

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea in Tecnologie Forestali e Ambientali

Agripolis nel cambiamento climatico: come aumentare lo stoccaggio di carbonio nelle aree verdi del campus

Relatore
Prof. Augusto Zanella

Laureando
Samuele Duse
Matricola n. 1191496

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

RIASSUNTO.....	5
ABSTRACT	7
1. INTRODUZIONE	9
1.1. Cambiamento climatico.....	9
2. ANALISI DEL TREND CLIMATICO.....	11
2.1. Gas climalteranti	11
2.2. Temperatura	12
2.3. Piovosità	13
2.4. Livello del mare.....	14
2.5. Cambiamenti climatici nella Pianura Padana.....	15
2.6. Legnaro (PD)	15
3. INDAGINE DI DIPARTIMENTO: LE EMISSIONI DEL TESAF.....	17
3.1. Carbon footprint	17
3.2. CO ₂ equivalente	17
3.3. Indagine TESAF: calcolo della carbon footprint.....	18
4. AREE DEL CAMPUS ADATTE ALL'IMPIANTO ARBOREO	19
4.1. Il campus di Agripolis.....	19
4.2. Aree selezionate	21
4.1. Aree scartate e motivazioni.....	21
5. CARATTERISTICHE DEL SUOLO DEL CAMPUS DI AGRIPOLIS	23
5.1. Zona 1: il prato adiacente al quercu-carpineto	25
5.2. Zona 2: il viale di carpini dal parcheggio alla mensa	26
5.3. Zona 3: le aiuole del parcheggio di Veneto Agricoltura	28
5.4. Tabelle dati dei suoli nei siti d'impianto.....	29
6. LA SCELTA DELLE ESSENZE.....	35
6.1. Fattori abiotici.....	35
6.2. Sequestro di carbonio	37
6.3. Specie considerate	39
7. PROPOSTA DI PROGETTO.....	43
7.1. Intervento 1: ampliamento della superficie forestale di Agripolis	43
7.2. Intervento 2: ampliamento dell'alberatura di <i>Carpinus betulus</i>	46
7.3. Intervento 3: piantumazione di una siepe arbustiva di confine	47

8. AMMONTARE DELLA CO₂ STOCCABILE DAL PROGETTO.....	49
8.1. Stima di sequestro di carbonio nel quercu-carpineto.....	49
8.2. Stima di sequestro di carbonio nei filari e nelle siepi.....	51
8.3. Compensazione delle emissioni apportata dal progetto.....	51
8.4. Incremento dello stock di carbonio di Agripolis.....	51
9. COSTI DI REALIZZAZIONE.....	53
10. SOLUZIONI COMPLEMENTARI ALLA COMPENSAZIONE DI CO₂: PARCHEGGIO FOTOVOLTAICO	55
10.1. Produttività energetica del fotovoltaico.....	55
10.2. Intervento.....	55
10.3. Calcolo della produttività di progetto.....	56
10.4. Costi di realizzazione.....	56
11. DISCUSSIONE	59
12. CONCLUSIONI	61
13. BIBLIOGRAFIA	63
RINGRAZIAMENTI	67

RIASSUNTO

L'oggetto di questo studio pone il campus di Agripolis in relazione col cambiamento climatico, con l'obiettivo di indagare diverse possibilità di mitigarne l'impronta carbonica dall'interno, incrementando lo stock di carbonio organico.

In primo luogo vengono riportati alcuni dati aggiornati sul trend climatico attuale globale e locale, quindi viene riportata la stima di emissioni annuali in CO₂ equivalente del dipartimento TeSAF, pari a 234,6 t CO₂ eq all'anno.

Lo studio prosegue individuando tre diverse aree di Agripolis adatte alla piantumazione per il sequestro di carbonio, valutando la realizzazione di tre diversi interventi. Si effettua quindi un'analisi pedologica delle aree in esame e si procede alla valutazione delle specie utilizzabili. Si prosegue definendo i tre diversi interventi che comprendono l'espansione del quercu-carpineto naturaliforme tramite la piantumazione di 1950 m² di bosco ex-novo, il completamento dell'alberatura a *Carpinus betulus* del viale principale del campus, e la piantumazione di una siepe arbustiva di confine. Il progetto viene quindi delineato nel dettaglio, per poi procedere al calcolo del sequestro di carbonio complessivo e all'analisi dei costi di realizzazione.

A seguito degli interventi proposti in questo lavoro, le aree verdi di Agripolis raggiungerebbero un potenziale stoccaggio di 38 t CO₂ eq all'anno, con un aumento in valore assoluto del 21% rispetto alla situazione odierna. Il costo stimato dell'operazione è di circa 36.000,00 €. Nell'insieme lo stoccaggio finale del verde corrisponderebbe al 16% delle emissioni odierne calcolate per il dipartimento TeSAF.

ABSTRACT

The object of this study places the Agripolis campus in relation to climate change, with the aim of investigating different possibilities to mitigate its carbon footprint from within, by increasing its stock of organic carbon.

First, some updated data on the current global and local climate trend is reported, then the estimate of annual emissions in CO₂ equivalent of the TeSAF department, equal to 234.6 t CO₂ eq per year.

The study continues by identifying three different areas of Agripolis suitable for planting for carbon sequestration, evaluating the implementation of three different interventions. A pedological analysis of the areas of interest is then carried out and the usable species are evaluated. We continue by defining the three different interventions which include the expansion of the natural oak-hornbeam forest through the planting of 1950 m² of new forest, the completion of the *Carpinus betulus* masts of the main avenue of the campus, and the planting of a shrub hedge border. The project is then outlined in detail, to then proceed to the calculation of the overall carbon sequestration and the analysis of the construction costs.

After the interventions proposed in this work, the green areas of Agripolis would reach a potential storage of 38 t CO₂ eq per year, with an increase in absolute value of 21% compared to the current situation. The estimated cost of the operation is approximately €36,000.00. Overall, the final storage of greenery would correspond to 16% percent of today's emissions calculated for the TeSAF department.

Finally, a further intervention to reduce emissions through the installation of a photovoltaic system in the campus parking lot is evaluated.

1. INTRODUZIONE

1.1. Cambiamento climatico

L'epoca in cui viviamo è contraddistinta da una crisi molto importante: la crisi ambientale. Essa è scomponibile in più problematiche compresenti: il cambiamento climatico, l'inquinamento ambientale (terrestre, marino ed atmosferico), e la perdita di biodiversità.

Mentre fino a pochi anni fa concetti quali il "climate change", o i "gas serra" sembravano rappresentare tematiche a noi distanti, o confinate al di fuori della nostra quotidianità, oggi questi problemi stanno manifestando effetti e conseguenze sempre più visibili a tutti, diventando temi sempre più sentiti dall'opinione pubblica.

Una delle conseguenze del climate change è l'aumento della temperatura media del pianeta, che comporta enormi conseguenze sul clima. Queste sono ad esempio il noto scioglimento dei ghiacciai, la tropicalizzazione dei mari, l'innalzamento degli oceani, oltre all'intensificazione degli estremi meteorologici.

Le causa principale di questo cambiamento climatico è costituita dal rilascio incontrollato in atmosfera di gas serra tra cui vapore acqueo, anidride carbonica, metano, ossido di diazoto, clorofluorocarburi e ozono; i quali sono presenti in atmosfera in diverse quantità e influiscono in varia misura sull'incremento termico.

È tuttavia doveroso ricordare che, nonostante la connotazione negativa con cui viene normalmente descritto l'effetto serra, esso costituisce entro certi limiti uno dei fenomeni che hanno consentito e consentono tutt'ora lo sviluppo della vita sul pianeta; in assenza di tale fenomeno infatti, la temperatura media terrestre si attesterebbe intorno a -18°C ; fattore negativo per lo sviluppo biotico. La capacità del pianeta di trattenere parte della radiazione infrarossa evitando che lasci l'atmosfera disperdendosi nello spazio permette infatti di mantenere una temperatura media attorno ai 15°C (Lacis et al., 2010).

Nonostante la temperatura terrestre sia sempre stata in oscillazione per cause naturali, l'attività umana sta accentuando e velocizzando questo processo (Hansen et al., 2006).

Il continuo rilascio di gas serra, in particolare CO_2 , crea uno sbilancio energetico che provoca il riscaldamento dell'atmosfera e degli oceani. Quest'ultimo provoca a sua volta lo scioglimento dei ghiacciai, al quale segue l'innalzamento del livello del mare (Aaboe et al., 2022).

Oltre all'anidride carbonica (CO_2), vi sono altri gas definiti come "climalteranti", ovvero gas la cui concentrazione aumenta in atmosfera a causa delle attività antropiche. Tra questi vi sono metano (CH_4), azoto e fluorurati, che vanno a influenzare l'andamento climatico, causando un'alterazione anomala delle temperature.

Gli effetti del cambiamento climatico sono già stati riscontrati in tutto il mondo. Sono stati alterati ecosistemi marini, terrestri e fluviali, sono aumentate malattie ed eventi di mortalità di massa di flora e fauna, arrivando alle prime vere e proprie estinzioni a causa del clima. Interi ecosistemi sono stati

rimodellati, sono aumentate le zone bruciate dagli incendi e diminuiti i servizi ecosistemici fondamentali.

Gli eventi climatici estremi, in tutti i continenti, generano condizioni che vanno al di là dei limiti di adattabilità di molte specie. Gli impatti più gravi avvengono su specie ed ecosistemi che hanno tratti che limitano la loro capacità di rigenerarsi tra un evento e l'altro.

Nonostante il crollo di biodiversità a cui stiamo assistendo in questi anni sia anche legato a molte dinamiche di natura non climatica (attività antropica estrattiva e invasiva, deforestazione, agricoltura intensiva, inquinamento e bracconaggio), il clima e la concentrazione di gas climalteranti nell'atmosfera impattano fortemente anche su questo aspetto, e rimangono quindi una delle sfide centrali (Muzafar Shah et al., 2022).

In mancanza di azioni di adattamento e mitigazione; i rischi per gli ecosistemi costieri e per le persone derivanti dall'innalzamento del livello del mare aumentano esponenzialmente; se si dovesse superare 1,5°C di riscaldamento globale crescerebbe l'erosione costiera e verrebbero sommerse ampie aree, con conseguente perdita di habitat ed ecosistemi e salinizzazione delle acque di falda. La capacità di adattarsi a questi impatti costieri e di gestire i futuri rischi dipende da azioni che devono essere compiute tempestivamente. (Langsdorf et al., 2022)

Mantenere gli equilibri ecosistemici del pianeta è un requisito essenziale per la società e la salute umana, ed è una preconditione per uno sviluppo antropico climaticamente resiliente.

Una corretta conservazione di almeno il 30%-50% delle terre emerse, delle acque dolci e delle aree oceaniche e di quelle aree dotate di un alto tasso di integrità ecosistemica, aiuterà a preservare la biodiversità, rafforzare gli ecosistemi e mantenere i servizi ecosistemici essenziali.

Ad ogni modo è importante sottolineare che le contromisure ad oggi disponibili non sono sufficienti a prevenire ogni tipo di rischio e cambiamento, e in ogni caso non vanno sostituite alla riduzione delle emissioni di gas serra. Azioni tempestive ed ambiziose di mitigazione offrono più opzioni di adattamento e migliori vie di tutela degli ecosistemi e dei loro servizi.

2. ANALISI DEL TREND CLIMATICO

Come sopra discusso, la crisi ambientale e il cambiamento climatico stanno causando numerosi fenomeni a livello globale, i quali sono orientati in alcune direzioni specifiche (aumento della temperatura media globale, innalzamento del livello del mare, variazione dei fenomeni metereologici); in questa sezione vengono riportati alcuni parametri, per cercare di delineare il contesto attuale.

2.1. Gas climalteranti

Nel 2020 sono state raggiunte nuove vette di emissioni; con una media globale di superficie pari a 413.2 ± 0.2 ppm di CO₂ (parti per milione), 1889 ± 2 ppb (parti per miliardo) di metano (CH₄), e 333.2 ± 0.1 ppb di protossido di azoto N₂O; rispettivamente 149%, 262%, e 123% dei livelli pre-industriali (1750). Inoltre, l'incremento annuale di metano e protossido di azoto dal 2019 al 2020 è stato superiore all'incremento medio annuale dell'ultimo decennio (Aaboe et al., 2022).

Questo significa che, rispetto ai livelli pre-industriali, la concentrazione di gas climalteranti in atmosfera è più che raddoppiata, e ne è aumentata la velocità di incremento.

Di seguito è riportata la frazione molare media di CO₂ misurata in atmosfera dal 1960 ad oggi (Figura 1).

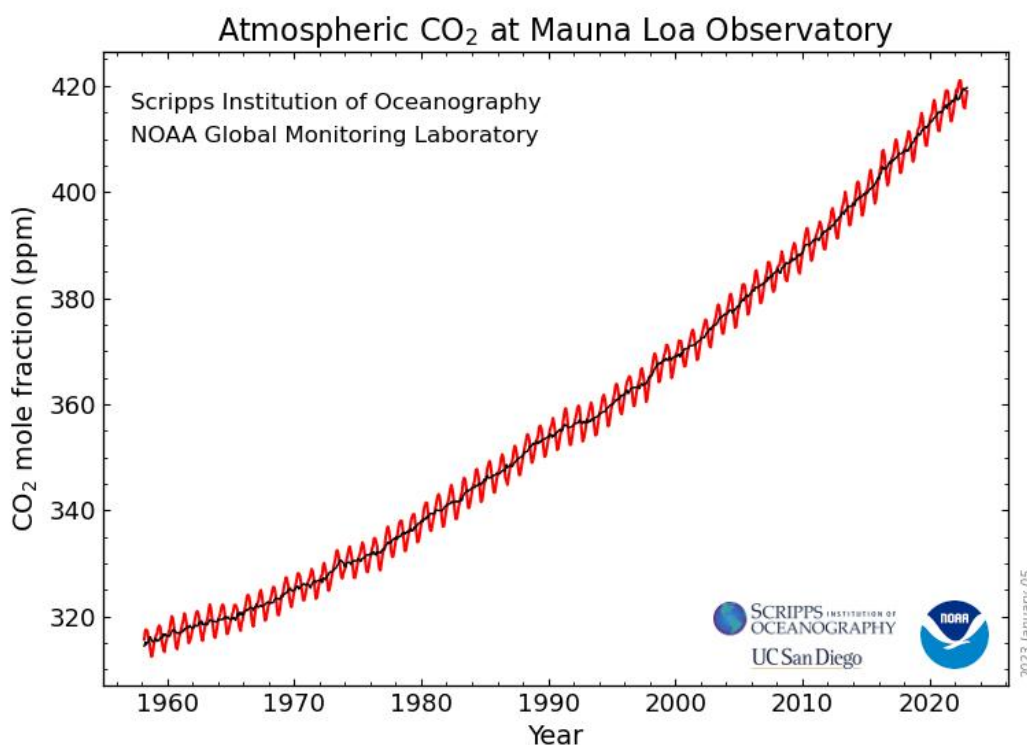


Figura 1: I grafici mostrano la media mensile di anidride carbonica misurata all'Osservatorio di Mauna Loa, Hawaii. Questa base dati costituisce il più lungo record di misurazioni dirette di CO₂ nell'atmosfera (Global Monitoring Laboratory of the National Oceanic and Atmospheric Administration, n.d.).

2.2. Temperatura

La temperatura media globale registrata nel 2021 è stata $1.11 \pm 0.13^\circ\text{C}$ superiore alla media dal 1850-1900 (Figura 2). I sei diversi data set utilizzati nell'analisi collocano il 2021 tra il quinto e il settimo anno più caldo mai registrato a livello globale, e tutti e sei dimostrano che gli ultimi sette anni (2015-2021) sono stati gli anni più caldi mai registrati (Aaboe et al., 2022).

Per quanto riguarda l'Italia, le anomalie di temperatura media rispetto alla base climatologica 1991-2020 sono state quasi sempre positive (ad eccezione di 4 anni: 2004, 2005, 20010, 2013).

Il 2021 è stato l'ottavo anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma, registrando un aumento di temperatura media di $+0.23^\circ\text{C}$.

