



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**IL RUOLO DELLA GEOINFORMAZIONE
PER L'AGRICOLTURA SOSTENIBILE:
analisi di casi di studio sull' aumento dell'efficienza
carbon stock e miglioramento dei servizi ecosistemici**

**THE ROLE OF GEOINFORMATION FOR SUSTAINABLE
AGRICULTURE: ANALYSIS OF STUDY CASES ON THE CARBON STOCK
EFFICIENCY AND THE IMPROVEMENT OF ECOSYSTEM SERVICES**

TIPO TESI: compilativa

Studente:
SIMONE GELSUMINO

Relatore:
PROF. ERNESTO MARCHEGGIANI

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

INDICE

1. INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	4
2. METODOLOGIA DI RICERCA ED ESTRAZIONE DELLE PUBBLICAZIONI	7
3. INQUADRAMENTO GENERALE E POLITICO DELLE KEY WORDS.....	8
3.1. Servizi ecosistemici	9
3.2. Climate change	13
3.3. Infrastrutture verdi	19
3.4. Carbon stock.....	23
4. CONTESTO URBANO, PERIURBANO E RURALE	25
5. POTENZIALITÀ APPLICATIVE DELLA TECNOLOGIA	36
5.1. Telerilevamento (remote sensing)	36
5.2. Geoinformazione, geodati e GIS (geographic information system).....	37
6. ANALISI DEI CASI DI STUDIO.....	40
6.1. Sassuolo: studio delle specie arboree urbane e mappatura dello stoccaggio di carbonio per la gestione delle aree urbane.	40
6.2. Ancona: evoluzione del green belt.	50
7. CONCLUSIONI.....	61
8. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	62

1. INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Lo scopo della tesi è quello di analizzare la letteratura relativa alle condizioni climatiche nei contesti urbani, periurbani e rurali ed approfondirla in dettaglio attraverso l'utilizzo di alcuni casi di studio per fornire un quadro generale ed esaustivo sul potenziale offerto dalle infrastrutture verdi e il loro ruolo per la qualità degli ecosistemi. Un secondo obiettivo del lavoro è inerente alla valutazione di quali possano essere le applicazioni della geoinformazione e dei sistemi informatici geografici in tali contesti. Alcuni dei termini propri del dibattito interno alla comunità scientifica sono trattati in questo lavoro, come ad esempio, cambiamenti climatici, resilienza, carbon stock, servizi ecosistemici, ruralità etc. Tali termini fanno ormai parte del dibattito quotidiano, e sono frequentemente utilizzati in maniera impropria. Il mio obiettivo è anche quello di cercare fornire una indicazione ai lettori non addetti ai lavori per orientarsi al significato e all'uso corretto di tali definizioni.

Come sostiene l'*Italian Climate Network*, qualche anno fa si pensava che il riscaldamento globale comportasse un aumento delle temperature, lo scioglimento dei ghiacciai e il conseguente innalzamento del livello del mare; oggi sappiamo che la questione è molto più complessa, rischiosa, e riguarda i luoghi di vita quotidiana di ciascuno di noi. Le conseguenze negative dei cambiamenti climatici possano avere un impatto significativo anche sul sistema sociale ed economico, sia a livello locale che a livello globale come afferma l'ultimo report dell'*Institute for Public Policy Research (This is a crisis, facing up the age of environmental breakdown)*. Ciò ha portato nel tempo ad un incremento di interesse dell'Europa nei confronti dell'ambiente con decisioni sempre più forti e normative sempre più ristrette. Tra le decisioni di maggior interesse spicca la volontà di ridurre le perdite di biodiversità (ciò è dedotto dalle numerose norme che contemplano il mantenimento di essa come la Direttiva Uccelli, la Direttiva Habitat, la rete Natura 2000 e le misure 10 e 11 dell'attuale PAC); questa perdita è dovuta a cambiamenti climatici, caccia e pesca incontrollata, introduzione di specie alloctone, calamità naturali che frammentano e distruggono gli habitat e, non di minor impatto, all'attività umana e all'elevato inquinamento che essa provoca (*Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale- Quali sono le principali minacce alla biodiversità?*). Per diversità biologica o *Biodiversità* si intende la variabilità fra tutti gli organismi viventi, inclusi

quelli del sottosuolo, dell'aria, gli ecosistemi acquatici, terrestri e marini e i complessi ecologici dei quali fanno parte; questa include la diversità all'interno delle specie, tra le specie e degli ecosistemi (*Convenzione sulla diversità biologica, CBD, Rio de Janeiro 1992*). Il rapido aumento della popolazione mondiale sta mettendo a dura prova gli ecosistemi; i paesi avanzati continuano a inquinare e a esaurire le risorse e gli effetti ambientali della crescita della popolazione sono il maggior problema del riscaldamento globale (*Modern Rohini Education Society*). Tra gli inquinanti emessi ci sono i cosiddetti gas serra tra cui la CO₂ che è fulcro della tesi e di cui valuteremo sia gli effetti negativi ma anche degli effetti che positivi che in pochi avrebbero pensato. Per contrastare l'influenza negativa dell'aumento della CO₂ valuteremo due casi di studio, uno a Sassuolo (MO) e uno ad Ancona, che riguardano le molto discusse *Green Infrastructure*; queste sono state proposte come soluzione per ridurre le emissioni di anidride carbonica nelle città. L'obiettivo è quello di proporre una pianificazione territoriale che crei una convivenza tra le aree verdi e le aree grigie in modo da ottenere, tra i tanti benefici, un'emissione della CO₂ pari al suo assorbimento. Il compito delle aree e delle infrastrutture verdi, infatti, come vedremo in seguito, è quello di assorbire l'anidride carbonica e utilizzarla per i loro processi vitali ma non solo perché ad esse è anche correlato un miglioramento nello stile e nella qualità della vita grazie alla somministrazione di servizi ecosistemici. La messa in atto di questo piano è strettamente correlata all'uso della tecnologia: oggi è risaputo che l'uso della tecnologia ha un impatto positivo immane a partire da quella utilizzata per l'agricoltura di precisione, al telerilevamento passando per tutta una serie di software, modelli, e tecniche che ci permettono in qualsiasi circostanza di ottenere il massimo utilizzando una minor quantità di input. Attraverso questa metodologia è possibile stabilire la quantità di CO₂ emessa da una determinata area, progettare e costruire zone o strutture attorno ad esse in grado di mitigare gli effetti negativi.

Lo studio è articolato nei seguenti capitoli:

- Nel capitolo secondo viene descritta la metodologia di ricerca, di estrazione e di utilizzo dei dati e delle informazioni necessarie allo svolgimento della tesi.
- Nel terzo capitolo verranno definite le parole chiave alla base dello studio quali “servizi ecosistemici”, “infrastrutture verdi”, “climate change” e “carbon stock”. Su di essi saranno analizzati gli aspetti ecologici, ambientali, socioeconomici e culturali e anche quelle che sono le decisioni dell'Unione Europea. A tal proposito sarà presentato un focus sul *Green Deal* Europeo con approfondimenti su alcuni concetti tra i quali il *just transition mechanism*.

- Nel capitolo quarto chiariremo i concetti di urbano e periurbano contestualizzandoli alle key words precedentemente descritte.
- Nel capitolo quinto sarà dedicata alla descrizione dei principali strumenti tecnologici utilizzati durante il lavoro tra i quali i sistemi informativi geografici (GIS) e il telerilevamento.
- Nel sesto capitolo saranno infine analizzati i due casi oggetti di studio: studio delle specie arboree urbane e mappatura dello stoccaggio di carbonio per la gestione delle aree urbane nella città di Sassuolo e valutazione ed evoluzione del Green Belt nella città di Ancona.

2. METODOLOGIA DI RICERCA ED ESTRAZIONE DELLE PUBBLICAZIONI

Per la ricerca del materiale è stato principalmente utilizzato Google Scholar che è un motore di ricerca accessibile liberamente in cui tramite parole chiave specifiche si possono individuare testi della letteratura accademica come tesi di laurea e dottorato, libri, prestampate, sommari, recensioni e rapporti tecnici di tutti i settori della ricerca scientifica e tecnologica. Se il testo è direttamente consultabile allora nel risultato di ricerca apparirà il link per consultarlo direttamente alla fonte di provenienza. Oltre questo motore di ricerca sono stati consultati con frequenza diversi siti web tra i quali Science direct (www.sciencedirect.com), il sito dell'UE e quello del Ministero dello Sviluppo Economico dove sono stati estratti i principali provvedimenti e obiettivi in merito al nostro argomento di studio. Mentre su Google Scholar inserendo semplicemente una parola chiave come “servizi ecosistemici” si ottiene una grande varietà di articoli ordinati anche cronologicamente, le altre ricerche sono state più mirate ed hanno avuto bisogno di un maggior diradamento e controllo delle informazioni. Tutti i documenti e siti web sono stati letti dapprima con moderata superficialità per valutare la coerenza con la tesi poi è stata fatta una selezione. In alcuni articoli inoltre sono stati opportuni degli approfondimenti su concetti che non sono stati chiariti nell'articolo stesso. È stato fatto un sopralluogo in campo presso il Parco Del Cardeto ad Ancona dove sono state fatte foto e osservazioni per vedere qual è l'impatto di questo parco sulla città. Sul Parco Del Cardeto è stata presa in considerazione anche una tesi di laurea di Saladini basata sui CyberParks, ed inoltre come secondo caso di studio si è fatto riferimento ad un lavoro ancora in corso sulla mappatura del carbon stock per la gestione del verde urbano in una cittadina della provincia di Modena. Per quanto riguarda le keywords, per ognuna di essa si è cercato prima di dare una definizione generale rispondendo ai quesiti: “cosa sono? – a cosa servono? – in che modo interagiscono con noi?”. Una volta definiti con precisione questi concetti ad essi sono state associate delle legislazioni che le riguardano in modo da sottolineare l'approccio che hanno con la politica sia nazionale che europea. Tramite un altro articolo scritto dal Professor Ernesto Marcheggiani giungeremo alla definizione di rurale che oggi viene utilizzata in maniera frequente ma forse nessuno sa qual è il vero significato.

3. INQUADRAMENTO GENERALE E POLITICO DELLE KEYWORDS

Il termine keywords letteralmente vuol dire parole chiave. Queste sono appunto uno o più parole che vengono utilizzate per individuare un concetto. Sul loro utilizzo si basa il lavoro di molti motori di ricerca che appunto cercano la keyword inserita, all'interno dei testi presente sul web. Molto importante è quindi basare le proprie ricerche sulle giuste parole chiave per poter ottenere risultati in maniera rapida ed esaustiva.



Figura 1: WordCloud delle Keywords

L'immagine precedente è una rappresentazione grafica delle parole chiave che sono maggiormente citate in questo scritto. Esso è stato ottenuto attraverso un software open source

chiamato WordCloud dove inserendo per intero un testo, è possibile ottenere una lista delle parole maggiormente utilizzate e conteggiarle. Naturalmente il conteggio non tiene conto di articoli, preposizioni ecc... e la grandezza delle parole inserite nella rappresentazione è direttamente proporzionale a quella che è la loro frequenza. Quest'immagine permette subito e a primo impatto di visualizzare quali sono gli argomenti oggetti di discussione, qual è la loro rilevanza all'interno dell'elaborato e quindi permette di farsi un'idea dei concetti posti alla base della tesi. Risultano di particolare importanza termini come "servizi ecosistemici", "infrastrutture verdi", "sostenibilità", "emissioni", "specie" ecc... tutte nozioni che sono più e più volte ripetute e di cui cercherò di dare una definizione precisa.

3.1 Servizi ecosistemici

L'uomo ha sempre tratto benefici diretti e indiretti dall'ambiente e dagli anni '70 queste interazioni tra uomo e natura sono state identificate come "servizi ambientali" da Wilson e Matthews. Successivamente questo concetto venne indicato come "servizi della natura" e vennero approfonditi anche i benefici che gli ecosistemi forniscono alla società umana. Il concetto attuale di "servizi ecosistemici" nasce agli inizi degli anni '80 e a metà degli anni '90 l'approccio a questo termine è stato utilizzato per valutare e proteggere gli ecosistemi e la biodiversità. Ciò nonostante, è stato dal 2005 che il termine servizi ecosistemici ha avuto maggior riguardo, grazie anche al MEA (Millennium Ecosystem Assessment). Il MEA inoltre utilizza una definizione chiara ed univoca data dal Daily (1997) nel libro "Nature's Service" che indica i servizi ecosistemici come: "*condizioni e processi attraverso cui gli ecosistemi naturali, e le specie che vi vivono, sostengono e soddisfano la vita umana*". È bene chiarire anche il concetto di ecosistemi visto che sarà citato molto nel corso dello sviluppo e che comunque è presente all'interno del concetto in esame; l'*Ecosistema* un complesso dinamico di comunità vegetali, animali e microorganismi e ambiente non vivente che interagiscono come unità funzionale (*Nature's Services, Daily-1997*). Questi ecosistemi però non sono in grado di fornire servizi se non vi è la presenza di persone (capitale umano), delle comunità (capitale sociale) e dell'ambiente costruito (capitale costruito). (*Costanza et al., 2014*)

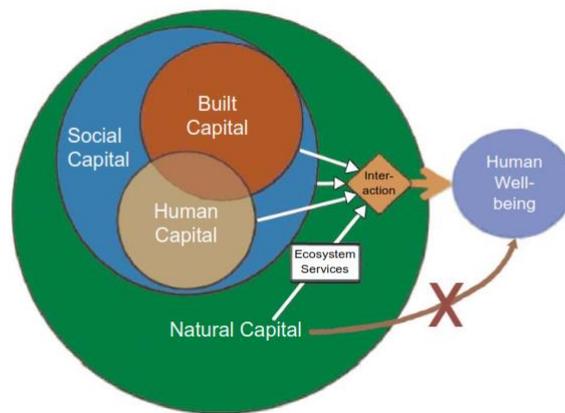


Figura 2: Interazione tra capitale sociale, umano e costruito e capitale naturale
(Costanza et al., 2014)

I servizi ecosistemici vengono dal MEA divisi in quattro tipologie:

- servizi di approvvigionamento che forniscono cibo (attraverso piante e animali), acqua, fibre, combustibili ed alte materie prime, materiali genetici (anche geni di resistenza a patogeni) e specie ornamentali.
- servizi di regolazione in quanto regolano clima, qualità dell'aria (grazie alla capacità degli ecosistemi di assorbire composti chimici ed anche CO₂), mitigazione dei rischi naturali (proteggono da danni distruttivi tipo inondazioni), regolazione acque, protezione dall'erosione, formazione e rigenerazione di suolo, impollinazione, assimilazione rifiuti e controllo biologico.
- servizi di supporto alla vita con la creazione di habitat e la conservazione della biodiversità genetica (grazie ai processi evolutivi e al mantenimento della fitness biologica).
- servizi culturali: estetici (qualità estetica dei paesaggi), ricreativi (creando opportunità per turismo ed altre attività ricreative), educativi e scientifici.

La presenza e disponibilità dei servizi ecosistemici è un fattore fondamentale per il wellbeing (benessere umano) ma anche per ridurre la povertà e quindi la domanda di questi servizi è oggi in crescita sia a causa dell'aumento della popolazione ma anche a causa della volontà di avere un alto stile di vita. Attenzione, questo aumento della popolazione comporta sì una maggior richiesta di servizi ecosistemici, ma di per sé l'aumento demografico può portare ad una conversione degli ecosistemi naturali in terreni agricoli o in aree urbanizzate. Infatti uno studio condotto sempre dal MEA rileva che la maggior parte di questi servizi sono minacciati e hanno un trend negativo e ciò è dovuto principalmente ai diversi cambiamenti che stanno avvenendo

a livello globale attraverso la riduzione e rimozione di specie, attraverso i cambiamenti nell'uso del suolo, uso di tecnologia, uso di input esterni spesso dannosi (pesticidi o fertilizzanti con notevole impatto ambientale), fattori naturali, fisici e dinamici ma anche a causa dei cambiamenti climatici.

Oltre che riconoscere il loro ruolo ecologico, economico e sociale, questi servizi hanno anche un valore economico ed averne una buona dotazione comporta avere una maggior ricchezza in termine di capitale naturale (*La Valutazione economica dei Servizi Ecosistemici, Ri-Vista ricerche per la progettazione del paesaggio-2011*). A causa del cambiamento climatico e della perdita di biodiversità avremo una conseguente perdita economica che l'Unione Europea ha stimato essere pari a circa la metà del PIL mondiale. Proprio per evitare questa degradazione l'UE ha definito degli obiettivi chiave da raggiungere entro il 2030 con una visione per il 2050 dove la biodiversità dell'unione europea e i servizi ecosistemici da essa offerti, saranno protetti, valutati e debitamente ripristinati per il loro valore intrinseco e per il loro fondamentale contributo al benessere umano e alla prosperità economica, onde evitare mutamenti catastrofici legati alla perdita di biodiversità. (*Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni, Strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2030, Bruxelles, 20.5.2020 COM(2020) 380 final*). Il processo di valutazione dei servizi ecosistemici è molto complesso perché, per calcolare il valore di ogni singolo servizio erogato, c'è bisogno di competenze tecniche e scientifiche in diversi ambiti ed inoltre occorre una serie accurata di dati. In alcuni casi si utilizza una metodologia consolidata, in altri come principale riferimento vengono usati i modelli InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs); essa è una suite di modelli software gratuiti e open source utilizzati per mappare e valutare i beni e i servizi della natura che sostengono e soddisfano la vita umana. I modelli InVEST sono spazialmente espliciti, utilizzano mappe come fonti di informazioni e producono mappe come output. I risultati di InVEST si traducono in termini biofisici (ad esempio, tonnellate di carbonio sequestrato) o in termini economici (ad esempio, valore attuale netto di quel carbonio sequestrato). Questi modelli si basano su funzioni di produzione che definiscono il modo in cui i cambiamenti nella struttura e nella funzione di un ecosistema possono influenzare i flussi e i valori dei servizi ecosistemici attraverso un paesaggio marino o terrestre. Essi, inoltre, tengono conto sia della fornitura di servizi (ad esempio, habitat viventi come respingenti per le onde di tempesta) sia dell'ubicazione e delle attività delle persone che beneficiano dei servizi (ad esempio, l'ubicazione di persone e infrastrutture potenzialmente colpite da tempeste

costiere). Questi modelli sono distribuiti tramite un'applicazione che ha bisogno di un software di mappatura come GIS per osservare i risultati.

