-DCAT-ATA [mugnoli@istat.it](mailto:mugnoli@istat.it)  
Alberto Sabbi, ISTAT DIPS-DCAT-ATA, [sabbi@istat.it](mailto:sabbi@istat.it)

**Parole chiave:** Indici radiometrici, NDVI, ENDVI; Ortofoto; Città metropolitana

### ABSTRACT

Conoscere anche approssimativamente la quantità di 'verde' all'interno di un'area urbana è sicuramente un dato importantissimo per l'analisi e lo sviluppo di indicatori legati a molti aspetti della vita nelle città. La 'qualità della vita' in alcuni casi è direttamente proporzionale alla possibilità di fruizione delle aree verdi pubbliche e private (parchi, giardini, ville storiche, impianti sportivi, viali alberati etc.).

L'analisi statistica proposta tende a fornire un dato di base utile per indagini più approfondite sulle dinamiche che regolano i grandi centri urbani. L'affidabilità della metodologia utilizzata, consolidata da innumerevoli sperimentazioni e studi, garantisce un'alta qualità dei risultati ottenuti; un altro notevole vantaggio è dato dalla possibilità di ripetere facilmente il calcolo degli indici mediante semplici algoritmi e procedure in batch garantendo una comparabilità nel tempo per ogni set di ortofoto a disposizione.

Nell'analisi sperimentale proposta, a partire da immagini telerilevate ad alta risoluzione (Ortofoto AGEA a 20 e 50 cm di risoluzione spaziale), si prendono in considerazione tre indici radiometrici per il calcolo di alcune statistiche legate alla copertura del verde totale all'interno dei centri abitati principali delle 15 Città Metropolitane italiane: Bari, Bologna, Cagliari, Catania, Firenze, Genova, Messina, Milano, Napoli, Palermo, Reggio di Calabria, Roma, Sassari, Torino, Venezia.

### 1. Introduzione

Il telerilevamento (in inglese Remote sensing) è una branca delle scienze applicate che mira a ricavare informazioni qualitative e quantitative indagando oggetti 'a distanza'. Ciò lo si può attuare mediante sensori installati su aerei, satelliti, droni che misurano la radiazione elettromagnetica emessa, riflessa o trasmessa dagli oggetti indagine dello studio.

Già da molti decenni, l'osservazione della Terra effettuata da satelliti artificiali, risulta essere una tecnica per monitorare il nostro pianeta ed effettuare delle rilevazioni estremamente utili per lo studio di svariati aspetti ambientali e territoriali (stato della vegetazione, inquinamento delle acque, dissesto idrogeologico, copertura e consumo di suolo, etc.).

I vantaggi delle immagini telerilevate sono notevoli a cominciare dalla facilità di acquisire informazioni territoriali che in altro modo sarebbe estremamente oneroso ottenere; inoltre, la possibilità di disporre di immagini con una ripetitività continua nel tempo, permette lo studio di fenomeni che in altro modo sarebbe impossibile indagare.

I parametri rilevati dai sensori sono di tipo elettromagnetico quali ad esempio radiazione emessa, fase, polarizzazione, ampiezza del campo, che determinano la cosiddetta 'firma spettrale' di tutti gli oggetti rilevati. La firma spettrale di un oggetto è, in pratica, il suo peculiare comportamento rispetto alle radiazioni elettromagnetiche incidenti alle diverse lunghezze d'onda; conoscendo quindi la firma spettrale di un oggetto lo si può identificare univocamente.

Uno degli 'oggetti' d'indagine del telerilevamento è storicamente la vegetazione; numerosi sono gli indici spettrali messi a punto da studiosi che mirano a porre in evidenza alcuni aspetti della copertura vegetale (stress idrico, quantificazione della biomassa, danni dovuti ad incendi, etc.).

Il tutto si basa sul comportamento della clorofilla (figura 1) in relazione alla sua capacità di assorbire la radiazione luminosa a varie lunghezze d'onda.