Questi dati evidenziano e riconfermano un forte trend generale di aumento della temperatura media, che in Italia si è registrato intorno ai $+0.37 \pm 0.04^\circ\text{C}$ ogni 10 anni, calcolato sul periodo 1981-2020 (Fioravanti et al., 2022).

Il grafico riportato in Figura 2 mostra la differenza di temperatura media globale dai livelli pre-industriali (1850 - 1900) per sei data set meteorologici differenti (1850 - 2021).

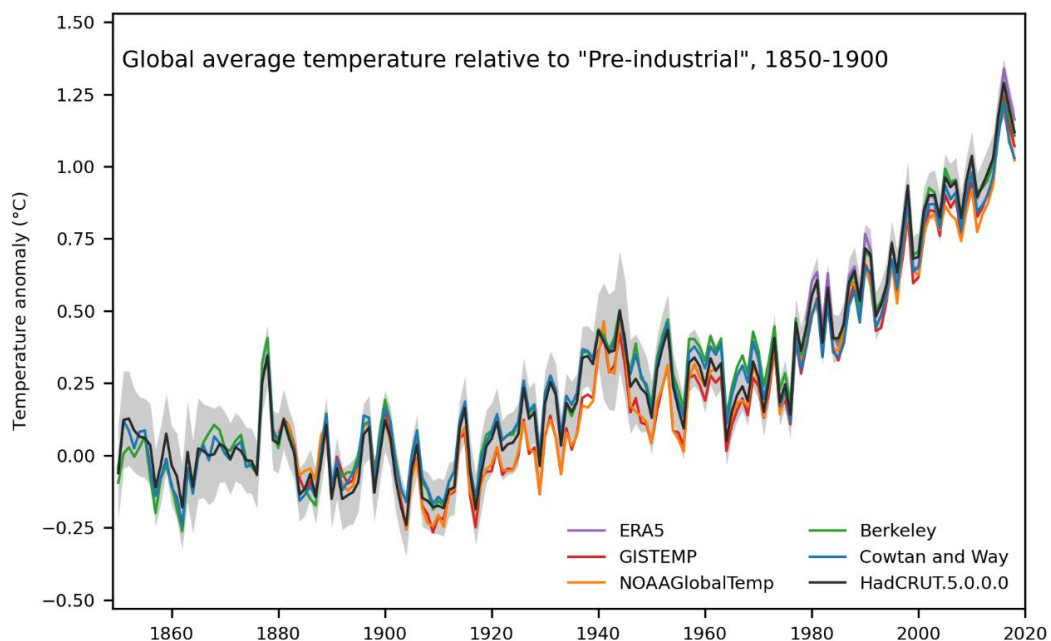


Figura 2: Differenza di temperatura media globale dai livelli pre-industriali ad oggi secondo sei data set differenti (Met Office, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, n.d.).

2.3. Piovosità

Nel 2021 la precipitazione cumulata annuale ha fatto registrare anomalie negative nel Nord Italia (-14%), (Fioravanti et al., 2022) mentre a livello globale vi è stata una maggiore variabilità di fenomeni, che ha compreso diminuzioni della precipitazione in alcune regioni ed aumenti in altre, contemporaneamente ad un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi (Aaboe et al., 2022).

In Italia le proiezioni nazionali al 2100 prevedono una riduzione attesa tra l'1,5% e l'8% della precipitazione cumulata annuale. La media dei risultati ottenuti seguendo diversi modelli risulta comunque negativa, sebbene i fenomeni di precipitazione siano caratterizzati da maggiore variabilità e quindi più difficile previsione e presentino differenze più marcate tra i risultati dei diversi modelli (alcuni modelli proiettano un lieve aumento di precipitazione). Va infatti considerato che l'orografia locale ha una notevole influenza sui pattern di precipitazione, favorendone la frequenza nelle aree alpine e prealpine, le precipitazioni quindi rischiano non solo di variare nella frequenza complessiva, ma anche nella localizzazione (Desiato et al., 2015) (Fioravanti et al., 2022).

Va inoltre sottolineato che l'intensificazione dei fenomeni meteorologici estremi, pone ulteriori rischi idrogeologici da non sottovalutare ed un aumento della probabilità di situazioni d'emergenza (Figura 3).



Figura 3: chicchi di grandine osservati in Friuli-Venezia Giulia nel corso dei temporali del 1° agosto 2021 (Arpa Friuli-Venezia Giulia).

2.4. Livello del mare

Nel 2021 il livello medio globale del mare ha raggiunto un nuovo record. Come menzionato in precedenza, l'aumento dei gas climalteranti in atmosfera è strettamente correlato con l'aumento della temperatura media globale, che a sua volta è causa dello scioglimento generale dei ghiacci e dell'innalzamento del livello dei mari.

Sia su scala annuale che per periodi più lunghi, il livello medio globale del mare è influenzato dall'espansione termica dell'acqua marina, scioglimento del ghiaccio terrestre e scambio d'acqua con i corpi acquatici terrestri.

Dai primi anni 90', satelliti altimetrici ad alta precisione hanno misurato un innalzamento di 2.1 mm l'anno tra il 1993 e il 2013, e di 4.5 mm l'anno tra il 2013 e il 2021, dati che sottolineano un raddoppio dell'incremento annuale rispetto al periodo recente, dovuto soprattutto ad una perdita accelerata della massa di ghiaccio nelle regioni polari (Figura 4).

Sebbene possiamo affermare che il livello del mare sia cresciuto ovunque in questo lasso di tempo, esso non è cresciuto ovunque alla stessa velocità. I pattern regionali di variazione del livello del mare sono dominati da variazioni locali nel contenuto di calore dell'oceano e nella salinità.

Diverse regioni continuano ad essere affette da un innalzamento del livello del mare sostanzialmente maggiore rispetto alla media globale.

Nello specifico questo è il caso del Pacifico tropicale occidentale, il Pacifico sudoccidentale, il Pacifico del Nord, l'Oceano Indiano sudoccidentale e l'Atlantico del sud (Aaboe et al., 2022).

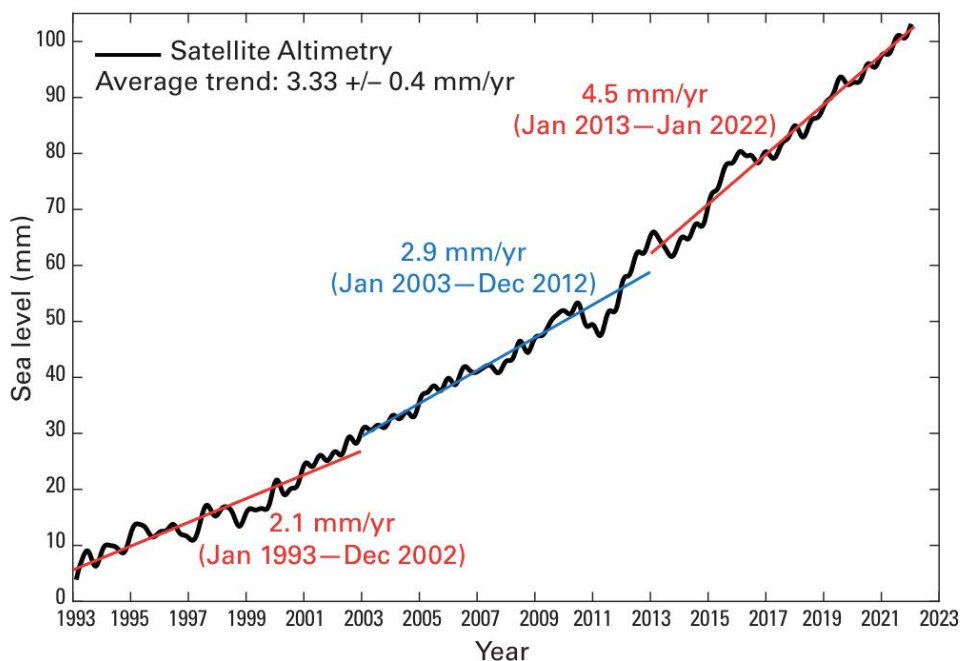


Figura 4: misurazioni da satelliti altimetrici ad alta precisione dell'aumento del livello medio globale del mare dal 1993 ad oggi. In linee blu e rosse i trend relativi ai tre periodi temporali (AVISO Altimetry - Satellite Altimetry Data, n.d.).

2.5. Cambiamenti climatici nella Pianura Padana

La Pianura Padana è una pianura alluvionale e, data la sua posizione geografica, presenta un clima con caratteristiche intermedie tra il clima Mediterraneo del centro-sud Italia e il clima continentale dell'Europa del Nord. Ne deriva una condizione caratterizzata da inverni relativamente rigidi ed estati calde. Le temperature medie sono comprese fra 13° C e 15° C e le precipitazioni sono generalmente distribuite uniformemente durante l'anno, con totali annui mediamente compresi tra 600 mm e 1100 mm, dove l'inverno è la stagione più secca. Le stagioni intermedie sono caratterizzate da perturbazioni atlantiche e mediterranee, mentre l'estate è contraddistinta da tipici fenomeni temporaleschi. (ARPA.Veneto.It, 2011)

Il territorio della Pianura Padana non è esente dal fenomeno del cambiamento climatico.

Per quanto riguarda l'area d'interesse di questo progetto, i dati analizzati riconfermano anche in questo caso un trend di aumento della temperatura.

In particolare, oltre ai fenomeni di interesse globale e locale presentati nei capitoli precedenti, alcune proiezioni al 2050 evidenziano:

- un probabile aumento del numero annuale di giorni con temperature superiori ai 29°C
- una riduzione del numero di giornate con temperature inferiori a 0°C
- un aumento dell'intensità e della variabilità dei valori di precipitazione
- un prolungamento delle possibili siccità

Lo scenario più pessimista (nonostante non si discosti eccessivamente dagli altri) registra un incremento medio delle temperature al 2050 fino a 2°C (Mercogliano et al., 2017).

2.6. Legnaro (PD)

Entrando nel merito del comune di Legnaro (PD) (sede di Agripolis), riporto alcuni dati raccolti nel lavoro di tesi da un collega Unipd (Ottoboni P.: *"Cambiamento climatico e programmazione colturale: effetto dell'incremento termico su alcune specie orticole"*), il quale ha analizzato la serie dati di temperatura media mensile raccolti dalla stazione ARPAV di Legnaro dal 1994 al 2018.

Analizzando la sommatoria delle temperature medie mensili, possiamo notare che anche questa è significativamente aumentata nel tempo (Figura 5).

L'incremento è quantificabile mediamente in +1,45° C in ventiquattro anni, ciò significa che in media la temperatura ha subito un incremento di 0,0604° C ogni anno (Ottoboni Pietro, 2019).

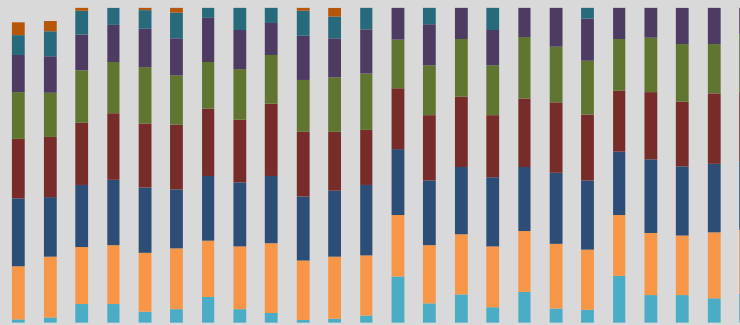


Figura 5: Sommatoria delle temperature medie mensili, periodo 1994-2018, stazione ARPAV di Legnaro (PD) (Ottoboni P., 2019).

Raffrontando queste analisi al contesto del presente lavoro, possiamo affermare con una certa sicurezza che il cambiamento climatico eserciterà la sua influenza nel Campus di Agripolis, sito designato per la presente ipotesi di progetto, come già è avvenuto fino ad ora.

Alla luce di queste considerazioni, in ambito di pianificazione per un impianto urbano a lungo termine la scelta delle essenze sarà da orientarsi verso piante che hanno un buon adattamento a condizioni siccitose e temperature crescenti, a discapito invece di essenze le quali necessitano di un clima mite e maggiore disponibilità idrica, oltre a provvedere indubbiamente all'irrigazione dell'impianto nella prima fase di stabilizzazione.

Oltretutto, la valutazione di possibili progetti che incrementino la performance ambientale dell'istituto sia da un punto di vista ecologico che energetico, andrà sicuramente a beneficio del campus stesso, ma anche della comunità nel suo insieme.

La mitigazione del cambiamento climatico rimane una sfida difficile, ma indubbiamente è anche la sfida che più appartiene a questa ed alle nuove generazioni di professionisti di molti settori, specialmente del settore agricolo.

3. INDAGINE DI DIPARTIMENTO: LE EMISSIONI DEL TESAF

3.1. Carbon footprint

La Carbon Footprint o “Impronta di Carbonio” è una misura che esprime in CO₂ equivalente il totale delle emissioni di gas ad effetto serra. (PolytecTechnologySrl 2017).

I gas a effetto serra sono naturalmente presenti nell’atmosfera terrestre e sono responsabili del raggiungimento di una temperatura favorevole alla vita sul pianeta. Tuttavia, come già visto, negli ultimi secoli l’esponenziale aumento della produzione antropica di tali gas ha determinato un inevitabile innalzamento della temperatura, dando origine ai cambiamenti climatici attuali.

I principali gas attualmente definiti come gas ad effetto serra sono:

- Anidride carbonica (CO₂)
- Metano (CH₄)
- Protossido d’azoto (N₂O)
- idrofluorocarburi (HFCs)
- Esafluoruro di zolfo (SF₆)
- Perfluorocarburi (PFCs)

3.2. CO₂ equivalente

Misurando i diversi impatti che hanno questi gas serra, è possibile esprimere la loro pericolosità in relazione a quella della CO₂, si andrà quindi a misurare il loro impatto in relazione all’impatto negativo della CO₂.

In tal modo si può esprimere la produzione totale di gas ad effetto serra riferendosi ad un solo parametro, ovvero la CO₂ equivalente; da cui deriva il concetto di Carbon Footprint.

Assegnando quindi all’anidride carbonica un fattore moltiplicativo pari a 1 (essendo il metro di riferimento), è possibile assegnare il corrispettivo fattore moltiplicativo agli altri gas climalteranti ponendoli in relazione con essa.

I valori, o fattori moltiplicativi, vengono riportati qui di seguito:

- Anidride carbonica 1
- Metano 25
- Protossido d’azoto 298
- Idrofluorocarburi 124 – 14.800
- Esafluoruro di zolfo 22.800
- Perfluorocarburi 7.390 – 12.200

3.3. Indagine TESAF: calcolo della carbon footprint

Nel 2022 è stata effettuata all'interno di Agripolis un'indagine sulle emissioni del dipartimento TESAF (Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali). L'indagine è stata svolta con l'obiettivo di quantificare l'impronta carbonica del dipartimento in CO₂ equivalente, proponendo al contempo soluzioni di compensazione delle emissioni (piantumazione, investimento in auto elettriche, pannelli solari).

Per calcolare l'impronta carbonica lo studio si è basato sulla norma tecnica standard UNI CEN ISO/TS 14067 per la quantificazione totale delle emissioni in tonnellate di CO₂ equivalenti.

Sono state calcolate sia le emissioni dirette, ovvero le emissioni derivanti da fonti direttamente possedute e controllate dall'organizzazione, che le emissioni indirette, ovvero emissioni che non avvengono nell'organizzazione, ma presso gli impianti di produzione dell'energia. (Bolzonella et al., 2022)

I dati considerati nel calcolo sono:

Ambito 1 (emissioni dirette)

- Consumo di gas naturale del polo di Agripolis (fatture)
- Consumo di carburante
- Consumo di carburante nei veicoli affittati dal Tesaf (Carte carburante)
- Consumo di energia elettrica (fatture)

Ambito 2 (emissioni indirette)

- Perdite elettriche di trasmissione e distribuzione sulla rete in Kwh (bibliografia)
- Consumo di carta in Kg (fatture)

Nel modello non sono però state considerate le seguenti categorie di emissioni per mancanza o difficile reperibilità dei dati:

- a) alimentazione del personale (a causa della mancanza di dati e perché ritenute esterne ai confini di responsabilità del dipartimento);
- b) spostamenti dei dipendenti per raggiungere il luogo di lavoro (questa analisi necessiterebbe di una specifica indagine relativa al mezzo utilizzato negli spostamenti e al kilometraggio annuo);
- c) produzione di RSU (per mancanza di dati).

