EUT EDIZIONI UNIVERSITÀ DI TRIESTE

Bollettino della ASSOCIAZIONE ITALIANA di CARTOGRAFIA

2023 (177), 90-107
DOI: 10.13137/2282-572X/36184

ISSN 2282-572X (online) ISSN 0044-9733 (print)
https://www.openstarts.units.it/handle/10077/9933

GIS e cartografia per la mappatura e valutazione del "verde universitario" nello sviluppo di strategie resilienti al cambiamento climatico*

GIS and cartography for the mapping and valuation of "university green" in the context of strategies resilient to climate change

DANIELE CODATO*, FRANCESCA PERONI*

**Università degli Studi di Padova, daniele.codato@unipd.it; francesca.peroni@unipd.it

Riassunto

L'implementazione delle cosiddette *nature-based solutions* e delle infrastrutture verdi rappresentano elementi necessari per far fronte all'attuale crisi eco-climatica in ambiente urbano e periurbano. Tuttavia, nell'ambito delle agende urbane locali, decisori politici e *stakeholders* considerano principalmente le aree verdi comunali, senza includere quelle di proprietà di altri attori pubblici o privati. Un ruolo chiave, spesso sottovalutato e poco investigato in numerose città, è svolto dal patrimonio delle università, caratterizzato da importanti sistemi vegetati arborei, arbustivi ed erbacei. Questo studio mira ad indagare le potenzialità delle aree verdi già esistenti nell'Università di Padova. Gli obiettivi specifici mirano a: i) quantificare e mappare il verde erbaceo e arboreo universitario, ii) valutare alcuni servizi ecosistemici da esso forniti in due aree studio rappresentative, iii) valutare come il verde universitario possa integrare le soluzioni sostenibili del Comune di Padova. La metodologia è stata sviluppata in ambiente GIS ed è stata strutturata in diverse fasi complementari tra loro, mediante l'uso di ortofoto e di rilievi partecipati sul campo. I risultati hanno mostrato che, su un totale di oltre 2 km^2 di superficie appartenente o utilizzata dall'Università nella Regione del Veneto, il 27% (535.891 m^2) sono aree verdi, di cui il 15% è arboreo/arbustivo mentre il 12% erbaceo. Si raggiunge il 65% del totale se vengono incluse anche le aree agricole. L'analisi dello stoccaggio e del sequestro di carbonio in due aree studio rappresentative dell'Università ha mostrato che, comparando questi valori con la *carbon footprint* delle emissioni di CO_2 equivalente media per uno studente universitario, il contributo ai fini della mitigazione al cambiamento climatico delle aree verdi sia attualmente non rilevante. Data la localizzazione di questi spazi all'interno della città di Padova, i risultati mostrano invece il loro potenziale contributo in un'ottica di adattamento al cambiamento climatico, come ad esempio "rifugi climatici" durante le ondate di calore, attuando politiche di sinergia con le amministrazioni locali.

Abstract

The implementation of nature-based solutions and green infrastructure are essential strategies to cope with the current climate crisis in urban and peri-urban environment. However, within local urban agendas, policymakers and stakeholders mainly consider municipal green areas, without including those owned by other public or private actors. A key role is played by the heritage of universities, which is characterized by large vegetated systems. However, this potential is often underestimated and under-investigated in many cities. The study aims to investigate the potential of existing green areas in the University of Padua. The specific objectives aim to: i) quantify and map university herbaceous and arboreal greenery, ii) evaluate the carbon storage and sequestration ecosystem service in two representative study areas, iii) assess how university greenery can integrate the sustainable strategies of the Municipality of Padova. The methodology was developed in GIS environment, and it was organized in several complementary steps, by using orthophotos and participatory field surveys. The results showed a total of more than 2 km^2 belonging to or used by the University in the Veneto Region: 27% (535,891 m^2) are green areas, of which 15% are arboreal while 12% are herbaceous. If the agricultural areas are included, the overall result grows to 65%. The second result focused on the analysis of carbon storage and sequestration ecosystem service in two representative study areas of the University, and it was later related to the carbon footprint of equivalent average CO_2 emissions of a university student. The comparison showed how the contribution of these green areas is currently limited for climate change mitigation. Instead, thanks to the location of these spaces within the city of Padua, the results show their potential contribution to climate change adaptation, such as climate shelters during heat waves, by implementing synergy policies with the local administration.

Parole chiave

Verde urbano, Verde universitario, Nature-Based Solutions, GIS, Telerilevamento.

Keywords

Urban Green, University Green, Nature-Based Solutions, GIS, Remote Sensing

* Corresponding author: Daniele Codato. Attribuzioni: L'intero lavoro rappresenta l'esito di riflessioni congiunte. Ai fini delle attribuzioni, si precisa che i paragrafi 1 (introduzione) e conclusioni sono a cura di Francesca Peroni, i paragrafi 2, 3.1 e 3.2 sono a cura di Daniele Codato, il paragrafo 3.3 è a cura di entrambi gli autori.

1. Introduzione

1.1. Le strategie di mitigazione del cambiamento climatico in contesto urbano e periurbano

Le strategie di adattamento e di mitigazione ai cambiamenti climatici rappresentano oggi una priorità a livello internazionale e nazionale. L'attuale crisi ecoclimatica e la promozione di politiche di decarbonizzazione, di transizione energetica ed ecologica vengono infatti ribaditi sia negli obiettivi di sviluppo sostenibile al 2030 che nell'*European Green Deal* (European Commission, 2019; Wood et al., 2018).

In questo contesto gli ecosistemi urbani giocano un ruolo fondamentale nello sviluppo di misure ed azioni di mitigazione, resilienza e di adattamento climatico. È infatti importante ricordare che città e aree urbane sfruttano circa il 75% delle risorse globali, consumano il 78% dell'energia mondiale e contribuiscono fino al 60% del bilancio globale dei gas serra (United Nations, 2022; Yensukho et al., 2022). Inoltre, la progressiva urbanizzazione favorisce l'incremento degli impatti dei cambiamenti climatici, contribuendo alla tendenza al riscaldamento degli insediamenti urbani, a cambiamenti significativi del microclima urbano e all'aumento delle emissioni di gas serra (Dodman et al., 2022). Di conseguenza, secondo i diversi scenari dell'IPCC, le città e le aree urbane saranno fortemente colpite dagli impatti locali dei cambiamenti climatici, con l'aumento della frequenza di eventi meteorologici estremi, come ondate di calore, siccità, precipitazioni intense e inondazioni (IPCC, 2022). In tale contesto, le città sono quindi considerate una delle aree più vulnerabili in relazione al rischio climatico.

Per far fronte a tale problematica, tra le soluzioni proposte, la valorizzazione e l'implementazione delle cosiddette *nature-based solutions* e delle infrastrutture verdi rappresentano elementi essenziali per incrementare la sostenibilità e la qualità della vita urbana (European Commission, 2021). Tra queste, la letteratura scientifica ha evidenziato diverse soluzioni urbane che possono essere implementate o progettate per far fronte agli impatti del cambiamento climatico, come ad esempio l'integrazione e la realizzazione di parchi pubblici, strade alberate, giardini residenziali, orti comunitari, sistemi ripariali urbani e foreste urbane (Berland & Hopton, 2014; Cabral et al., 2017; Peroni et al., 2023; Ren et al., 2018; Soliman et al., 2018).

Tuttavia, decisori politici e *stakeholders* considerano principalmente nelle strategie di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico le aree verdi comunali, senza includere quelle di proprietà di altri attori pubblici o privati, che risulterebbero tuttavia cruciali se considerate nella complessiva pianificazione territoriale sostenibile (Pristeri et al., 2021). In realtà, come riportato da Back e Collins (2022), l'effettiva realizzazione delle misure urbane in materia di spazi e aree verdi è spesso in ritardo, a causa della forte competizione con altre priorità delle amministrazioni, come ad esempio la creazione o l'aggiornamento di abitazioni e infrastrutture. Il raggiungimento dei target definiti dalle politiche europee e nazionali, rischiano quindi di allontanarsi o diventare irraggiungibili, se le amministrazioni locali non instaurano una collaborazione con gli altri attori urbani, pubblici e privati, che possono favorire lo sviluppo e l'espansione delle aree verdi urbane.