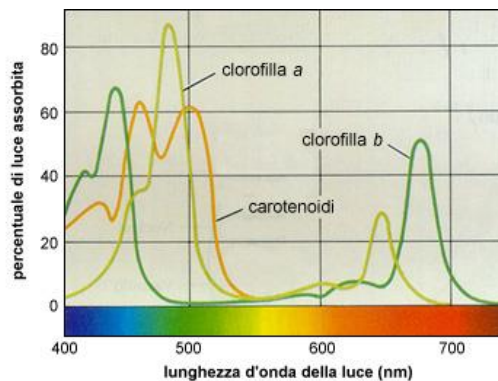


Figura 1 – Spettro di assorbimento dei pigmenti vegetali

Nell'analisi sperimentale proposta, a partire da immagini telerilevate ad alta risoluzione (Ortofoto AGEA a 20 e 50 cm di risoluzione spaziale), si prendono in considerazione, tra tutti quelli proposti negli innumerevoli studi effettuati (Xue J. and Boafeng S., 2017; Kriegler F.J. e altri, 1969), tre indici radiometrici per il calcolo di alcune statistiche legate alla copertura del verde totale all'interno dei centri abitati italiani principali: Bari, Bologna, Cagliari, Catania, Firenze, Genova, Messina, Mestre, Milano, Napoli, Padova, Palermo, Reggio di Calabria, Roma, Sassari, Torino, Trieste, Verona.

## 2. L'esigenza

Conoscere anche approssimativamente la quantità di 'verde' all'interno di un'area urbana è sicuramente un dato importantissimo per l'analisi e lo sviluppo di indicatori legati a molti aspetti della vita nelle città. Fenomeni legati alla 'qualità della vita' in alcuni casi sono direttamente proporzionali alla possibilità di fruizione delle aree verdi pubbliche e private (parchi, giardini, ville storiche, impianti sportivi, viali alberati etc.). Anche la qualità ambientale si basa sulla presenza e sulla 'salute' della copertura vegetale di un dato territorio.

Quanto specificato sopra riguarda solo alcuni degli aspetti macroscopici influenzati dalla vegetazione; ce ne sono comunque altri più criptici e forse più difficili da indagare ma sicuramente di non minore importanza; solo per citarne alcuni: qualità dell'aria e delle acque, biodiversità, impatto ambientale, consumo di suolo).

L'analisi statistica proposta tende quindi a fornire un dato come strumento di base utile per indagini più approfondite sulle dinamiche che regolano i grandi centri urbani. L'affidabilità della metodologia utilizzata, consolidata da innumerevoli sperimentazioni e studi, garantisce un'alta qualità dei risultati ottenuti; oltre a questo, un altro notevole vantaggio è dato dalla possibilità di ripetere facilmente il calcolo degli indici mediante semplici algoritmi e procedure in batch e ciò garantisce una comparabilità nel tempo per ogni set di ortofoto a disposizione.

## 3. La soluzione

### 3.1 Gli indici radiometrici

Il dato di partenza per il calcolo degli indici radiometrici di vegetazione sono le ortoimmagini ad alta risoluzione (ortofoto) AGEA (Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura) con un pixel a terra di 50 cm per le aree extraurbane e 20 cm per quelle urbane.

Tali immagini coprono, in un arco ciclico di tre anni, l'intero territorio nazionale e a partire dal 2012 sono state rilasciate all'ISTAT in 4 bande spettrali:

- Near Infrared (NIR)  $\lambda$  800 nm;
- RED  $\lambda$  650 nm;
- GREEN  $\lambda$  550 nm;
- BLUE  $\lambda$  450 nm.





Con dei semplici script implementati in 'Python' sono calcolati i seguenti indici radiometrici per l'identificazione automatica delle aree coperte da vegetazione:

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)<sup>(1)</sup>: è sicuramente il più famoso e utilizzato indice radiometrico. La formula tradizionale che si basa sul comportamento spettrale della clorofilla *a* e della clorofilla *b*, è la seguente:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Da quanto mostrato dalla formula, l'NDVI usa la lunghezza del rosso come canale di assorbimento, mentre il NIR come canale di riflettanza.