L'analisi ha portato ad un'impronta carbonica pari a **234,60 t CO₂ eq. /anno**. Le fonti di emissioni principali sono legate al consumo di energia elettrica e al consumo di gas naturale con un peso rispettivamente del 65% e del 19% sul totale (Bolzonella et al., 2022)

4. AREE DEL CAMPUS ADATTE ALL'IMPIANTO ARBOREO

Con il presente lavoro si vuole valutare la fattibilità di incrementare lo stock di carbonio organico di Agripolis allo scopo di compensare parte delle emissioni dell'istituto e migliorarne la carbon footprint.

A tale scopo è stato indagato l'assetto attuale degli spazi esterni del campus e sono state individuate 3 aree compatibili alla piantumazione.

4.1. Il campus di Agripolis



Figura 6: il campus di Agripolis, fotografato da drone, 2018 (sciproveg.com - University of Padua Phd Programme).

Il Campus di Agripolis venne realizzato negli anni Novanta, a seguito della necessità dell'università di uno spazio che sopperisse alle esigenze di ricerca e sperimentazione delle facoltà di agraria e medicina veterinaria.

Lo stesso campus venne infatti insediato accanto all'azienda sperimentale Lucio Toniolo a Legnaro (PD).

Ad oggi il campus di Agripolis ospita aule e spazi di ricerca dei dipartimenti DAFNAE, BCA, MAPS e TESAF (agronomia animali risorse naturali e ambiente, biomedicina comparata e alimentazione, medicina animale produzioni e salute, territorio e sistemi agroforestali), laboratori ed aule di lezione per gli studenti, una biblioteca, stalle ed un ospedale veterinario, spazi informatici ed amministrativi, la sede di Veneto Agricoltura, residenze, una mensa, parcheggi ed impianti sportivi.

In seguito ai sopralluoghi effettuati negli spazi esterni del campus, si è evidenziata fin da subito una limitata disponibilità di nuovi spazi per la piantumazione. Procedendo alla misurazione delle superfici tramite software (*Google Earth Pro*), ne emerge che il campus presenta una buona porzione di aree verdi (56%); delle quali il 64% è costituito da zone mantenute a prato, per un totale di 4,69 ettari di prato (46.900 m²), corrispondenti al 36% della superficie totale del campus (Figura 7).

Nel campus sono presenti alcune formazioni forestali naturaliformi, di cui una fascia boscata di circa 0,5 ha situata al confine sudovest, composta da una vegetazione appartenete al *Salicetum albae*; lasciata intatta sin dai tempi di

realizzazione del campus, ed un impianto a bosco di 1 ha situato a nord-est della mensa, il cui scopo è quello di ricreare una formazione forestale naturaliforme (il querceto-carpineto), tramite la consociazione tra farnia e carpino bianco, oltre ad acero campestre ed altre specie forestali autoctone. I dati spaziali sulle infrastrutture sono stati ottenuti sottraendo la totalità di superfici verdi all'estensione complessiva del campus (Tabella 1 e Figura 7).

Da notare che nel corso del 2022 è stata conclusa la costruzione di un nuovo fabbricato per il complesso di medicina veterinaria. Tale edificio non è stato calcolato, causa mancanza di foto aeree aggiornate disponibili per la misurazione.

Tabella 1: destinazione d'uso ed estensione delle superfici del campus di Agripolis.

Superfici di Agripolis e destinazione d'uso								
area	descrizione	prati e aiuole	formazioni forestali	filari	alberature a macchia	siepi	totale aree verdi	infrastrutture
-	-	[ha]	[ha]	[ha]	[ha]	[ha]	[ha]	[ha]
A1	parcheggi stecche e zona sudovest	1,14	0,55	0,11	0,00	0,03	1,84	-
A2	prato tra stecche e pentagono	0,41	0,00	0,00	0,05	0,00	0,46	-
A3	parcheggio e transito pedonale Veneto Agricoltura/Pentagono	0,53	0,00	0,16	0,00	0,04	0,73	-
A4	foresta mensa e prato alloggi studenti	0,78	1,01	0,10	0,10	0,00	1,99	-

4.2. Aree selezionate

Per la maggior parte dei suoi spazi verdi, il campus risulta già alquanto utilizzato, in particolare la zona del prato centrale è destinata all'attività sportivo-ricreativa degli studenti, ed abbandonare questa importante funzione non sarebbe sicuramente utile al miglioramento del campus. Tuttavia all'interno del campus esistono alcune zone le quali sono scarsamente fruite dal pubblico, ed altre le quali presentano alberature parziali che potrebbero essere ampliate. Di seguito sono esposte le zone prese in considerazione da questo studio.

4.2.1. Zona 1: il prato degli alloggi degli studenti

Situata nell'angolo nord-est di Agripolis, si trova un'area mantenuta a prato, confinante nei lati interni con gli alloggi degli studenti e l'impianto forestale della mensa; e nel lato esterno con viale dell'università, e dietro di esso la strada statale 516 (Figura 8).

Questa zona misura circa 1950 m² e si trova in un'area poco frequentata del campus, in quanto le attività ricreative degli studenti sono quasi esclusivamente concentrate nel prato centrale.

4.2.2. Zona 2: transito pedonale dalle stecche verso la mensa

Attualmente in questa zona è presente un filare di carpino bianco (*Carpinus betulus*) che accompagna il viale pedonale in entrambi i lati, tuttavia questa alberatura esiste solo nella parte di viale che va dall'angolo nord del pentagono fino alla mensa; lasciando disadorno tutto il tratto che collega il pentagono alle stecche ed al parcheggio sud (più di metà percorso in termini di distanza).

4.2.3. Zona 3: aiuole del parcheggio di Veneto Agricoltura

La terza zona presa in considerazione è costituita dalle aiuole che delimitano il confine sud-est del campus, in corrispondenza del parcheggio di Veneto Agricoltura. Queste aiuole misurano circa 190 m di lunghezza complessiva e sono larghe 6,5 metri (tranne il breve tratto adiacente all'entrata, di larghezza pari a 10,3 m). Anche in questo caso si tratta di una zona con copertura erbosa, che non svolge nessuna funzione particolare in ambito estetico-ricreativo e potrebbe prestarsi ad un intervento di miglioramento ambientale.

4.1. Aree scartate e motivazioni

Vi sono alcune zone nel campus le quali potrebbero ospitare ulteriori impianti arborei, tuttavia non sono state considerate nel presente progetto, in particolare i prati adiacenti al lato sud del pentagono ed il prato centrale.

Sebbene l'estensione delle superfici di Agripolis mantenute a prato permetterebbe un grande margine di intervento per incrementare lo stoccaggio di carbonio, è importante considerare le funzioni originarie delle zone nelle quali si andrà ad intervenire; esse non dovrebbero essere stravolte tanto nella funzione estetico-paesaggistica quanto in quella ricreativa. Se da un lato è vero che l'introduzione di filari alberati migliora il microclima delle temperature estive con l'ombreggiamento, dall'altro gli stessi alberi creano una

barriera visiva e modificano l'ambiente circostante, limitando in alcuni casi la crescita dell'erba e quindi modificando la natura di un'area adibita a prato. In alcuni casi persino l'ombra può non essere ambita: il calore estivo di un prato soleggiato permette una funzione ricreativa che una zona con alberatura a macchia non concede, ancor più se si prende in considerazione la funzione sportivo-motoria.

Per questo motivo l'intervento complessivo proposto dal presente progetto volge a valutare le possibilità di un approccio moderato, che prende in considerazione interventi utili ma non eccessivi, che modifichino ma senza stravolgere l'aspetto e la fruibilità complessiva dell'ambiente ospitante.



Figura 8: Vista aerea di Agripolis. Sono evidenziate le zone selezionate per l'intervento; in rosso è visibile la zona 1, in arancio la zona 2 lineare, in blu la zona 3 lineare.

5. CARATTERISTICHE DEL SUOLO DEL CAMPUS DI AGRIPOLIS

Il sistema suolo viene diviso in tre parti: Humipedon, Copedon e Lithopedon (Zanella et al., 2018).

Allo scopo di pianificare una piantumazione ottimale, è necessaria un'analisi preliminare delle caratteristiche del suolo in situ.

Nelle tre aree individuate, è stato campionato il suolo in 6 diversi punti.

Sono state utilizzate una sonda pedologica per un'indagine preliminare degli orizzonti, e successivamente sono stati scavati dei minipit per testarne la tessitura (Figura 9).

Per rendere il processo più speditivo e meno costoso, si è evitata l'analisi fisico-chimica completa del suolo nelle tre aree e ci si è limitati a studiare le caratteristiche morfo-funzionali dell'Humipedon, approfittando dell'apertura di un cantiere per fotografare e capire l'insieme del profilo.



Figura 9: dall'alto: sonda pedologica manuale e scavo di minipit per l'analisi del suolo.

Le aree utilizzabili per i nuovi impianti sono coperte da prato.

L'Humipedon comprende gli orizzonti organici O, ovvero (OL, OF, OH) ed A; mentre il Copedon comprende gli orizzonti E e B; ed il Lithopedon quelli C ed R (Zanella et al., 2022b).

L'Humipedon, ovvero la porzione superficiale di suolo ricca in carbonio organico, esiste solo nei suoli naturali, (suoli forestali, prati etc.) e segue un proprio sistema di classificazione, che è stato recentemente migliorato, semplificato e aggiornato.

Le aree utilizzabili per nuovi impianti sono coperte da prato. L'humipedon di questi prati è classificabile nel sistema Mull da lombrichi (Zanella et al., 2022b).

Nei suoli forestali per l'ambito Mull sono state analizzate 4 forme di humus:

- Eumull, ovvero orizzonte organico privo di foglie o con solo foglie dell'anno;
- Mesomull, se sono presenti foglie dell'anno e anche foglie dell'anno precedente;
- Oligomull, se sono presenti anche foglie sminuzzate (OF) in modo discontinuo;
- Dysmull, se è presente un orizzonte organico OF continuo.

Nei suoli ispezionati sono presenti in modo diffuso una moderata quantità di foglie dell'anno, può quindi essere classificato come un Eumull.

Abbiamo inoltre notato che nella parte più superficiale il profilo presenta anche un orizzonte di pochi cm pieno di radici di graminacee che si potrebbe assegnare a un sistema di humus secondario denominato Rhizo (Zanella et al., 2018). Per essere più precisi, quindi, l'humipèdon dovrebbe essere classificato come Rhizo-Mull, un sistema di humus dipendente soprattutto dai lombrichi (Figura 10), che creano un suolo organo-minerale grumoso, ma anche dalle radici delle graminacee che in superficie generano uno strato di piccoli aggregati confezionati da batteri, i quali vivono consumando gli essudati radicali di queste piante.



Figura 10: turricolo di anellide del genere *Lombricus*, presente nei prati di Agripolis.

Inseguito alla prova di trivellazione manuale con la sonda, tutti i campioni hanno presentato un profilo analogo, costituito da un orizzonte A di profondità dai 5 ai 15 cm (Eumull e Rhizo-mull), seguito da un orizzonte E di colore più chiaro.

Gli orizzonti E sono fondamentalmente orizzonti minerali, formati solitamente vicino alla superficie, privi o quasi della struttura del materiale parentale. Sono inoltre caratterizzati da perdita di argille silicate, Fe, Al, e da arricchimento relativo in particelle sabbiose e limose. Presentano generalmente un colore chiaro, come è visibile in Figura 11.

Di seguito si procede alla descrizione dei profili esaminati nel dettaglio.

5.1. Zona 1: il prato adiacente al quercio-carpineto

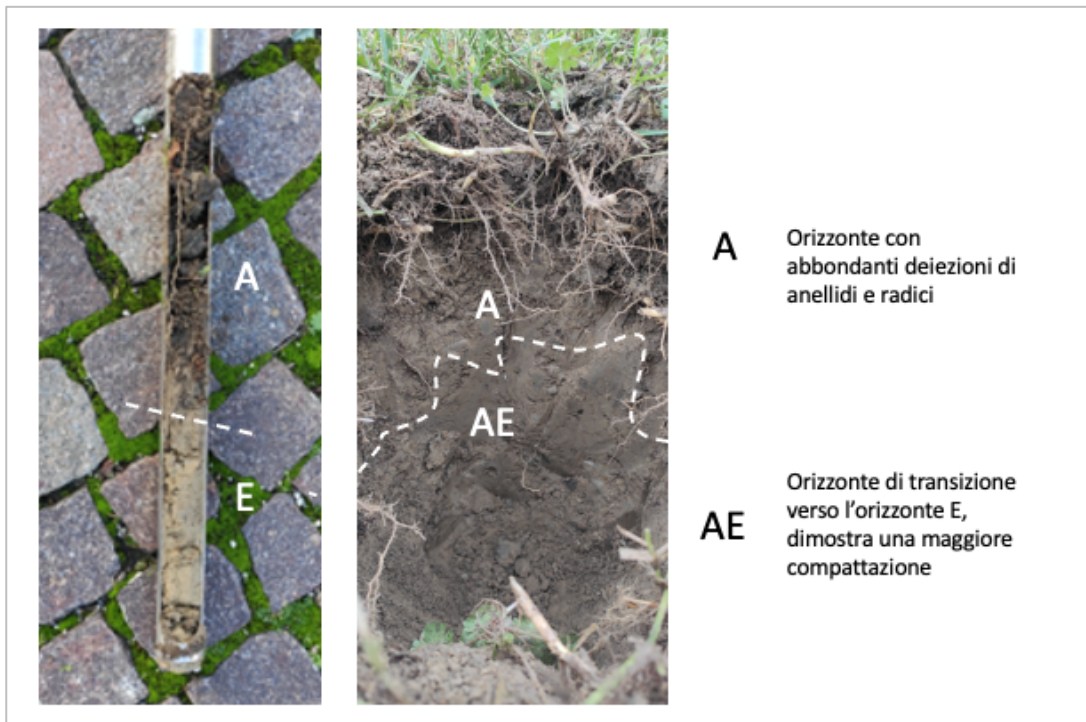


Figura 11: da sinistra; sonda pedologica e minipit con descrizione degli orizzonti. Nella porzione di suolo estratta tramite sonda, si può notare la marcata differenza di colore tra gli orizzonti A ed E.

Si tratta di un'area a prato fondamentale poco sfruttata e dove la superficie rimane per lo più "indisturbata", se non per gli sfalci di manutenzione annuale del tappeto erboso. Il suolo analizzato in questo sito (Figura 11) presenta un profilo con una buona porzione di orizzonte A franco-argilloso ricco in materia organica (il più profondo tra tutti i campioni), mentre l'orizzonte sottostante è costituito da un orizzonte E di colore molto più chiaro e di tessitura franco-limosa, il quale forma uno strato più compatto e potenzialmente di più difficile fruizione da parte degli apparati radicali arborei. L'orizzonte A dimostra una buona porosità e presenza di pedofauna, in particolare anellidi (genere *Lumbricus*), importanti per i processi di umificazione e per contrastare il dilavamento e l'eluviazione degli orizzonti superficiali. Le tabelle 2-7 riportano i dati rilevati nel dettaglio.