Ad esempio, in numerose città un ruolo chiave, spesso sottovalutato dai decisori politici, è svolto dal patrimonio delle università, caratterizzato da importanti sistemi vegetati arborei, arbustivi ed erbacei. Si stima esistano oltre 30.000 università a livello globale e che molte di esse siano costituite da grandi campus, localizzati all'interno delle aree urbane, che possono svolgere un ruolo significativo sia per favorire la biodiversità, sia

come soluzioni *already plugged-in* per l'adattamento al cambiamento climatico (Liu et al., 2021; Verheyen et al., 2023). Le università possono infatti contribuire in maniera significativa al raggiungimento delle politiche di sviluppo sostenibile, di adattamento al cambiamento climatico e di neutralità climatica che le città europee stanno perseguendo (Della Valle et al., 2023).

È inoltre importante sottolineare come molti studi scientifici abbiano evidenziato l'importanza delle aree verdi universitarie per il benessere di studenti e studentesse (Brandli et al., 2020; Holt et al., 2019) o abbiano analizzato alcuni fenomeni climatici usando come casi studio i campus universitari, come il fenomeno delle isole di calore (Taleghani et al., 2014). Ad esempio, lo studio di Battista et. al. (2020) analizza una delle aree dell'Università Roma TRE, di recente ristrutturazione, per mostrare diverse soluzioni realizzate tramite il software ENVI-met per mitigare il fenomeno delle isole di calore urbane.

Mentre sono quindi chiari i benefici di campus universitari che presentino soluzioni verdi, esistono pochi esempi che mostrino il potenziale offerto dalle aree verdi universitarie per sostenere e supportare le politiche urbane di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico. Risulta quindi necessario mostrare la sinergia che può essere creata tra attori pubblici diversi per affrontare le sfide del cambiamento climatico, offrendo delle ricadute che vadano oltre la comunità studentesca e che possano essere di beneficio anche per la cittadinanza.

1.2 Gli obiettivi della ricerca

Questo studio mira a riempire questo vuoto investigando le potenzialità delle aree verdi già esistenti nell'Università di Padova (UNIPD) e le possibili sinergie future che possano essere offerte per migliorare il benessere di studenti e studentesse e della cittadinanza in generale. Gli obiettivi specifici mirano quindi a: i) quantificare e mappare il verde erbaceo e arboreo di UNIPD, ii) valutare alcuni servizi ecosistemici da esso forniti in due aree studio specifiche, iii) valutare come il verde UNIPD possa integrare le soluzioni sostenibili del Comune di Padova, iv) fornire un flusso di lavoro che anche altri atenei italiani possano replicare facilmente per conoscere il verde complessivo di proprietà e la sua qualità.

È importante sottolineare che l'obiettivo i) tiene in considerazione tutte le aree di proprietà o utilizzate dell'Università, localizzate non solo nella città di Padova, ma anche in altre province della Regione del Veneto, mentre gli obiettivi ii) e iii) si focalizzano sulla città di Padova. Gli strumenti metodologici utilizzati per la mappatura e quantificazione sono quelli del telerilevamento, dei Sistemi Informativi Geografici (da qui in avanti GIS dall'acronimo di *Geographic Information Systems*) e del GIS partecipativo e dalla capacità di rappresentazione e comunicazione della cartografia tematica.

Infine, si vuole ricordare che lo studio si inserisce all'interno del progetto di ricerca UniTreePD (2019), promosso da UNIPD, che, mediante la conoscenza del verde universitario, mira ad acquisire e consolidare gli strumenti che le permettano di stimare il proprio impatto sull'ambiente (Codato et al., 2019).

2. Materiali e Metodi

L'approccio metodologico è stato strutturato in diverse fasi complementari tra loro, che hanno visto l'integrazione di metodologie geografiche attraverso l'uso di software GIS e di telerilevamento che hanno fornito uno sguardo "dall'alto", in particolare QGIS[1] versione 3.18 e ENVI[2] versione 5.3, con strumenti, geo-app e GPS utilizzati in rilievi di campo partecipati per validare i risultati e raccogliere ulteriori informazioni, utili anche ai fini di analisi di *scale-up*. I principali passaggi vengono schematizzati di seguito.

2.1. La definizione dell'area di studio e dei dati di input

La prima fase ha visto la necessità di costruire un database spazializzato e un progetto GIS delle proprietà e delle aree usate da UNIPD, poiché la ricerca di que-

1 QGIS, https://www.qgis.org/it/site/, ultimo accesso 20/10/2023

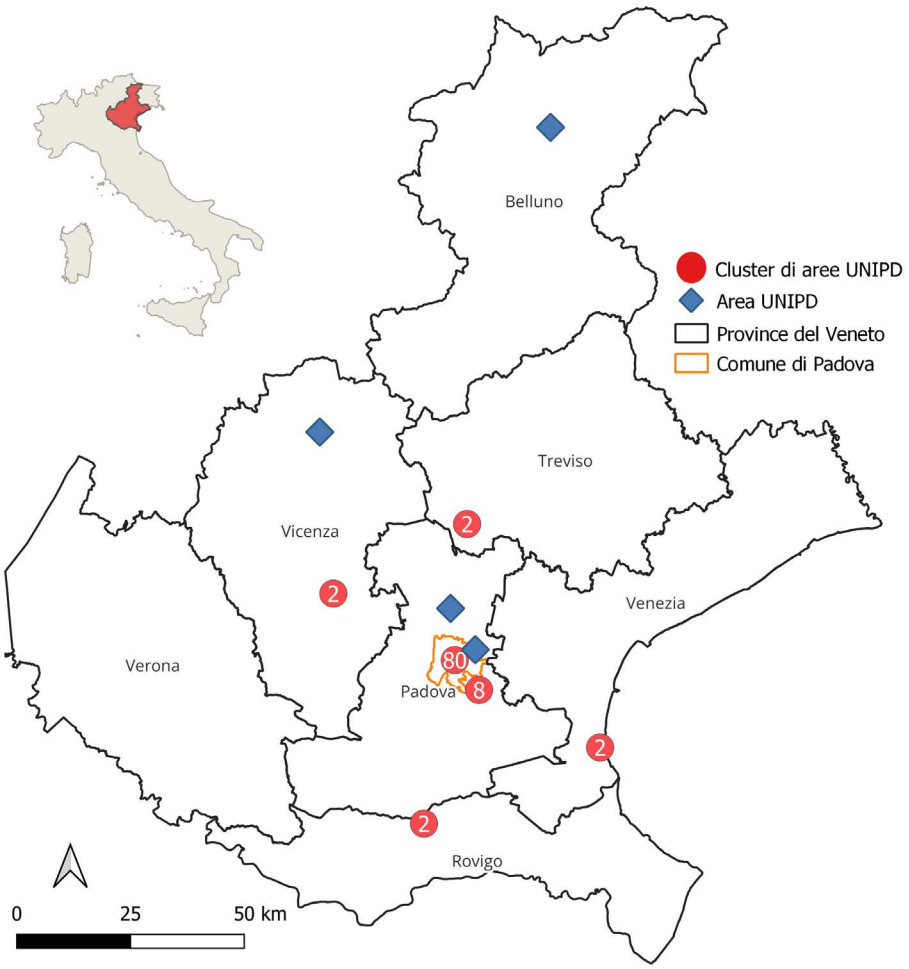
2 ENVI, https://www.nv5geospatialsoftware.com/Products/ENVI, ultimo accesso 20/10/2023

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

sta informazione chiave per poter poi procedere con la mappatura del verde ha fatto emergere la mancanza di un vero e proprio dato spazializzato e strutturato. Infatti, i vari uffici amministrativi di UNIPD che si occupano della gestione del patrimonio e delle aree avevano a disposizione dati di vario formato, come dati tabellari con l'indirizzo dell'area, disegni tecnici o mappali in PDF, planimetrie in formato DWG, relativi alle sole aree di propria competenza. Attraverso diverse operazioni in ambiente GIS, in particolare di *geocoding* degli indirizzi, di georeferenziazione e digitalizzazione di mappali, di rielaborazione di DWG e disegni tecnici, mediante l'integrazione con le ortofoto della Regione del Veneto del 2015 e l'uso del database del Comune di Padova per le aree ricadenti in questa unità amministrativa, si è ottenuto un dato spaziale costituito da 100 poligoni per tutta la Regione del Veneto (Fig. 1). Tutti i poligoni sono stati validati con alcuni tecnici di UNIPD. Per una descrizione più esaustiva della costruzione dell'informazione spazializzata delle aree universitarie si prega di fare riferimento al lavoro di Codato ed al. (2019).