Nel nostro caso, per enfatizzare la differenza di comportamento spettrale della clorofilla, si è deciso di sostituire il rosso con il blu. La formula quindi diventa:

$$NDVI = \frac{NIR - BLUE}{NIR + BLUE}$$

- **ENDVI (Enhanced Normalized Difference Vegetation Index)<sup>(2)</sup>**: per ottenere risultati migliori si può utilizzare anche il verde come canale di riflettanza; ricordiamo infatti che una pianta in condizioni ottimali riflette sia il verde che il NIR. Si può quindi implementare la formula dell'NDVI come segue:

$$ENDVI = \frac{[(NIR + GREEN) - (2 * BLUE)]}{[(NIR + GREEN) + (2 * BLUE)]}$$

Questa formula per l'ENDVI somma i canali del verde e del NIR e li considera per il calcolo della riflettanza. Il blu è moltiplicato per due proprio per compensare la somma (NIR+GREEN).

- **ENDVI<sub>vis</sub> (Enhanced Normalized Difference Vegetation Index<sub>vis</sub>)**: le ortofoto anteriori al 2011 non sono state rilasciate a 4 bande ma solo per i canali relativi al visibile. In questi casi quindi non si può utilizzare la formula che prevede l'utilizzo del NIR. Risulta però interessante effettuare un confronto con gli anni anteriori al 2012. Si è pensato quindi di implementare un semplicissimo algoritmo che basandosi sulla formula dell'ENDVI 'classico', utilizzasse solo le bande del visibile per il calcolo dell'indice di vegetazione; tale indice è stato chiamato ENDVI<sub>vis</sub> proprio per far comprendere che il NIR non è contemplato nella formula. Con la stessa logica che guida il calcolo dell'ENDVI, l'equazione dell'ENDVI<sub>vis</sub> risulta:

$$NDVI_{vis} = \frac{[(2 * GREEN) - (RED + BLUE)]}{[(2 * GREEN) + (RED + BLUE)]}$$

L'indice proposto sopra è più immediato di altri calcolati a partire solo dalle bande del visibile come, ad esempio, il Fractional Canopy Cover (Borlaf-Mena I. e altri, 2019). Nonostante ciò, anche se non permette una quantificazione precisa della copertura vegetale dell'area urbana, risulta estremamente utile per la comparazione temporale.

Le immagini ottenute a valle del calcolo degli indici sono di tipo float (continue); queste vanno perciò riclassificate per poter evidenziare solo i pixel corrispondenti alle aree coperte da vegetazione. Per far questo però bisogna studiare attentamente l'istogramma dell'immagine ottenuta in modo da valutare quale sia il valore soglia oltre il quale la possibilità che un pixel sia 'verde' è accettabile.

---

<sup>(1)</sup> Per maggiori informazioni [https://it.wikipedia.org/wiki/Normalized\\_Difference\\_Vegetation\\_Index](https://it.wikipedia.org/wiki/Normalized_Difference_Vegetation_Index)

<sup>(2)</sup> Per approfondimenti <https://maxmax.com/endvi.htm>





### 3.2 La problematica del valore soglia

Una comune massima recita “Un’immagine vale più di mille parole” ed è per questo motivo che per illustrare come si può intuitivamente estrarre il reale valore soglia da applicare ad un’immagine *NDVI* per riclassificarlo ed estrarre le aree vegetate, partiamo proprio da alcune figure.

In figura 2a l’istogramma dei valori dell’*NDVI* del centro abitato ‘Roma’ relativa al volo 2017 delle zone Castel Giubileo, Fidene, Colle Salario, Villa Spada e Serpentara (figura 2b).