5.2. Zona 2: il viale di carpini dal parcheggio alla mensa

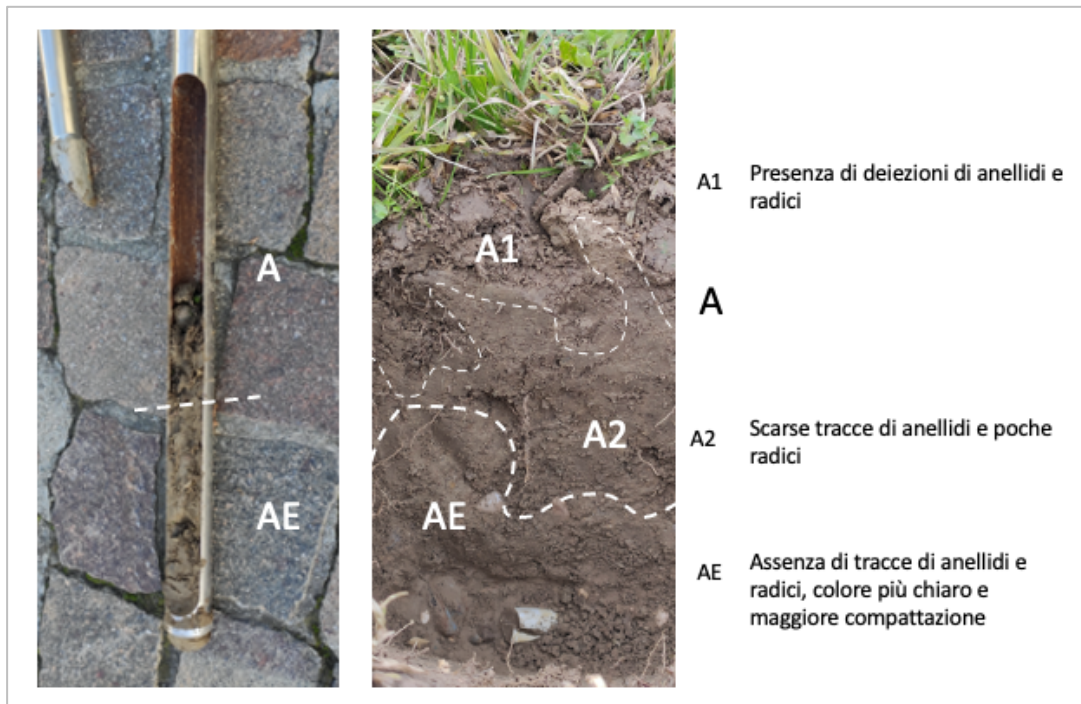


Figura 12: suolo adiacente al viale che pedonale principale del campus, e descrizione degli orizzonti.

Questa è l'unica area della quale si dispone della visuale di uno scavo più approfondito, grazie ad un'immagine scattata in concomitanza dei recenti lavori di espansione del blocco di medicina veterinaria conclusi nel 2022 (Figura 13).

A livello superficiale anche quest'area risulta quasi identica alle altre due, con un orizzonte A di 5-10 cm franco-argilloso ed un orizzonte E franco-limoso, di colore chiaro, più compatto e meno strutturato. In questo caso purtroppo il campione rilevato presentava uno scheletro artificiale dovuto a terreno di riporto ricco di rifiuti di cantiere in plastica ed altri materiali, un fattore sicuramente limitante per una crescita arborea funzionale, che porta a consigliarne la parziale sostituzione qualora la situazione fosse analoga anche a profondità maggiori. Nell'immagine possiamo notare cerchiati in nero i sopracitati corpi estranei (Figura 12).



Figura 13: suolo adiacente al nuovo complesso di medicina veterinaria. In nero è cerchiato lo scheletro artificiale costituito da rifiuti di cantiere.

Per quanto riguarda gli orizzonti inferiori, la Figura 13 mostra alcune foto dello scavo di cantiere. Qui è possibile individuare gli orizzonti A, E1, E2 e Bt.

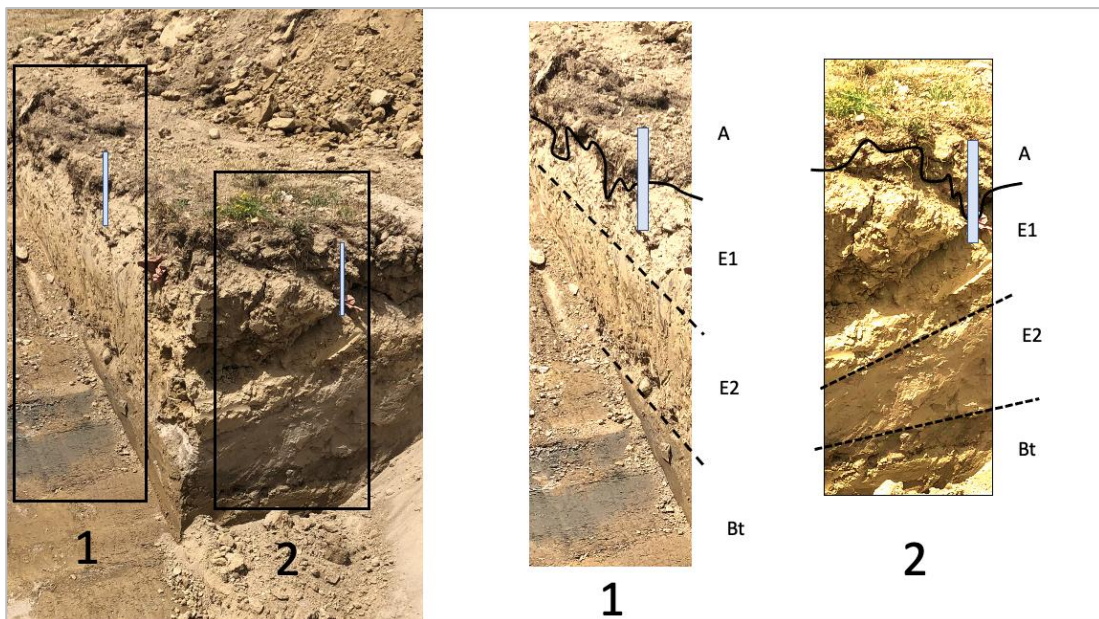


Figura 14: scavo di cantiere effettuato per l'ampliamento del complesso di veterinaria (foto: Zanella A., giugno 2022).

In Figura 13 è possibile notare una parziale miscelazione degli orizzonti A ed E originali, dovuta alla lavorazione del suolo. Possiamo notare la presenza di un orizzonte E1 di colore molto chiaro, fattore dovuto alla carenza di ossidi di ferro. Un altro fattore che potrebbe concorrere alle caratteristiche di questo orizzonte, potrebbe essere l'inclusione della traccia di un suolo precedentemente impoverito dall'utilizzo antropico.

L'orizzonte E2 invece, corrisponde ad un orizzonte di transizione tra un orizzonte E (come quelli già descritti) ed un orizzonte B sottostante, caratterizzato un accumulo di argille silicate illuviali.

Un orizzonte B è un orizzonte minerale di profondità, privo o quasi della struttura del materiale parentale, avente almeno uno dei seguenti caratteri:

- concentrazione illuviale di argille silicate, Fe, Al, humus, carbonati, gesso o silice (in forma separata o combinata);
- evidente perdita di carbonati;
- concentrazione residuale di sesquiossidi;
- rivestimenti di sesquiossidi che rendono l'orizzonte più rosso o più vivacemente colorato rispetto a quelli adiacenti senza illuviazione di Fe;
- alterazione, con formazione di argille silicate e/o liberazione di ossidi, e con sviluppo di struttura pedogenetica;
- sviluppo di fragilità.

L'ultimo orizzonte indicato è infatti denominato Bt, che indica un orizzonte B con un accumulo di argille silicate illuviali, indicato dalla lettera t in minuscolo. Le considerazioni sviluppate sulla base di questi dati ci permettono di ricondurre questo suolo ad un luvisol, ovvero un suolo caratterizzato da un accumulo superficiale di humus che sovrasta uno strato ampiamente dilavato, quasi privo di argilla e di minerali contenenti ferro; sotto il quale si trova uno strato di accumulo di argilla ad elevati livelli di ioni nutrienti disponibili comprendenti calcio, magnesio, sodio e potassio (IUSS Working Group, 2022).

5.3. Zona 3: le aiuole del parcheggio di Veneto Agricoltura

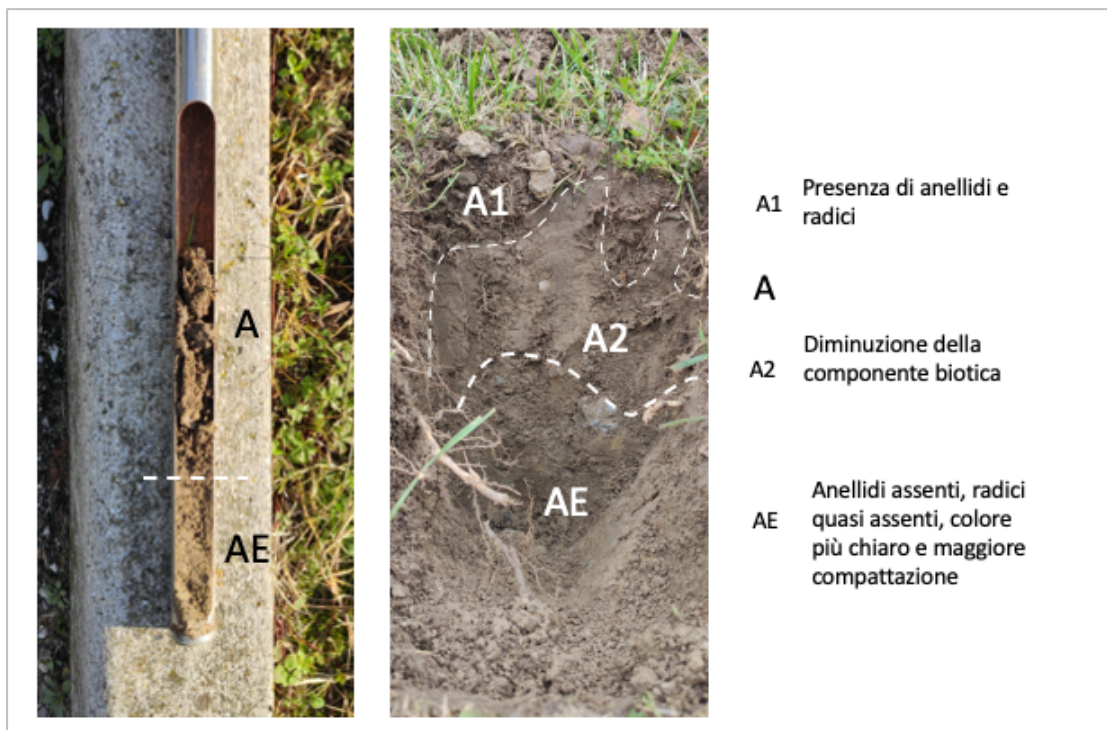


Figura 15: suolo appartenente alle aiuole del parcheggio di Veneto Agricoltura e descrizione degli orizzonti.

In quest'area il suolo presenta caratteristiche quasi identiche a quelle degli altri due siti identificati. Le principali differenze si attestano nei confronti dello spessore dell'orizzonte A, in questo caso più sottile, e nelle dimensioni dello scheletro nell'orizzonte E.

Qui lo scheletro aumenta fino a raggiungere il 10%, con clasti che superano a volte i 50 mm, dovuti probabilmente a terreno di riporto posizionato in epoca di costruzione del complesso. La possibilità della presenza di un cattivo terreno di riporto potrebbe creare qualche ostacolo al buon sviluppo radicale, fattore da valutare in fase di piantumazione, e al quale ovviare come nel caso precedente, con una parziale sostituzione del terreno nelle buche di piantumazione.

Di seguito le tabelle riportanti nel dettaglio i dati raccolti per ogni suolo.

5.4. Tabelle dati dei suoli nei siti d'impianto

Tabella 2: orizzonte A del suolo nel prato adiacente al quercio-carpineto.

zona 1	Prato adiacente al quercio-carpineto		
Orizzonte A	limite	tipo	chiaro (passaggio fra 2,5 e 6 cm)
		andamento	lineare
		profondità	15 cm
	umidità	classe	umido (a capacità di campo)
	scheletro	percentuale	2%
		dimensione dei clasti	piccola
		forma	arrotondata
		litologia	non valutata
		alterazione	non alterato
	tessitura	tipo	franco - argilloso
	granulometria	tipo	argilloso - fine
	struttura	tipo	granulare
	consistenza	classe	friabile
	colore	sistema Munsell	3/1
	screziature		assenti
	concentrazioni		assenti
	pellicole		assenti
	radici	frequenza	molte
	dimensioni	fini, medie	
macropori	tipo	tubulari	
	dimensioni	medie	
	percentuale	5%	
	classe di porosità	buona porosità	
fessure	quantità	assenti	
	larghezza	-	
pedofauna	tipologia	prevalentemente anellidi	
	quantità	buona	

Tabella 3: orizzonte E del prato adiacente al quercu-carpineto.

zona 1	Prato adiacente al quercu-carpineto		
Orizzonte E	limite	tipo	-
		andamento	-
		profondità	> 20-25 cm
	umidità	classe	
	scheletro	percentuale	5%
		dimensione dei clasti	piccola
		forma	arrotondata
		litologia	non valutata
		alterazione	non alterato
	tessitura	tipo	Franco - limoso
	granulometria	tipo	limoso - fine
	struttura	tipo	granulare
	consistenza	classe	friabile
	colore	sistema Munsell	6/2
	screziature		assenti
	concentrazioni		assenti
pellicole		assenti	
radici	frequenza	poche	
	dimensioni	fini	
macropori	tipo	tubulari	
	dimensioni	medie	
	percentuale	0,5%	
	classe di porosità	moderata porosità	
fessure	quantità	assenti	
	larghezza	-	
pedofauna	tipologia	anellidi	
	quantità	moderata	

Tabella 4: orizzonte A del suolo del viale pedonale del campus.

zona 2	Viale pedonale		
Orizzonte A	limite	tipo	chiaro (passaggio fra 2,5 e 6 cm)
		andamento	ondulato
		profondità	5 cm
	umidità	classe	umido (a capacità di campo)
	scheletro	percentuale	2%
		dimensione dei clasti	piccola
		forma	arrotondata
		litologia	non valutata
		alterazione	non alterato
	tessitura	tipo	franco - argilloso
	granulometria	tipo	argilloso - fine
	struttura	tipo	granulare
	consistenza	classe	friabile
	colore	sistema Munsell	3/1
	screziature		assenti
	concentrazioni		assenti
	pellicole		assenti
radici	frequenza	molte	
	dimensioni	fini, medie	
macropori	tipo	tubulari	
	dimensioni	medie	
	percentuale	2%	
	classe di porosità	buona porosità	
fessure	quantità	assenti	
	larghezza	-	
pedofauna	tipologia	prevalentemente anellidi	
	quantità	buona	

Tabella 5: orizzonte AE del suolo del viale pedonale del campus.

zona 2	Viale pedonale		
Orizzonte AE	limite	tipo andamento profondità	
	umidità	classe	
	scheletro	percentuale	10%
		dimensione dei clasti	da piccola a media
		forma	sub - arrotondata, o artificiale
		litologia	non valutata
		alterazione	non alterato
	tessitura	tipo	franco - limoso
	granulometria	tipo	limoso - fine
	struttura	tipo	granulare
	consistenza	classe	friabile
	colore	sistema Munsell	5/2
	screziature		assenti
	concentrazioni		assenti
	pellicole		assenti
	radici	frequenza dimensioni	poche fini
	macropori	tipo dimensioni percentuale classe di porosità	tubulari fini 0,5% moderata porosità
	fessure	quantità larghezza	assenti -
pedofauna	tipologia quantità	anellidi moderata	

Tabella 6: orizzonte A delle aiuole di confine del campus.

zona 3	Aiuole parcheggio Veneto Agricoltura		
Orizzonte A	limite	tipo	chiaro (passaggio fra 2,5 e 6 cm)
		andamento	ondulato
		profondità	5-10 cm
	umidità	classe	umido (a capacità di campo)
	scheletro	percentuale	2%
		dimensione dei clasti	piccola
		forma	arrotondata
		litologia	non valutata
		alterazione	non alterato
	tessitura	tipo	franco - argilloso
	granulometria	tipo	argilloso - fine
	struttura	tipo	granulare
	consistenza	classe	friabile
	colore	sistema Munsell	4/1
	screziature		assenti
	concentrazioni		assenti
	pellicole		assenti
radici	frequenza	molte	
	dimensioni	fini, medie	
macropori	tipo	tubulari	
	dimensioni	medie	
	percentuale	2%	
	classe di porosità	moderata porosità	
fessure	quantità	assenti	
	larghezza	-	
pedofauna	tipologia	anellidi	
	quantità	buona	

Tabella 7: orizzonte AE delle aiuole di confine del campus.

zona 3		Aiuole parcheggio Veneto Agricoltura	
Orizzonte AE	limite	tipo	-
		andamento	-
		profondità	> 25 - 30 cm
	umidità	classe	
	scheletro	percentuale	10%
		dimensione dei clasti	piccola
		forma	sub - arrotondata
		litologia	non valutata
		alterazione	non alterato
	tessitura	tipo	Franco - limoso
	granulometria	tipo	limoso - fine
	struttura	tipo	granulare
	consistenza	classe	friabile
	colore		6/2
	screziature		assenti
	concentrazioni		assenti
	pellicole		assenti
	radici	frequenza	poche
		dimensioni	fini
	macropori	tipo	tubulari
dimensioni		fini	
percentuale		0,5%	
classe di porosità		moderata porosità	
fessure	quantità	assenti	
	larghezza	-	
pedofauna	tipologia	anellidi	
	quantità	buona	

6. LA SCELTA DELLE ESSENZE

6.1. Fattori abiotici

Nella crescita delle piante giocano un ruolo di spicco le condizioni abiotiche. I parametri limite allo sviluppo vegetale, e quindi da considerare nella scelta delle varietà e cultivar da adottare nel progetto sono:

- condizioni pedologiche
- temperatura
- luce
- umidità

6.1.1. Condizioni pedologiche

Le caratteristiche del suolo in cui le piante dovranno essere messe a dimora giocano un ruolo fondamentale per la crescita delle stesse; il suolo è l'ambiente in cui le radici scambiano sostanze con il terreno a livello della rizosfera (porzione di suolo adiacente alle radici). Le caratteristiche chimiche dell'area in questione rappresentano le basi per l'assorbimento delle sostanze nutritive. Diverse specie hanno diversa affinità con le caratteristiche pedologiche del suolo ed è quindi necessario in fase di scelta verificarne la compatibilità.