In questo studio, il database comprende le aree di proprietà diretta di UNIPD, le aree in usufrutto appartenenti al demanio pubblico o ad altre realtà e le aree che, nel 2019, erano appena state acquistate o cedute a UNIPD, ma non ancora utilizzate.

FIGURA 1 – Inquadramento delle aree UNIPD in Veneto; il numero all'interno del cerchio rosso indica il numero di poligoni che sono compresi dal cluster.



FONTE: elaborazione degli autori.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

2.2. Mappatura, classificazione e quantificazione del verde universitario

Questo processo ha visto diversi passaggi:

1. selezione delle ortofoto della Regione del Veneto multibanda (tre bande nel visibile, ovvero rosso, verde e blu, denominate RGB e una banda nel vicino infrarosso, denominata NIR) aventi 20 cm/pixel di risoluzione spaziale e periodo di acquisizione tra giugno e luglio 2018 (fonte AGEA-Regione del Veneto), che ricadono nelle aree dove è presente uno dei poligoni di UNIPD
2. taglio delle ortofoto multibanda sui poligoni delle proprietà UNIPD per ottenere le sole porzioni di immagini contenute all'interno dei poligoni
3. calcolo dell'indice di vegetazione *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) che, attraverso un'operazione aritmetica tra la banda del rosso R e NIR, ha permesso di ottenere dei nuovi raster per ogni area con pixel con valori continui da -1 (vegetazione assente) a +1 (massimo vigore della vegetazione)
4. classificazione dei nuovi raster binari attribuendo il valore 0 ai pixel dove non risulta presenza di vegetazione e valore 1 ai pixel dove è probabile la presenza di vegetazione. Dopo alcune prove è stato impostato un valore di soglia conservativo, ovvero molto basso, per evitare di perdere potenziali aree verdi, corrispondente a 0,05
5. conversione dei raster binari ottenuti per tutte le aree UNIPD in poligoni vettoriali
6. mascheramento dei raster delle ortofoto a quattro bande delle sole aree UNIPD con i poligoni precedentemente prodotti, per ottenere i pixel che mostrano la sola presenza potenziale di aree verdi, attribuendo un valore nullo a tutto il resto
7. classificazione dei raster della sola vegetazione potenziale usando algoritmi di *object based image analysis* e di classificazione supervisionata con il software ENVI 5.3, distinguendo le classi arboreo/arbustivo, erbaceo e ombra, a cui il classificatore ha aggiunto le categorie nessun dato e non classificato
8. conversione dei raster riclassificati in poligoni vettoriali
9. correzione manuale dei poligoni in QGIS attraverso delle sessioni di *editing*, usando come riferimento le ortofoto, le immagini disponibili in Google Earth Pro e Google Street View e andando a visitare le aree, dove necessario. Le due operazioni principali compiute sono state una modifica delle geometrie quando esse presentavano errori rispetto al verde arboreo/arbustivo o erbaceo riconoscibile nelle ortofoto o dalle altre fonti e il cambiamento dei valori di classe delle geometrie, in particolare le geometrie ombra e non classificato che si è cercato di assegnare alle classi erbaceo, arboreo/arbustivo o non verde. Inoltre, si è creata una categoria ad hoc per le aree classificate come agricole, comprendendo in queste sia terreno nudo che terreno con presenza di vegetazione non arborea/arbustiva. Il risultato finale ha visto, per ogni area, la creazione di un dato vettoriale che comprende le seguenti classi: erbaceo, arboreo/arbustivo, costruito/acqua, agricolo (terreno nudo o con vegetazione non arborea/arbustiva). Per il solo giardino storico della villa Bolasco, proprietà UNIPD ricadente nel comune di Castelfranco Veneto, si è creata la categoria piante acquatiche, per l'importante presenza di queste nel laghetto del giardino
10. calcolo delle aree in m^2 delle differenti classi ottenute e delle loro percentuali di occupazione.

2.3. Caratterizzazione del verde di due aree universitarie e calcolo del servizio ecosistemico stoccaggio e sequestro di carbonio

Per due aree campione (complesso pluridipartimentale A. Vallisneri nel Comune di Padova e campus di Agripolis nel Comune di Legnaro, vedi Fig. 2) è stato compiuto un lavoro di mappatura partecipata per la raccolta di dati georeferenziati di alcuni attributi di interesse del verde arboreo e arbustivo presente.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Di seguito si presentano i principali passaggi di questo lavoro:

1. creazione di un progetto GIS in QGIS e di un form di raccolta dati ad hoc per ogni area di studio, successivamente caricato in un tablet per essere utilizzato con l'app per la raccolta di dati georeferenziati sul campo "QField"[3]. Questa fase ha visto lo sviluppo di un workshop rivolto agli studenti e alle studentesse che hanno collaborato nella raccolta dei dati sul campo. Ulteriori strumenti e software utilizzati sono stati una cordella metrica, un telemetro laser e l'app PlantNet[4] per il riconoscimento delle specie sul campo. Le principali informazioni raccolte per ogni pianta sono state la tipologia, ovvero se albero ad alto fusto, ceduo, arbusto, siepe, ecc.; la specie; la circonferenza del fusto a 1,30 m, quando possibile, per il calcolo del diametro, parametro importante in dendrometria; la proiezione della chioma a terra, l'altezza totale e del fusto; la pavimentazione sottostante la chioma (asfalto, prato, ghiaia, ecc.); lo stato di salute presunto; alcune foto, utili anche nel caso di dubbi sulla determinazione tassonomica sul campo
2. svolgimento di una campagna di raccolta dati sul campo, sviluppata in una decina di visite delle due aree nel periodo giugno-settembre 2019, che ha visto la partecipazione di 2-3 studenti ad ogni visita
3. creazione del progetto GIS finale di ogni area da cui sono state effettuate le analisi spaziali e ricavate le cartografie di interesse
4. modellizzazione della struttura della vegetazione arborea e dello stoccaggio e sequestro di carbonio presente nelle due aree studio mediante l'uso dell'applicazione i-Tree Eco v. 6.1.[5], sviluppata dal USDA Forest Service e altri partner. Il software ha permesso di creare un report delle principali caratteristiche e dello stoccaggio e sequestro di carbonio forniti dalla maggior parte delle alberature presenti nelle due aree studio, utilizzando come principali dati di input la specie, l'altezza dell'albero, il diametro a 1,30 m e la larghezza della proiezione della chioma al suolo
5. stima dello stoccaggio e del sequestro di carbonio per tutte le aree verdi arboree di UNIPD e della *carbon footprint* evitata a partire dai risultati ricavati dalle due aree oggetto di studio; inoltre, prendendo come riferimento il lavoro di Peroni et al. (2023), in particolare la tabella n. 6 del manoscritto che riporta la carbon footprint delle emissioni di CO_2 equivalente media per uno studente universitario corrispondente a 1 tonnellata/anno (Cerana, 2016) e per un cittadino padovano corrispondente a 3,5 tonnellate/anno (Moran et al., 2022), si è calcolato il numero di studenti e studentesse e cittadini e cittadine di Padova che vedono compensata la loro impronta carbonica dal verde arboreo della città. Per fare ciò si è moltiplicato per un fattore di 3,67 le tonnellate di carbonio sequestrato all'anno dal verde arboreo UNIPD, fattore derivato dall'equazione stechiometrica della CO_2.