Per farci un'idea di quanto ammonti questo valore, e come sia distribuito in Italia ho proposto in seguito una rappresentazione tratta da un dottorando di ricerca in progettazione e paesaggistica dell'UniFi pubblicato in *“Ri-Vista ricerche per la progettazione del paesaggio”* nel 2011. In un rapporto del ministero dell'Ambiente il valore complessivo dei servizi ecosistemici in Italia per il 2015 è stato stimato in circa 338 miliardi di euro; corrispondenti circa al 23 % del PIL nazionale di quell'anno.

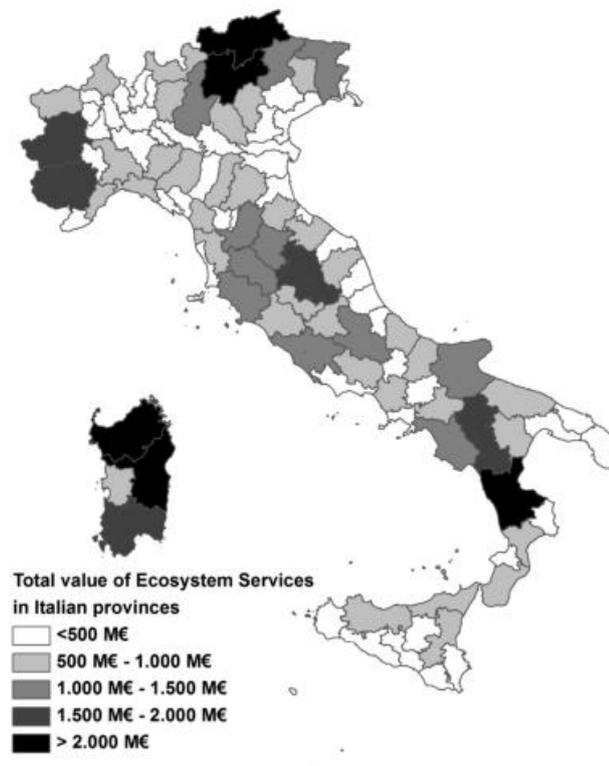


Figura 3: Valore totale dei servizi ecosistemici per provincia (anno 2000)

3.2 Climate Change

Come descritto nel precedente paragrafo, l'uomo, trae una gran quantità di benefici dall'ambiente, ma nonostante ciò esso consapevolmente e inevitabilmente ha immesso e continua ad immettere nell'atmosfera una grande quantità di gas serra, principalmente anidride carbonica (o biossido di carbonio, CO₂), metano ed ossidi di azoto, che sono frutto della sua attività quotidiana come combustione di fossili, deforestazione e allevamento del bestiame e che hanno portato a un'alterazione del sistema climatico terrestre. In effetti, se si valutano le cause più importanti di perdita di biodiversità, risulta essere l'aumento della concentrazione di CO₂ e i conseguenti cambiamenti climatici. Per quanto riguarda i cambiamenti climatici come principale conseguenza comportano un aumento della temperatura, cambiamento dei regimi di precipitazione e dei venti e modificano la frequenza e l'intensità degli eventi estremi a discapito delle specie animali e vegetali; i principali impatti si avranno su fisiologia e comportamento delle diverse specie, sulla loro distribuzione geografica, sul ciclo vitale e sulle loro interazioni all'interno dell'ecosistema. (*Cambiamenti climatici e biodiversità. studio della mitigazione e proposte per l'adattamento-Direzione per la protezione della natura*). Per esempio, basti pensare all'ampliamento che ha avuto negli ultimi anni l'areale di coltivazione della vite, infatti oggi si hanno produzioni di vino anche in Svezia.

I danni recati dall'improvviso stravolgimento climatico non hanno effetti negativi solo su piante e animali, ma al contrario hanno gravi ripercussioni anche sulla vita umana; possono portare aumento di malattie e mortalità legate al caldo, di malattie cardio-respiratorie da inquinamento atmosferico, decessi e malattie causati da inondazioni e incendi, di disturbi allergici e cambiamenti nella comparsa e diffusione di malattie di origine infettiva, idrica ed alimentare (*Il Cesalpino, XVI n 44, 2017*). Non solo, ci sono anche danni economici sia a livello nazionale che internazionale dovuti a un ridotto potenziale di produzione di energia idroelettrica, a un'offerta turistica ridotta, a un calo della produttività nel settore della pesca, ad effetti sulle infrastrutture urbane e rurali con possibili interruzioni o inaccessibilità della rete di trasporto con danni agli insediamenti umani e alle attività socioeconomiche (*Elementi per una strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici.- Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, 2013*). L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) è un organismo internazionale per la valutazione del cambiamento climatico; su uno dei suoi rapporti è possibile leggere che nell'arco temporale 2006-2015 l'aumento della temperatura è stato di circa 1 °C contro gli 0,66°C del 1850-1900 ed è probabile che il riscaldamento globale raggiungerà 1,5°C tra il 2030 e il 2052 se continuerà ad aumentare al tasso attuale. A New York nel 2020 un team di artisti, produttori, attivisti e

scienziati ha trasformato il famoso segnatempo digitale di Union Square in un countdown che ci indica quanto tempo ci vorrà ,agli attuali tassi di emissioni, per bruciare il nostro “bilancio di carbonio” (la quantità di CO₂ che può ancora essere rilasciata nell’atmosfera limitando il riscaldamento globale a 1,5°C sopra i livelli industriali) a partire dal 22 settembre 2020.



Figura 4: Climate Clock

Il problema maggiore non è il cambiamento climatico in sé per sé, in quanto il clima è sempre stato soggetto a modificazioni naturali, ma è il tasso di velocità con il quale avviene questo cambiamento che negli ultimi anni sta notevolmente aumentando e ciò fa sì che gli ecosistemi non riescono a adattarsi e quindi scompaiono. L’Europa, ed in particolare la regione del Mediterraneo, presenta zone con elevatissima suscettibilità ed è per questo che sono necessari interventi veloci e mirati ad attenuare i danni. (*Cambiamenti climatici e biodiversità. Studio della mitigazione e proposte per l’adattamento-Direzione per la protezione della natura*).

Una delle principali svolte è stata raggiunta nel 2015 con “L’accordo di Parigi”; questo accordo entrato in vigore nel 2016 ha interessato 190 paesi ed ha imposto come obiettivo a lungo termine quello di contenere l’aumento della temperatura ben al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali con l’impegno di non superare 1,5°C in modo da ridurre significativamente i rischi dovuti al cambiamento climatico. Un altro obiettivo del trattato è quello di raggiungere il prima possibile il livello massimo di emissioni globali per poi andare incontro a rapide riduzioni, in modo da raggiungere nella seconda metà del secolo un equilibrio tra emissioni e assorbimenti.



Figura 5: Obiettivi Accordo di Parigi

L'Unione Europea è stato una delle potenze che ha sottoscritto questo accordo e che si sta impegnando a raggiungere grazie a diverse strategie interne. Il piano dell'UE prevede di ridurre almeno del 40%, rispetto ai livelli del 1990, le emissioni dei gas serra entro il 2030; più nel dettaglio la riduzione dovrà essere del 43% per tutti quei settori che fanno parte del sistema di scambio di quote di emissioni dell'UE e del 30% in tutti gli altri settori rispetto ai livelli di emissione del 2005 (*Quadro 2030 per il clima e l'energia- Sito ufficiali Unione Europea*). A questo punto diventa interessante chiarire il concetto del sistema di scambio di quote di emissioni; questo sistema è chiamato EU ETS è entrato in vigore nel 2005 con lo scopo di ridurre le emissioni di CO2 e consente di fissare dei limiti massimi di emissione di gas serra che possono essere emessi dagli impianti che partecipano al sistema. Le imprese acquistano e ricevono quote individuali sempre entro il limite che viene abbassato di volta in volta per ridurre così le emissioni. Alla fine di ogni anno l'impresa è tenuta a restituire quote per tutte le sue emissioni altrimenti è soggetta a sanzioni. Nel caso in cui un'impresa riduce le sue emissioni, può mantenere le quote per bisogni futuri o può venderle ad altre aziende. Nel Green Deal europeo (che successivamente valuteremo) si è successivamente proposto di aumentare l'obiettivo di riduzione di emissioni dell'UE al 50-55%. Un altro obiettivo fissato dall'UE sempre in linea con gli accordi di Parigi è di raggiungere almeno il 32% di uso delle energie rinnovabili sulla quota totale di energia ed aumentare l'efficienza energetica del

32,5%. Tutte questi obiettivi a breve termine sono fondamentali per attuare la strategia a lungo termine dell'Europa: essere neutra dal punto di vista climatico entro il 2050 con emissioni nette di gas serra pari a zero. Come prima accennato, l'11 dicembre 2019, la commissione Europea ha varato una comunicazione che illustra il Green Deal europeo. Si tratta di una nuova strategia di crescita che mira a trasformare l'Unione Europea in una società giusta e prospera, con economia moderna, efficiente dal punto di vista delle risorse e competitiva in cui la crescita economica sarà dissociata dall'uso delle risorse. L'obiettivo di questa strategia è quello di avere una crescita economica proteggendo, conservando e migliorando il capitale naturale dell'UE e proteggendo la salute e il benessere dei cittadini dai rischi naturali e ambientali; allo stesso tempo però ciò deve avvenire attraverso una transazione giusta ed inclusiva. Il programma prevede diverse strategie tutte in linea con gli accordi di Parigi che l'UE si è impegnata a sottoscrivere; una di queste è una efficace fissazione del prezzo del carbonio che incoraggerà le imprese a promuovere investimenti sostenibili. Tra gli strumenti a disposizione di questa transazione vi sono dei finanziamenti nell'ambito di InvestEU a favore di associazioni edilizie e società energetiche per facilitare ristrutturazione di edifici a basse prestazioni energetiche e per incentivare lo sviluppo delle famose infrastrutture intelligenti e delle infrastrutture verdi. Altri punti chiave interessanti sono la riduzione dei rifiuti, riduzioni delle emissioni da parte dei trasporti, piano per progettare un sistema alimentare giusto sano e rispettoso dell'ambiente (dal produttore al consumatore), preservare la biodiversità e gli ecosistemi, favorire l'incremento delle aree boschive che garantiscano un maggior assorbimento di CO₂ e creare un ambiente privo di sostanze tossiche.

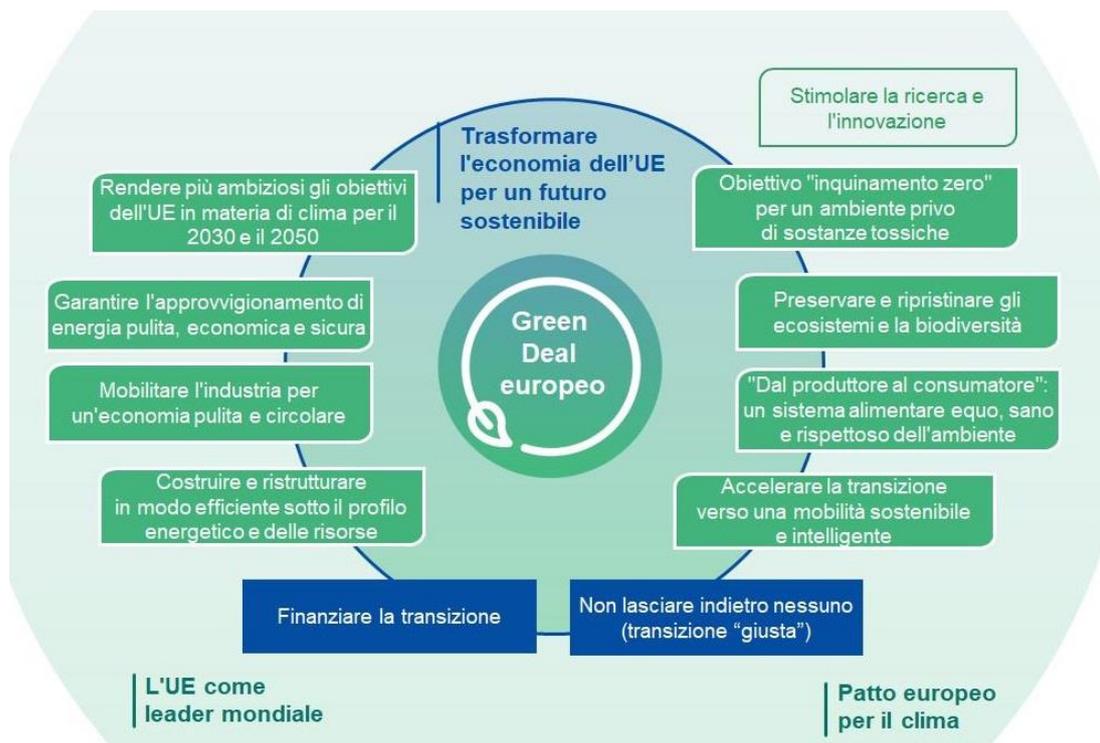


Figura 6: Obiettivi del Green Deal

Per quanto riguarda InvestEU, è un programma che sostiene gli investimenti pubblici e privati nella comunità europea e sostituisce il vecchio Fondo europeo per gli investimenti strategici. In questo studio non ci soffermeremo su quelli che sono gli aspetti economici però è bene sottolineare che nel Green Deal, InvestEU mobiliterà circa 279 miliardi di euro di investimenti privati e pubblici nei settori del clima e dell'ambiente nel periodo 2021-2030 (*Il Piano di investimenti del Green Deal europeo-Bonucci M., 2020*) e ciò marca ancor di più l'interesse che l'Unione Europea sta avendo nei confronti dell'ambiente. Questi fondi interessano in generale investimenti sociali e competenze, piccole e medie imprese, ricerca, innovazione e digitalizzazione ma soprattutto ciò che interessa il nostro studio ossia le infrastrutture sostenibili; tra queste abbiamo prima citato le infrastrutture verdi. Un altro concetto espresso dal Green Deal è quello di un giusto meccanismo di transizione (*just transition mechanism*); questo strumento permette che la transizione verso un'economia climatica neutra avvenga in maniera equa e non lasci indietro nessuno. Questo meccanismo fornirà, nel periodo 2021-2024, un sostegno economico pari a circa 40 miliardi di euro a lavoratori e comunità che dipendono esclusivamente dalla catena dei combustibili fossili (*Fonti di finanziamento per una transizione giusta-Sito ufficiale Commissione Europea*). I fondi per permettere questa giusta transizione deriveranno da tre principali fonti: il fondo per una giusta transizione stanziata dall'UE, uno specifico sistema nell'ambito dell'InvestEU che ha come scopo mobilitare gli

investimenti ed infine uno strumento di prestito tramite la Banca europea degli investimenti. Parlando di una giusta transizione equa e che non lasci indietro i paesi in difficoltà, sarebbe bene definire quello che è il fondo di coesione (cohesion fund); che è un fondo che assiste gli stati membri dell'Unione Europea che hanno un reddito nazionale lordo pro-capite inferiore al 90% della media dell'UE. Esso può essere introdotto per decisione del Consiglio qualora uno stato membro presenti un deficit pubblico eccessivo che non lo abbia né risolto e né si stia attivando per risolverlo. Quindi anche questo fondo ha come obiettivo quello di ridurre le disparità economiche e sociali presenti all'interno della comunità, ma anche promuovere lo sviluppo sostenibile. Il budget stanziato per il fondo di coesione è destinato allo sviluppo di reti transeuropee di trasporto e alla tutela dell'ambiente tramite investimenti in efficienza energetica e in trasporti. Studiando la situazione a livello nazionale il 31 dicembre 2019, l'Italia ha inviato alla Commissione Europea il testo definitivo del PNIEC (piano nazionale integrato per l'energia e per il clima) che ha come obiettivo quello di raggiungere entro il 2030, una nuova politica energetica che assicuri la piena sostenibilità ambientale, sociale ed economica e accompagni tale transizione. Nella relazione sullo stato di attuazione degli impegni per ridurre le emissioni di gas ad effetto serra, per l'Italia, si parla anche di una riduzione pari al 33% entro il 2030 e rispetto al 2005 delle emissioni da parte dei settori non-ETS. Il decreto legislativo 111/2019 è il decreto clima e presenta articoli atti ad adottare misure urgenti per contrastare i cambiamenti climatici e migliorare la qualità dell'aria; tra questi articoli risaltano 1-ter che mira a sensibilizzare e informare sulle questioni ambientali qualsiasi scuola, articolo 4 dove vengono stanziati 30 milioni di euro per la riforestazione delle città metropolitane e l'articolo 5-ter dove si istituisce il programma "Caschi verdi per l'ambiente" che ha come fine quello di tutelare e salvaguardare le aree nazionali protette e quelle di particolare pregio naturalistico. Norme finalizzate a contrastare i cambiamenti climatici, sono presenti anche all'interno della legge di bilancio 160/2019 dove vengono previsti l'istituzione di fondi destinati alla decarbonizzazione, alla riduzione delle emissioni, al risparmio energetico e alla sostenibilità ambientale; contributi per finanziare investimenti in opere pubbliche che promuovano sostenibilità ed efficientamento energetico. All'interno della stessa legge sono presenti misure che sono volte a realizzare un Green Deal italiano con l'istituzione di fondi destinati a ridurre le emissioni di gas a effetto serra; viene costituita una commissione per studiare le proposte relative alla transizione ecologica, saranno ridotti i sussidi ambientalmente dannosi mentre saranno incrementati quelli per gli interventi di ristrutturazione edilizia ed efficienza energetica e sarà inoltre incrementato il fondo per

l'acquisto di autoveicoli a basse emissioni di CO2. Infine, sarà previsto un centro di studi e di ricerca internazionale sui cambiamenti climatici con sede a Venezia.