Come si può facilmente notare, l’istogramma è suddiviso in quattro settori ben distinguibili:

- Il primo, cerchiato in rosso in figura 3a corrisponde all’acqua, in nero in figura 3b estratta “sogliando” i valori relativi dell’*NDVI* a  $-0,2$ ; in questo modo si possono estrarre facilmente le acque e le zone umide;
- Il secondo, cerchiato in figura 4a corrisponde alle aree coperte da infrastrutture e urbanizzato denso. I valori soglia sono compresi tra  $-0,2$  e  $0,09$ ; il risultato è mostrato in figura 4b;
- Il terzo, cerchiato in figura 5a corrisponde alle aree caratterizzate da suolo nudo o coperte da vegetazione rada e aree agricole. I valori soglia sono compresi tra  $0,09$  e  $0,35$ ; il risultato è mostrato in figura 5b. In questa classe possono ricadere anche delle piccole aree nelle quali la copertura vegetale potrebbe essere significativa. Sono comunque aree di superficie trascurabile per la nostra sperimentazione;
- Il quarto settore dell’istogramma (figura 5a) oltre il valore di  $0,35$  rappresenta le aree coperte da vegetazione densa, in verde in figura 5b.

Da quanto specificato sopra, si è deciso di quantificare la superficie coperta da vegetazione per il centro abitato ‘Roma’, considerando per tutte le ortofoto il valore  $0,35$  come valore soglia. Lo stesso procedimento è stato seguito per tutti i centri abitati e per ogni anno di volo.

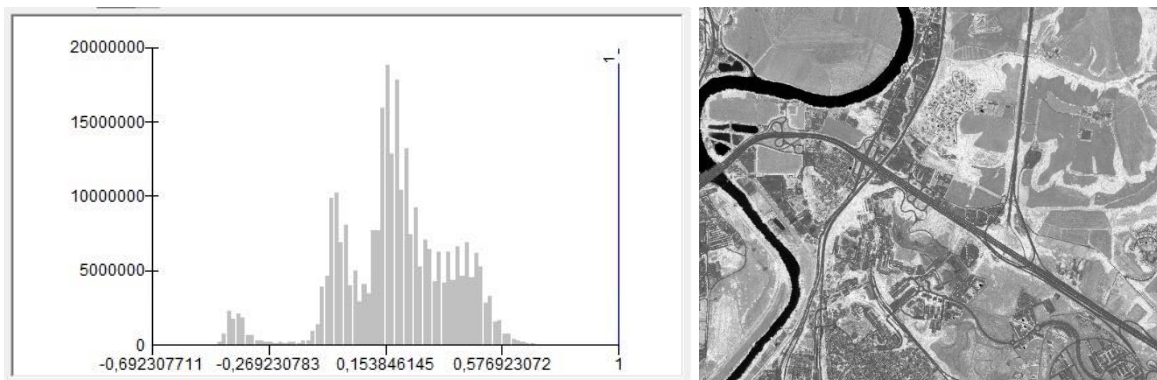


Figure 2a e 2b – Istogramma e immagine *NDVI* relativa



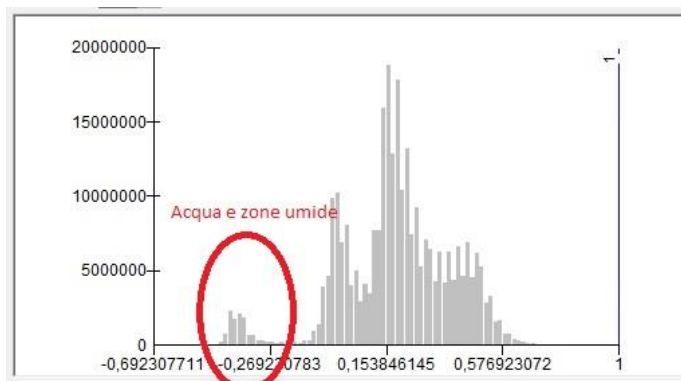


Figure 3a e 3b – Istogramma e immagine relativa (es. acque e zone umide in nero nell'immagine)