3. Risultati e discussione

3.1. Il verde arboreo ed arbustivo delle aree universitarie

La mappatura e quantificazione del verde universitario ha permesso di determinare che, su un totale di oltre 2 km² di superficie appartenente o utilizzata da UNIPD in Veneto, l'arboreo/arbustivo copre il 15% mentre l'erbaceo il 12% (Tabella 1). Il 27% quindi delle aree di proprietà o in uso a UNIPD, per un totale di 535.891 m², è "verde". Questa percentuale però potrebbe arrivare al 65% se vengono incluse le aree agricole (ovvero i terreni ricadenti in zone agricole, con presenza di campi arati o con vegetazione non arbustiva o arborea così come apparivano nelle ortofoto), considerate come classe a parte in questo studio e dove l'azienda agricola sperimentale L. Toniolo (Figg. 2 e 4) rappresenta l'80%, occupando da sola più di 584.000 m² (0,58 km²). La provincia che primeggia per quantità di verde rispetto al totale della vegetazione UNIPD è Padova con

3 QFIELD, https://qfield.org/, ultimo accesso 20/10/2023

4 PLANTNET, https://identify.plantnet.org/it, ultimo accesso 20/10/2023

5 i-Tree Eco, https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco, ultimo accesso 20/10/2023

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

il 72% del totale, grazie soprattutto alla presenza del campus di Agripolis nel Comune di Legnaro, seguita da Treviso (14%), che vede la presenza di villa Bolasco con il suo parco storico nel comune di Castelfranco Veneto e Vicenza (13%), con l'osservatorio astronomico di Asiago. Se invece si considera il verde rispetto alle aree totali per provincia vediamo primeggiare Treviso (75%), Belluno (68%) e Vicenza (75%), mentre Rovigo risulta essere altamente impermeabilizzata con solo l'1% di arboreo, anche se si deve tenere in considerazione che le aree UNIPD in queste province sono molto inferiori rispetto alla provincia padovana, come appare evidente in Tabella 1. In generale per tutte le province, a parte quella di Vicenza, la superficie mappata dalle ortofoto e coperta da arboreo/arbustivo supera quella del verde erbaceo.

È doveroso ricordare che questi calcoli si basano su una visione "dall'alto" data dalle ortofoto, restituendo quindi una fotografia che non tiene conto di quale potrebbe essere la copertura della superficie al di sotto delle aree arboree. Inoltre, in questi calcoli vengono considerate anche aree UNIPD "in senso lato", come l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare o l'Istituto Zooprofilattico delle Venezie a Legnaro, per la loro contiguità con il campus di Agripolis e la forte connessione con questo Ateneo.

TABELLA 1 – Valori assoluti e percentuali di verde arboreo/arbustivo, erbaceo e aree agricole nelle aree UNIPD, divise per provincia veneta.

Prov	Sup. Tot. (m^2)	Arboreo (m^2)	Erbaceo (m^2)	Verde tot (m^2)	Agricolo (campi nudi o con vegetazione, m^2)	% verde arboreo su sup. tot.	% verde erbaceo su sup. tot.	% verde tot (arb + erbaceo) su sup. tot.	% verde su tot. Verde UNIPD	% erbaceo + agricolo su sup. tot.	% verde tot + agricolo su sup. tot.
PD	1.832.006	215.549	172.692	388.241	791.079	12	9	21	72	53	65
VE	2.240	152	32	183	0	7	1	8	0	1	8
TV	98.782	49.627	24.073	73.700	0	50	24	75	14	24	75
BL	4.194	2.292	556	2.848	0	55	13	68	1	13	68
VI	94.330	30.477	40.409	70.886	0	32	43	75	13	43	75
RO	4.383	34	0	34	0	1	0	1	0	0	1
Tot	2.035.936	298.130	237.762	535.891	791.079	15	12	27	100	51	65

FONTE: elaborazione degli autori.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

La Tabella 2 presenta la situazione del Comune di Padova, dove sono collocati la maggior parte dei dipartimenti, oltre agli uffici amministrativi e dirigenziali e le residenze degli studenti. Infatti, con i suoi più di 756.000 m² di aree UNIPD, nel Comune ricade più di un terzo di tutta la superficie universitaria, superando la metà, se si esclude l'azienda agricola L. Toniolo, dal conteggio. Il 27% di verde, dove il 15% è arboreo e il 12% è erbaceo, è dato principalmente dalla presenza di alberi e prati nei cortili dei diversi dipartimenti, del centro universitario sportivo, dell'ospedale universitario o degli edifici amministrativi, con una presenza maggiore al di fuori del centro storico, con l'eccezione dell'Orto botanico. In questo calcolo è presente anche il verde rilevato nell'ex caserma Piave, futuro polo universitario, il cui incremento o decremento è soggetto alle progettualità di UNIPD per quell'area.

TABELLA 2 - Valori assoluti e percentuali di verde arboreo/arbustivo, erbaceo e aree agricole nelle aree UNIPD del comune di Padova

Comune PD	Sup. Tot. (m²)	Arboreo (m²)	Erbaceo (m²)	Verde tot (m²)	Agricolo (campi nudi o con vegetazione)	% verde arboreo	% verde erbaceo	% verde tot (arboreo + erbaceo)	% verde su tot. verde UNIPD	% erbaceo + agricolo	% verde tot + agricolo
Tot	756.314	112.493	90.196	202.689	147.283	15	12	27	38	31	46

FONTE: elaborazione degli autori

In Tabella 3 si presentano le superfici e percentuali di verde rispetto alle aree totali di alcune delle prorietà più "verdi" di UNIPD. Le mappe nelle figure 3 e 4 mostrano due esempi dei risultati cartografici della classificazione del verde per il complesso pluridipartimentale A. Vallisneri e per l'area del campus di Agripolis dove si vede anche una parte dell'anzienda agricola sperimentale L. Toniolo. Le localizzazioni di queste aree nel Veneto sono visualizzabili nella figura 2.

TABELLA 3 - Valori assoluti e percentuali di verde arboreo/arbustivo ed erbaceo in alcune aree rappresentative di UNIPD

Area UNIPD	Comune e provincia	Sup. Tot. (m²)	Arboreo (m²)	Erbaceo (m²)	Verde tot (m²)	% verde arboreo	% verde erbaceo	% verde tot
Vallisneri	Padova (PD)	38.606	8.141	2.041	10.182	21	5	26
Orto Botanico	Padova (PD)	36.375	15.692	4.046	19.738	43	11	54
Agripolis	Legnaro (PD)	129.718	25.428	54.571	79.999	20	42	62
Villa Bolasco	Castelfranco V.to (TV)	95.332	48.873	23.122	71.995	51	24	76
Osservat. Astronomico	Asiago (VI)	73.210	25.598	38.946	64.544	35	53	88

FONTE: elaborazione degli autori

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

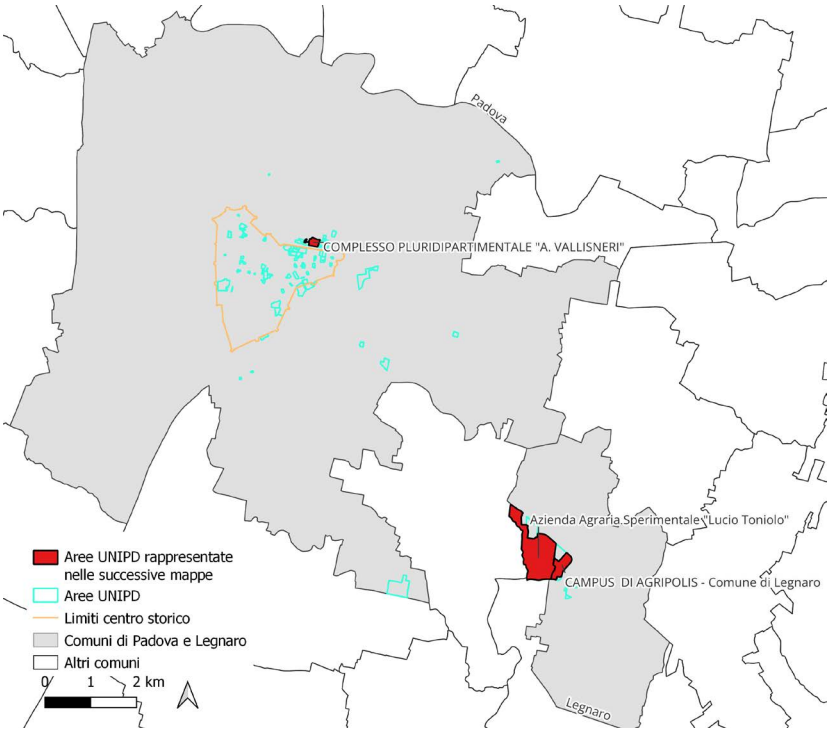


FIGURA 2 – Localizzazione delle aree UNIPD considerate nello studio nei comuni di Padova e Legnaro. In rosso le aree occupate dal complesso pluridipartimentale A. Vallisneri, dal campus di Agripoli e dall'azienda agraria sperimentale L. Toniolo, rappresentate nelle successive figure.

FONTE: elaborazione degli autori.