3.3 Infrastrutture verdi

Secondo la definizione che ne dà l'Unione Europea, le *infrastrutture verdi* sono una rete di aree naturali e seminaturali pianificata a livello strategico con altri elementi ambientali, progettata e gestita in maniera da fornire un ampio spettro di servizi ecosistemici. Ne fanno parte gli spazi verdi ed altri elementi fisici presenti sulla terraferma o marini. Tra le infrastrutture verdi sulle terra ferma abbiamo quelle rurali ed urbane di cui ne fanno parte la rete Natura 2000, parchi, giardini, siepi, fasce vegetate, elementi artificiali come giardini pensili, muri verdi, ponti ecologici ecc. (*Relazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni-Riesame dei progressi compiuti nell'attuazione della strategia dell'UE per le infrastrutture verdi- Bruxelles, 24.5.2019 COM(2019) 236 final*). Essi sono uno strumento di comprovata efficacia per ottenere benefici ecologici, economici e sociali ricorrendo a soluzioni “naturali”; si basano sul principio che l'esigenza di proteggere e migliorare la natura e i processi naturali, nonché i molteplici benefici che la società umana può trarne, sia consapevolmente integrata nella pianificazione e nello sviluppo territoriali (*Comunicazione Della Commissione Al Parlamento Europeo, Al Consiglio, Al Comitato Economico E Sociale Europeo E Al Comitato Delle Regioni-Infrastrutture verdi – Rafforzare il capitale naturale in Europa- Bruxelles, 6.5.2013 COM(2013) 249 final*). Dal punto di vista ecologico-ambientale le infrastrutture verdi riducono la frammentazione degli habitat naturali, incrementano il grado di diversità biologica, incrementano le capacità autorigenerative, riducono l'impronta ecologica delle città, mitigano gli effetti del cambiamento climatico, riducono l'effetto di isola di calore presente in città, regolano e depurano l'acqua migliorando anche la capacità di infiltrazione idrica e riducendo il rischio di ruscellamenti, erosioni ed inondazioni. L'infrastruttura verde viene anche considerata come un anello verde che frena l'urbanizzazione e collega tra loro le diverse città. Nelle città queste supportano la diffusione della mobilità ciclopedonale, alimentano un'agricoltura a filiera corta, migliorano la vivibilità e le attività ricreative; inoltre generano incrementi netti dei valori del capitale costruito e attraggono investimenti. Avvolte possono anche offrire un'alternativa o una componente complementare alle infrastrutture “grigie” che dominano le città.

Categorie di benefici specifici	Vantaggi delle infrastrutture verdi
Maggiore efficienza delle risorse naturali	Mantenimento della fertilità del suolo Controllo biologico Impollinazione Conservazione delle risorse di acqua dolce
Mitigazione dei cambiamenti climatici e adattamento	Stoccaggio sequestro del carbonio Controllo delle temperature Controllo dei danni da metro-climatici estremi Controllo dell'erosione
Prevenzione delle catastrofi	Riduzione del rischio di incendi boschivi Riduzione dei rischi di inondazione Regolazione dei flussi idrici
Gestione delle acque	Depurazione delle acque Approvvigionamento idrico Riduzione dell'erosione del suolo Mantenimento / miglioramento della componente organica del suolo Aumentare la fertilità dei suoli e la loro produttività Ridurre il consumo del suolo, la frammentazione e l'impermeabilizzazione dei suoli Migliorare la qualità del territorio e renderlo più attrattivo
Governo del territorio e dei suoli	Aumento del valore delle proprietà
Benefici della conservazione	Valore di esistenza di habitat, delle specie e della diversità genetica Valore di eredità ed altruista degli habitat, delle specie e della diversità genetica per le generazioni future Multifunzionalità e resilienza dell'agricoltura e delle risorse forestali
Agricoltura e silvicoltura	Migliorare l'impollinazione Migliorare il controllo dei parassiti
Trasporti ed energia a basso tenore di carbonio	Soluzioni per i trasporti meglio integrate e meno frammentate Soluzioni energetiche innovative Miglioramento dell'immagine Maggiori investimenti Più occupazione
Investimenti e occupazione	Produttività del lavoro
Salute e benessere	Regolamenti per la qualità dell'aria e del rumore Accessibilità alle aree di allenamento ed ai luoghi ameni Condizioni di salute e sociali migliori
Turismo e tempo libero	Rendere le metopoli attraenti Gamma e capacità di opportunità ricreative
Educazione	Risorsa didattica e "laboratorio naturale"
Resilienza	Resilienza dei servizi ecosistemici

Figura 7: Benefici delle infrastrutture verdi in “Valutazione Ambientale, Numero speciale 24, 2013, dal documento comunitario SWD (2013) final”

La strategia UE 2020 per la tutela della biodiversità dà alle green infrastructures un ruolo determinante per il ripristino degli ecosistemi degradati, per proteggere il nostro capitale naturale: fattore trainante nel percorso di sviluppo di una green economy in grado di assicurare una crescita intelligente, sostenibile e durevole. Fra gli obiettivi della programmazione dei fondi strutturali europei 2014-2020 troviamo esplicitamente individuato il ruolo strategico delle infrastrutture verdi nella tutela dell'ambiente e delle risorse:

- Elaborare linee di indirizzo per una pianificazione urbana finalizzata al mantenimento, al recupero e all'aumento del verde pubblico e della permeabilità dei suoli e per regolamenti edilizi che promuovano il verde privato negli edifici e negli spazi pertinenziali.
- Elaborare e diffondere toolbox per gli operatori e le imprese per la progettazione di infrastrutture verdi e per la valutazione dei vantaggi associati.
- Fermare il consumo dei suoli non urbanizzati, anche mediante le cinture verdi (green belt). La *green belt* è una norma, già presente nel Regno Unito, che regola il controllo dello sviluppo urbano; l'idea è quella di mantenere attorno ai centri urbani delle fasce verdi occupate da boschi, terreni coltivati e luoghi di svago all'aria aperta. Lo scopo fondamentale di una cintura verde è impedire la scomposta proliferazione di costruzioni che vadano ad inquinare questo spazio di rispetto.



Figura 8: Rappresentazione di una cintura verde (green belt) attorno alla città di Londra

- Riorganizzare e rinaturalizzare, ove possibile, i reticoli idrografici urbani.
- Potenziare le connessioni tra il verde urbano, periurbano ed extraurbano.
- Realizzare programmi urbani di misure di adattamento alla crisi climatica basati sulle infrastrutture verdi ed evolvere da una concezione del verde ornamentale ad un verde polifunzionale.
- Favorire nelle aree industriali politiche aziendali che migliorano la qualità eco funzionale dei siti.
- Promuovere il Green Infrastructures Public Procurement (GIPP), per estendere nelle gare d'appalto pubbliche, che comportano modificazioni rilevanti dell'assetto del territorio, l'utilizzo di infrastrutture verdi con soluzioni innovative. Ad esempio, l'UE sta investendo nell'idea di GROOF: essa utilizza le serre sui tetti per recuperare il calore disperso dagli edifici, mediante la raccolta di CO₂ per aiutare a coltivare le piante. Consente agli agricoltori urbani di coltivare in modo sostenibile e offre agli abitanti delle città l'accesso ai prodotti locali, riducendo così le emissioni prodotte dai trasporti. Adeguando gli edifici in questo modo, il progetto crea un modello di città più sane e più verdi.

I dati dell'Organizzazione mondiale della sanità mostrano che oltre il 90% delle persone vive in zone in cui la qualità dell'aria non soddisfa le norme stabilite nelle sue linee guida. Grazie al sostegno dell'UE, la start-up tedesca Green City Solutions ha sviluppato City Tree, un filtro dell'aria intelligente fatto di muschio che assicura aria pulita e fresca in luoghi privi di spazi verdi. Le infrastrutture verdi sono state inserite anche all'interno dei criteri di aggiudicazione del premio Capitale verde europea. È un premio assegnato ogni anno dalla Commissione Europea ad una città europea che si è data ed è riuscita a realizzare ambiziosi obiettivi nei temi della salvaguardia ambientali e dello sviluppo economico sostenibile (nel 2020 questo premio è stato assegnato a Lisbona). Visto che questo premio ha ricevuto un gran successo, nel 2015 l'Europa ha istituito anche l'European Green Leaf Award (Premio della foglia verde europea) per premiare tutte le città europee tra i 20.000 e i 100.000 abitanti che si distinguono per buone pratiche di sostenibilità ambientale. Il premio consta di tre obiettivi:

- Riconoscere le città che dimostrano una buona reputazione ambientale e l'impegno a generare crescita verde;
- Incoraggiare le città a sviluppare attivamente la consapevolezza e il coinvolgimento ambientale dei cittadini;

→ Identificare le città in grado di agire come un "ambasciatore verde" e incoraggiare altre città a progredire verso risultati di sostenibilità migliori.

3.4 Carbon stock

Per *carbon stock* (o *stoccaggio di carbonio*) si intende la capacità di un materiale di assorbire ed immobilizzare l'anidride carbonica (De Nardo L.M., *Packaging Observer*, 2014). Abbiamo detto che la CO₂ che noi produciamo attraverso trasporti, riscaldamento ecc., viene emessa in atmosfera e contribuisce al riscaldamento globale con tutte le conseguenze che ne derivano. Una soluzione che potrebbe essere intrapresa per ridurre gli effetti dovuti al cambiamento climatico, sarebbe quella di catturare ed intrappolare la CO₂ prima che essa giunga in atmosfera. L'UNFCCC (convenzione quadro delle nazioni unite sui cambiamenti climatici) definisce il processo, attività o meccanismo per rimuovere questo gas effetto serra dall'atmosfera come *carbon sink* che tradotto letteralmente è pozzo di assorbimento di carbonio. Carbon sink sono sistemi che hanno quindi nel lungo periodo un bilancio positivo di CO₂ ossia ne assorbono più di quanto ne producono ed un esempio sono le foreste che in alcune fasi della loro vita emettono CO₂ comportandosi da carbon source ma in altre fasi la assorbono diventando carbon sink. Le piante risultano essere quindi dei perfetti carbon sink che emettono CO₂ per respirare, ma la assorbono anche per far sì che avvenga la fotosintesi; questo processo di assorbimento permette alla pianta di produrre glucosio che utilizzerà per la sua crescita. Parlando di numeri un albero, situato in un clima temperato come il nostro e posto in città, ha in media un assorbimento di CO₂ pari a 10-20 Kg/anno (*Assorbimento forestale di CO2: l'albero "mangia" la CO2- Rete Clima*). Questo dipende molto anche dalla specie che consideriamo: l'IBIMET (istituto di biometereologia di Bologna) ha stilato una classifica delle specie maggiormente in grado di assorbire CO₂ durante il loro ciclo vitale. Nella top five abbiamo il Bagolaro (*Celtis australis*) con una capacità di assorbimento pari a 180 Kg/anno, l'olmo comune (*Ulmus minor*), il frassino comune (*Fraxinus excelsior*) con 100 Kg/anno, il tiglio selvatico (*Tilia cordata*) e l'acero riccio (*Acer platanoides*) con circa 170 Kg/anno. Il carbonio, quindi, sarà fissato nella biomassa e nel suolo che a questo punto diventeranno delle vere e proprie riserve di carbonio. Queste piante sopra citate sono state definite, da uno studio condotto dalla Coldiretti, come "superpiante mangia polvere" ed hanno assunto un'importanza rilevante nelle città per combattere lo smog. Infatti, nelle aree urbane è frequente il fenomeno di *isola di calore*; l'isola di calore urbano è un fenomeno microclimatico che si verifica nelle aree metropolitane e consiste in un significativo aumento della temperatura nell'ambito urbano rispetto alla periferia della città e, soprattutto, alle aree rurali circostanti. Si tratta di un

fenomeno conosciuto e studiato da alcuni decenni ed è causato principalmente dalle caratteristiche termiche e radiative dei materiali che costituiscono le superfici urbane (in primo luogo, asfalto e cemento) nelle quali prevale l'assorbimento della radiazione solare rispetto alla riflessione. Certamente anche le attività umane che si concentrano nelle città e nelle loro immediate vicinanze contribuiscono a loro volta al riscaldamento delle aree urbane, sia in modo diretto attraverso le attività industriali, il traffico veicolare, gli impianti di riscaldamento e condizionamento, sia in modo indiretto alterando le proprietà radiative dell'atmosfera a causa degli alti livelli di inquinamento associati alle precedenti attività (*Isole di calore e misure di mitigazione- Ecoscienza Numero 5 - Anno 2013*)

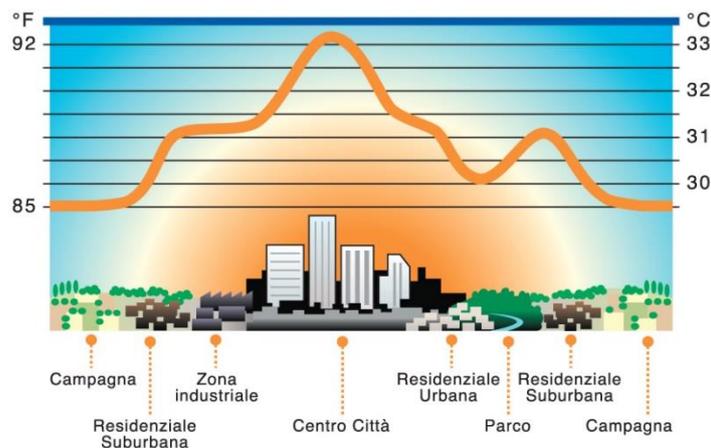


Figura 9: Fenomeno dell'isola di calore

Le aree verdi urbane hanno un'efficacia enorme nelle riduzioni delle temperature; esse oltre ad assorbire la CO₂ riducendo il fenomeno di isola di calore, assorbono una buona quantità di acque meteoriche evitando che queste creano gravi danni. Quindi in linea di massima possiamo dire che l'utilizzo delle infrastrutture verdi e la pianificazione di esse in città, sono dei potenziali strumenti che possono essere utilizzati per mitigare gli effetti negativi dovuti ad un incremento della CO₂. A livello legislativo anche nel Protocollo di Kyoto è previsto l'assorbimento forestale come attività di mitigazione climatica.

4. CONTESTO URBANO, PERIURBANO E RURALE

Iniziamo con il definire il termine *rurale*; anche se la ruralità è immediatamente compresa, evocando immagini fisiche, sociali e culturali, il termine è istintivamente percepito come la controparte di urbano quindi darne una definizione senza riferimenti all'urbanistica risulta difficile. Tradizionalmente e dal punto di vista dell'agricoltura la ruralità veniva intesa come la quantità di terreni coltivati in confronto agli altri usi e veniva misurata come forza lavoro impiegata in agricoltura. Per quanto riguarda i servizi, alla ruralità si è associato il concetto di polimorfismo territoriale mentre dal punto di vista industriale il termine ha assunto un valore dove viene presa in considerazione la densità della popolazione in una determinata area. (Marcheggiani E., Galli A., Paci F., Fioretti I., De Seris M. *“Valorisation of the Rural Heritage and touristic bias. Potential benefits to the local community”*, pre stampa inviata ad *Handbook U4V*, 1 giugno 2020). Oggi noi ci riferiamo a tre principali organismi, OCSE (organizzazione per la coesione economica e lo sviluppo), Eurostat (ufficio statistico dell'Unione europea) e ESPON (la rete europea di osservazione, lo sviluppo territoriale e la coesione) che basano tutti la definizione sulla densità di popolazione. Più in particolare l'Eurostat utilizza la definizione di aree urbane ad alta densità quelle con una densità di popolazione superiore a 500 abitanti per kmq ed una popolazione totale di almeno 50.000 abitanti, aree intermedie quelle con densità inferiore a 100 abitanti per kmq ed aree rurali tutte quelle zone meno popolate che hanno un minor grado di densità.