Come analizzato precedentemente i maggiori effetti attualmente probabili dei cambiamenti climatici sono l'aumento delle temperature medie stagionali e la diminuzione della frequenza dei fenomeni piovosi, a fronte di una loro maggiore intensità.

Questo fattore potrebbe portare alla presa in esame di alcune specie adatte a climi leggermente più secchi rispetto al clima attuale.

6.1.2. Effetto della temperatura sulla fenologia

La temperatura è uno dei parametri più importanti nel determinare le condizioni climatiche di un territorio e quindi, la distribuzione delle specie coltivabili, la durata dei cicli produttivi e i calendari delle operazioni agronomiche. Dal punto di vista fisiologico, la temperatura regola la velocità di trasferimento dell'energia e quella delle reazioni biochimiche.

Per ogni specie sono individuabili i seguenti livelli termici biologici o anche detti cardinali termici:

- temperatura minima letale, temperatura alla quale la pianta subisce danni irreversibili fino alla morte;
- temperatura minima biologica o zero di vegetazione, temperatura alla quale la pianta interrompe l'attività biologica senza subire danni;
- temperatura ottimale del giorno e della notte, temperatura alla quale la pianta ha il massimo accrescimento;

- temperatura massima biologica (cutoff), temperatura alla quale la pianta interrompe l'attività biologica senza subire danni;
- temperatura massima letale, temperatura al di sopra della quale si verificano danni irreversibili nella pianta fino alla morte.

Conoscere le temperature cardinali di una specie ha un ruolo di primo piano, in quanto hanno un effetto diretto nella fenologia della pianta e nella lunghezza del ciclo produttivo della stessa.

L'incremento termico comporterà conseguenze differenti a seconda della regione presa in esame. Nelle regioni del nord Europa, l'aumento delle temperature permetterà la coltivazione di specie la cui coltivazione non era realizzabile; nelle regioni Mediterranee l'aumento delle temperature causa un incremento della traspirazione delle piante, le quali necessitano di maggiori fabbisogni irrigui (Olesen & Bindi, 2002).

6.1.3. Luce

L'apporto luminoso è condizione essenziale per il processo di fotosintesi, più precisamente la PAR (Photosynthetically Active Radiation) ovvero la parte di radiazione utilizzata dagli apparati fogliari.

Per quanto riguarda questo aspetto, in fase di progettazione va sempre considerata la tolleranza all'ombra di ogni specie, per verificarne la compatibilità con il posizionamento prescelto.

6.1.4. Umidità

Per definire lo stato di umidità del terreno si fa riferimento alla forza con cui il terreno trattiene l'acqua, opponendosi al suo allontanamento. Questa è una forza costante per ogni tipo di terreno e dipende principalmente dalla granulometria.

La presenza di adeguati livelli di umidità è di vitale importanza in quanto, se insufficiente, comporta stress idrico per la pianta, se eccessiva, comporta il potenziale sviluppo di patogeni a volte difficili da contrastare.

Ogni specie predilige condizioni di umidità specifiche.

6.1.5. Apporti idrici

Attualmente si verificano sempre di più fenomeni di elevata portata d'acqua concentrata in un breve periodo di tempo; questi fenomeni sono maggiormente presenti in periodi dell'anno come autunno e primavera, causando una registrazione di estati calde e siccitose.

Di conseguenza a ciò sarà necessario utilizzare specie e cultivar adatte alle difficili condizioni attuali e, svolgendo una previsione a lungo termine (data dalla lunga durata di vita delle piante prese in considerazione), anche delle condizioni future.

Per far fronte ad eventuali condizioni avverse allo sviluppo delle piante, potrà essere necessario inserire nel progetto un impianto di irrigazione, adatto alle

condizioni ambientali e progettuali e al fabbisogno delle piante; questo specialmente nelle aree di fruizione pubblica (per l'impianto forestale invece, una volta stabilizzato, sarà favorita una dinamica naturale di competizione e successione).

6.1.6. Autoctonia

Nella scelta effettuata si è data un'importanza rilevante all'autoctonia delle specie. Nonostante si è sempre fatto largo utilizzo di piante alloctone nei progetti di verde urbano, esse possono non rappresentare la scelta migliore da un punto di vista ecologico in quanto, nel caso di naturalizzazione e competizione con le specie locali, possono far evolvere gli ecosistemi verso direzioni imprevedibili. Si è quindi voluto prediligere le specie vegetali autoctone.

6.1.7. Altre considerazioni

Ulteriori considerazioni che vanno fatte in ambito di progettazione sono riferite ad aspetti urbanistici di fruizione e coerenza estetica con il contesto di intervento ed infine considerazioni di tipo normativo, per verificare di stare operando nei termini legali previsti.

6.2. Sequestro di carbonio

Oltre ai precedenti aspetti, per svolgere questo lavoro in modo più completo si è andato a considerare la quantità di CO₂ assorbita dalle piante nel corso del loro sviluppo.

Il CNR di Bologna ha analizzato la capacità di mitigazione ambientale per una serie di piante, derivante dalla quantità di anidride carbonica assorbita in 20 anni, l'assorbimento potenziale di inquinanti gassosi e il potenziale di cattura delle polveri sottili. Tali stime sono inoltre riportate in uno studio tecnico commissionato nel 2017 da Politec Technology per l'abbattimento delle emissioni tramite piantumazione, ipotizzando che le piante abbiano un'età di 10 anni al momento dell'impianto (Tabella 8).

Tabella 8: lista di specie arboree e relativa capacità di mitigazione ambientale. I dati sono calcolati per singola pianta, piantumata ad un'età di 10 anni (PolytecTechnologySrl 2017).

Pianta	capacità di mitigazione ambientale	assorbimento di CO2 per singola pianta, dai 10 anni di età in poi					assorbimento potenziale di inquinanti gassosi	Potenziale di cattura delle polveri
		classificaz.	in 20 anni	primi 5 anni	succ. 5 anni	media per anno		
-	-	-	[t/20a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	-	-
Acer campestre	Buona	Media	1,9	75	105	95	Medio	Medio
Acer riccio	Ottima	Alta	3,8	138	205	190	Alto	Medio
Albero di Giuda	Media	Bassa	0,45	16	25	22,5	Medio	Alto
Alloro	Buona	Bassa	0,45	16	25	22,5	Alto	Alto
Bagolaro	Ottima	Alta	2,8	103	155	140	Medio	Medio
Betulla verrucosa	Ottima	Alta	3,1	120	170	155	Alto	Alto
Biancospino nostrano	Buona	Bassa	0,45	16	25	22,5	Alto	Medio
Carpino bianco	Buona	Alta	2,8	103	155	140	Medio	Alto
Catalpa nana	Media	Bassa	0,45	16	25	22,5	Alto	Basso
Cerro	Ottima	Alta	3,1	120	170	155	Basso	Medio
Ciliegio	Buona	Media	1,7	61	92	85	Alto	Medio
Frassino comune	Ottima	Alta	2,8	103	155	140	Medio	Medio
Gelso piangente	Media	Bassa	0,45	16	25	85	Alto	Alto
Ginkgo	Ottima	Alta	2,8	103	155	85	Alto	Alto
Koelreuteria	Media	Media	1,7	61	92	140	Medio	Medio
Ligustro del Giappone	Buona	Bassa	0,45	16	25	22,5	Alto	Alto
Liriodendro	Buona	Alta	2,8	130	155	140	Medio	Alto
Melo da fiore	Buona	Bassa	0,45	16	25	22,5	Medio	Alto
Mirabolano	Buona	Media	1,7	61	92	85	Alto	Alto
Olmo comune	Ottima	Alta	2,8	103	155	140	Alto	Medio
Ontano nero	Ottima	Alta	2,6	97	140	130	Alto	Alto
Orniello	Buona	Media	1,7	61	92	85	Alto	Alto
Parrozia	Buona	Media	1,7	61	92	85	Alto	Alto
Photinia red robin	Buona	Bassa	0,45	16	25	22,5	Medio	Medio
Robinia	Buona	Alta	2,8	103	155	140	Alto	Alto
Sambuco	Media	Bassa	0,45	16	25	22,5	Basso	Medio
Sofora	Buona	Alta	2,8	103	155	140	Alto	Alto
Storace	Media	Alta	2,8	103	155	140	Alto	Basso
Tiglio nostrano	Ottima	Alta	2,8	103	155	140	Alto	Alto
Tiglio selvatico	Ottima	Alta	2,8	103	155	140	Alto	Alto
Viburno tino	Buona	Bassa	0,45	16	25	22,5	Medio	Medio

6.3. Specie considerate

Sulla base dei fattori sopra analizzati, la scelta delle specie adatte al progetto ha seguito le condizioni ambientali specifiche dei siti d'impianto ma, soprattutto, si è prestata attenzione alle piante già presenti all'interno del campus, osservandone la vigoria e lo stato fitosanitario, in modo da svolgere una scelta più accurata e attenta.

La scelta che è stata presa va quindi a considerare in primo luogo che il sito di piantumazione sia coerente con l'habitat di crescita, ovvero che offra delle buone condizioni di sviluppo, e in secondo luogo l'assorbimento e accumulo di anidride carbonica.

Inoltre, il progetto è costituito da tre tipi di intervento differenti:

- l'ampliamento di una consociazione forestale pre-esistente
- l'ampliamento di un viale alberato pre-esistente
- una piantumazione ex-novo

Per i primi due tipi di intervento, la scelta delle varietà presenta alcune limitazioni ulteriori: nella consociazione forestale è stata data precedenza alle specie del quercu-carpineto, mentre per il viale alberato sono state fatte considerazioni di coerenza estetica con l'opera già presente.

6.3.1. Specie per la consociazione forestale: il quercu-carpineto

Il quercu-carpineto è una formazione forestale dominata da farnia (*Quercus robur*), e carpino bianco (*Carpinus Betulus*).

A queste specie si associano variabilmente *Fraxinus excelsior*, *Acer campestre*, *Ulmus minor*, *Prunus avium*, *Platanus orientalis*, *Sorbus torminalis*, *Acer pseudoplatanus*, *Pyrus pyraeaster*, *Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*, *Fraxinus angustifolia*.

Nella componente arbustiva del quercu-carpineto troviamo invece *Crataegus laevigata*, *Crataegus monogyna*, *Prunus spinosa*, *Cornus sanguinea*, *Cornus mas*, *Malus sylvestris*, *Euonymus europaeus*, *Rosa canina*, *Viburnum opulus*, *Corylus avellana*, *Rhamnus frangula* e *Sambucus nigra* (San-Miguel-Ayanz J. et al., 2016).

Per quanto riguarda l'adattabilità al suolo del campus, quasi tutte queste specie risultano compatibili con le caratteristiche pedologiche del sito e dal punto di vista dell'autoctonia, tuttavia la normativa regionale per la realizzazione di boschi nella pianura veneta fornisce delle liste specifiche per la selezione delle specie più rappresentative e performanti, vietando al tempo stesso l'utilizzo di piante non pertinenti (il leccio ad esempio è concesso per la piantumazione in bosco solo nella fascia costiera). Si è pertanto preferito ridurre la lista alle specie consentite dalla normativa regionale.

La selezione finale per quest'area è quindi costituita da quindici specie:

- Farnia (*Quercus robur*)

- Carpino bianco (*Carpinus betulus*)
- Acero campestre (*Acer campestre*)
- Olmo Campestre (*Ulmus minor*)
- Frassino ossifillo (*Fraxinus angustifolia*)
- Sanquinella (*Cornus sanguinea*)
- Nocciolo (*Corylus avellana*)
- Biancospino comune (*Crataegus monogyna*)
- Biancospino selvatico (*Crataegus laevigata*)
- Fusaggine (*Euonymus europaeus*)
- Frangula (*Frangula alnus*)
- Ligustro (*Ligustrum vulgare*)
- Prugnolo (*Prunus spinosa*)
- Spino cervino (*Rhamnus cathartica*)
- Sambuco nero (*Sambucus nigra*)

Tra le specie arboree, la farnia (Figura 16) ricopre un ruolo fondamentale in quanto costituiva la principale componente delle foreste planiziarie. Per questo motivo a questa specie viene assegnato un un peso percentuale maggiore. Inoltre, essendo specie dotata di elevata variabilità genetica, si tende ad assegnarle una maggiore densità per aumentare la probabilità che si sviluppino individui di buone caratteristiche in termini di portamento e di accrescimento. Viene infatti frequentemente utilizzata, nel caso di impianti per file, la tecnica di piantare la cosiddetta doppia o tripla farnia, che consiste nel porre a dimora, lungo il filare, 2 o 3 individui distanziati circa mezzo metro tra loro anziché uno solo, nella prospettiva di diradare selezionando il migliore già attorno ai 5 anni di età (tecnica utilizzabile anche per il frassino ossifillo) (*Norme per La Realizzazione Di Boschi Nella Pianura Veneta, 2003*).



Figura 16: da sinistra: esemplare di farnia in campo aperto, dettaglio di foglie e acheni.

6.3.2. Specie per il viale pedonale di Agripolis

In questo secondo ambito di intervento, la scelta ha dovuto tenere conto dell'opera già in posa nel sito; ovvero il filare di *Carpinus betulus*.

Dai punti di vista della compatibilità con le caratteristiche abiotiche del sito, la specie risulta fortemente compatibile, anche dal punto di vista della quantità di luce, in quanto rappresenta una delle poche specie native europee con elevata tolleranza all'ombra (San-Miguel-Ayanz J. et al., 2016).

Dal punto di vista della coerenza estetica, il proseguimento del filare in coerenza visiva con la parte preesistente risulta di fondamentale importanza per un risultato in armonia con il sito ospitante, soprattutto considerando che questo è il viale pedonale più trafficato in quanto collega tutti gli edifici principali alla mensa, oltre che tra loro.

La scelta stilistica più ovvia quindi, sarebbe quella di proseguire con l'alberatura di *Carpinus betulus* fino alla fine del viale, permettendo quindi un'alberatura completa.

Tuttavia la specie vegetale in questione è stata raffrontata anche ai dati pubblicati dal CNR in merito alle capacità di mitigazione ambientale (Tabella 8). Di seguito sono riportati gli stessi dati, ma ad esclusione delle specie che riportano una capacità di assorbimento della CO₂ classificata come media o bassa (Tabella 9).