FIGURA 3 – Mappa della classificazione del verde nel complesso pluridipartimentale A. Vallisneri.

FONTE: elaborazione degli autori.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

FIGURA 4 – Mappa della classificazione del verde e dell'agricolo nel campus di Agripolis e in parte dell'azienda agricola sperimentale L. Toniolo.

FONTE: elaborazione degli autori.

3.2. Caratterizzazione del verde di due aree universitarie e calcolo dello stoccaggio e sequestro di carbonio

3.2.1 Complesso pluridipartimentale A. Vallisneri

Nel complesso pluridipartimentale A. Vallisneri, avente un'estensione totale di 38.606 m^2, sono state mappate e catalogate 202 piante tra specie con portamento arboreo e arbustivo e potate come aiuole (Fig. 5), delle quali 162 (l'80%) sono state considerate per la loro analisi in i-Tree Eco, escludendo le essenze per le quali fosse troppo complesso calcolare il diametro a 1.30 m, come le siepi, o i cedui con troppi fusti secondari. Le piante circondano gli edifici presenti principalmente nella parte sud e sud-est dell'area andando ad ombreggiare dei giardini e dei parcheggi, mentre un filare occupa il confine a nord-ovest. Tra e in prossimità degli edifici sono presenti soprattutto siepi.

Carpinus belutus (carpino bianco) è risultata la specie più presente tra le 30 specie che compongono le 162 essenze analizzate, con il 36%, che strutturano principalmente il filare a nord-nordovest, seguita da *Tilia platyphyllos* (tiglio nostrano) con il 9% e *Acer negundo* (acero americano) con il 7%, e in misura minore *Carylus avellana*, *Populus nigra*, *Acer platanoides*, *Ligustrum lucidum*. La maggior parte delle specie è originaria dall'Europa e Asia (62%), mentre il 7% è nativo dall'Europa, evidenziando un'importante diversità di specie, tra le quali molte sono esotiche. Il report di i-Tree Eco stima uno stoccaggio di carbonio di quasi 57 tonnellate e un sequestro annuo di quasi 3 tonnellate, per un valore totale di 9.000 euro e di 459 euro annui rispettivamente, considerando un prezzo del carbonio di 161 euro per tonnellata (valore standard utilizzato da i-Tree Eco).

Osservando la Tabella 3 e dalle figure 3 e 5 si evince, da un lato, che in quest'area non esiste molto margine per aumentare la copertura arborea nelle poche aree erbacee disponibili, dall'altro l'impermeabilizzazione di questi spazi, costituita da vasti edifici e parcheggi, può far riflettere su possibili azioni di *de-sealing* (Tobias et al., 2018). I processi di *de-sealing*, intesi come la rimozione delle superfici impermeabili al fine di aumentare le aree verdi e ripristinare le funzioni dell'ecosistema suolo, sono ad oggi ancora molto limitati, visti i costi ingenti richiesti da queste azioni. Tuttavia, la letteratura scientifica ha dimostrato ampiamente i benefici che se ne possono trarre in termini di adattamento al cambiamento climatico, come la riduzione del fenomeno delle isole di calore urbane, l'aumento dei servizi ecosistemici offerti dal suolo e la diminuzione del rischio idrogeologico (Artmann, 2016; Ceci et al., 2023; Cortinovis

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

et al., 2022). In tale contesto universitario le azioni di *de-sealing* potrebbero interessare i parcheggi e piazzali asfaltati, per creare una pavimentazione permeabile e aggiungere alberi e arbusti per ombreggiare i parcheggi e i camminamenti.

Inoltre, dall'ortofoto (Fig. 5) si può apprezzare come molti tetti presenti nell'area siano piani, quindi potenzialmente idonei a essere trasformati in tetti verdi (Shafique et al., 2018). I tetti verdi, oltre a rappresentare una valida soluzione per il miglioramento del microclima urbano (Alexandri & Jones, 2008; Bass & Koukidis, 2012; Czemiel Berndtsson, 2010), sono anche funzionali per il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici (Castleton et al., 2010). Essi, infatti, fanno parte di una serie di strategie ampiamente conosciute e investigate nella letteratura scientifica, già presenti nelle linee guida della Commissione Europea per contrastare l'eccessiva impermeabilizzazione urbana (European Commission, 2012).

FIGURA 5 – Mappa delle piante per le quali si sono raccolte le informazioni durante il lavoro di campo nel complesso pluridipartimentale A. Vallisneri.

FONTE: elaborazione degli autori.

3.2.2 Campus Agripolis

Nel campus di Agripolis, avente un'estensione totale di 129.718 m², sono state rilevate 310 piante singole (Fig. 6), delle quali 252 (81%) sono state utilizzate in i-Tree Eco. La maggior parte delle piante mappate sono disposte in lunghi filari ai confini degli ampli prati che separano e circondano gli edifici, con alcuni raggruppamenti nella parte nord e centrale, nella parte centrale verso sud dove si può apprezzare la presenza di alberi che dai dati raccolti su campo risultano da frutto come meli e ciliegi, mentre un mix di alberi e siepi separano e ombreggiano i parcheggi a sud. Sono presenti tre "boschetti" cerchiati in giallo nella mappa in figura 6 nella parte nord-est e sud-ovest, dei quali quello a nord è particolarmente importante poiché è uno dei pochi esemplari di bosco relitto della pianura veneta e oggetto di monitoraggio attraverso tesi di laurea e altre iniziative. Data l'onerosità di tempo e volontari che avrebbe richiesto la raccolta delle informazioni delle singole piante che compongono i boschetti, per questi è stato preso un solo punto per ciascuno del quale è stata associata una descrizione generale.

18 specie sono andate a comporre il report di i-Tree Eco, dove *Populus nigra* (16%), *Carpinus betulus* (14%), *Acer platanoides* (13%), *Fraxinus excelsior* (13%), *Gleditsia triacanthos* (12%), *Acer campestre* (9%), *Malus sylvestris* (8%) e *Salix alba* (5%) sono risultate le principali. L'origine delle specie è principalmente europea e asiatica con il 46%, mentre un 4% è nativa dall'Europa.

Lo stoccaggio di carbonio calcolato da i-Tree Eco risulta essere di 43 tonnellate per un valore di 6.900 euro, mentre il sequestro è di 4 tonnellate annue per un valore di 669 euro all'anno. Volendo estendere que-

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

sti valori per l'area totale di arboreo presente nel campus, quindi tenendo conto principalmente anche dei boschetti, per un totale di 35.428 m^2, si può approssimare un totale di carbonio stoccato di 156 tonnellate e di 15 tonnellate di sequestro annuo.

A differenza del complesso Vallisneri, come si può apprezzare dalla Tabella 3 e dalle figure 4 e 6, questo campus ha molti più margini di incrementare facilmente la propria quota di superficie arborea grazie al 42% di verde erbaceo disponibile, oltre, anche in questo caso, alla notevole presenza di edifici con tetti piani che potrebbero ospitare soluzioni verdi.

Benché la superficie erbacea offra diversi benefici rispetto ad una superficie impermeabilizzata, è stato dimostrato come possano verificarsi, prevalentemente durante il periodo estivo, condizioni di forte stress che vanno a bruciare completamente la vegetazione erbacea (Davies et al., 2018). Ne è un esempio il caso studio del Parco S. Giuliano a Mestre, analizzato durante l'estate del 2022. L'analisi della *Land Surface Temperature* ha dimostrato come il parco sia risultato un punto caldo all'interno del Comune di Mestre, con una media di temperature di 26,7°, posizionandosi subito dopo alla superficie più calda del Comune, rappresentata dagli aeroporti Marco Polo e Nicelli (Teodoro, 2023). L'analisi ha quindi dimostrato come il parco, che essendo un'area verde dovrebbe essere un'area della città più fresca, a causa della vegetazione bassa bruciata e all'esposizione del suolo nudo, si sia rivelato un hotspot di calore.

Risulta quindi chiaro come implementare il verde arboreo nel caso studio di Agripolis possa risultare fondamentale in un'ottica di adattamento al cambiamento climatico, sia per fornire delle zone d'ombra e di fresco per chi frequenta il campus, sia per contrastare possibili fenomeni di stress termico che si possono manifestare durante il periodo estivo.