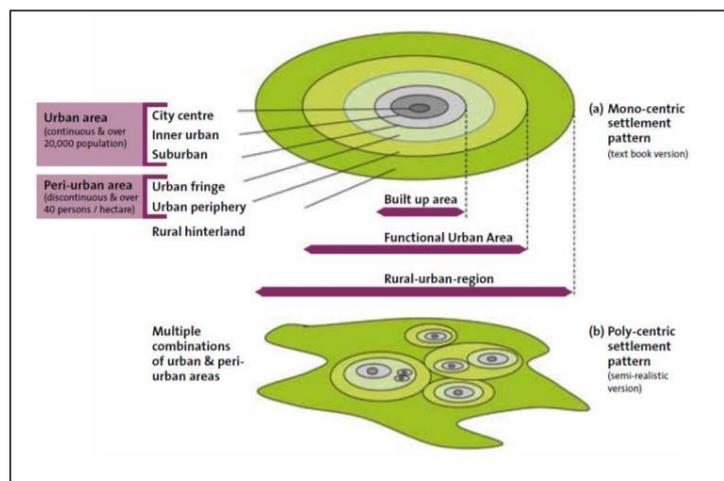


Figura 10: Classificazione del territorio secondo PLUREL (Peri-Urban Land Use relationship)

L'area rurale è quindi quella con una bassa densità di popolazione dove prevalgono campi agricoli e dove le attività più importanti sono quelle agricole e zootecniche. L'agricoltura risulta essere fondamentale sia per il mantenimento della biodiversità sia per la produzione di servizi ecosistemici; tra i servizi che l'agricoltura offre abbiamo infatti quelli di approvvigionamento ma anche supporto e regolazione (fertilità suolo, disponibilità acqua, assorbimento CO₂, mitigazione dei cambiamenti climatici...) e servizi di carattere estetico culturale. Nel contesto delle questioni ambientali, le relazioni con i settori dell'agricoltura e della zootecnia sono numerose e reciproche. Dal punto di vista degli impatti, il comparto agricolo e zootecnico risente le conseguenze del degradamento della qualità dell'aria e del cambiamento climatico: eventi atmosferici estremi, ondate di calore e gelo, siccità e modifiche nei microclimi locali hanno fatto registrare non solo una minore produttività delle coltivazioni e degli allevamenti, ma anche elevati costi derivanti dalle spese per porre rimedio ai danni subiti e dagli investimenti per l'attuazione di misure di adattamento. In particolare, nel comparto zootecnico, l'aumento delle temperature e il fenomeno delle ondate di calore, specialmente nelle stagioni estive, sottopongono gli allevamenti a condizioni di stress termico importanti tali da compromettere la naturale capacità degli animali di autoregolare le proprie funzioni fisiologiche, compromettendo dunque il benessere dell'animale e, conseguentemente, la produzione. Anche a livello europeo, l'agricoltura è tra i settori economici più vulnerabili al cambiamento climatico. Sebbene infatti l'aumento delle temperature consenta l'estensione della stagione utile alla crescita di determinate colture, soprattutto nel Nord Europa, l'aumento degli stress causati da ondate di calore e modifiche ai microclimi portano ad una generale

decrescita della produzione, anche per via del proliferare di nuove malattie che colpiscono le coltivazioni. Inoltre, le modifiche nella distribuzione delle precipitazioni creano numerose difficoltà in termini di approvvigionamento idrico a scopo agricolo, specie nelle regioni meridionali, dove sono sempre più frequenti fenomeni siccitosi (*Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici- Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare*). Per far fronte a questo scenario, diventa fondamentale attuare misure di adattamento; nella PAC sono presenti strumenti che contemplano le infrastrutture verdi e le buone condizioni agronomiche e ambientali relative alle fasce tampone e agli elementi caratteristici del paesaggio; è bene citare l'Art 1 della legge 1307/2013 che rappresenta il primo pilastro dell'odierna PAC e che istituisce norme specifiche riguardanti “un pagamento a favore degli agricoltori che applicano pratiche agricole benefiche per il clima e l'ambiente”. La PAC (politica agricola comune) è una delle politiche di maggior importanza nella comunità europea e le sue strategie vengono rinnovate ogni 7 anni; essa è strutturata in 6 priorità, 18 focus area e 19 misure. Tra le 6 priorità sottolineiamo la numero 4 “preservare, ripristinare e valorizzare gli ecosistemi dipendenti dall'agricoltura e dalla silvicoltura” e la numero 5 “incoraggiare l'uso efficiente delle risorse e il paesaggio a un ecosistema a basse emissioni di carbonio e resiliente al clima nel settore agroalimentare e forestale”. Nel programma 2014-2020 gli strumenti sostenuti per tutelare la biodiversità sono stati:

- La sussidiarietà quale strumento che favorisce meccanismi di responsabilità e promuove requisiti di condizionalità. La *condizionalità* (insieme di regole che ogni agricoltore beneficiario della PAC è tenuto a rispettare) ha svolto un ruolo chiave nella protezione delle caratteristiche ambientali, della gestione del territorio e nella prevenzione dei danni ambientali. Questo strumento ha contribuito positivamente al mantenimento della biodiversità sebbene non sia efficiente nelle regioni agricole con sistema intensivo.
- Aree agricole ad alto valore naturale che hanno prodotto benefici significativi sulla conservazione della biodiversità. Il loro ruolo principale ha riguardato la tutela di specie e habitat specifici e sono fondamentali per il raggiungimento degli obiettivi post-2020 proposti dalla Convention in Biological Diversity.
- Misure agroambientali che hanno avuto un impatto positivo sull'ambiente e in particolare sulla biodiversità. In particolare, le misure volte a sostenere la gestione dei prati di pregio e delle praterie biodiverse, come ad esempio il pascolo estensivo, sono considerate misure efficaci nella conservazione degli habitat e delle specie.

- Greening quale strumento volto a incentivare un sistema di produzione sostenibile. Sebbene sia uno strumento ampiamente criticato, poiché distorsivo sul piano economico e inefficiente su quello ambientale, questo strumento ha un notevole potenziale su larga scala di influenzare positivamente lo sviluppo sostenibile delle attività agricole.
- Agricoltura biologica che è considerata un altro strumento di protezione della biodiversità e di mitigazione del clima. Tale sistema produttivo permette un utilizzo efficiente delle risorse naturali poiché riduce l'uso dell'acqua e dell'energia, favorisce la tutela della diversità biologica e sviluppa, sia nel suolo sia nelle piante, maggiori resistenze ai fattori biotici e abiotici di disturbo, incluso il cambiamento climatico

Ci troviamo alla fine dell'attuale PAC e sono già in corso lavori per definire le nuove linee guida della nuova PAC post-2020 che però, a causa della pandemia che ha stravolto l'Europa e il mondo (Covid-19) tarderà ad entrare in vigore.



Figura 11: 9 obiettivi della PAC post-2020

Parallelamete agli effetti subiti, esiste anche un ruolo attivo dell'agricoltura in quanto settore emissivo. Le attività agricole e zootecniche possono essere una fonte di emissioni in atmosfera, sia gas serra che altre tipologie di inquinanti. Nel dettaglio, le emissioni di maggiore interesse per i cambiamenti climatici e la qualità dell'aria sono costituite da: ammoniaca (NH_3) principalmente derivante dalla gestione delle deiezioni animali e dall'utilizzo di fertilizzanti, metano (CH_4) derivante da fermentazione enterica, gestione delle deiezioni, combustione delle biomasse e coltivazioni di riso; protossido di azoto (N_2O) derivante da fertilizzanti, gestione delle deiezioni, coltivazione di suoli e residui di gestione agricola (*Evoluzione del contesto normativo comunitario e nazionale in tema di cambiamenti climatici e qualità dell'aria possibili impatti sullo sviluppo rurale-Rete Rurale Nazionale, 2018*) Secondo l'ultimo Rapporto di Valutazione dell'IPCC, le emissioni di gas serra a livello globale dei settori

cosiddetti AFOLU (Agriculture, FOrestry and Land Use) ammontano a circa il 25% di quelle globali, costituendo dunque una quota non trascurabile in sede di definizione delle azioni di contrasto al cambiamento climatico.

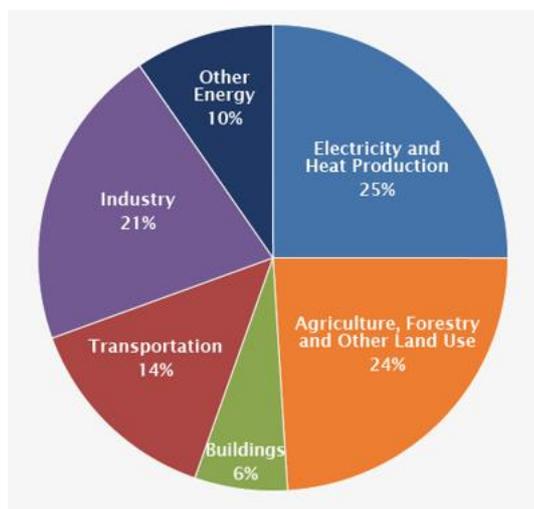


Figura 12: Rappresentazione delle emissioni dei gas serra per categorie

A livello europeo, i dati dall'ultimo inventario delle emissioni di gas serra (2018) dell'UE attribuiscono al settore agricolo emissioni pari al 10% di CO₂ di quelle complessive dell'Unione. Le emissioni di gas serra del settore agricolo sono in progressiva diminuzione in Europa, al contrario a livello globale risultano in crescita e in particolare nei Paesi in via di sviluppo a causa della sempre maggior domanda. Le sfide a livello globale consistono dunque nella gestione degli impatti delle problematiche ambientali sul comparto agricolo e zootecnico, nella riduzione del contributo di tali settori al degradamento della qualità dell'aria ed al cambiamento climatico e, al contempo, nella necessità di intraprendere misure che soddisfino la crescente domanda alimentare a livello globale, per scongiurare la fame e garantire il diritto alla salute. (*Evoluzione del contesto normativo comunitario e nazionale in tema di cambiamenti climatici e qualità dell'aria possibili impatti sullo sviluppo rurale-Rete Rurale Nazionale, 2018*). Oggi si parla sempre più di "sistemi agricoli diversificati"; essi si basano sulla diversificazione delle produzioni e dei paesaggi agricoli, sulla progressiva sostituzione di input chimici, sull'ottimizzazione della biodiversità e sul consolidamento delle interazioni tra le diverse specie, come parte di strategie per mantenere la fertilità dei suoli nel lungo periodo, l'integrità degli ecosistemi agricoli e mezzi di sussistenza sicuri (*Ipes Food, 2016*) Dal punto di vista ambientale, la diversificazione delle produzioni agricole garantisce la

conservazione della biodiversità, migliora la salute del suolo e delle piante, contribuisce a un sistema resiliente ai cambiamenti climatici e ai disastri naturali e riduce la vulnerabilità dei sistemi agricoli agli stress esterni. Dal punto di vista economico e sociale invece contribuisce alla creazione di posti di lavoro, stabilizza il reddito degli agricoltori e assicura la disponibilità e la diversità alimentare. (*Ipes Food, 2016; Fao, 2018*)

A proposito di *resilienza* è bene darne una definizione chiara; la FAO la definisce come “*La capacità di individui, famiglie, comunità, città, istituzioni, sistemi e società di prevenire, resistere, assorbire, adattare, rispondere e recuperare in modo positivo, efficiente ed efficace di fronte a un'ampia gamma di rischi, mantenendo un livello di funzionamento accettabile e senza compromettere nel lungo termine prospettive di sviluppo sostenibile, pace e sicurezza, diritti umani e benessere per tutti*” (FAO et al., 2018).

Specificate le aree rurali e avvicinandoci nei pressi di un centro urbano, ci imbattiamo nelle così definite *aree periurbane*. Per area periurbana si tratta in sostanza di una zona a contatto tra il mondo rurale propriamente detto e il mondo urbano, che conserva però i tratti fondamentali del primo mentre subisce l'attrazione del secondo. Le caratteristiche comuni a tutti gli spazi periurbani sono la precarietà territoriale, ambientale e sociale, ed il fatto di essere situati alla periferia degli agglomerati urbani (*CESE, 2004*). Le zone periurbane sono quelle che risentono maggiormente della crescita urbana ma allo stesso tempo risultano essere di fondamentale importanza per formare il famoso anello verde di parchi periurbani che circondano la città e frenano l'urbanizzazione (green belt) ma non solo perché sono aree in grado di produrre esternalità e beni pubblici concreti per la collettività urbana.



Figura 13: Parco periurbano nord di Milano

La principale funzione che svolge, come abbiamo accennato, è quella di assicurare lo sviluppo sostenibile poiché contrasta il consumo di suolo e la saldatura delle strutture urbane, promuovendo il policentrismo. Dal punto di vista ambientale, inoltre, sarà possibile ottenere un notevole miglioramento della qualità dell'aria con la piantumazione a verde di vaste aree a fini produttivi agricoli e ambientali, con conseguenti mitigazioni climatiche ed effetti positivi oltre che sull'avifauna anche sulla salute umana. Questo aspetto assume particolare rilevanza in quanto, generalmente, le aree nelle quali è sentita maggiormente la necessità di creare tale tipo di attrezzatura territoriale sono quelle nelle quali, oltre alla grande pressione insediativa, sono presenti infrastrutture di comunicazione di rango nazionale con conseguenti massicce immissioni di CO₂ e polveri sottili in atmosfera. I parchi periurbani possono svolgere quindi un ruolo fondamentale per l'abbattimento di quelle tipologie di inquinanti. L'aumento dei redditi, desiderio di spazi aperti, disponibilità personale di automobili, prezzi eccessivamente alti degli immobili nei centri urbani e anche la localizzazione periferica delle industrie, sono tra le cause principali di modello insediativo che viene definito "periurbanizzazione" che porta a ridurre sempre al minimo queste fasce di verde che collegano la campagna e la città. Storicamente i margini della città un tempo entravano in contatto con la campagna attraverso un limite definito e chiuso che era solitamente identificato da una cinta muraria. È possibile individuare tra la fine del 1800 e l'inizio del 1900 il venir meno della necessità di protezione da ciò che era esterno, con il conseguente superamento o abbattimento dei limiti imposti dalla presenza nelle città delle mura. È così che da limite si arrivati lentamente a parlare di margine, una fascia a circoscrizione dell'urbano che segna la possibilità dell'andare oltre a quanto stava all'interno. Le città hanno cominciato ad attrarre sempre più abitanti, richiamati dalle possibilità di lavoro e libertà che il nuovo contesto sembrava fornire. La nuova popolazione necessitava però di nuovi spazi e nuove abitazioni; questi nuovi luoghi vengono ad assumere il ruolo di "periferia", ambiti che non sono il centro cittadino ma nemmeno la campagna. Le campagne periurbane sono oggi i territori dallo statuto più incerto: spazi ibridi, che mescolano caratteri urbani e di ruralità, manifestando in modo conflittuale la realtà contemporanea del rapporto città-campagna, e nei quali l'urbanistica si confronta da vicino con i propri limiti e le proprie contraddizioni, ma anche con effettive opportunità di innovazione disciplinare (*Spazi periurbani/ luoghi plurali, 2012*).

Addentrando sempre più, passiamo dalla periferia sopra descritta all'*area urbana*. L'ISTAT definisce il centro urbano come aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, caratterizzato dall'esistenza di servizi od esercizi pubblici (scuola, ufficio pubblico, farmacia, negozio o simili) costituenti la condizione di una forma autonoma di vita

sociale, e generalmente determinanti un luogo di raccolta ove sono soliti concorrere anche gli abitanti dei luoghi vicini per ragioni di culto, istruzione, affari, approvvigionamento e simili, in modo da manifestare l'esistenza di una forma di vita sociale coordinata dal centro stesso. Solitamente nasce con un processo di agglomerazione e può integrare un processo di conurbazione. L'agglomerazione urbana designa un insieme urbano caratterizzato dalla continuità dell'edificato, generalmente una città o un centro maggiore, unito ai sobborghi che lo circondano (*Palazzo A., Wikitecnica, 2012*). La conurbazione definisce un'agglomerazione di città maggiori e insediamenti minori progressivamente assorbiti nei processi di espansione urbana, distinguendosi da "area metropolitana", quasi dovunque definita e codificata attraverso soglie dimensionali e indicatori socio-economici caratterizzanti. (*Palazzo A., Wikitecnica, 2011*). Nelle città è intensa l'attività industriale che produce gran quantità di gas inquinanti così come sono intense le reti di trasporto, le emissioni dovute ai riscaldamenti ecc... tutti questi fattori creano una situazione di vivibilità che avvolte può nuocere sia fisicamente sia psicologicamente alle persone. Respirare quotidianamente gas inquinanti e micropolveri, vivere in mondo grigio circondato di edifici senza poter evadere dopo una giornata di duro lavoro, subire ogni giorno lo stress del traffico, far fronte all'inquinamento acustico e all'effetto isola di calore sono questi tutti i problemi che un uomo che vive in città si ritrova a fronteggiare. Per far fronte a ciò le soluzioni più innovative sono l'introduzione all'interno delle aree urbane delle zone verdi. Di verde urbano abbiamo molti esempi come giardini storici, parchi urbani, spazi verdi di quartiere, viali alberati, aiuole, rotonde e verde stradale, campi sportivi, verde privato e residenziale. Queste figure sono da sempre state parte delle città; già nell'antichità nelle "grandi città" egizie e babilonesi erano presenti giardini ed aree verdi, queste aree però, destinate alla nobiltà erano prettamente private e generalmente si trattava di giardini all'interno dei grandi palazzi nobiliari. Nell'età medievale invece c'è la diffusione dei giardini recintati privati mentre il concetto di giardino pubblico in Europa si afferma solo nel XVI e XVII secolo.

Le strutture definite come aree verdi urbane hanno molteplici effetti positivi (*Fritegotto S., Funzioni, analisi e classificazione del Verde Urbano, marzo 2016*):

- Funzione ecologico-ambientale: il verde, anche all'interno delle aree urbane, costituisce un fondamentale elemento di presenza ecologica ed ambientale, che contribuisce in modo sostanziale a mitigare gli effetti di degrado e gli impatti prodotti dalla presenza delle edificazioni e dalle attività dell'uomo. Fra l'altro la presenza del verde contribuisce a regolare gli effetti del microclima cittadino attraverso l'aumento

dell'evapotraspirazione, regimando così i picchi termici estivi con una sorta di effetto di "condizionamento" naturale dell'aria.