Dalle questi dati possiamo riscontrare che il carpino bianco offre una buona performance di mitigazione ambientale, ed una capacità di assorbimento di CO₂ elevata. La scelta di questa specie per l'impianto risulta quindi ben giustificabile da tutti i punti di vista presi in considerazione per il progetto.

Pianta	capacità di mitigazione ambientale	assorbimento di CO ₂ per singola pianta, dai 10 anni di età in poi					assorbimento potenziale di inquinanti gassosi	Potenziale di cattura delle polveri
		classificaz.	in 20 anni	primi 5 anni	succ. 5 anni	media per anno		
-	-	-	[t/20a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	-	-
<i>Acero riccio</i>	Ottima	Alta	3,8	138	205	190	Alto	Medio
<i>Bagolaro</i>	Ottima	Alta	2,8	103	155	140	Medio	Medio
<i>Betulla verrucosa</i>	Ottima	Alta	3,1	120	170	155	Alto	Alto
<i>Cerro</i>	Ottima	Alta	3,1	120	170	155	Basso	Medio
<i>Frassino comune</i>	Ottima	Alta	2,8	103	155	140	Medio	Medio
<i>Ginkgo</i>	Ottima	Alta	2,8	103	155	85	Alto	Alto
<i>Olmocomune</i>	Ottima	Alta	2,8	103	155	140	Alto	Medio
<i>Ontano nero</i>	Ottima	Alta	2,6	97	140	130	Alto	Alto
<i>Tiglio nostrano</i>	Ottima	Alta	2,8	103	155	140	Alto	Alto
<i>Tiglio selvatico</i>	Ottima	Alta	2,8	103	155	140	Alto	Alto
Storace	Media	Alta	2,8	103	155	140	Alto	Basso
Carpino bianco	Buona	Alta	2,8	103	155	140	Medio	Alto
Liriodendro	Buona	Alta	2,8	130	155	140	Medio	Alto
Robinia	Buona	Alta	2,8	103	155	140	Alto	Alto
Sofora	Buona	Alta	2,8	103	155	140	Alto	Alto

Tabella 9: le specie arboree più performanti nel sequestro di carbonio secondo i dati pubblicati dal CNR; in giallo è evidenziato il carpino bianco (PolytecTechnologySrl 2017).

6.3.3. Specie per le aiuole del parcheggio di Veneto Agricoltura

Per la terza area designata all'impianto, va considerata una limitazione normativa. L'articolo 892 del codice civile pone una limitazione nella distanza cui è permesso piantare alberi ad alto fusto in prossimità di un confine, come riportato di seguito.

“1) tre metri per gli alberi di alto fusto. Rispetto alle distanze, si considerano alberi di alto fusto quelli il cui fusto, semplice o diviso in rami, sorge ad altezza notevole, come sono i noci, i castagni, le querce, i pini, i cipressi, gli olmi, i pioppi, i platani e simili [898];

2) un metro e mezzo per gli alberi di non alto fusto. Sono reputati tali quelli il cui fusto, sorto ad altezza non superiore a tre metri, si diffonde in rami;

3) mezzo metro per le viti, gli arbusti, le siepi vive, le piante da frutto di altezza non maggiore di due metri e mezzo.”

Essendo la posizione dell'aiuola interamente adiacente al confine sud-est del campus e misurando una larghezza di non più di 6,5 metri, ne consegue la necessità di scartare gli alberi ad alto fusto dalle opzioni possibili in quanto non si può garantirne un posizionamento nel rispetto della normativa.

L'impossibilità di considerare alberi ad alto fusto in quest'area, costringe a mettere in secondo piano la capacità di mitigazione ambientale, in quanto la biomassa ridotta impedisce di competere nel sequestro di carbonio con piante di maggiori dimensioni, infatti nella precedente lista (Tabella 8); le piante arbustive presenti (biancospino, ligustro, sambuco, viburno) vengono tutte associate ad una bassa performance di sequestro di carbonio.

Si è pertanto indirizzata la scelta verso piante nostrane che potessero offrire un contributo nell'aumento di biodiversità vegetale ed una fioritura che favorisca la presenza di insetti pronubi; componente che potrebbe arricchire ulteriormente il campus in quanto attualmente poco rappresentata negli spazi verdi, soprattutto di carattere urbanistico.

Le specie scelte corrispondono quindi a medio-piccoli arbusti autoctoni a foglia caduca e con un periodo di fioritura distribuito tra aprile e giugno; la selezione comprende 6 specie: *Crataegus laevigata*, *Crataegus monogyna*, *Euonymus europaeus*, *Cornus mas*, *Cornus sanguinea*, *Viburnum opulus*.



Figura 17: da sinistra: fioritura e fruttificazione di biancospino, *Crataegus monogyna*.

7. PROPOSTA DI PROGETTO

Ora che si sono poste ed argomentate le premesse per il presente lavoro, vengono qui delineate le specifiche di progetto, per ognuno dei tre interventi.

7.1. Intervento 1: ampliamento della superficie forestale di Agripolis



Figura 18: il prato selezionato per l'ampliamento della superficie forestale.

L'area complessiva misurata per il progetto corrisponde a 1950 m². Lungo i confini nordovest e nordest dell'area sono stati preservati corridoi di 4 m di larghezza per separarla dal parcheggio a nordovest, e dal fossato a nordest, consentendo il camminamento (Figura 19).



Figura 19: visuale dall'alto dell'area di piantumazione (contornata in rosso).

Le specifiche di questo intervento sono state progettate attenendosi alle linee guida previste dalla Legge regionale del 2 maggio 2003 n° 13 (BUR 45/2003): "Norme per la realizzazione di boschi nella pianura veneta".

Allo scopo di ricreare la consociazione vegetale del querceto-carpineteto, sono state selezionate 15 specie vegetali per la piantumazione, di cui 5 specie arboree e 10 specie arbustive.

La densità media d'impianto minima dei boschi planiziali deve essere almeno di 1200 piante/ha.

Nel calcolo del numero di piante necessarie per questo tipo di interventi, è difficile arrivare ad una stima esatta. Pertanto si parla di "densità teorica" utile a sopperire al minimo obbligatorio di piante ad ettaro.

Per la scelta della modalità di disposizione di alberi e arbusti nell'impianto è possibile scegliere tra i modelli forniti dalle linee guida regionali. Il modello ritenuto migliore per questo intervento è il modulo 3 del prontuario tecnico di Veneto Agricoltura (2003), in Figura 20.

Questo modulo prevede una densità teorica di 1905 piante per ettaro, suddivise in 952 esemplari arborei e 952 arbustivi per ettaro.

Le piante verranno disposte per file parallele sinusoidali, alla distanza di 1,5 metri l'una dall'altra, alternando alberi con arbusti, distanziando le varietà a crescita maggiore (farnia) intervallandole con varietà a crescita minore.

Sarà possibile seguire il confine sinusoidale del bosco adiacente (accentuandolo leggermente), creando 12 file ricurve parallele contenenti all'incirca 30 piante ciascuna.

Queste file potranno essere distanziate di circa 3,25 m tra loro (Figura 20).

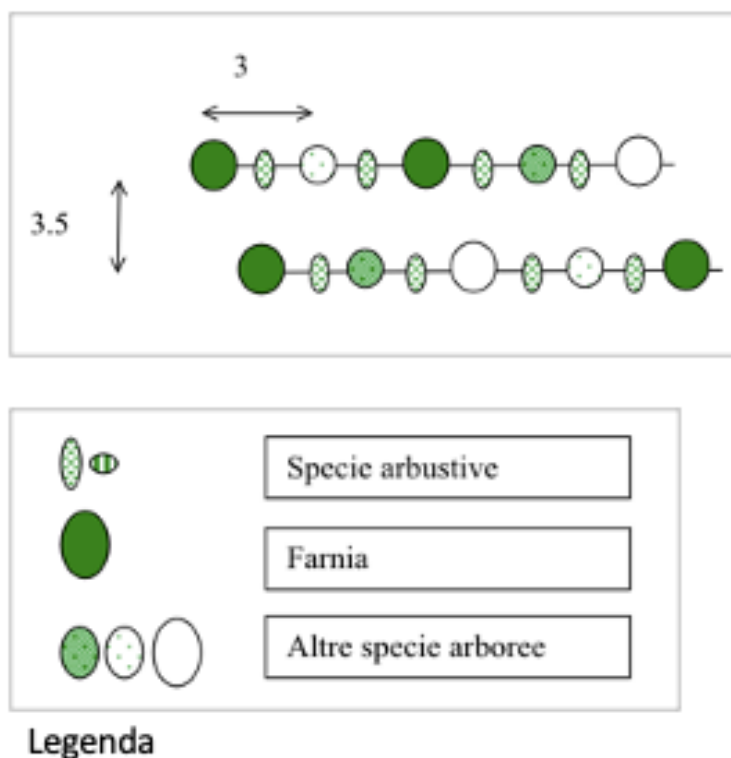


Figura 20: modulo per la disposizione di alberi e arbusti in un bosco a valenza naturalistica (Norme per La Realizzazione Di Boschi Nella Pianura Veneta, 2003).

Dato che l'area ospita un prato stabile, una volta individuate le file di piantumazione sarà possibile lavorare il terreno esclusivamente lungo le file designate, operando una fresatura ed erpicatura per ogni fila e lasciando intatto il tappeto erboso nell'interfila.

Le piantine potranno quindi essere piantumate rispettando il sesto d'impianto ed eventualmente protette da una pacciamatura in film plastico (che dovrà essere rimossa dopo tre anni) o in materiale sciolto. Il materiale vivaistico utilizzato dovrà essere costituito da piantine di età tra 1 e 3 anni.

L'area così organizzata ospiterà quindi un totale teorico di 371 plantule, di cui 66 di farnia (*Quercus robur*) e 30 per ognuna delle specie seguenti: carpino bianco, acero campestre, olmo campestre, frassino ossifillo (*Carpinus betulus*, *Acer campestre*, *Ulmus minor*, *Fraxinus angustifolia*).

Le restanti 186 plantule saranno suddivise equamente tra le 10 specie arbustive; pari quindi a 18-19 piante per specie (*Cornus sanguinea*, *Corylus avellana*, *Crataegus monogyna*, *Crataegus laevigata*, *Euonymus europaeus*, *Frangula alnus*, *Ligustrum vulgare*, *Prunus spinosa*, *Rhamnus cathartica*, *Sambucus nigra*).

In Figura 21 è riportata la distribuzione interspecifica del bosco.

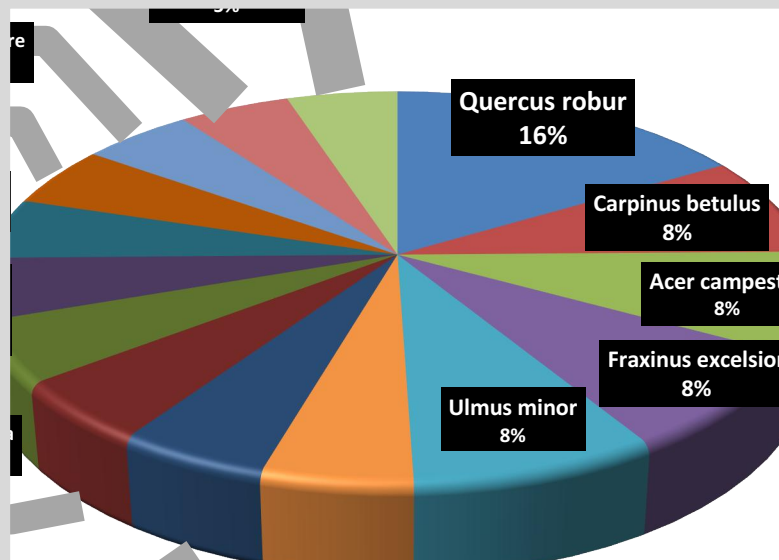


Figura 21: suddivisione delle specie adottata per la riproduzione di un querceto-carpineto pianiziale.

Il nuovo popolamento forestale andrà monitorato nei primi anni per effettuare lo sfalcio del tappeto erboso negli interfilari e la rimozione di piante invasive,

oltre ad individuare eventuali problemi fitosanitari o di stress idrico in caso di clima avverso.

Una volta superata la fase di attecchimento e dei successivi diradamenti, il popolamento sarà lasciato libero di evolversi secondo una dinamica naturale, nella quale verrà comunque proseguito il monitoraggio per l'individuazione di eventuali interventi di manutenzione, ma riducendone l'entità e la frequenza allo stretto necessario.

7.2. Intervento 2: ampliamento dell'alberatura di *Carpinus betulus*

L'area oggetto di questo intervento è il percorso pedonale che conduce dai parcheggi delle stecche (uffici dei dipartimenti) sino alla mensa nell'edificio Ca' gialla, attraversando la porzione centrale del campus. Il percorso è lungo circa 400 metri, nei quali è stata posta un'alberatura a *Carpinus betulus* nei 120 metri finali, pertanto il presente intervento propone il completamento di quest'alberatura nei 300 metri restanti, mantenendo lo stesso sesto d'impianto già esistente (7,5 m). Nell'ambito di questo intervento si è scelto di non limitarsi a completare il filare, ma di piantare una seconda fila in entrambi i lati, a distanza di 3 metri e con posizionamento alterno.

Questo permetterebbe raddoppiare il numero di piante alloggiate, e di conseguenza il sequestro di carbonio ed il valore ecologico (Figura 22).

Il numero totale di piante corrisponde a 42 esemplari per il singolo filare e 67 esemplari aggiuntivi per il secondo filare, arrivando così ad un totale di 109 *Carpinus betulus*.

Per questo intervento verrà incluso un impianto di irrigazione per garantire il successo in fase di attecchimento e la possibilità di gestione dell'apporto idrico.

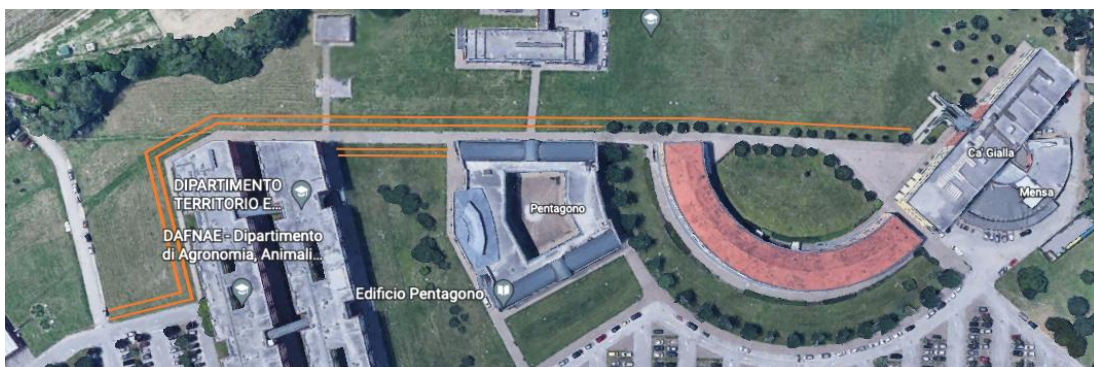


Figura 22: In arancione, intervento di completamento e ampliamento dell'alberatura del viale pedonale centrale di Agripolis, con un doppio filare di *Carpinus betulus*.

7.3. Intervento 3: piantumazione di una siepe arbustiva di confine



Figura 23: Le aiuole di confine a sud del parcheggio di Veneto Agricoltura.

Per quest'ultimo intervento l'area di interesse è costituita da una serie di aiuole al confine sudest del campus, di lunghezza complessiva pari a circa 190 m (Figura 24).

In quest'area si è scelto di alloggiare una siepe arbustiva mellifera mista, comprensiva di sei specie (*Crataegus laevigata*, *Crataegus monogyna*, *Euonymus europaeus*, *Cornus mas*, *Cornus sanguinea*, *Viburnum opulus*), piantumate in filare con un sesto di 2 m, per un totale di 96 esemplari suddivisi in 16 per specie ciascuno.