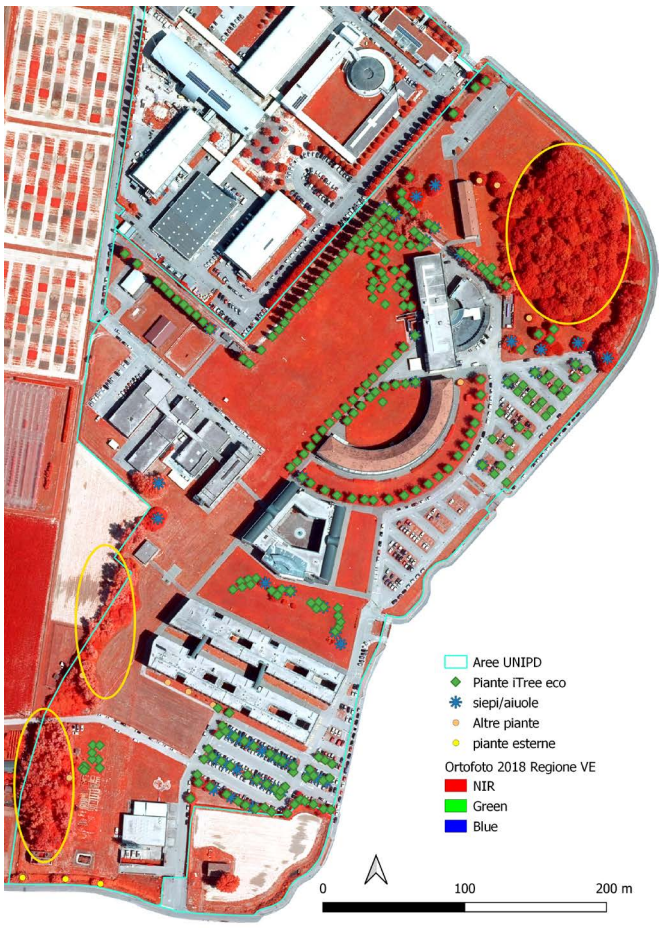


FIGURA 6 – Mappa delle piante per le quali si sono raccolte le informazioni durante il lavoro di campo nel campus di Agripolis.

FONTE: elaborazione degli autori.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

3.2.3 Stima del carbonio totale stoccato e sequestrato dalle specie arboree UNIPD

La modellazione del carbonio stoccato e sequestrato per tutte le aree arboree di UNIPD, che corrispondono a 298.130 m^2, produce un risultato di 1.867 tonnellate totali e di 137 tonnellate per anno rispettivamente. Questi valori derivano dal valore medio di stoccaggio e sequestro di carbonio al m^2 delle due aree, considerando che i-Tree Eco, per la parte di alberi utilizzati nel sistema, ha calcolato una superficie totale di copertura arborea di 7.016 m^2 per Agripolis e di 8.837 m^2 per il Vallisneri. Si è ipotizzato che queste due aree possano rispecchiare bene la copertura arborea media che si ritrova nelle aree di UNIPD, poiché la maggior parte delle proprietà si trovano nella pianura Veneta e presentano alberi soprattutto di latifoglie, con qualche eccezione data dalle aree in Belluno e Asiago dove è maggiore la presenza di conifere. Considerando sempre il valore economico fornito da i-Tree Eco di 161 euro a tonnellata, il valore economico totale che risulta è di poco superiore ai 300.000 euro per lo stoccaggio e di 22.000 euro annui per il sequestro.

Il calcolo dello stoccaggio e del sequestro di carbonio consente di avanzare delle riflessioni sulle possibili azioni di mitigazione che possono contribuire al bilancio neutrale della città di Padova. Padova è infatti una tra le città europee selezionate dalla Commissione per partecipare alla Missione per le 100 città climaticamente neutrali e intelligenti entro il 2030, la cosiddetta *Cities Mission* (European Commission, 2022). Le città selezionate dovranno quindi perseguire la neutralità climatica entro il 2030, progettando e attuando piani ambiziosi di mitigazione del clima, approfondendo azioni volte ad una transizione verde, digitale e giusta (Della Valle et al., 2023).

È tuttavia importante sottolineare che, come già evidenziato dalla letteratura scientifica, le strategie di riforestazione svolgono un contributo limitato nel contrasto alle emissioni totali di CO_2 delle città (Velasco et al., 2016), come dimostra anche il caso studio preso in considerazione. Per quanto riguarda il calcolo di compensazione dell'impronta carbonica da parte degli alberi di UNIPD, un sequestro di 137 tonnellate di carbonio annuo corrisponde a un totale di 502,79 tonnellate di CO_2 all'anno, che equivale alle emissioni equivalenti medie di 502 studenti universitari o di 143 cittadini e cittadine di Padova, valori ben lontani dai 70.000 studenti e studentesse iscritti a questo ateneo o ai 210.000 abitanti di Padova. Si deve evidenziare che in questo calcolo si è tenuto conto del solo carbonio sequestrato dalla pianta, senza considerare altri serbatoi di carbonio normalmente conteggiati in queste stime, quali il suolo o la materia organica della lettiera.

Il risultato mostra quindi come le pratiche di riforestazione urbana risultano più efficaci per il ruolo di adattamento ai cambiamenti climatici, come il contrasto alle isole di calore urbano, che non come pratica di mitigazione.

3.3 La pianificazione del verde universitario e la relazione con il suo intorno urbano e periurbano

Questi risultati mettono in luce le opportunità offerte dall'integrazione di strumenti GIS e di RS con rilievi sul campo condotti in maniera partecipata per mappare, analizzare, geo-visualizzare e quantificare il patrimonio verde universitario e i servizi ecosistemici da esso forniti. La base di dati spazializzata prodotta può essere utile per pianificare e sviluppare azioni concrete di adattamento al cambiamento climatico e per migliorare la gestione degli spazi universitari, come supporto degli studi sulla sostenibilità degli atenei e per una migliore integrazione delle aree universitarie nel tessuto urbano e periurbano.

La base di dati prodotta grazie alle ortofoto del 2018 e alle visite sul campo del 2019 è inoltre facilmente aggiornabile in caso di segnalazioni dagli uffici di competenza e le informazioni sulle singole alberature possono essere aggiornate e integrate con rilievi nelle stesse o in nuove aree.

Inoltre, il flusso di lavoro qui presentato mostra come sia facilmente replicabile da altri atenei italiani per conoscere il verde totale di propria competenza e la sua qualità. Benché infatti UNIPD, come molti altri atenei, sia impegnata in politiche e strategie di sostenibilità, il progetto Uni3PD ha messo in evidenza come ad oggi, mancasse ancora un quadro complessivo del verde dell'Ateneo, che potesse anche fungere da possibile elemento di sinergia con i comuni veneti in cui UNIPD ha sede.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

UNIPD rappresenta un tipico esempio di ateneo storico diffuso, dislocato per la maggior parte in una città di medie dimensioni che, in particolare nel centro storico, si sviluppa in palazzi con cortili interni di modeste dimensioni che presentano alberi e siepi. Alcune eccezioni "verdi" sono rappresentate da proprietà in stile "campus" come può essere quello di Agripolis, giardini storici come l'Orto botanico o il parco di villa Bolasco o aree al di fuori del centro storico con una maggiore disponibilità di zone scoperte. Quindi una tipologia di ateneo difficilmente paragonabile con i grandi campus universitari tipici di altre realtà extraeuropee. Il margine per poter incrementare e migliorare la parte verde vede quindi concentrare gli sforzi di pianificazione in aree universitarie esterne al centro storico, spesso vincolato architettonicamente, destinando parte delle aree agricole a vegetazione arborea o arbustiva, sfruttando ad esempio le siepi intra-campo per creare dei corridoi ecologici, o aumentando l'arboreo e arbustivo in aree dove la percentuale di erbaceo lo permette, come nel campus di Agripolis. Altre azioni possono avere un carattere più qualitativo, andando a gestire in maniera ottimale la vegetazione presente e andando a sostituire le eventuali piante morte con specie ad alto valore ecologico e con la capacità di massimizzare la fornitura di servizi ecosistemici.