- Funzione sanitaria: In certe aree urbane, in particolare vicino agli ospedali, la presenza del verde contribuisce alla creazione di un ambiente che può favorire la convalescenza dei degenti, sia per la presenza di essenze aromatiche e balsamiche, sia per l'effetto di mitigazione del microclima, sia anche per l'effetto psicologico prodotto dalla vista riposante di un'area verde ben curata.
- Funzione protettiva: il verde può fornire un importante effetto di protezione e di tutela del territorio in aree degradate o sensibili (argini di fiumi, scarpate, zone con pericolo di frana, ecc), e viceversa la sua rimozione può in certi casi produrre effetti sensibili di degrado e dissesto territoriale.
- Funzione sociale e ricreativa: la presenza di parchi, giardini, viali e piazze alberate o comunque dotate di arredo verde consente di soddisfare un'importante esigenza ricreativa e sociale e di fornire un fondamentale servizio alla collettività, rendendo più vivibile e a dimensione degli uomini e delle famiglie una città. Inoltre, la gestione del verde può consentire la formazione di professionalità specifiche e favorire la formazione di posti di lavoro.
- Funzione igienica: le aree verdi svolgono una importante funzione psicologica ed umorale per le persone che ne fruiscono, contribuendo al benessere psicologico ed all'equilibrio mentale
- Funzione culturale e didattica: la presenza del verde costituisce un elemento di grande importanza dal punto di vista culturale, sia perché può favorire la conoscenza della botanica e più in generale delle scienze naturali e dell'ambiente presso i cittadini, sia anche per l'importante funzione didattica (in particolare del verde scolastico) per le nuove generazioni. Inoltre, i parchi e i giardini storici, così come gli esemplari vegetali di maggiore età o dimensione, costituiscono dei veri e propri monumenti naturali, la cui conservazione e tutela rientrano fra gli obiettivi culturali del nostro consesso sociale.
- Funzione estetico-architettonica: anche la funzione estetico-architettonica è rilevante, considerato che la presenza del verde migliora decisamente il paesaggio urbano e rende più gradevole la permanenza in città, per cui diventa fondamentale favorire un'integrazione fra elementi architettonici e verde nell'ambito della progettazione dell'arredo urbano

C'è poi un altro beneficio tangibile per la nostra salute e comprovato da ricerche scientifiche: il fogliame degli alberi rilascia infatti sostanze volatili (i cosiddetti monoterpeni) che influiscono favorevolmente sul nostro sistema immunitario, regalandoci un organismo più forte. Gli effetti positivi del verde urbano sul cervello umano sono stati dimostrati dai risultati della ricerca italiana condotta da Viola Follini. In collaborazione con Thimus, startup di Brescia, la ricercatrice ha usato strumenti scientifici e una ricerca sperimentale sul campo per evidenziare come il verde urbano si rifletta positivamente sulla salute mentale. Lo studio ha coinvolto 14 soggetti, osservati e registrati per 40 minuti in due parchi di Milano, il parco Indro Montanello e Citylife. Molti studi statunitensi confermano, inoltre, che il verde urbano funge da deterrente contro la microcriminalità, migliorando la vita e la sicurezza del nostro habitat, ad esempio, un gruppo di epidemiologi e urbanisti dell'università americana, ha trasformato una serie di aree urbane degradate, nella città di Philadelphia ad economiche opere di sistemazione del terreno, piantando erba, alberi e arbusti, fino a trasformare le zone degradate in piccoli giardini "fai da te". Dopo avere analizzati i registri della polizia prima e dopo gli interventi e comparando le aree "bonificate" con quartieri simili della città lasciati com'erano, i ricercatori hanno trovato che gli episodi criminali sono complessivamente diminuiti del 13%, i furti del 22% e le sparatorie del 30% con la conseguenza di un netto cambiamento della percezione di sicurezza e tranquillità dei cittadini, che si sono dimostrati meno preoccupati di muoversi nella zona, per il 58% in più rispetto a quartieri in cui questi interventi non erano stati fatti e le persone che vivevano nella zone risistemare uscivano di casa per godersi il verde e rilassarsi nei giardini il 70% in più rispetto alle altre zone (*sciencemag.org – Proceedings of the National Academy of Sciences*). Dal punto di vista legislativo l'inverdimento nelle aree urbane viene sempre più incentivato; ad esempio, iniziando dagli ultimi mesi, la CONAF (consiglio ordine nazionale dottori agronomi e dottori forestali) ha sancito l'intesa per "la progettazione degli interventi e il riparto delle risorse per il finanziamento di un programma sperimentale di messa a dimora di alberi per la creazione di foreste urbane e periurbane nelle città metropolitane." Si tratta di un fondo da 30 milioni di euro per opere di rinaturazione e per la realizzazione di spazi di verde urbano. Il 16 febbraio 2013 invece è entrata in vigore la legge nazionale 10/2013: "Norme per lo sviluppo degli spazi verdi urbani", in linea con i principi del protocollo di Kyoto. Questa norma mette in evidenza l'importante ruolo che gli alberi, in particolar modo, rivestono nel controllo delle emissioni, nella protezione del suolo, nel miglioramento della qualità dell'aria, del microclima e della vivibilità delle città, rende strategica per qualsiasi amministrazione comunale la conoscenza dettagliata del proprio patrimonio arboreo. La legge 10/2013 prevede che:

- tutti i comuni sopra i 15.000 abitanti si dotino di un catasto degli alberi
- per ogni bambino nato o adottato nei comuni sopra ai 15.000 abitanti venga piantato (teoricamente) un nuovo albero dedicato
- i dati dell'albero dedicato vengano comunicati ai genitori del bambino
- gli amministratori del comune producano un bilancio del verde a fine mandato, che dimostri l'impatto dell'amministrazione sul verde pubblico (numero di alberi piantumati ed abbattuti, consistenza e stato delle aree verdi, ecc.)

Certo, per quanto riguarda tutti i processi di inverdimento nelle città, bisogna utilizzare dei criteri scelta e non si possono piantare alberi casualmente altrimenti potremmo portare anche effetti negativi come, ad esempio, radici che provocano rottura di marciapiedi e strade. Bisogna inoltre adottare un adeguato sistema di manutenzione come potature per evitare che alcune branche della pianta, in seguito a eventi climatici come vento o neve, possano cadere e danneggiare persone, veicoli o abitazioni. In linea di massima è bene quindi scegliere specie che abbiano elevata resistenza ai diversi inquinanti atmosferici la cui concentrazione è elevata in città; specie rustiche con buona resistenza a malattie, buona capacità di ridurre la carica batterica nell'aria, specie che abbiano ridotte esigenze di manutenzione e che siano resistenti alle avversità atmosferiche. In città c'è anche bisogno che queste specie abbiano buona resistenza alla siccità, elevato valore estetico e decorativo ed inoltre è importante che non creino nessun pericolo o inconveniente per i cittadini.

5. POTENZIALITA' APPLICATIVE DELLA TECNOLOGIA

5.1 Telerilevamento (remote sensing)

Ai fini della ricerca, sono stati utilizzati strumenti e mezzi sfruttanti il telerilevamento. Per telerilevamento (in inglese remote sensing) si intende una disciplina tecnico-scientifica che ha la funzione di ottenere informazioni, qualitative e quantitative, sull'ambiente o, in senso più generale, su oggetti posti a distanza da un sensore, sfruttando le onde elettromagnetiche. Proprio le onde elettromagnetiche, infatti, hanno il compito di trasportare informazioni dal punto che si deve osservare al sensore, che invece dovrà captare tali informazioni per renderle poi fruibili alle tecnologie utili alla loro decifrazione. Di fatti, il termine telerilevamento in senso stretto significa “osservazione da lontano” ed è pertanto sinonimo di “rilevamento a distanza”. Proprio per questo possiamo considerare un telerilevamento qualsiasi cosa per la quale non sia possibile una misura diretta ma anzi indiretta. Il telerilevamento sfrutta foto, immagini e dati numerici rilevati da satelliti, aerei o sonde, per caratterizzare superfici e oggetti nello spazio.

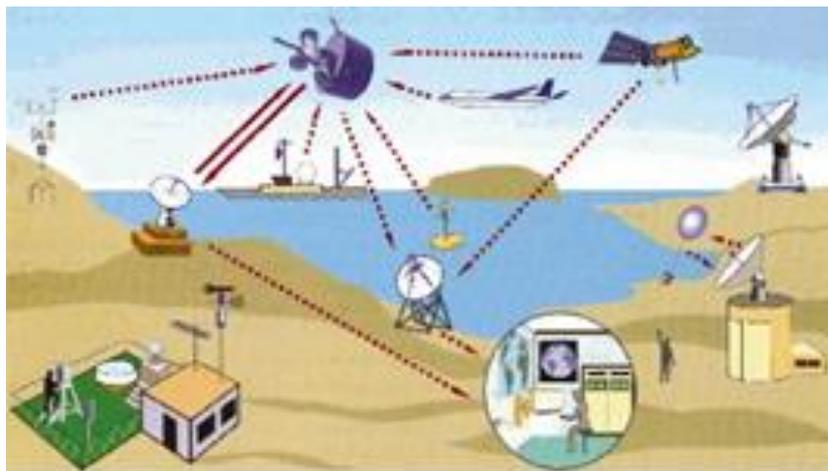


Figura 14: Schema di funzionamento del telerilevamento (www.nautica.it)

5.2 Geoinformazione, geodati e GIS (geographic information system)

La geoinformazione ha, tra i suoi cardini, proprio il telerilevamento. Per geoinformazione si intende un insieme di informazioni georeferenziate, ovvero informazioni contestualizzate dal punto della loro dislocazione geografica all'interno dello spazio, scaturite dall'utilizzo di telerilevamento e dalla conseguente interconnessione dei geodati ottenuti.

I geodati sono proprio dati georeferenzati in possesso di un riferimento anche temporale, che descrivono estensioni, caratteristiche, posizioni assolute e relative, utilizzazione e altre caratteristiche di determinati aspetti della realtà, quali spazi geografici o manufatti. Praticamente i dati georeferenzati descrivono un paese, un luogo geografico, un sito sottoforma di coordinate, nomi, indirizzi e altri criteri. Senza il telerilevamento non sarebbe possibile la geoinformazione come la si intende oggi, perché mancherebbero le informazioni basilari per intraprendere qualsiasi ricerca. Al giorno d'oggi, vari aspetti della vita della società possono essere più facilmente pianificati, monitorati e analizzati tramite le geoinformazioni.

In particolare, nel caso di questo lavoro, è stata sfruttata al massimo la geoinformazione via web. In parole povere, la maggioranza dei geodati e le geoinformazioni che verranno utilizzate in questa ricerca sono stati dedotti e ricavati via web, da siti e software appositamente dedicati e open source, ovvero in maniera completamente libera e gratuita. Oltre che una necessità, l'utilizzo di geoinformazione via web open source è stato in taluni casi necessario, per sveltire il lavoro e per reperire informazioni che in altri modi non si sarebbero potute ottenere o le si sarebbero potute ricavare con un lungo e complesso lavoro di ricerca in appositi centri o presso le pubbliche amministrazioni. Pertanto la geoinformazione, in particolare via web, e il suo cardine fondamentale, il telerilevamento, hanno permesso e stanno permettendo all'umanità, visto che si tratta di tecnologie in continua evoluzione e miglioramento, di avere a disposizione una miriade di informazione geograficamente referenziate da poter sfruttare in vari ambiti e per molteplici scopi, dal più semplice che riguarda il singolo ai più complessi che riguardano intere popolazioni in ogni parte del mondo. Le immagini telerilevate utilizzate per fare geoinformazione sono di fondamentale importanza per lo studio del pianeta, e vengono utilizzate oramai da lungo tempo.

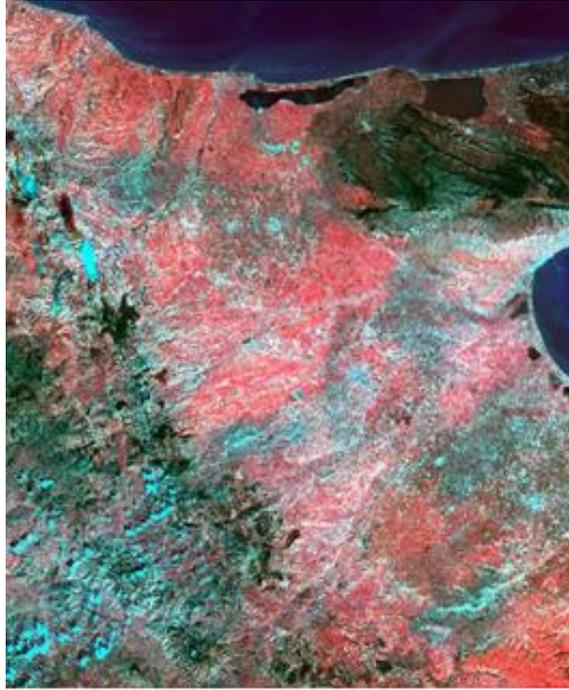


Figura 15: Esempio di immagine telerilevata (www.elabsrl.com/remotesensing.html)

Molto importanti però sono anche le ortofoto, ovvero foto scattate da aerei, a opportune e varie altezze dal suolo, che sono state orto rettificate, ovvero adattate ad essere rappresentate su di un piano in maniera fedele e nitida, e georeferenziate.

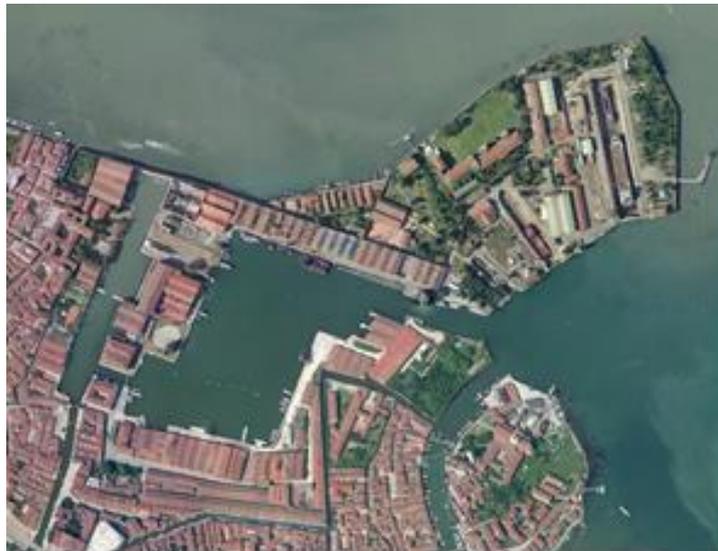


Figura 16: Esempio di ortofoto (<http://www.iuav.it/Ateneo1/docenti/architetto/docentist/Franca-Pit/materiali-1/materiale-/ortofoto.jpg>)

Lo studio mediante l'utilizzo di immagine telerilevate prevede principalmente tre fasi, ovvero l'acquisizione stessa delle immagini, l'elaborazione dei dati ottenuti e, infine, la loro interpretazione o il loro utilizzo, a seconda degli scopi. Il mezzo che più di tutti sfrutta il telerilevamento e si è posto, negli ultimi anni, come il punto fermo fondamentale per la geoinformazione e l'elaborazione dei dati è sicuramente il GIS.

Uno dei software GIS più utilizzati è Quantum GIS (spesso abbreviato come QGIS); esso è un'applicazione desktop GIS Geographical Information System, open Source molto simile nell'interfaccia utente e nelle funzioni alle release di pacchetti GIS commerciali equivalenti. Quantum GIS è mantenuto continuamente da un attivo gruppo di sviluppatori volontari che emettono con regolarità aggiornamenti e correzioni. Al momento Quantum Gis ha una interfaccia tradotta in 14 lingue ed è usato nella scuola e in ambiente professionale. Il software viene rilasciato come multiplatforma e dal sito possono essere scaricate le compilazioni per Mac OS X, Linux, UNIX, e Microsoft Windows. Essendo distribuito come pacchetto Open Source, il codice sorgente di Quantum GIS è liberamente messo a disposizione dagli sviluppatori e può essere scaricato e modificato. Questo permette la sua riprogrammazione per rispondere a specifiche esigenze. Per aumentare le funzionalità e la compatibilità possono altresì essere compilati dei Plug-In, piccole estensioni caricate al momento del lancio del programma. Quantum GIS permette di far confluire dati provenienti da diverse fonti in un unico progetto di analisi territoriale. I dati, divisi in Layers, possono essere analizzati e da essi viene creata l'immagine mappa con il graficismo che può essere personalizzato dall'utente ed eventualmente rispondere alle analisi tipiche del GIS (gradazione di colori, sfumatura di colore, valore unico). La mappa può essere arricchita da icone e da etichette dipendenti dagli attributi degli elementi cartografici. Un sistema di scripting può essere invocato per gestire operazioni ripetitive sui dati. I dati possono essere riproiettati dinamicamente.

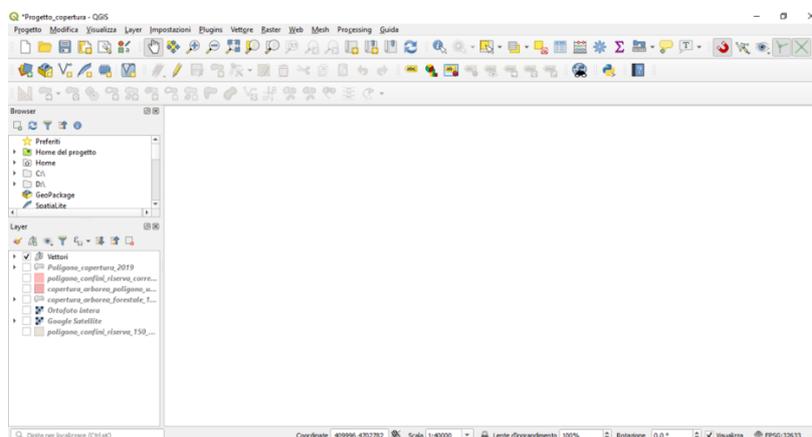


Figura 17: Esempio schermata iniziale del software QGIS

6. ANALISI CASI DI STUDIO

6.1 Sassuolo: studio delle specie arboree urbane e mappatura dello stoccaggio di carbonio per la gestione delle aree urbane.