Per l'impianto, sarà utilizzato del materiale vivaistico di medie dimensioni di modo da ottenere un risultato di pronto effetto, abbreviando i tempi di crescita per il raggiungimento delle dimensioni desiderate.

Anche in questo caso verrà incluso un impianto di irrigazione artificiale costituito da ala gocciolante con centralina automatizzata.



Figura 24: In azzurro, sede prevista per l'installazione di una siepe arbustiva di confine.

8. AMMONTARE DELLA CO₂ STOCCABILE DAL PROGETTO

La stima del sequestro di carbonio è un'operazione non banale. Sebbene sia risaputo che nelle strutture vegetali il volume di carbonio corrisponde mediamente a circa il 50% della sostanza secca, gran parte della difficoltà sta proprio nel calcolare la produzione complessiva di biomassa per le diverse conformazioni vegetali includendo le strutture legnose, fogliame, lettiera, apparato radicale, oltre all'accumulo di carbonio nel suolo. Quest'ultima voce detiene il peso percentuale maggiore, infatti è ritenuto che il suolo detenga il 59% del carbonio organico in un ecosistema forestale (approssimativamente 10.4 kg per m² di suolo). (Birdsey R. et al., 1992).

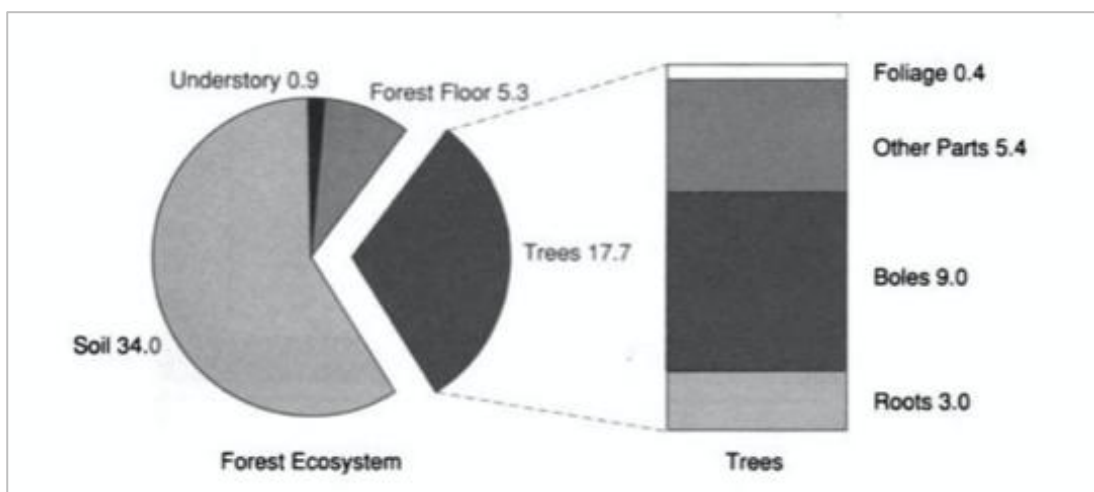


Figura 25: suddivisione del carbonio organico nell'ecosistema foresta. I dati numerici esprimono il valore assoluto di carbonio stimato per le foreste degli stati uniti in miliardi di tonnellate (57.8 in totale) (Birdsey R. et al., 1992).

Se nell'individuazione del carbonio si cerca di restringere la stima ad un ecosistema preciso, la variabilità aumenta in relazione con la diversità di sequestro di carbonio tra i diversi tipi di foresta, la densità di un soprassuolo può infatti cambiare molto a seconda del tipo di popolamento e della gestione dello stesso.

8.1. Stima di sequestro di carbonio nel quercocarpinetto

Analizzando la letteratura in merito, si è cercato di orientarsi verso i dati più rappresentativi possibile, cercando di evitare sovrastime o sottostime.

I valori sono espressi in tonnellate di carbonio sequestrato per ettaro nel corso di un anno [t C ha⁻¹ y⁻¹].

La quantità media globale di carbonio stoccato annualmente dagli ecosistemi forestali è di 1.1 t C ha⁻¹ l'anno (Luyssaert et al., 2007).

È importante specificare che questo dato è comprensivo dell'intero ecosistema (dalle prime chiome fino alle radici ed al carbonio stoccato nel sistema suolo), e non, come spesso accade in un'ottica di selvicolturale, limitato ai metri cubi di legname calcolati per il soprassuolo.

La stima di cui sopra può fornire un'idea di riferimento, tuttavia, data la variabilità degli ecosistemi forestali e della loro produttività netta, è bene orientarsi verso la tipologia di ambiente in esame, che nel presente caso è un bosco misto di latifoglie decidue.

In Italia, il sequestro di carbonio misurato per questo tipo di formazione in Emilia-Romagna corrisponde a 3.7 t C ha⁻¹ l'anno; 3.4 in Friuli V.G. (Figura 26, Magnani et al., 2021).

Tipologia	Età (anni)	Densità (n ha ⁻¹)	Regione	Sequestro medio annuo		Rif.
				t C ha ⁻¹ a ⁻¹	t CO ₂ ha ⁻¹ a ⁻¹	
Latifoglie miste	12	829	Emilia-Romagna	3.7	13.6	1
	3-23	1690	Friuli V. G.	3.4	8.8	2
Pioppeto	0-4	5555	Emilia-Romagna	9.9	36.3	3
	3-9	204	Friuli V. G.	12.9	34.5	2
	4-14	278	Lombardia	7.5	27.5	4

Figura 26: Sommario delle stime di sequestro del C in piantagioni forestali estensive (latifoglie miste) ed intensive (pioppeto) in Pianura Padana (Magnani et al., 2021).

Dati pressoché identici sono stati misurati negli stati uniti occidentali, ovvero un sequestro di carbonio di 3.42 t l'anno per ettaro di foresta decidua (Amichev et al., 2008). Si ritiene quindi corretto adottare la misura di 3.42 t C ha⁻¹ y⁻¹ per il quercu-carpineto.

Considerando il nostro caso di Agripolis, e volendo piantare 1950 m² a Quercu-Carpineto, abbiamo calcolato il potenziale stoccaggio in termini di CO₂ equivalente in questo modo:

$$\text{Superficie totale}_{\text{quercu-carpineto}} = 1950 \text{ m}^2 = 0,195 \text{ ha}$$

$$\text{Sequestro di carbonio medio}_{\text{formazione forestale}} = 3,42 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$$

Per trasformare il carbonio organico in CO₂ equivalente al fine di fare un bilancio di compensazione delle emissioni, è necessario moltiplicare il carbonio per un fattore di conversione di 3,67. In questo modo possiamo ottenere le tonnellate complessive annuali di CO₂ rimosse dall'atmosfera.

$$\begin{aligned} \text{Sequestro di CO}_2 \text{ medio}_{\text{formazione forestale}} &= 3,42 * 3,67 \\ &= 12,55 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1} \end{aligned}$$

Ora sarà sufficiente moltiplicare la quantità ad ettaro per la superficie in esame per ottenere il sequestro di CO₂ annuale di progetto.

$$\begin{aligned} \text{Sequestro CO}_2 \text{ y}^{-1}_{\text{quercu-carpineto}} &= 12,55 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1} * 0,195 \text{ ha} \\ &= 2,45 \text{ t CO}_2 \text{ y}^{-1} \end{aligned}$$

La formazione forestale a quercu-carpinetu proposta, sar  quindi in grado di sequestrare annualmente 2,45 tonnellate di CO₂.

8.2. Stima di sequestro di carbonio nei filari e nelle siepi

Nel caso di questi interventi, dopo aver ponderato e testato diversi approcci, si   scelto di calcolare l'assorbimento di CO₂ trattandolo con i dati stimati dal CNR (tabella 8), in quanto questi sono riferiti alla singola pianta adulta e si prestano quindi alla stima in questione; dato che si   scelto di usare piante di medie e grandi dimensioni per l'ottenimento di un pronto effetto.

Si   quindi calcolato un assorbimento annuo di CO₂, pari a 0.14 t CO₂ y⁻¹ per ogni *Carpinus betulus*, e di 0,0225 t CO₂ y⁻¹ per ogni arbusto.

Si   quindi moltiplicato i dati relativi all'assorbimento per il totale di piante previste, rispettivamente 108 carpini e 96 arbusti:

$$\text{Sequestro CO}_2_{alberatura} = 108 * 0,14 \text{ t CO}_2 \text{ y}^{-1} = 15,12 \text{ t CO}_2 \text{ y}^{-1}$$

$$\text{Sequestro CO}_2_{siepe} = 96 * 0,0225 \text{ t CO}_2 \text{ y}^{-1} = 2,16 \text{ t CO}_2 \text{ y}^{-1}$$

Arriviamo cos  alla stima finale:

$$\text{Sequestro CO}_2_{tot,progetto} = 2,45 + 15,12 + 2,16 = 19,73 \text{ t CO}_2 \text{ y}^{-1}$$

Secondo i calcoli eseguiti il progetto sar  quindi in grado di assorbire annualmente 19,73 tonnellate di CO₂.

8.3. Compensazione delle emissioni apportata dal progetto

Ora che si dispone del dato di CO₂ assorbita annualmente,   possibile eseguire una stima della compensazione attribuita dal progetto in relazione alle emissioni calcolate dall'indagine del dipartimento TeSAF.

Come riportato nel capitolo 3, la carbon footprint calcolata per il dipartimento TeSAF equivale a 234,6 t CO₂ eq annuali.

La somma totale di CO₂ assorbita annualmente dal progetto   pari a 19,73 tonnellate annuali do CO₂.

Questo significa che il progetto   in grado di compensare annualmente soltanto l'8% delle emissioni calcolate, incrementando lo stoccaggio medio annuale di CO₂ del campus di quasi 20 tonnellate.

8.4. Incremento sullo stock di carbonio di Agripolis

In fase di progettazione   stata effettuata una misurazione via software delle superfici verdi del campus in ettari, suddividendole per tipologia.

Grazie a una base dati sullo stoccaggio di carbonio di diverse coperture del suolo ed ecosistemi,   stato possibile ipotizzare l'assorbimento in CO₂ annuale di Agripolis (Tabella 10).

Dalla stima risulta che il campus attualmente neutralizza 31,4 t CO₂ y⁻¹. Il presente progetto comporterebbe quindi un incremento in valore assoluto del 21% del sequestro di carbonio attuale di Agripolis, raggiungendo un totale di 38,0 t CO₂ y⁻¹.

Tabella 10: sequestro di carbonio per tipo di copertura vegetale (Zanella, et al., 2022a), e calcolo della capacità di stoccaggio di Agripolis.

Ecosistemi	Prima dell'intervento			Dopo l'intervento	
	Superficie	Quantità sequestrata per tipo di ecosistema	Quantità sequestrata totale	Superficie	Quantità sequestrata totale
Tipo	[ha]	[t CO ₂ ha ⁻¹ y ⁻¹]	[t CO ₂ y ⁻¹]	[ha]	[t CO ₂ y ⁻¹]
prati e aiuole	4,7	0,1	0,5	4,1	0,4
bosco	1,9	12,6	24,2	2,1	26,7
alberi in filare	0,5	12,6	6,4	0,8	10,5
siepi	0,1	4,0	0,3	0,1	0,4
Totale	7,2	-	31,4	7,2	38,0
Incremento					21%

Il verde di Agripolis, quindi, risulta in grado di realizzare un abbattimento relativo del 13% delle emissioni annuali calcolate per il dipartimento TeSAF, mentre in seguito all'intervento raggiungerebbe una neutralizzazione 16% delle emissioni, guadagnando un ulteriore 3%.

$$\% \text{ CO}_2 \text{ neutralizzata}_{pre-intervento} = CO_{2\text{assorbita}} \div CO_{2\text{emessa}} = 31,4 \text{ t CO}_2\text{y}^{-1} \div 234,6 \text{ t CO}_2\text{y}^{-1} = 0,133 = 13\%$$

$$\% \text{ CO}_2 \text{ neutralizzata}_{post-intervento} = CO_{2\text{assorbita}} \div CO_{2\text{emessa}} = 38 \div 234,6 = 0,161 \text{ t CO}_2\text{y}^{-1} = 16\%$$

Un abbattimento del 16% delle emissioni, considerando la ingente quantità delle ultime, è un buon risultato complessivo, e dimostra che la progettazione di infrastrutture che includono molte aree verdi può raggiungere risultati notevoli.

9. COSTI DI REALIZZAZIONE

Per la stima dei costi di realizzazione, si è interpellata un'azienda vivaistica di medie proporzioni per un preventivo sommario.

Di seguito si analizza il costo di ogni intervento comprensivo di manodopera e materiali utilizzati (Tabella 11).

Tabella 11: stima dei costi di realizzazione complessivi per i tre interventi di piantumazione

Costi di realizzazione comprensivi di materiali e manodopera		
filari alberati e siepe per un totale di circa	1000 m	
impianto a bosco su superficie di	1950 m ²	
tot piante di piccole dimensioni	371	5.565 €
tot piante di medie dimensioni	96	3.840 €
tot piante di grandi dimensioni	108	25.920 €
fresatura ed erpicatura		300 €
impianti di irrigazione		1.000 €
	Tot	36.625,00 €

Il progetto prevede la messa a dimora complessiva di 575 piante di diverse dimensioni, e di diversa destinazione.

Il costo unitario medio comprensivo di manodopera per la messa a dimora di piante di piccole dimensioni (circa 3 anni) è di 15 €, per medie dimensioni è di 40€, e per grandi dimensioni (350-450 cm di altezza) è di 240 €.

Il costo finale (comprensivo di manodopera) per il totale dei tre interventi è quindi di circa 36.625,00 €.

In questo caso la voce di spesa maggiore (70% del totale), è riferita alla prosecuzione del viale alberato.

Si è ritenuto opportuno infatti scegliere di proseguire il viale con alberi il più possibile simili agli alberi già esistenti, per non creare un distacco eccessivo tra la parte preesistente e quella di nuova installazione.

Se per questo ambito di intervento fossero acquistate le piante ad una dimensione inferiore, il costo potrebbe diminuire drasticamente, ottenendo però un effetto diverso e tempi di maturazione molto più lunghi; questo rappresenterebbe un trade-off da valutare in sede di pianificazione.

10. SOLUZIONI COMPLEMENTARI ALLA COMPENSAZIONE DI CO₂: PARCHEGGIO FOTOVOLTAICO

L'indagine svolta da questo studio si è concentrata nello studio di un intervento di incremento dello stock di carbonio organico negli spazi verdi attualmente adatti a tale scopo.

Tuttavia, è stata anche individuata un'area in cui l'installazione del verde ha dato risultati effimeri.

Il parcheggio principale di Agripolis, (di fronte a Veneto Agricoltura) presenta un'alberatura di *Acer campestre* ed *Albizzia julibrissin* composta da circa una trentina di esemplari, i quali però, dimostrano per la maggior parte una crescita stentata ed un vigore basso, in particolare l'*Albizzia*, la quale ha subito ingenti danni da parassiti.

Nel caso di questo impianto, le alberature offrono scarsi servizi ecosistemici e paesaggistici, causa il loro deperimento e ridotto potenziale di sviluppo dovuto alle caratteristiche inospitali della stazione.

Nell'ottica di abbattimento delle emissioni, si è voluto ipotizzare quindi anche un intervento di tipo diverso, ovvero l'installazione di pensiline fotovoltaiche in questo parcheggio, includendola nei calcoli.

10.1. Produttività energetica del fotovoltaico

Il centro studi dell'Unione Europea ha reso disponibile una mappa solare che mostra la quantità di energia prodotta (in KWh/anno) da un impianto fotovoltaico della potenza di 1KW, cioè di piccole dimensioni.

In Italia gli impianti fotovoltaici presenti alle latitudini più basse godono di una maggiore esposizione alle radiazioni solari, perché i raggi arrivano più perpendicolari sulla superficie, per cui a parità di tecnologia il loro rendimento sarà maggiore (circa 1400-1500 KWh/anno per un impianto di 1KW). Un impianto di pari tecnologia e dimensione, posto nella località di Legnaro, presenterà un rendimento di poco minore, pari a circa 1000 KWh/anno (Bodria et al., 2013).