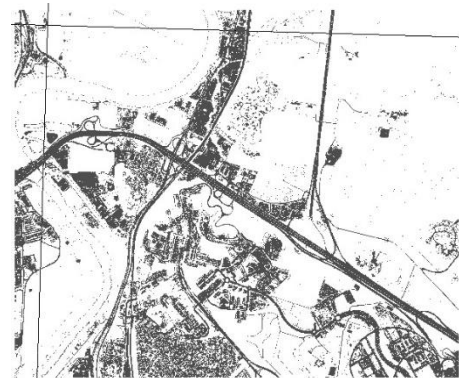
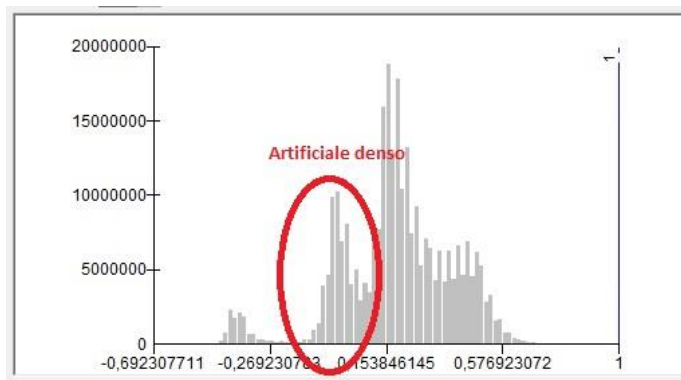


Figure 4a e 4b – Istogramma e immagine relativa (es. strade e residenziale denso)

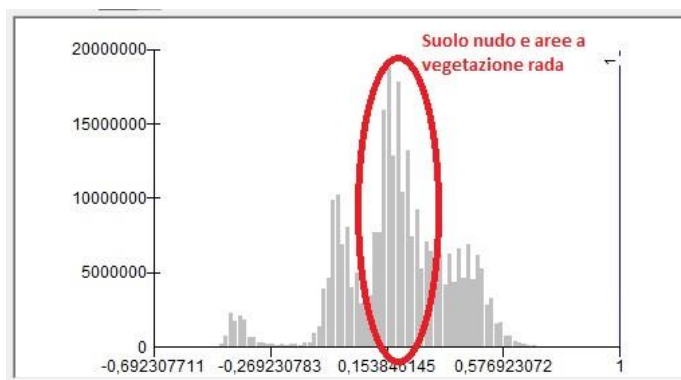


Figura 4g e 4h – Istogramma e immagine relativa (es. suolo nudo e aree a vegetazione rada in ocrea nell'immagine)



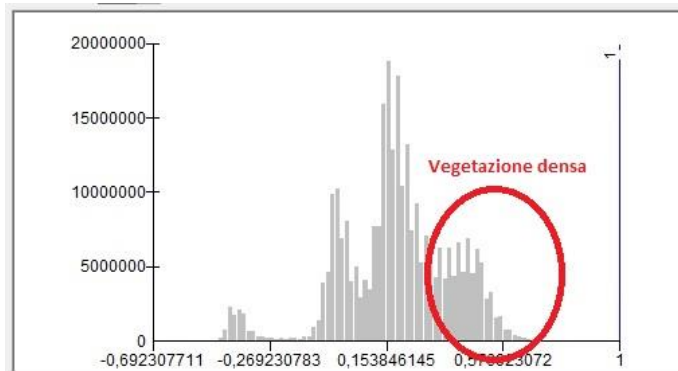


Figura 4g e 4h – Istogramma e immagine relativa (es. vegetazione densa)

### 3.3 Gli algoritmi utilizzati (Kienast-Brown S et al., 2010; Della Rocca A.B. et al., 2001; Dobermann A. et al., 2009)

Dalla figura 2 risulta evidente l'effetto 'sale e pepe' che caratterizza ogni elaborazione di file raster telerilevate. Quindi, per migliorare sia la leggibilità dell'elaborazione che la validità delle statistiche relative alla copertura delle aree vegetate al suolo, è stato stabilito di eliminare quelle aree al di sotto di 25 m<sup>2</sup> (625 pixel di 20 cm di risoluzione), tenendo conto del fatto che pixel singoli o cluster di pixel molto piccoli rappresentano aree non significative per il nostro scopo.