Sono in corso degli studi che si occupano dell'importanza che viene attribuita agli alberi urbani per la mitigazione del carbonio atmosferico e il loro utilizzo su un sistema di pianificazione e gestione del verde urbano. Uno di questi studi è stato seguito dal dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali dell'Università Politecnica delle Marche in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari dell'Università di Modena e Reggio Emilia e con il Dipartimento di Scienze della Terra e dell' Ambiente di Lovanio. Lo studio dimostra le tesi affrontate nei paragrafi precedenti: cerca di stabilire, attraverso metodi che spiegherò successivamente, qual è la quantità di carbonio che una specie arborea riesce ad assorbire e quindi a sottrarla dall'atmosfera. Lo studio è stato fatto sulla città di Sassuolo, in provincia di Modena, che risulta essere un'area molto famosa a livello europeo per l'elevato tasso di inquinamento presente. Sassuolo si trova in Italia settentrionale e più precisamente nella valle del Po' che è una delle aree più produttive in Europa dal punto di vista agricolo e dove abbiamo anche sistemi intensivi di allevamento ed ampi distretti produttivi. L'area sottoposta a studio è un'area urbana di circa 273 ettari dove sono state identificate cinque principali specie di alberi dominanti: *Quercus spp.*, *Acer campestre*, *Populus nigra*, *Platanus spp.* e *Tilia platyphyllos*. Questi dati sono stati ottenuti tramite analisi degli shapefile resi disponibili dal Geoportale della regione Emilia-Romagna ed attraverso immagini del WV3. WorldView-3 (WV3) è un satellite commerciale per l'osservazione della Terra di proprietà di DigitalGlobe. È stato lanciato il 13 agosto 2014 per diventare il sesto satellite in orbita di DigitalGlobe. WorldView-3 fornisce immagini pancromatiche (ossia sensibile a tutte le lunghezze d'onda; in caso di immagini digitali ottenute da satelliti per telerilevamento, un'immagine in pancromatico è molto utile, in quanto permette di raggiungere risoluzioni spaziali maggiori, meglio anche della risoluzione multispettrale.) disponibili in commercio con risoluzione di 0,31 m (12 pollici), immagini multispettrali a otto bande con risoluzione di 1,24 m (4 piedi 1 pollici) e immagini a infrarossi a onde corte a una risoluzione di 3,7 m (12 piedi 2 pollici).



Figura 18: Rappresentazione del satellite WV3

Il territorio è stato diviso in 22 appezzamenti da 100 m² e tra essi sono stati presi in considerazione solo 7 appezzamenti per valutare e mappare il carbon stock. Per ogni pianta sono stati necessari rilevare alcuni dati come il DBH, altezza, indicarne coordinate geografiche e specie. Il DBH è un metodo standard per esprimere il diametro del tronco di un albero; è una tra le misurazioni dendrometriche più utilizzate e consiste nel misurare il calibro del tronco all'altezza del seno di un adulto. L'altezza al seno può avvolta essere diversa a seconda dei paesi e delle situazioni, ma la più frequente è la misurazione a 1,3 m da terra ed è quella con la quale sono state effettuate le misure nel caso oggetto di analisi.



Figura 19: Esempio di misurazione del tronco ad altezza seno

Per ottenere l'altezza di un albero invece è stato adottato un approccio fotogrammetrico: sono state scattate delle immagini 2D attraverso una fotocamera digitale per permettere poi la ricostruzione di un modello 3D tramite l'approccio *Sfm*. Structure from Motion (SfM) è una tecnica che utilizza una serie di immagini bidimensionali per ricostruire la struttura tridimensionale di una scena o di un oggetto. SfM può produrre modelli 3D basati su nuvole di punti. Questa tecnica può essere utilizzata per creare modelli di superficie digitale ad alta risoluzione (inclusi modelli di elevazione digitale) e modelli di oggetti con fotocamere digitali. La tecnica, relativamente nuova, è stata resa possibile dai progressi nei computer, nelle fotocamere digitali e nei sistemi aerei senza pilota. Insieme, questi progressi, hanno ora reso possibile per un'ampia gamma di utenti la possibilità di generare modelli 3D senza una vasta esperienza o apparecchiature costose. SfM si basa sugli stessi principi della fotogrammetria stereoscopica. Nella stereofotogrammetria, la triangolazione viene utilizzata per calcolare le posizioni 3D relative (x, y, z,) degli oggetti. Tradizionalmente queste tecniche richiedono costose apparecchiature e software specializzati. Per creare una ricostruzione 3D sono necessarie semplicemente molte immagini di un'area o di un oggetto con un alto grado di sovrapposizione, prese da diverse angolazioni e non è necessario che la fotocamera sia specializzata. I pacchetti software specializzati possono identificare automaticamente le caratteristiche corrispondenti in più immagini. Queste caratteristiche distintive sono spesso angoli o segmenti di linea, vengono tracciate da immagine a immagine e vengono utilizzate per produrre stime delle posizioni e degli orientamenti della telecamera e delle coordinate delle caratteristiche. Questo produce una nuvola di punti di coordinate x, y, z per gli elementi. I metodi SfM sono stati impiegati utilizzando immagini di crowdsourcing per creare modelli 3D di edifici storici e altri monumenti. Le nuvole di punti 3D sono spesso generate in un sistema di coordinate "spazio-immagine" relativo, ma possono essere allineate a un sistema di coordinate del mondo reale utilizzando punti di controllo a terra e immagini georeferenziate. In questo caso è stato utilizzato il programma Agisoft Metashape (AM) per elaborare le immagini 2D ed ottenere il modello 3D. Tutti gli alberi sono stati fotografati in diverse direzioni; per garantire una miglior precisione è necessario, infatti, garantire una geometria di visualizzazione variabile per ottenere risultati accurati. Le foto sono state fatte tramite una normale fotocamera digitale a intervalli regolari lungo il perimetro di ogni appezzamento; sono state scattate foto a semicerchio anche nella parte più interna del perimetro per catturare immagini che descrivano tutti gli alberi. Le foto, inoltre, sono state scattate con diverse inclinazioni fino ad ottenere circa 120/150 foto per appezzamento.



Figura 20: *Nuvole di punti densi di uno dei grafici studiati (vista modello AM), i quadrati blu rappresentano le posizioni delle immagini acquisite.*

Al progetto possono essere inserite delle coordinate per indicare la posizione degli oggetti fotografati, se questo non viene fatto allora la nuvola di punti verrà automaticamente inserita dal software in un sistema di riferimento privo di georeferenziazione e scala.

Visto che l'approccio sopra valutato serviva per misurare l'altezza dei nostri alberi, allora per facilitare il tutto è stata inserita all'interno dell'area fotografata una barra graduata di 4 m. Adesso quindi ottenuto il nostro modello 3D tramite il software AM, la stima dell'altezza è stata fatta tramite la creazione di una scala e poi la misura del segmento tra due punti (base del tronco ed apice della chioma della pianta). I risultati delle altezze medie stimate sono state raccolte nella tabella seguente.

Tabella 1: *Risultati delle altezze medie delle diverse specie*

Specie di alberi	Altezza media (m)
<i>Quercus spp.</i>	16.15
<i>Acer campestre</i>	10.14
<i>Populus nigra</i>	29.15
<i>Platanus spp.</i>	18.2
<i>Tilia platyphyllos</i>	12.52

A questo punto è stato necessario convalidare i dati per verificare l'accuratezza delle misurazioni fatte e ciò è stato fatto tramite misurazioni con scansione laser. Per fare la

convalida è stata utilizzata una piccola porzione di edificio dove sono stati misurati i segmenti attraverso il metodo fotogrammetrico e la scansione laser.



Figura 21: Segmenti misurati sulla facciata di un edificio

È stata usata con questo scopo una stazione di scansione Leica C10 la cui precisione era inferiore a 5 mm. I risultati sono stati poi raccolti in una tabella e confrontati per valutare le discrepanze. La media della differenza tra le due misurazioni risulta di circa 4 cm e ciò accredita l'utilizzo del metodo SfM per la sperimentazione in esame.

Tabella 2: Confronti delle misurazioni dell'altezza ottenute con i due metodi sopra citati.

Segmento	Scansione lasering	Fotogrammetry	Discrepanza (valore abs)
(a)	6,19 m	6,21 m	0,02 m
(b)	13,21 m	13,16 m	0,05 m
(c)	10,38 m	10,45 m	0,07 m
(d)	8,35 m	8,38 m	0,03 m
(e)	5,38 m	5,41 m	0,03 m
	Valore medio		0,04 m

Il passo successivo consiste nella mappatura del carbon stock attraverso il software QGIS; per fare ciò è stato utilizzato uno shapefile dove è presente una classificazione degli alberi in base alla specie. La classificazione è stata fatta tramite “approccio OBIA”: è una tecnica che permette di sfruttare non solo l'informazione radiometrica dei pixels (approccio pixel-based) ma anche le proprietà semantiche degli oggetti da classificare. Il risultato finale sarà di natura vettoriale e compatibile con GIS. All'interno della copertura vegetale questo metodo analizza i pixel e li aggrega per valori simili creando una stratificazione di layer con caratteristiche simili. Si ha così una definizione delle regioni che, in maniera auto-consistente, corrispondono

agli oggetti reali, etichettate con un singolo attributo. Il processo di classificazione object-based analizzato si compone da due azioni: la segmentazione e la classificazione. La segmentazione è un processo di suddivisione di un'immagine in porzioni separate (oggetti/poligoni) che sono dei raggruppamenti di pixels vicini che presentano analoghe caratteristiche come lucentezza, colore, tessitura. I poligoni corrispondono idealmente ad oggetti appartenenti al mondo reale. A causa dell'elevata somiglianza delle immagini spettrali è stato difficile nello studio individuare e classificare le specie, ma alla fine si è ottenuto 4 specie dominanti nei parchi e 3 per le strade.

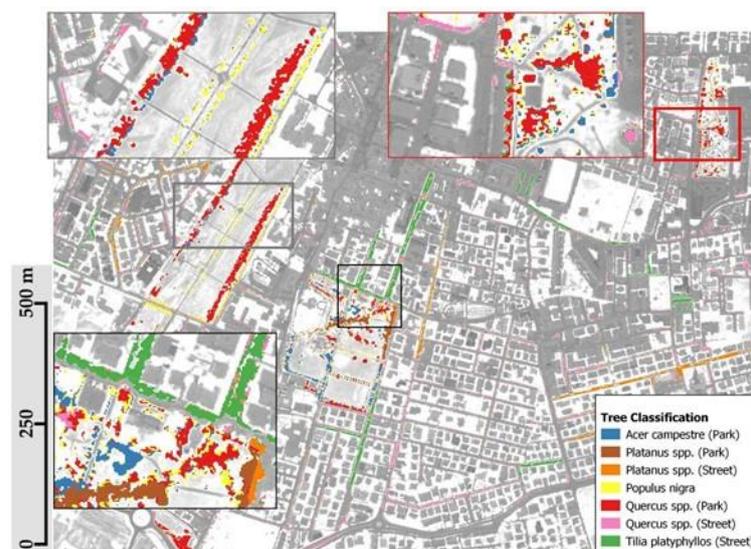


Figura 22: Classificazione ottenuta con approccio OBIA

Questo metodo di classificazione è anch'esso stato convalidato per permettere di conoscere l'errore; per la convalida sono state individuate aree pari al 5% della superficie totale ed è stato utilizzato la matrice di confusione. La matrice di confusione, detta anche tabella di errata classificazione, restituisce una rappresentazione dell'accuratezza di classificazione statistica. Attraverso l'uso della matrice di confusione è possibile calcolare il coefficiente kappa, anche conosciuto come coefficiente kappa di Cohen (KIA) che rappresenta il grado di accuratezza e affidabilità in una classificazione statistica; è un indice di concordanza che tiene conto della probabilità di concordanza casuale. L'indice è calcolato in base al rapporto tra l'accordo in eccesso rispetto alla probabilità di concordanza casuale e l'eccesso massimo ottenibile. Inoltre, è possibile ottenere due valori di accuratezza significativi: Producer Accuracy di X = (numero di valori correttamente classificati come classe X) / (numero di valori appartenenti alla classe X) che fornisce un'indicazione della completezza della classificazione e User Accuracy di X

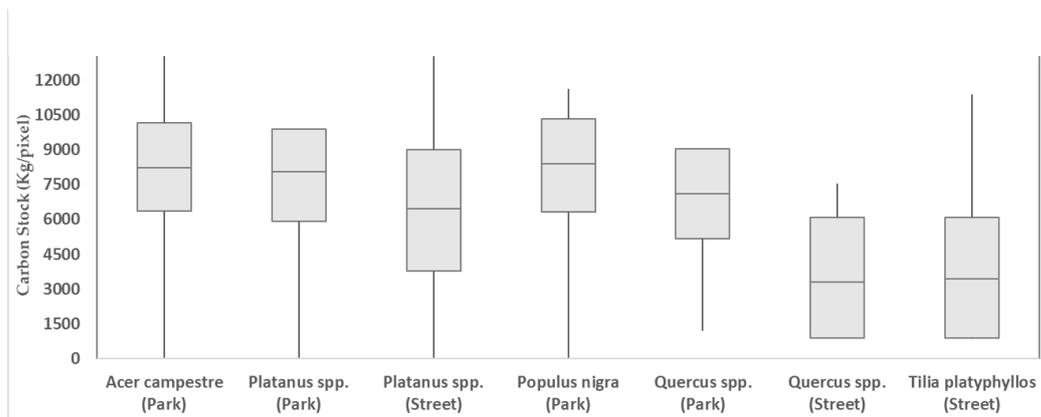
= (numero di valori correttamente classificati come classe X) / (numero di valori classificati come classe X) che fornisce un'indicazione della correttezza. Abbiamo poi il parametro Hellden che rappresenta invece la precisione media delle singole classi. La precisione complessiva è il rapporto tra la somma dei valori diagonali della matrice di confusione e il numero totale di conteggi delle celle nella matrice. Dà un'idea della precisione per tutte le classi considerate.

Tabella 3: Rappresentazione % dei dati della convalida

	<i>Populus nigra</i>	<i>Quercus spp. parco</i>	<i>Acer campestre parco</i>	<i>Tilia platyphyllos via</i>	<i>Platanus spp. parco</i>	<i>Quercus spp. via</i>	<i>Platanus spp. via</i>
PA ¹	0.87	0.79	0.68	0.63	0.81	0.70	0.82
UA ¹	0.79	0.89	0.81	0.52	0.73	0.55	0.97
Hellden KIA	0.83	0.83	0.74	0.57	0.77	0.62	0.89
per classe	0.83	0.71	0.65	0.59	0.78	0.68	0.79
	Precisione complessiva			0.78			
	Kia			0.74			

Adesso tramite un calcolo basato su NDVI è stato possibile ottenere, su QGIS, la quantità di CO₂ assorbita dalle piante. L'Indice di Vegetazione, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), sfrutta la diversa risposta della copertura vegetale alle bande spettrali del visibile (rosso) e del vicino infrarosso, e fornisce un valore numerico compreso tra -1 e +1. Tale valore è stato dimostrato essere in stretta relazione con lo stato di salute della vegetazione, intesa come biomassa e area fogliare, ed ai processi biochimici ad essa correlati (attività fotosintetica). La caratteristica del comportamento dei pigmenti delle foglie non sottoposte a stress è infatti quella di riflettere soltanto circa il 10% della radiazione ricevuta nella regione spettrale della luce visibile (rosso), ed allo stesso tempo di riflettere oltre il 40% di quella ricevuta nell'infrarosso vicino. Valori bassi di NDVI si verificano in aree a bassa o assente copertura vegetale, o dove la vegetazione presente è senescente o sofferente, mentre gli alti valori dell'indice rispecchiano una situazione di forte attività fotosintetica e quindi elevata presenza di biomassa. I risultati ottenuti sono stati rappresentati attraverso il seguente grafico a box.

Tabella 4: Rappresentazione del CS calcolato su QGIS



Sempre per rendere veritieri tali valori, c'è voluta una convalida; per fare ciò sono stati presi casualmente 7 zone tra cui 4 nelle strade e 3 nei parchi. I risultati sono stati che i valori di CS medi risultavano per lo più inferiori rispetto ai valori CS calcolati tramite metodo NDVI; in particolare quest'ultimo metodo è risultato più efficace sulle piante rilevati in strada (differenze minori nei valori di CS) piuttosto che quelli nei parchi e ciò perché nelle strade le singole piante sono più evidenti e distanziate le une dalle altre mentre nei parchi specie più piccole sono state sovrapposte da specie più grandi e quindi parte del CS è stato sovrapposto oppure una corona è stata confusa con un'altra che aveva diverso valore di CS.