Nelle azioni di adattamento al cambiamento climatico e di miglioramento della fornitura di servizi ecosistemici urbani, riteniamo fondamentale anche una maggiore integrazione del verde universitario nel contesto urbano e periurbano in cui è inserito. Prendendo sempre come esempio il caso di Padova e confrontando l'area di verde universitario (compresa la superficie di agricolo) di questo comune (0,35 km^2) con l'area di verde pubblico (10,25 km^2) e di verde pubblico solo municipale (5,02 km^2) calcolate nel lavoro di Pristeri et al. (2021), risulta che l'ateneo conta per il 3,41% del totale pubblico e per il 6,97% rispetto a quello municipale. Questa porzione di verde universitario, grazie anche alla sua distribuzione diffusa nella città, può diventare un servizio ulteriore alla cittadinanza se ne venisse garantito l'accesso e la fruizione anche al di fuori dell'orario di apertura dell'Ateneo. Questo può essere implementato anche in un'ottica di *climate shelters*. Alcune città europee stanno infatti promuovendo i cosiddetti rifugi climatici, come, ad esempio, il caso esemplare della città di Barcellona che, dal 2022, ha realizzato oltre 200 rifugi climatici sparsi nella città (Ajuntament de Barcelona, 2022). Con l'intensificarsi degli impatti del cambiamento climatico, le città di tutto il mondo stanno infatti riconoscendo l'urgente necessità di creare questi rifugi, come edifici pubblici o spazi all'aperto, che offrano comfort termico durante i periodi di temperature estreme. Il progetto di Barcellona prevede inoltre il coinvolgimento di 11 scuole primarie, dislocate in tutti i distretti cittadini, che, implementando la dotazione di infrastrutture verdi e blu, sono state trasformate in rifugi climatici (Sanz-Mas et al., 2024), aperti ai quartieri durante i periodi non scolastici per estendere i benefici alla cittadinanza. I *climate shelters*, sono delle strategie innovative che potrebbero essere implementate anche nelle città italiane, promuovendo così la collaborazione tra le amministrazioni locali e i diversi attori pubblici e privati che siano in grado di fornire queste soluzioni. A tal proposito, il patrimonio scolastico e universitario, come quello di UNIPD, può rappresentare una delle opzioni che i comuni della Regione del Veneto possono tenere in considerazione, essendo nella maggior parte dei casi soluzioni *already plugged-in*. Se si pensa poi al caso studio padovano, molti complessi sono situati in aree della città fortemente impermeabilizzate, dove la disponibilità di aree verdi è limitata (Pristeri et al., 2021). Riflettendo anche in un'ottica di giustizia climatica urbana, rendere accessibili queste aree potrebbe quindi incontrare le necessità e i bisogni della popolazione più vulnerabile o con risorse economiche più limitate che difficilmente ha le capacità e gli strumenti per affrontare le temperature estreme, soprattutto estive, esasperate dal cambiamento climatico (Amorim-Maia et al., 2023; Pappalardo et al., 2023). Inoltre, in un'ottica di terza missione e miglioramento della didattica, si può pensare di dare visibilità alle zone universitarie più verdi, dotare gli spazi di cartelli informativi sui benefici delle aree verdi e le specie presenti, incrementare il numero di tavolini per poter studiare all'aperto.

Infine, dal punto di vista del sequestro di CO_2 risulta evidente che, anche andando a coprire tutte le aree erbacee o agricole di UNIPD con alberi arrivando così a sequestrare 472 tonnellate di carbonio all'anno in più rispetto all'attuale, ovvero 1.733 tonnellate di CO_2 che corrispondono all'impronta carbonica media

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

di 1.733 studenti e studentesse, siamo ancora ben lontani dall'impronta carbonica di 70.000 studenti e studentesse, senza contare il personale docente e il personale tecnico e amministrativo. Per questo gli sforzi di UNIPD devono essere indirizzati anche all'efficientamento energetico e alle buone pratiche di decarbonizzazione per migliorare l'impronta carbonica universitaria e delle persone che la compongono.

Conclusioni

Questo studio, che vede l'Università di Padova come caso studio e che si inserisce all'interno del progetto di ricerca UniTreePD (2019) (Codato et al., 2019), si pone l'obiettivo generale di analizzare le potenzialità delle aree verdi di UNIPD, per svolgere da un lato un vero e proprio censimento del verde di sua proprietà e competenza, dall'altro per evidenziare possibili sinergie future con le amministrazioni locali per implementare strategie di adattamento e/o mitigazione al cambiamento climatico. La metodologia, sviluppata in ambiente GIS, è stata strutturata in diverse fasi complementari tra loro, dove la prima fase è stata caratterizzata proprio dalla creazione di un database spazializzato delle proprietà e delle aree usate da UNIPD, che ad oggi ancora mancava. Mediante anche l'uso di ortofoto e di rilievo sul campo, è stato fatto un focus su due aree studio di UNIPD per calcolare lo stoccaggio e il sequestro di carbonio e raccogliere importanti caratteristiche delle specie arboree ed arbustive presenti.

I risultati hanno mostrato che, su un totale di oltre 2 km^2 di superficie appartenente o utilizzata da UNIPD nella Regione del Veneto, il 27% (535.891 m^2) sono aree verdi, di cui il 15% è arboreo/arbustivo mentre 12% erbaceo. Si raggiunge il 65% del totale se vengono incluse anche le aree agricole. Analizzando le singole provincie, si vede come la provincia che primeggia è Padova (72%). L'analisi dello stoccaggio e del sequestro di carbonio nelle due aree studio rappresentative di UNIPD mostra come, comparando questi valori con la *carbon footprint* delle emissioni di CO_2 equivalente media per uno studente universitario, il contributo ai fini della mitigazione al cambiamento climatico delle aree verdi, anche in un'ottica del raggiungimento degli obiettivi della *Cities Mission* (European Commission, 2022), sia attualmente non rilevante. Risulta tuttavia chiaro il possibile contributo di questi spazi in un'ottica di adattamento al cambiamento climatico, attuando politiche di sinergia con le amministrazioni locali per poter contribuire alle agende urbane delle città di contrasto agli effetti del surriscaldamento locale. Implementazione delle superfici verdi e riduzione delle superfici impermeabili, aumento delle superfici arboree e miglioramento delle soluzioni *nature-based*, come ad esempio i tetti verdi, accessibilità alla cittadinanza e creazione di rifugi climatici, sono alcune delle strategie che possono essere intraprese in un'ottica di collaborazione tra Ateneo e amministrazioni locali per favorire le misure di adattamento ai cambiamenti climatici.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Bibliografia

Ajuntament de Barcelona. (2022). *Climate Shelters Network | Barcelona for Climate | Ajuntament de Barcelona*. https://www.barcelona.cat/barcelona-pel-clima/en/barcelona-responds/specific-actions/climate-shelters-network

Alexandri, E., & Jones, P. (2008). 'Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates'. *Building and Environment*, *43*(4), 480–493. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2006.10.055

Amorim-Maia, A. T., Anguelovski, I., Connolly, J., & Chu, E. (2023). 'Seeking refuge? The potential of urban climate shelters to address intersecting vulnerabilities'. *Landscape and Urban Planning*, *238*, 104836. https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2023.104836

Artmann, M. (2016). 'Urban gray vs. urban green vs. soil protection — Development of a systemic solution to soil sealing management on the example of Germany'. *Environmental Impact Assessment Review*, *59*, 27–42. https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2016.03.004

Back, P., & Collins, A. M. (2022). 'Negotiating the green obstacle course: Ranking priorities and problems for municipal green infrastructure implementation'. *Urban Forestry & Urban Greening*, *67*, 127436. https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2021.127436

Bass, B., & Koukidis, E. (2012). 'Reducing urban heat islands: simulating aggregate green roof performance'. *CitiesAlive! 10th Annual Green Roof & Wall Conference*. http://www.envi-met.com

Battista, G., Evangelisti, L., Guattari, C., Vollaro, E. D. L., Vollaro, R. D. L., & Asdrubali, F. (2020). 'Urban Heat Island Mitigation Strategies: Experimental and Numerical Analysis of a University Campus in Rome (Italy)'. *Sustainability 2020, Vol. 12, Page 7971*, *12*(19), 7971. https://doi.org/10.3390/SU12197971

Berland, A., & Hopton, M. E. (2014). 'Comparing street tree assemblages and associated stormwater benefits among communities in metropolitan Cincinnati, Ohio, USA'. *Urban Forestry & Urban Greening*, *13*(4), 734–741. https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2014.06.004

Brandli, L. L., Salvia, A. L., da Rocha, V. T., Mazutti, J., & Reginatto, G. (2020). 'The Role of Green Areas in University Campuses: Contribution to SDG 4 and SDG 15'. *World Sustainability Series*, 47–68. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15604-6_4/TABLES/9

Cabral, I., Keim, J., Engelmann, R., Kraemer, R., Siebert, J., & Bonn, A. (2017). 'Ecosystem services of allotment and community gardens: A Leipzig, Germany case study'. *Urban Forestry & Urban Greening*, *23*, 44–53. https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2017.02.008

Castleton, H. F., Stovin, V., Beck, S. B. M., & Davison, J. B. (2010). 'Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit'. *Energy and Buildings*, *42*(10), 1582–1591. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2010.05.004

Ceci, M., Caselli, B., & Zazzi, M. (2023). 'Soil de-sealing for cities' adaptation to climate change'. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, *16*(1), 121–145. https://doi.org/10.6093/1970-9870/9395

Cerana, L. (2016). *Il calcolo dell'impronta carbonica dell'Ateneo di Padova*. Università degli Studi di Padova.