Tale generalizzazione si può ottenere con semplici algoritmi di analisi di contiguità (clump) e successiva eliminazione (eliminate) di quei 'clump' al di sotto di una certa superficie. Il primo algoritmo ha lo scopo di creare gruppi di pixel contigui chiamati 'raster region' o 'clump', creando un clump image. Quest'ultima rappresenta l'input del secondo algoritmo che non fa altro che eliminare i clump al di sotto della soglia stabilita. Il risultato di tale processo è mostrato in figura 4, nella quale sono stati eliminati i clump al di sotto dei 500 m<sup>2</sup> per rendere più evidente quanto è stato detto sopra.

Quanto specificato sopra è estremamente semplice da attuare mediante gli algoritmi forniti da ARCGis, soprattutto grazie al tool 'Spatial analyst'.

## 4. Il cambiamento

### 4.1 Primi risultati: alcune considerazioni

Da quanto è stato esposto nei paragrafi precedenti quindi, sperimentazioni di elaborazione di immagini multispettrali sono influenzate da molti fattori; ciononostante i risultati ottenuti da indici radiometrici per l'individuazione di aree vegetate risultano sicuramente di estremo interesse per un numero considerevole di analisi territoriali. Oltre a questo, la possibilità di avere a disposizione vari set di immagini relative ad anni diversi, rende possibile anche una comparazione dei risultati nel tempo.

L'oggetto d'indagine di questa sperimentazione sono stati i centri abitati ISTAT 2011 più popolosi relativi alle 14 Città Metropolitane italiane più alcune delle maggiori realtà urbane italiane; le località prese in considerazione sono tutte relative al centro capoluogo ad eccezione per il Città Metropolitana di Venezia per il quale il centro più popoloso risulta essere 'Mestre'.

Le località abitate ISTAT sono scaricabili al sito: <https://www.istat.it/it/archivio/104317#accordions> alla voce 'Basi territoriali'.

Queste località pur rappresentando solo il 7,82 per cento in termine di superficie totale dei centri abitati a livello nazionale, contengono ben il 15,87 per cento della totale popolazione residente nelle località di centro abitato. Se poi prendiamo in considerazione il rapporto tra la popolazione del centro e quella totale di ogni specifica Città Metropolitana possiamo annotare che la percentuale varia dal 17,32 per cento (Mestre) fino ad arrivare al 69,29 per cento nel caso di Genova<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> [Bilancio demografico](#), su [demo.istat.it](http://demo.istat.it), ISTAT (Dati 2018).





Da ciò si comprende come una statistica che metta in relazione una variabile territoriale importante come la vegetazione di una data porzione di territorio con la popolazione che incide sulla stessa, acquista una notevole valenza se la popolazione stessa rappresenta una porzione significativa rispetto al comune di appartenenza.

In questo paragrafo si descrivono i primi risultati ottenuti in relazione al fatto che abbiamo a disposizione almeno un dato definitivo per ogni Città Metropolitana; si ricorda ancora il che la procedura di calcolo può essere applicata a qualsiasi ripartizione territoriale.

Un ultimo accorgimento prima di mostrare i numeri della sperimentazione: gli indici hanno significatività propria; indici differenti non possono essere paragonati tra loro. Prendendo comunque uno stesso indice sia in tempi differenti che per aree urbane diverse la confrontabilità è assicurata.

In alcuni casi non è stato possibile effettuare l'elaborazione di alcune delle ortofoto e di conseguenza il calcolo dell'indice; in tal caso la dicitura usata è N.D. (non determinabile).