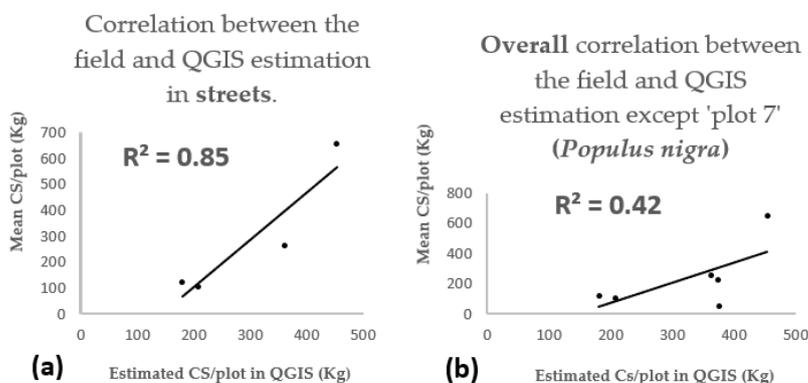
Tabella 5: Differenze tra il CS calcolato tramite metodo NDVI e quello ottenuto tramite dati medi

ID di stampa	Specie di alberi	Media CS/plot (Kg)	CS/plot (Kg) calcolato in QGIS	Differenze di stima (Kg)/grafico
1	<i>Platanus spp.</i> (Strada)	124	180	55
2	<i>Platanus spp.</i> (Strada)	105	207	102
3	<i>Platanus spp.</i> (Strada)	655	453	202
4	<i>Tilia platyphyllos</i> (Via)	262	361	99
5	<i>Acer campestre</i> (Parco)	51	375	324

6	<i>Quercus spp.</i> (Parco)	226	374	148
7	<i>Populus nigra</i> (Parco)	817	289	528

È stata anche effettuata un'analisi di regressione per comprendere l'efficienza del calcolo del CS durante la mappatura e negli alberi di strada il coefficiente di correlazione “R²” era superiore all'80% mentre nei parchi (ad eccezione di *populus nigra*) il coefficiente è stato pari al 42%. È stato notato un particolare su *Populus nigra*, infatti esso mostra una differenza piuttosto elevata nel calcolo del CS. Questo è dovuto alla sua tipica struttura fastigiata con corona molto stretta che porta la pianta a non essere molto evidente nelle foto dall'alto e quindi nel calcolo del CS tramite metodo NVDI su QGIS, la sua superficie fogliare è stata sottostimata. Per altre specie invece soprattutto nel parco (come *Acer campestre*), alcune corone più piccole sono circondate da corone più grandi e quindi i suoi valori NDVI calcolati risultavano essere maggiori rispetto a quelli reali.

Tabella 6: Correlazione lineare tra stima in campo e calcolo del CS su QGIS con metodo NVDI. A sinistra analisi in strada mentre a destra analisi in un parco



Tutto ciò a dimostrare che la metodologia utilizzata in questo contesto risulta essere efficace e permette di ottenere una mappatura del CS in città in maniera più rapida e comunque precisa evitando i metodi tradizionali molto dispendiosi economicamente e la cui durata è certamente maggiore. Certo questa metodologia risulta dipendere però in gran parte dalla classificazione

degli alberi che, nelle aree densamente vegetate, potrebbe risultare difficile ed è per questo che nello studio sopra analizzato sono state prese in considerazione solo le specie dominanti.

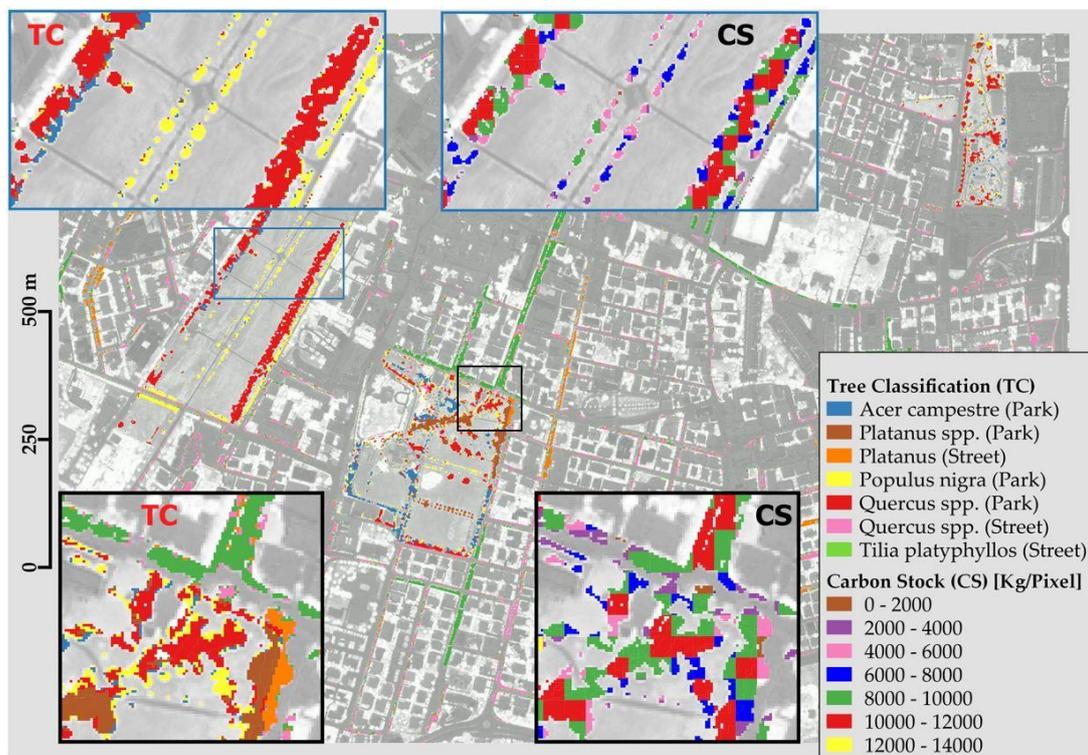


Figura 23: Mappatura su QGIS dove sono visualizzati i CS lungo le strade (in alto) e i CS nei parchi (in basso)

6.2 Ancona: evoluzione del green belt

In questa analisi proverò a fare una ricostruzione del vecchio “anello verde” che circondava in passato la città di Ancona e lo confronterò con la situazione attuale, con quelle che oggi sono le diverse aree verdi urbane e periurbane presenti sul territorio del capoluogo. Il materiale che mi ha permesso questo lavoro è stato fornito dal Professore Ing. Francesco Paci sotto forma di shapefile vettoriali e file raster sulle quali ho fatto un’analisi esclusivamente sul software QGIS giocando attraverso sovrapposizioni di layer e l’uso di diversi colori. Per un’idea su come improntare il lavoro ho fatto un sopralluogo nel Parco del Cardeto insieme allo stesso Professor Paci ed alla botanica Nicole; durante questa uscita ho potuto acquisire le principali informazioni storiche della città grazie alle spiegazioni impartitemi dal Professore. Ho scattato delle foto nelle quali ho preso appunti per visualizzare meglio quali fossero le zone di maggior rilevanza storica, quali fossero le zone di nuova introduzione e soprattutto quali fossero i parchi urbani e le zone verdi interessanti per lo studio.

La prima fase è stata quella di definire quali erano i confini della vecchia città di Ancona; ciò è stato possibile grazie alla visualizzazione del catasto gregoriano. Il Catasto Piano-Gregoriano è stato il primo catasto particellare moderno dello stato pontificio e può essere facilmente reperito sul web; quello utilizzato nel nostro lavoro è stato il censimento eseguito nel 1815. Il materiale mi è stato recapitato già georeferenziato, altrimenti questi file li avrei dovuti georeferenziare attraverso sempre il software QGIS con l’inserimento di 4 coordinate geografiche ben definite. Sono state usate 3 carte: una rappresentante la Cittadella di Ancona che è una grande opera militare rinascimentale; storicamente e popolarmente è detta anche Fortezza. È stata costruita nel 1532, sorge sulla cima del colle Astagno, in posizione panoramica, affacciata sulla città e sul porto. La seconda rappresentante il molo nord della città mentre la terza che rappresenta il Guasco Cardeto che è uno dei colli sulla quale è sviluppata la città. Nell’immagine sono presenti poligoni verdi che comprendono aree verdi urbane che quindi già all’epoca erano contemplate all’interno della città.



Figura 24: Le tre planimetrie catastali della vecchia Ancona georeferenziate

Le cinte murarie della città hanno subito nel corso della storia un ampliamento dovuto alla esigenza del centro cittadino di accresci a causa della maggior densità della popolazione che aumentava nel corso del tempo. Le prime furono innalzate nel XV secolo e nella figura sottostante sono rappresentate da una cinta muraria gialla che circonda la vecchia cittadina. Successivamente nella seconda metà del Settecento vi fu un primo ampliamento rappresentato dalle mura in azzurro; l'ultima muratura risale al periodo post-unitario (1861) ed è rappresentata di color rosso nella foto che segue.



Figura 25: Rappresentazione dell'evoluzione della cinta muraria di Ancona

La funzione di questa cinta muraria era sicuramente quella di isolare la città ma aveva soprattutto un ruolo di difesa. Nel nostro caso le mura vengono considerate come un confine tra la città e la campagna; tutte le aree verdi presenti all'interno delle mura (giardini pubblici e privati, orti ecc...) possono essere considerate quindi come verde urbano. Tutto ciò presente fuori dalle mura ma a stretto contatto con esse possiamo al giorno d'oggi definirlo come zona periurbana e zona rurale dove le aree verdi presenti andavano da boschi a zone rurali abbandonate passando anche attraverso campi coltivati. Non abbiamo dati su quelle che erano le estensioni di queste aree verdi, però dal vecchio catasto gregoriano e dall'evoluzione delle cinte murarie siamo in grado di ipotizzare come fosse la distribuzione di queste aree e qual è stata la loro evoluzione negli anni passati.

Quello che invece possiamo fare è analizzare la situazione odierna, che invece risulta ben definita, e confrontarla con i confini vecchi. Ad oggi il comune di Ancona si estende per una superficie di circa 125 km², si affaccia sul mare grazie anche al suo golfo ed orograficamente il territorio urbano è contraddistinto dalla presenza di fasce collinari alternate ad alcune vallate. Le zone che maggiormente prendiamo in considerazione sono quelle delle aree verdi presenti nei confini. Il primo parco pubblico che viene considerato come un'area verde urbana è il Parco del Cardeto. Questo Parco si estende per una superficie di 35 ettari circa, si affaccia a picco sul mare e comprende luoghi di diverso valore storico come il museo antico del cimitero ebraico, il Bastione San Paolo, il vecchio faro Ottocentesco ecc... Il parco presenta 6 ingressi (uno chiuso al pubblico) ed un percorso interamente percorribile a piedi.



Figura 26: Parco del Cardeto con percorso evidenziato

All'interno di questo spazio pubblico sono state fatte diverse iniziative per implementare l'interesse che il parco stesso è in grado di offrire alla popolazione; una di queste è stato il progetto CyberParks: esso si propone di promuovere la conoscenza della relazione che si ha tra Information and Communication Technologies (ITC) e spazi pubblici aperti, al fine di sviluppare strategie per migliorare il loro uso e la loro attrattiva. In parole povere un CyberParks è un ambiente naturale che coesiste ad un ambiente digitale intelligente. Piante, alberi, fiumi, fontane e tutto il resto sono integrati da sensori computerizzati (nel nostro caso Beacon che sono trasmettitori Bluetooth che trasmettono il loro identificativo a dispositivi elettronici vicini), tecnologie tattili e oggetti/informazioni virtuali. Tali dispositivi permettono quindi, ad un qualsiasi utente che usufruisce dei servizi offerti dal parco, di ricevere informazioni tramite un'applicazione su alcuni punti di interesse che possono essere reperti storici oppure piante tipiche locali con particolare interesse botanico. Questa area verde urbana è in grado di offrire tutti i servizi che abbiamo indicato nei paragrafi precedenti: ha una funzione didattica grazie alla presenza sia dei reperti storici- culturali ma anche alla presenza di diverse specie botaniche; una funzione ludico-ricreativa perché permette di attraversare questo percorso in maniera interattiva dando anche svago all'utente; una funzione ecologico-ambientale perché la presenza di un parco verde nel centro cittadino garantisce sicuramente un maggior stoccaggio di carbonio emesso durante le attività quotidiane; svolge anche una funzione estetica grazie ai suoi punti numerosi punti panoramici e all'ambiente naturale che si

è incontrato con le opere architettoniche creando un'immagine suggestiva. Il Parco del Cardeto nelle vecchie immagini, possiamo vedere che non sempre è stato parte integrante della città; infatti, le prime mura antiche non contenevano quasi per nulla questo parco, le successive espansioni poi hanno portato al suo inserimento nel contesto urbano. Nel 2005 infine è avvenuta la sua inaugurazione che ha permesso il libero accesso al pubblico.

Di parchi che si estendono dentro la città però non abbiamo solo il Parco del Cardeto; un altro famoso è il Parco della Cittadella. Esso è situato sulla sommità del colle Astagno e all'interno dell'antico campo trincerato e prende il nome dall'adiacente Cittadella. Il campo trincerato è stato realizzato nei primi anni del 1600 e la sua ricostruzione grafica è evidenziata in verde nella foto sottostante. La ricostruzione della Cittadella invece è rappresentata in rosso.



Figura 27: Rappresentazione Parco della Cittadella cerchiato in blu

All'interno del parco c'è un bar, un'area giochi per bambini e un percorso atletico con attrezzature realizzate in legno e metallo per fare esercizi; inoltre, su appositi corrimano, ci sono targhe per illustrare, anche in braille per i non vedenti, le varie piante presenti. Anche le funzioni di questa area verde urbana possono essere ricondotte a quelle viste in precedenza. Questi sono i due più grandi parchi urbani presenti all'interno della città, ma vi è la presenza, inoltre, del piccolo ma importantissimo dal punto di vista storico Parco del Pincio.



Figura 28: Parco del Pincio

Questo parco è nato dopo la presa di Roma nel 1870 e nasce sul Colle Santo Stefano dal quale è possibile osservare il mare, la città e i gli altri colli. Il nome rievoca il Pincio di Roma ed infatti anche per dargli una vaga somiglianza, il parco presenta una vegetazione ricca di sempreverdi e presenta un impianto geometrico dei sentieri.

È opportuno sottolineare anche la presenza di un viale completamente alberato (Viale della Vittoria) che collega la piazza, intitolata a Cavour, con uno dei punti panoramici tra i più interessanti che è la zona del Passetto dove abbiamo la presenza di un monumento dedicato ai caduti ed una Pineta. Quest'area rappresenta un ulteriore parco pubblico a picco sul mare attrezzata anche con una pista di pattinaggio ed una piscina. Dove si affaccia sul mare, il parco presenta una spiaggia rocciosa e diverse grotte.



Figura 29: Evidenziato il Passetto

A questo punto abbiamo definito quelli che sono tutti parchi presenti all'interno cittadino e visualizzandoli nell'intero possiamo dire che essi creano una sorta di accerchiamento attorno al centro urbano creando un green belt simile a quello studiato precedentemente. Gli effetti positivi sono molteplici: creano luoghi adatti ai cittadini per svagarsi magari grazie anche ad attività ricreative e sportive offerte, sono una sorta di limite per impedire l'espansione delle micidiali colate di cemento ed inoltre hanno un ruolo fondamentale nella mitigazione ai cambiamenti climatici grazie appunto alle diverse specie arboree e arbustive che, in maniera diversa, contribuiscono all'incremento di quelle che sono le fonti di assorbimento di CO₂.



Figura 30: Rappresentazione del green belt (evidenziato in giallo) che circonda il centro di Ancona

Adesso è bene anche parlare del parco regionale più famoso delle Marche che si estende su diversi comuni tra i quali Ancona e che rappresenta però un parco per lo più periurbano, esterno quindi a quello che viene considerato come centro urbano; stiamo parlando del Parco Regionale del Conero. Questo parco è un'area naturale che prende il nome dall'omonimo promontorio sul quale si estende ed è stata istituita nel 1987 che si sviluppa per circa 6000 ettari di cui il 53% è situato nel comune di Ancona. Anche se abbiamo detto essere per lo più periurbano, esso comprende le aree verdi dei due rioni di Ancona quali il Passetto e Pietralacroce e confina a nord con il Parco del Cardeto. Il parco presenta una diversità degli ambienti che vanno dalla falesia, alle aree umide, alle zone collinari ed è inoltre siti di interesse comunitario (Natura 2000). Tra la flora troviamo boschi di roverella, carpino nero, acero ma anche specie della macchia mediterranea nelle aree più soleggiate ed esposte a sud come laccio, corbezzolo, lentisco ecc... L'area presenta quindi un'elevata biodiversità sia dal punto di vista floristico ma anche faunistico grazie alla presenza di circa 200 specie di uccelli. Il parco però è anche in grado di offrire servizi concreti all'utenza grazie alla presenza di 18 sentieri percorribili a piedi o in bicicletta ed anche alle attività di escursionismo, arrampicata e parapendio. Al Parco naturale regionale del Conero oggi sono stati attribuiti 3 criteri (ne serviva almeno 1) dei 10 disponibili tra quelli considerati nell'UNESCO per far sì che il parco venga inserito nel patrimonio dell'umanità: "essere un esempio eminente dell'interazione

umana con l'ambiente", "rappresentare dei fenomeni naturali o atmosfere di una bellezza naturale e di una importanza estetica eccezionale", "contenere gli habitat naturali più rappresentativi e più importanti per la conservazione delle biodiversità, compresi gli spazi minacciati aventi un particolare valore universale eccezionale dal punto di vista della scienza e della conservazione".



Figura 31: Parco naturale del Conero

Tra le zone rurali presenti sul territorio comunale, maggior rilevanza è assunta dalla Selva di Gallignano situata appunto nella frazione di Gallignano del comune di Ancona. La Selva rappresenta una delle poche aree forestali che sono rimaste indenni alla deforestazione e presenta una notevole biodiversità floristica che conta circa 280 entità; è considerata “area floristica protetta” e presenta al suo interno L’Orto Botanico di proprietà dell’Università Politecnica delle Marche che si estende per circa 15 ettari 8 dei quali occupati dalla Selva.