Codato, D., De Guttry, L., Rosina, G., & De Marchi, M. (2019). 'Università di Padova e sostenibilità: il progetto UniTreePD per la mappatura del verde universitario'. *Atti XXIII Conferenza Nazionale ASITA*.

Cortinovis, C., Olsson, P., Boke-Olén, N., & Hedlund, K. (2022). 'Scaling up nature-based solutions for climate-change adaptation: Potential and benefits in three European cities'. *Urban Forestry & Urban Greening*, *67*, 127450. https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2021.127450

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Czemiel Berndtsson, J. (2010). 'Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review'. In *Ecological Engineering* (Vol. 36, Issue 4, pp. 351–360). https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014

Davies, M., Ecroyd, H., Robinson, S. A., & French, K. (2018). 'Stress in native grasses under ecologically relevant heat waves'. *PLOS ONE*, *13*(10), e0204906. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0204906

Della Valle, N., Ulpiani, G., & Vetters, N. (2023). 'Assessing climate justice awareness among climate neutral-to-be cities'. *Humanities and Social Sciences Communications 2023 10:1*, *10*(1), 1–15. https://doi.org/10.1057/s41599-023-01953-y

Dodman, D., Hayward, B., Pelling, M., Castan Broto, V., Chow, W., Chu, E., Dawson, R., Khirfan, L., McPhearson, T., Prakash, A., Zheng, Y., & Ziervogel, G. (2022). 'Cities, Settlements and Key Infrastructure'. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the 6th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

European Commission. (2012). *Guidelines on best practice to limit, soil sealing mitigate or compensate*. EC. https://doi.org/10.2779/75498

European Commission. (2019). *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal*.

European Commission. (2021). *The EU and nature-based solutions*. https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions_en

European Commission. (2022, April 28). *Commission announces 100 cities participating in EU Mission*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_2591

Holt, E. W., Lombard, Q. K., Best, N., Smiley-Smith, S., & Quinn, J. E. (2019). 'Active and Passive Use of Green Space, Health, and Well-Being amongst University Students'. *International Journal of Environmental Research and Public Health 2019, Vol. 16, Page 424*, *16*(3), 424. https://doi.org/10.3390/IJERPH16030424

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Liu, J., Zhao, Y., Si, X., Feng, G., Slik, F., & Zhang, J. (2021). 'University campuses as valuable resources for urban biodiversity research and conservation'. *Urban Forestry & Urban Greening*, *64*, 127255. https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2021.127255

Moran, D., Pichler, P. P., Zheng, H., Muri, H., Klenner, J., Kramel, D., Többen, J., Weisz, H., Wiedmann, T., Wyckmans, A., Strømman, A. H., & Gurney, K. R. (2022). 'Estimating CO2emissions for 108000 European cities'. *Earth System Science Data*, *14*(2), 845–864. https://doi.org/10.5194/ESSD-14-845-2022

Pappalardo, E. S., Zanetti, C., & Todeschi, V. (2023). 'Mapping urban heat islands and heat-related risk during heat waves from a climate justice perspective: A case study in the municipality of Padua (Italy) for inclusive adaptation policies'. *Landscape and Urban Planning*, *238*, 104831. https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2023.104831

Peroni, F., Codato, D., Buscemi, L., Cibrario, M., Pappalardo, S. E., & De Marchi, M. (2023). 'Rethinking urban riparian ecosystems as a frontline strategy to counter climate change: mapping 60 years of carbon sequestration evolution in Padua, Italy'. *Frontiers in Climate*, *5*, 1235886. https://doi.org/10.3389/FCLIM.2023.1235886/BIBTEX

Pristeri, G., Peroni, F., Pappalardo, S. E., Codato, D., Masi, A., & De Marchi, M. (2021). 'Whose Urban Green? Mapping and Classifying Public and Private Green Spaces in Padua for Spatial Planning Policies'. *ISPRS International Journal of Geo-Information 2021, Vol. 10, Page 538*, *10*(8), 538. https://doi.org/10.3390/IJGI10080538

Ren, Z., He, X., Pu, R., & Zheng, H. (2018). 'The impact of urban forest structure and its spatial location on urban cool island intensity'. *Urban Ecosystems*, *21*(5), 863–874. https://doi.org/10.1007/S11252-018-0776-4/FIGURES/4

Sanz-Mas, M., Ubalde-López, M., Borràs, S., Brugueras, S., Continente, X., Daher, C., Marí-Dell'Olmo, M., & López, M. J. (2024). 'Adapting Schools to Climate Change with Green, Blue, and Grey Measures in Barcelona: Study Protocol of a Mixed-Method Evaluation'. *Journal of Urban Health*, 1–14. https://doi.org/10.1007/S11524-023-00814-Y/FIGURES/3

Shafique, M., Kim, R., & Rafiq, M. (2018). 'Green roof benefits, opportunities and challenges – A review'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *90*, 757–773. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.04.006

Soliman, A., Mackay, A., Schmidt, A., Allan, B., & Wang, S. (2018). 'Quantifying the geographic distribution of building coverage across the US for urban sustainability studies'. *Computers, Environment and Urban Systems*, *71*, 199–208. https://doi.org/10.1016/J.COMPENVURBSYS.2018.05.010

Taleghani, M., Sailor, D. J., Tenpierik, M., & van den Dobbelsteen, A. (2014). 'Thermal assessment of heat mitigation strategies: The case of Portland State University, Oregon, USA'. *Building and Environment*, *73*, 138–150. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2013.12.006

Teodoro, M. (2023). *Mappatura delle isole di calore urbano durante eventi estremi a supporto dei piani di adattamento: il caso studio del Comune di Venezia*. University of Padova.

Tobias, S., Conen, F., Duss, A., Wenzel, L. M., Buser, C., & Alewell, C. (2018). 'Soil sealing and unsealing: State of the art and examples'. *Land Degradation & Development*, *29*(6), 2015–2024. https://doi.org/10.1002/ldr.2919

United Nations. (2022). *Generating power - Cities and pollution*. https://www.un.org/en/climatechange/climate-solutions/cities-pollution

Velasco, E., Roth, M., Norford, L., & Molina, L. T. (2016). 'Does urban vegetation enhance carbon sequestration?' *Landscape and Urban Planning*, *148*, 99–107. https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2015.12.003

Verheyen, K., Baeten, L., Cliquet, A., Doncker, J. De, Mertens, J., Van Gijsel, L., Van Vooren, P., Verbeken, A., & de Velde, R. Van. (2023). 'Universities as frontrunners in the effort towards green and biodiverse cities?' *Urban Forestry & Urban Greening*, *81*, 127872. https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2023.127872

Wood, S. L. R., Jones, S. K., Johnson, J. A., Brauman, K. A., Chaplin-Kramer, R., Fremier, A., Girvetz, E., Gordon, L. J., Kappel, C. V., Mandle, L., Mulligan, M., O'Farrell, P., Smith, W. K., Willemen, L., Zhang, W., & DeClerck, F. A. (2018). 'Distilling the role of ecosystem services in the Sustainable Development Goals'. *Ecosystem Services*, *29*, 70–82. https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2017.10.010

Yensukho, P., Sugsaisakon, S., & Kittipongvises, S. (2022). 'City-wide greenhouse gas emissions of communities nearby the world heritage site of Ayutthaya, Thailand'. *Scientific Reports 2022 12:1*, *12*(1), 1–11. https://doi.org/10.1038/s41598-022-14036-w

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)