Un fattore che sicuramente può influenzare la scelta del valore soglia riguarda l'uniformità della radiometria delle ortofoto. In alcuni casi si potrebbe presentare la situazione che alcune ortofoto che formano il mosaico per una certa area urbana, pur non essendo corrotte, hanno dei valori radiometrici non uniformi. In questo caso il valore soglia che si ottiene può essere spostato a destra o a sinistra in relazione al numero di ortofoto che compongono il mosaico. E ciò appare evidente quando si considera i valori soglia superiori del III percentile relativi ad anni di volo diversi: se questi non sono paragonabili tra loro significa che esiste qualche problema con la radiometria delle ortofoto.

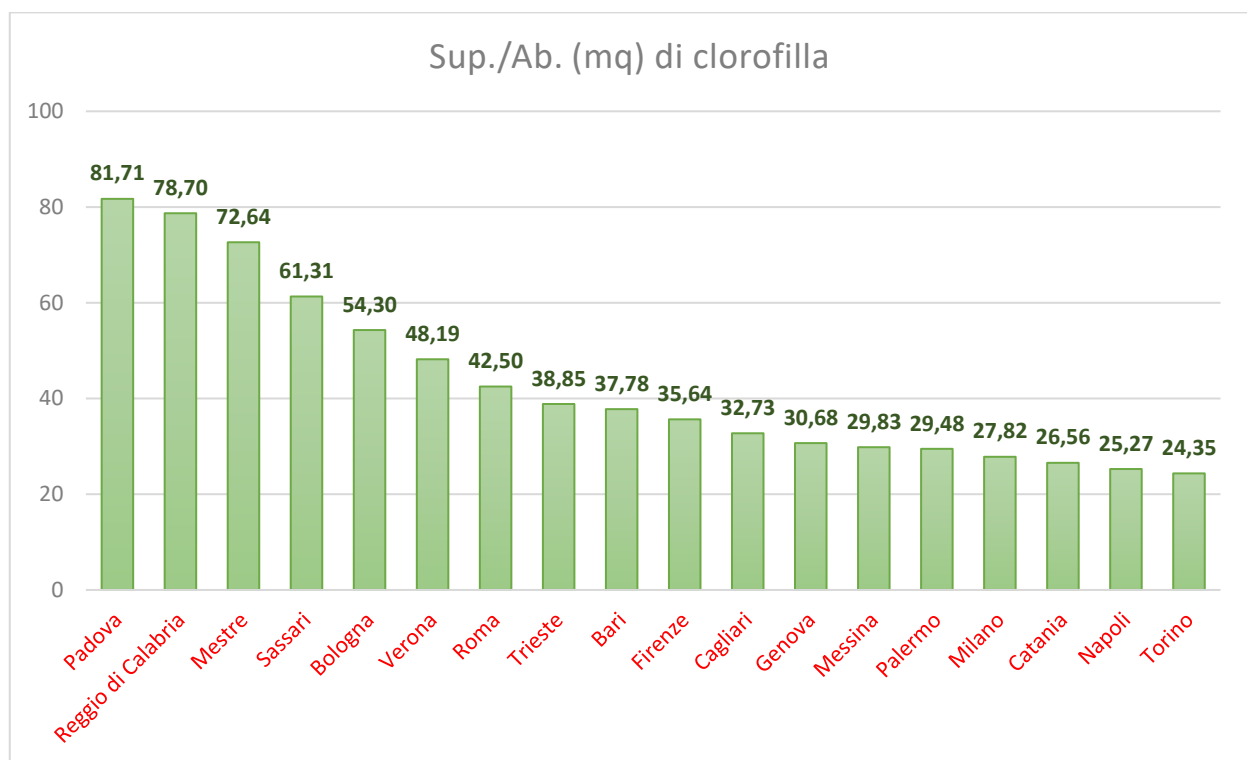


Figura 5 – Riassunto dei risultati ottenuti

Fatte tali premesse e andando ad analizzare l'istogramma di figura 5, possiamo affermare che:

- I cittadini più fortunati sono i patavini che hanno a disposizione oltre 80 mq di 'clorofilla' pro capite;
- I torinesi hanno a disposizione meno di 25 mq di verde e rappresentano il fanalino di coda;
- I centri abitati con il verde maggiormente compatto sembrano essere Firenze e Milano con una differenza tra il totale e l'area sopra i 25 mq rispettivamente pari a circa il 2,10 e il 2,15%, anche se i milanesi hanno meno mq di verde a disposizione pro capite (27,82 vs 35,64);
- Oltre ai patavini, gli abitanti che hanno a disposizione più di 50 mq di 'verde' ciascuno sono i reggini,





- i mestrini, i sassaresi, e i bolognesi;
- Tra i centri principali delle Città Metropolitane siciliane il più verde è sicuramente Messina che offre quasi 30 mq a ciascuno dei suoi circa 291.000 ab. La meno 'verde', in relazione alla sua popolazione, sembra essere Catania che offre poco più di 26 mq a testa ai propri abitanti; in valore assoluto, le aree verdi ammontano rispettivamente a circa 1.200 Ha per Palermo, 656 Ha per Messina e circa 772 Ha per Catania;
  - Sempre in valore assoluto il centro abitato Roma presenta il maggior valore di 'verde' con circa 10.000 Ha. Cagliari è il centro abitato con il minor numero di Ha di 'verde', circa 490.

Questi sono solo le principali considerazioni che si possono ricavare dai dati ottenuti fino ad ora. Non appena si avranno a disposizione più numeri si potranno realizzare elaborazioni più esaurienti.

## 5. Sviluppi futuri

La sperimentazione continuerà sicuramente con raccolta dei dati ed analisi degli stessi più puntuali ed esaurienti che si potranno realizzare quando saranno disponibili i risultati delle elaborazioni per la maggior parte dei centri abitati con le Ortofoto relative ai voli successivi al 2019.

Inoltre, sarà interessante l'analisi diacronica utilizzando l'ENDVI<sub>vis</sub> che seppur non utile alla quantificazione del verde in valori assoluti al contrario degli altri due indici, può essere fondamentale per valutare l'andamento nel tempo.

Un'altra idea è quella di estendere l'analisi almeno ai principali centri delle province capoluogo di regione

### Riferimenti principali

Xue J. and Boafeng S., "Significant Remote Sensing Vegetation Indices: a Review of De-velopments and Applications", *Journal of Sensors*, 2017, pp. 1-17;

Kriegler F.J., Malila W.A., Nalepka R.F. and Richardson W. (1969) "Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition". *Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, pp. 97-131;

Borlaf-Mena, I., Tanase, M.A., Gómez-Sal, A. "Methods for tree cover extraction from high resolution orthophotos and airborne LiDAR scanning in Spanish *dehesas*". *Revista de Teledetección, Asociación Española de Teledetección*, 2019 53, 17-32;

Kienast-Brown S. and Boettinger J.L., "Applying the Optimum Index Factor to multiple data types in soil survey", in Moore A.C., Kienast-Brown S., Boettinger J.L. and Hartemink A. (Eds.), *Digital Soil mapping: Bridging research, Environmental Application and Operation*, Berlin, Springer 2010, pp. 385-398;

Della Rocca A.B., Pignatti S., Mugnoli S. and Bianco P.M., "La Carta della Vegetazione della Tenuta di Castelporziano", in Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL (dei Quaranta) (Ed.), *Il Sistema Ambientale della Tenuta di Castelporziano, Scritti e Documenti XXVI*, Rome, 2001, pp. 709-747;

Dobermann A., Ping J.L., Simbahan G.C. and Adamchuk V.I., "Processing of yield map data for delineating yield zones", in Stafford J. and Werner A. (Eds.), *Precision Agriculture*, Wageningen, Wageningen Academic Publisher, 2003, pp. 177-186.