Figura 32: Evidenziata in rosso la Selva di Gallignano e in azzurro L'Orto Botanico di proprietà dell'Università Politecnica delle Marche

L'Orto Botanico "Selva di Gallignano" è istituito con decreto rettorale n. 1486 del 04/09/2000 ed è un Centro di ricerca per la conservazione della biodiversità floristica dei territori anfiadriatici e Centro di didattica e di divulgazione della cultura ambientale (Centro di Esperienza della rete INFEA-Regione Marche). In tale veste organizza visite guidate e corsi per studenti ed insegnanti. Promuove altresì attività volte alla sensibilizzazione del pubblico per la conservazione della natura e la gestione razionale dell'ambiente. In quest'orto sono attive numerose iniziative, tra le quali CyberParks sopra citato infatti troviamo la presenza di diversi beacon a scopo informativo-didattico. Anche quest'area ricca di biodiversità crea dei servizi ecosistemici per l'ambiente e per l'utenza e l'assorbimento e lo stoccaggio della CO₂ atmosferica è compresa tra questi servizi. L'area presenta anche una rete di piante arboree e arbustive, segnate tramite precise coordinate geografiche, riconosciute ed identificate che permettono di dare un'identità all'orto ed anche valutare lo sviluppo e l'evoluzione delle diverse specie presenti.



Figura 33: Mappatura delle diverse specie presenti nell'Orto Botanico Selva di Gallignano

7. CONCLUSIONI

Quanto raccolto e analizzato nei precedenti capitoli ha permesso innanzitutto di evidenziare una serie di importanti funzioni che le infrastrutture verdi (per esempio, una area verde, un parco urbano, la serie di vilali alberati, i boschi periurbani, etc.) sono in grado di svolgere; funzioni non solo estetiche, ma ecosistemiche con impatto positivo in tutto il tessuto territoriale e quindi sulla qualità della vita delle popolazioni e per il benessere umano, sia psichico che fisico. Attraverso il caso di studio della città di Ancona ha permesso di evidenziare il ruolo dei sistemi informativi geografici per la caratterizzazione, il monitoraggio e la gestione della rete verde urbana e interurbana, analizzata in tutta la sua estensione. L'analisi del caso di studio inerente l'identificazione delle specie di alberi urbani e la mappatura dello stock di carbonio per la pianificazione e la gestione del verde urbano nella città di Sassuolo (BO), ha permesso esplorare le potenzialità applicative del telerilevamento e dei GIS per definire numericamente, riducendo il margine di errore, uno dei servizi ecosistemici più importanti che le aree verdi urbane offrono, ossia l'assorbimento della CO₂ atmosferica e il suo stoccaggio. Avere dei metodi che permettono di mappare le aree verdi e di definire alcune loro caratteristiche permette, durante uno studio urbanistico, di avere a disposizione con un minor tempo e minor sforzo delle informazioni che possano essere utili per progettare e migliorare la condizione di una città magari creando un equilibrio maggiore tra emissioni e assorbimenti (seguendo le linee guida dell'Europa) e un migliore benessere e stile di vita progettando luoghi verdi urbani capaci di offrire i famosi e tanto ripetuti servizi ecosistemici. Studiare attraverso i sistemi informativi geografici il mondo rurale permette inoltre di andare a verificare l'impatto che l'agricoltura ha sull'ambiente, impatti sia positivi grazie al mantenimento della biodiversità, all'assorbimento di CO₂ da parte delle specie coltivate, ma anche impatti negativi tramite emissioni di inquinanti atmosferici durante i processi di lavorazione dei terreni ma anche di fitofarmaci e l'uso incontrollato dei fertilizzanti. Sono stati i sistemi informativi geografici che hanno permesso la nascita dell'agricoltura di precisione: mappando il terreno, infatti, ed utilizzando dei sistemi GPS di conduzione e allineamento dei mezzi, è possibile oggi utilizzare il minimo degli input (concimi, sementi, antiparassitari...) per ottenere il massimo dell'output portando così non solo ad un risparmio di risorse ed un maggior profitto, ma anche a minor effetti negativi sull'equilibrio dell'ecosistema e quindi minor impatti sull'ambiente e ciò contribuisce alla conduzione di un'agricoltura oggi definita come sostenibile sia dal punto di vista ambientale

(rispettando le risorse naturali), sia economico (vantaggiosa per l'agricoltore favorendo un reddito equo, la tutela della salute dell'operatore e il miglioramento della qualità della vita degli agricoltori e dell'intera società) ed anche sociale (capace di far fronte alla domanda mondiale).

8. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. De Carli A. “*Il valore economico dei servizi ecosistemici connessi alle risorse idriche*”, in “*Biologia Ambientale*”, 31 (1): 1-8 (2017)
2. Morri E., Santolini R. “*Valutare i servizi ecosistemici: un’opportunità per limitare i disturbi al paesaggio*”, in “*Biodiversità, disturbi, minacce*” (pp.178-182), ottobre 2013
3. Cataldi, M.A.; Morri, E.; Scolozzi, R.; Zaccarelli, N.; Santolini, R.; Pace, D.S.; Venier, M.; Berretta, C. “*Stima dei servizi ecosistemici a scala regionale come supporto a strategie di sostenibilità*”, in *XIX Congresso della Società Italiana di Ecologia "Dalle vette alpine alle profondità marine"*, Bolzano: EURAC research: 231-239 (2010)
4. Santolini R., Morri E., Scolozzi R. “*Mettere in gioco i servizi ecosistemici: limiti e opportunità di nuovi scenari sociali ed economici*, in “*Ri-Vista. Research for Landscape Architecture*”, 9 (1-2), 41-55 (2015).
5. “*LA CITTÀ FUTURA Manifesto della green economy per l’architettura e l’urbanistica*” (2017)
6. John, H., Marrs, C., Neubert, M. (Ed., 2019). “*Manuale sulle Infrastrutture Verdi– Basi teoretiche e concettuali, termini e definizioni*”, estratto in italiano, in *Progetto Interreg Central Europe MaGICLandscapes*, prodotto del progetto O.T1.1, Dresda
7. Cioci S. “*Infrastrutture verdi per la resilienza territoriale*”, dottorato di ricerca in ingegneria infrastrutture e trasporti, Roma, 2019
8. Canale L. “*Infrastrutture verdi, tra tutela ambientale e valorizzazione degli spazi pubblici*”, in “*INFOLIO*”, n.28, giugno 2012.
9. Maffucci M., Cappucci S. “*Le infrastrutture verdi i servizi ecosistemici e la green economy*”, in conferenza “*La Natura dell’Italia*”, Roma 11-12 dicembre 2013
10. Pellegrino D., Cavallo A., Marino D. “*Gli agroecosistemi come infrastrutture verdi per rafforzare la resilienza urbana*”, in “*Reticula*”, N 4/2013
11. Caruso A.M. “*La pianificazione delle infrastrutture verdi nelle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici in ambito urbano*”, tesi di dottorato di ricerca in analisi pianificazione e gestione integrata del territorio, Catania 2012
12. Comitato per il Capitale Naturale “*Terzo rapporto sullo stato del capitale naturale in Italia*”, Roma 2019
13. Ludovici A.A., Bortone G., Brucculeri R., Cancila E., Cesaretti C.M., Coizet R., Conte G., De Santoli L., Di Simine D., Frey M., Gentili V., Leoni S., Malcevschi S., Manes F., Masini S., Matteucci G., Mauriello D., Morabito R., Orsini R., Prosperoni A., Renzi F., Santolini R. “*Le infrastrutture verdi e i servizi ecosistemici in Italia come strumento per le politiche ambientali e la green economy: potenzialità, criticità e proposte*”, in Conferenza Nazionale “*Biodiversità e aree protette: la green economy per il rilancio del Paese*”, 2013
14. Mollicone D, Federici S, “*L’uso delle terre: il Protocollo di Kyoto, la definizione FAO di foresta e l’Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio.*” *Forest@ 2* (4): 321-330, 2005
15. Malcevschi S., Bisogni G.L. “*Infrastrutture verdi e ricostruzione ecologica in ambito urbano e periurbano*”, in “*TECHNE*”-11, 2016, DOI: 10.13128/Techne-18398

16. Angrilli M. *“Infrastrutture verdi e blu”*, in *“URBANISTICA INFORMAZIONI - special issue”*, 2013
17. Apreda C. *“Environmental design e green infrastructures per il controllo degli effetti prodotti dai cambiamenti climatici in ambiente urbano”*, in *“URBANISTICA INFORMAZIONI - special issue”*, 2013
18. Brocchieri F., Ronga M. *“Evoluzione del contesto normativo comunitario e nazionale in tema di cambiamenti climatici e qualità dell’aria - possibili impatti sullo sviluppo rurale”*, Documento realizzato nell’ambito del Programma Rete Rurale Nazionale 2014-20, Piano di azione biennale 2017-18, Scheda progetto 14.1 ISMEA *“Cambiamenti climatici, emissioni di gas serra e ciclo dell’azoto”*, dicembre 2018
19. Marcheggiani E., Galli A., Paci F., Fioretti I., De Seris M. *“Valorisation of the Rural Heritage and touristic bias. Potential benefits to the local community”*, pre stampa inviata ad Handbook U4V, 1 giugno 2020
20. Md Abdul Mueed Choudhury, Marcheggiani E., Despini F., Costanzini S., Rossi P., Galli A. e Teggi S. *“Urban tree species identification and carbon stock mapping for urban green planning and management”*, in *“Forests 2019, 10, x”*, 2019 (pagine 1-23)
21. Commissione Europea *“Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni strategia dell’UE sulla biodiversità per il 2030”*, Bruxelles, 20.5.2020 COM(2020) 380 definitivo
22. Dessì V., Farnè E., Ravanello L., Salomoni M.T. *“Rigenerare la città con la natura: strumenti per la progettazione degli spazi pubblici tra mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici”*, Centro Stampa Regione Emilia-Romagna, Maggioli Editore (4 aprile 2016)
23. Commissione Europea *“Relazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni riesame dei progressi compiuti nell’attuazione della strategia dell’UE per le infrastrutture verdi”* Bruxelles, 24.5.2019 COM(2019) 236 definitivo
24. Commissione Europea *“Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni la nostra assicurazione sulla vita, il nostro capitale naturale: strategia dell’UE sulla biodiversità fino al 2020”*, Bruxelles, 3.5.2011 COM(2011) 244 definitivo
25. Ursula von der Leyen *“Orientamenti politici per la prossima commissione europea 2019-2024”*, 2018
26. Diamanti S., Adamo B., Carminati M., Ferretti R., Nardelli G., Negroni B., Sani L., Giancarlo Quaglia G., Eleonora Pietretti E., Farina A., Chiesura A., Bianco P.M., Brini S., D’Ambrogio S., Mirabile M., Petrucci B., Bertolotto C., Cerea S., Degl’Innocenti C., Leonardi M., Mazzoni F., Riguccio L. *“Linee guida per il governo sostenibile del verde urbano. Comitato per lo sviluppo del verde pubblico”*, MATTM, 2017
27. V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield *“Un rapporto speciale dell’IPCC sugli impatti del riscaldamento globale di 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali e sugli andamenti correlati delle emissioni globali di gas serra, nel contesto di un rafforzamento della risposta globale alla minaccia dei cambiamenti climatici, dello sviluppo sostenibile e degli sforzi per debellare la povertà.”*, *“Sommaro per i Decisori Politici”* pubblicato da Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2018)
28. Attorre F., Bruno F., Danovaro R., Ferrari I., Gatto M., Navarra A., Valentini R. *“Cambiamenti climatici e biodiversità. studio della mitigazione e proposte per l’adattamento.”*, in *“PROGETTO MATTM – WWF ITALIA ONLUS”*, marzo 2009
29. Caprara G. *“Il cambiamento climatico e la necessità di un nuovo modello verso il 2030”*, tesi di laurea, Roma 2019-2020

30. <https://www.cosmogarden.it/verde-urbano-quali-benefici-sui-cittadini/> consultato nell'ottobre 2020
31. <https://www.snpambiente.it/2019/11/28/effettoverde/#:~:text=Eppure%2C%20a%20livello%20globale%20c,il%20rischio%20di%20morte%20prematura.> consultato nell'ottobre 2020
32. <https://www.forestalinews.it/conaf-30-milioni-per-le-foreste-urbane-e-periurbane/> consultato nell'ottobre 2020
33. <https://www.green.it/sequestro-del-carbonio-agricoltura/> consultato nell'ottobre 2020
34. <https://www.reteclima.it/protocollo-di-kyoto/> consultato nell'ottobre 2020
35. <https://rienergia.staffettaonline.com/articolo/34375/Cattura+e+stoccaggio+della+CO2:+una+tecnologia+gi%C3%A0+disponibile/Consoli> consultato nell'ottobre 2020
36. <https://www.lifegate.it/citta-alberi-smog-inquinamento> consultato nell'ottobre 2020
37. https://www.camera.it/temiap/documentazione/temi/pdf/1104844.pdf?_1599636537174 consultato nell'ottobre 2020
38. <https://alessandrianews.ilpiccolo.net/generic/2019/11/28/news/alberi-in-citta-15-in-meno-di-inquinamento-nell-aria-dove-ci-sono-piante-107534/> consultato nell'ottobre 2020
39. <https://www.tonello-energie.com/cattura-stoccaggio-del-carbonio/> consultato nell'ottobre 2020
40. <https://www.enea.it/it/seguici/le-parole-dellenergia/ccs/come-stoccare-la-co2> consultato nell'ottobre 2020
41. <https://www.rinnovabili.it/ambiente/cattura-e-stoccaggio-del-carbonio-333/> consultato nell'ottobre 2020
42. <https://www.mise.gov.it/index.php/it/energia/sostenibilita/gas-effetto-serra/cattura-e-sequestro-co2> consultato nell'ottobre 2020
43. <https://www.reteclima.it/carbon-sink-lulucf-protocollo-di-kyoto-e-carbon-offset/> consultato nell'ottobre 2020
44. <https://www.tio.ch/svizzera/attualita/1405145/aumenta-la-concentrazione-di-co2-il-futuro-e-piu-un-percorso-a-ostacoli-che-un-precipizio> consultato nell'ottobre 2020
45. <http://www.lteconomy.it/it/articoli-it/articoli/chi-emette-la-co2-2> consultato nell'ottobre 2020
46. <http://www.lamiaterravale.it/it/news/il-contributo-dellagricoltura-al-cambiamento-climatico> consultato nell'ottobre 2020
47. <https://www.ortobotanico.univpm.it/node/2> consultato nell'ottobre 2020

48. <https://www.reteclima.it/co2/> consultato nell'ottobre 2020
49. <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-1/> consultato nell'ottobre 2020
50. https://www.wwf.it/il_pianeta/cambiamenti_climatici/ consultato nell'ottobre 2020
51. <https://www.italiachecambia.org/visione-2040-clima/> consultato nell'ottobre 2020
52. <https://agrireregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/56/sistemi-agricoli-e-benefici-ambientali-il-contributo-dellagricoltura-familiare> consultato nell'ottobre 2020
53. https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Ecosystems%20goods%20and%20Services/Ecosystem_IT.pdf consultato nell'ottobre 2020
54. <https://www.reteclima.it/l-albero-mangia-la-co2/#:~:text=Ipotizzando%20di%20parlare%20di%20una,un%20ciclo%20di%20accrescimento%20in> consultato nell'ottobre 2020
55. https://europa.eu/investeu/projects/rooftop-greenhouses-cut-co2_it#main-content consultato nell'ottobre 2020
56. https://ec.europa.eu/italy/news/20200114_Ue_piani_di_investimenti_del_Green_Deal_e_uropeo_e_meccanismo_transizione_giusta_it consultato nell'ottobre 2020
57. <https://www.effat.org/it/featured/european-green-deal-investment-plan-and-just-transition-mechanism-effat-worries-over-limited-budget-and-social-partners-involvement/> consultato nell'ottobre 2020
58. <http://www.comitatoscientifico.org/temi%20CG/territorio/infrastruttureverdi.htm> consultato nell'ottobre 2020
59. https://ec.europa.eu/regional_policy/it/funding/cohesion-fund/ consultato nell'ottobre 2020
60. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/qanda_20_24 consultato nell'ottobre 2020
61. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640> consultato nell'ottobre 2020
62. <https://www.ecb.europa.eu/ecb/orga/climate/green/html/ecb.environmentalstatement201910~5da457479d.en.html#toc10> consultato nell'ottobre 2020
63. <https://www.eea.europa.eu/it/themes/biodiversity/intro> consultato nell'ottobre 2020
64. https://europa.eu/investeu/projects/high-tech-trees-clean-air_it consultato nell'ottobre 2020
65. <https://www.italiaclima.org/approfondimenti-climatici/cosa-sta-succedendo-al-clima/> consultato nell'ottobre 2020

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Professor Ernesto Marcheggiani che mi ha seguito e guidato in tutti gli step di stesura della tesi e si è dimostrato sempre disponibile nei miei confronti; il Professor Francesco Paci che mi ha accompagnato in sopralluogo fornendomi dati e materiali per scrivere la mia tesi.

Un ringraziamento a Md Abdul Mueed Choudhury e Corrado Maria Saladini che con le loro tesi mi hanno fornito del materiale per lo svolgimento della mia relazione.

Ringrazio anche la mia famiglia che mi ha permesso di seguire questo percorso di studi sostenendomi dal primo giorno e credendo sempre in me.

Un ringraziamento, infine, a tutti gli “zii” con cui ho condiviso e spero continuerò a condividere momenti fantastici.