Mediamente un impianto fotovoltaico con produzione di 1KW presenta una superficie di 6,5 m² (Ubertini & Desideri, 2003).

10.2. Intervento

Il parcheggio, misurato via software, occupa un'area complessiva di circa 5000 m², dei quali circa 2825 sono dedicati ai posti auto, mentre il resto alla viabilità interna delle autovetture.

L'idea di questo ulteriore intervento prevede la sostituzione delle attuali alberature con delle pensiline fotovoltaiche poste in corrispondenza dei posti auto, le quali fornirebbero oltre all'energia, anche un ombreggiamento alle autovetture, lasciando libero lo spazio dedicato alla viabilità.

Il progetto prevederebbe quindi l'espanto delle alberature presenti e l'installazione delle strutture fotovoltaiche.

10.3. Calcolo della produttività di progetto

Come compreso precedentemente, un impianto fotovoltaico da 1KW occupa circa 6,5 m², e produce, alle nostre latitudini, circa 1000KWh all'anno, per cui per ogni m² di pannello solare vi sarà una produzione di circa 153,8 KWh/anno; la produttività potenziale dell'impianto sarà quindi di 434.600 KWh/anno.

Per calcolare l'impatto dell'impianto fotovoltaico sulla carbon footprint è necessario convertire l'energia elettrica (pulita) in tonnellate di CO₂ equivalente risparmiata.

Attualmente, per ogni KWh di energia elettrica consumata dalla rete tradizionale, si crea un'impronta carbonica di 0,406 kg di CO₂ equivalente.

Moltiplicando questa quantità per l'energia totale annuale di progetto, si ottiene il valore di CO₂ equivalente che l'impianto può generare a livello potenziale, evitandone quindi l'emissione.

$$\begin{aligned} & \textit{Risparmio potenziale CO}_2 \textit{ eq y}^{-1} \textit{ parcheggio fotovoltaico} \\ & = 434600 \textit{ KWh y}^{-1} * 0,406 \textit{ kg CO}_2 \textit{ eq y}^{-1} = 176447,6 \textit{ kg CO}_2 \textit{ eq y}^{-1} \\ & = 176,4 \textit{ t CO}_2 \textit{ eq y}^{-1} \end{aligned}$$

L'intervento di impianto fotovoltaico avrebbe quindi un potenziale massimo di risparmio di 176,4 tonnellate di CO₂ equivalente annuale.

Questa quantità è pari al 75% delle emissioni calcolate per il dipartimento TeSAF.

10.4. Costi di realizzazione

Per la realizzazione della proposta in oggetto, sarà necessario preventivare un espianto di poco meno di 30 piante di età adulta, nonché l'installazione di dei pannelli di diversi componenti e apparati quali: moduli fotovoltaici, strutture portanti, inverter, cavi e connettori, quadri elettrici, protezioni, misuratori, sistema di monitoraggio e cabina con trasformatore.

Per l'espianto di piante adulte dal parcheggio è stato ipotizzato un costo complessivo di 3000 €, mentre per il fotovoltaico si ipotizza un costo di installazione che va dai 2500 ai 3000 € per KW di potenza.

Necessitando di un'installazione di strutture di sostegno per i pannelli, si è scelto di calcolare il costo massimo (Tabella 12).

Tabella 12: costi di realizzazione ipotizzati per l'installazione di pensiline fotovoltaiche nel parcheggio (Bodria et al., 2013).

Costi di realizzazione comprensivi di materiali e manodopera	
espianto (circa 25 piante adulte)	3.000 €
installazione di fotovoltaico (434KW)	1.303.846 €
Totale	1.306.846 €

Nel calcolo di questi costi non sono stati considerati i possibili oneri aggiuntivi (costi di pratiche burocratiche, amministrativi, allacciamento linea) né eventuali incentivi.

11. DISCUSSIONE

I dati ottenuti da questo specifico studio evidenziano una maggiore possibilità di abbattimento delle emissioni del campus intervenendo direttamente sulle stesse con l'installazione di un impianto fotovoltaico, rispetto ad un intervento di piantumazione.

Dal punto di vista dei costi di realizzazione, l'intervento forestale e paesaggistico risulta decisamente più conveniente, ma l'impatto sull'impronta di carbonio risulta di molto inferiore.

Ciò è dovuto al fatto che per raggiungere livelli di sequestro di carbonio in grado di competere con l'entità della nostra impronta carbonica, si necessita di superfici forestali molto grandi, e soprattutto di superfici forestali nuove (Cannell MGR, 1999).

Se confrontiamo invece l'intervento di afforestazione con i due interventi paesaggistici, questo risulta molto più vantaggioso dal punto di vista economico per la quantità di carbonio stoccato, oltre che per l'indubbia quantità di servizi ecosistemici che un bosco può offrire, considerando anche l'attuale scarsità di boschi planiziani nella nostra pianura. Un interessante spunto per la realizzazione di un'opera simile da parte dell'università, potrebbe per esempio essere quello di **realizzare l'impianto boschivo insieme agli studenti di Tecnologie Forestali e Ambientali**, trovando quindi le modalità migliori per abbattere i costi di realizzazione, ed introdurre al tempo stesso delle esercitazioni pratiche in ambito selvicolturale all'interno del campus. Uno spunto analogo potrebbe essere seguito con gli studenti di Paesaggio, Parchi e Giardini.

In merito ai costi, senza dubbio il principale difetto del progetto paesaggistico, risiede nella scelta di acquistare piante di grandi dimensioni per il viale alberato; esse infatti costituiscono da sole il 75% della spesa complessiva dei tre interventi insieme.

Tuttavia è interessante notare che se si calcola la proporzione di CO₂ stoccata per € speso, si ottiene un risultato simile tra foresta ed alberatura urbana nonostante l'ultima abbia un costo notevolmente maggiore, ed entrambi gli interventi superano l'efficacia di costo/stoccaggio del fotovoltaico (Tabella 13)

Tabella 13: confronto del rapporto costo-stoccaggio tra gli interventi di piantumazione e fotovoltaico.

Rapporto costo/stoccaggio		
	piantumazione	fotovoltaico
t CO ₂ y ⁻¹	19,74	176,4
prezzo	36.625,00 €	1.306.846,00 €
Kg di CO₂ €⁻¹ y⁻¹	0,54	0,13

Ovviamente però non va dimenticato che lo stoccaggio è proporzionale alla spesa; se si spendesse la stessa cifra spesa per il fotovoltaico esclusivamente in nuovi alberi e arbusti, si potrebbe sicuramente stoccare molta più anidride carbonica, ma occupando spazi enormemente maggiori.

È importante inoltre considerare che esistono delle esternalità negative legate alle modalità di produzione dei pannelli fotovoltaici (Yang et al., 2014), che non sono state considerate in questo studio, così come le voci di spesa di manutenzione, per entrambe le tipologie di intervento.

Ulteriori considerazioni in merito al sequestro di carbonio, sono la sua difficoltà di stima. Analizzando la letteratura disponibile, sembra che vi siano molti approcci differenti i quali portano a discrepanze nei risultati.

In realtà, approfondendo le analisi, ne risulta che gran parte dei dati coincidono, ma sono espressi attraverso specifiche diverse.

Nella ricerca bibliografica e nella raccolta dei dati quindi, è necessario fare molta attenzione alle diverse metodologie impiegate per la determinazione di una particolare stima.

Va inoltre aggiunto, che la proporzione dello stoccaggio di carbonio varia a seconda dell'età e delle condizioni di crescita, sia per il singolo albero, che per l'ecosistema forestale.

Si sottolinea infatti che, da un punto di vista numerico, può sembrare che gli stoccaggi di carbonio associati al viale alberato ed alla siepe siano stati sovrastimati.

Tuttavia bisogna considerare che le misure impiegate sono riferite a piante di età già adulta al momento dell'impianto, e quindi con una velocità di stoccaggio relativa maggiore rispetto ad una foresta il cui stoccaggio medio è calcolato a partire dall'anno zero.

In merito invece all'abbattimento della carbon footprint, la riduzione dei consumi del dipartimento sembra essere un passaggio obbligatorio; in quanto le foreste sono sì in grado di stoccare molto carbonio e rafforzare la resilienza climatica in generale, ma sono anche soggette al rischio di riemetterlo in atmosfera nel medio-lungo termine, a causa di minacce quali incendi, epidemie parassitarie o il cambiamento climatico stesso (Cannell MGR, 1999).

12. CONCLUSIONI

Il potenziale incremento annuale di anidride carbonica assorbita dal verde di Agripolis calcolato in questo progetto è di 19,73 t CO₂ y⁻¹, per un costo di realizzazione stimato di 36.625,00 €.

In questo computo, la voce di spesa maggiore è costituita dall'impianto di alberi di età adulta nel viale alberato, pari a 25.920,00 €, il quale tuttavia può produrre un assorbimento di 15 t CO₂ y⁻¹, mentre la spesa per l'impianto di circa 2000 m² di bosco è di 5.865,00 €, e può produrre un sequestro annuale di 2,45 t CO₂ y⁻¹.

Infine, l'installazione di una siepe arbustiva a pronto effetto di circa 200 m, presenta un costo di 3.840,00 € e può neutralizzare 2,16 t CO₂ y⁻¹.

L'installazione di un parcheggio fotovoltaico nel campus presenta un potenziale di abbattimento delle emissioni pari a 176,4 t CO₂ y⁻¹, per un costo stimato di 1.306.846,00 €.

L'intervento nel verde di Agripolis produce una compensazione potenziale dell'8% delle emissioni calcolate per il dipartimento TeSAF, arrivando così una percentuale di abbattimento delle emissioni del 16% per il verde dell'intero campus.

L'intervento con pannelli fotovoltaici produce un potenziale di compensazione del 75% delle stesse emissioni (sebbene tale dato rappresenti il potenziale massimo, e non quello effettivo, di più difficile stima).

La piantumazione di superficie forestale è in grado di superare un intervento fotovoltaico dal punto di vista del prezzo proporzionale della CO₂ sequestrata, mentre il fotovoltaico presenta una performance di compensazione migliore dal punto di vista della superficie utilizzata, operando un abbattimento delle emissioni per m² molto più intensivo.

L'aumento di superficie boschiva nel campus di Agripolis può definirsi l'intervento di interesse ambientale maggiore per l'incremento di servizi ecosistemici forniti e l'incremento di biodiversità locale, mentre l'installazione di un impianto fotovoltaico può essere decisamente vantaggiosa per l'abbattimento delle emissioni del polo, soprattutto qualora vi fossero incentivi usufruibili per la realizzazione.

13. BIBLIOGRAFIA

- Aaboe, Alvar-beltràn, Baddour, Blunden, Boyer, Cazenave, Cheng, & Clement. (2022). *State of the Global Climate 2021*.
- Amichev, B. Y., Burger, J. A., & Rodrigue, J. A. (2008). Carbon sequestration by forests and soils on mined land in the Midwestern and Appalachian coalfields of the U.S. *Forest Ecology and Management*, 256(11), 1949–1959. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.020>
- ARPA.Veneto.it. (2011).
- AVISO Altimetry - Satellite altimetry data. (n.d.). Retrieved December 10, 2022, from <https://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html>
- Birdsey R., Waddell K., Kincannon S., & Persons M. (1992). *Carbon Storage and Accumulation in United States Forest Ecosystems*.
- Bodria, Pellizzi, & Piccarolo. (2013). *Meccanica e meccanizzazione agricola*. Edagricole Calderini.
- Bolzonella, C., Bellonzi, M., & Zanella, A. (2022). *Calcolo dell'impronta carbonica del dipartimento Tesaf*. <https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20142014-5DV.3.46>
- Cannell MGR. (1999). Growing trees to sequester carbon in the UK: answers to some common questions. In *academic.oup.com*. <https://academic.oup.com/forestry/article-abstract/72/3/237/581042>
- Norme per la realizzazione di boschi nella pianura veneta*, (2003) (testimony of Correale F., de Lucchi G., Fiorentin R., Forlin L., & Viola F.).
- Desiato, Fioravanti, Frascchetti, Perconti, & Piervitali. (2015). *ISPRA - il clima futuro in italia - analisi delle proiezioni dei modelli regionali*.
- Fioravanti, Frascchetti, Lena, Perconti, Piervitali, & Pavan. (2022). *ISPRA - Gli indicatori del clima in Italia nel 2021* (Issue ISPRA, Stato dell'Ambiente 98/2022).
- Global Monitoring Laboratory of the National Oceanic and Atmospheric Administration*. (n.d.). Retrieved December 8, 2022, from <https://gml.noaa.gov/>
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D. W., & Medina-Elizade, M. (2006). *Global temperature change* (Vol. 103). www.pnas.org/cgidoi10.1073/pnas.0606291103

- IUSS Working Group. (2022). WRB fourth edition - 2022. *World Reference Base for Soil Resources*.
- Lacis, Schmidt, & Rind. (2010). Atmospheric CO₂: Principal Control Knob Governing Earth's Temperature. *Science*, 330(6002), 353–356. <https://doi.org/10.1126/science.1195475>
- Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., Officer, S., Rama, B., Belling, D., Dieck, W., Götze, S., Kersher, T., Manglele, P., Maus, B., Mühle, A., Nabiyeva, K., Nicolai, M., Niebuhr, A., Petzold, J., Prentzler, E., Savolainen, J., ... Rama, B. (2022). *IPCC climate change 2022-impacts, adaptations and vulnerability*. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Luyssaert, S., Inglima, I., Jung, M., Richardson, A. D., Reichstein, M., Papale, D., Piao, S. L., Schulze, E. D., Wingate, L., Matteucci, G., Aragao, L., Aubinet, M., Beer, C., Bernhofer, C., Black, K. G., Bonal, D., Bonnefond, J. M., Chambers, J., Ciais, P., ... Janssens, I. A. (2007). CO₂ balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database. *Global Change Biology*, 13(12), 2509–2537. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01439.x>
- Magnani, F., Raddi, S., & Miglietta, F. (2021). Afforestazione e fissazione della CO₂ atmosferica: qualche cifra indicativa dalla ricerca scientifica. *Forest@*, 18, 60–63.
- Mercogliano, Montesarchio, & Barbato. (2017). Il futuro del clima in Italia: proiezioni al 2050. *Equilibri*, 219–225.
- Met Office, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland*. (n.d.). Retrieved January 4, 2023, from <https://www.metoffice.gov.uk>
- Muzafar Shah, H., Din, B. H., Tan, S. H., & Zahid, H. (2022). Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 1073–1086. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15702-8>
- Olesen, J. E., & Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, 16(4), 239–262. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00004-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00004-7)
- Ottoboni P. (2019). *Cambiamento climatico e programmazione colturale: effetto dell'incremento termico su alcune specie orticole*.
- PolytecTechnologySrl (2017) Calcolo della carbon footprint per l'abbattimento delle emissioni tramite piantumazione. POLITEC TECHNOLOGY Srl, Cologne, Brescia (Italy),

available: https://www.politec-srl.com/files/File/Carbon_footprint.pdf [accessed Sun 22 Jan 2023 10:45].

San-Miguel-Ayanz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant, T., & Mauri, A. (2016). *European Atlas of Forest Tree Species* (2016th ed.). Publication Office of the European Union, Luxembourg.

Ubertini, S., & Desideri, U. (2003). Performance estimation and experimental measurements of a photovoltaic roof. *Renewable Energy*, 28(12), 1833–1850. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00073-9)

Yang, H., Huang, X., & Thompson, J. R. (2014). Tackle pollution from solar panels. *Nature* 2014 509:7502, 509(7502), 563–563. <https://doi.org/10.1038/509563c>

Zanella, A., Bolzonella, C., Rosatti, M., Longo, E., Banas, D., Mozzato, D., Fritz, I., Concheri, G. i., Squartini, A., Xu, G.-L., Mo, L., Marco, B., Ranzani, G., Bruni, D., Buson, M., Casarotto, D., Longo, M., Bianchi, R., Bernardon, T., ... Yeomans, A. (2022a). *Albarella's example to tackle climate change - a grain of hope*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1865024/v2>

Zanella, A., Ponge, J. F., Fritz, I., Pietrasiak, N., Matteodo, M., Nadporozhskaya, M., Juilleret, J., Tatti, D., le Bayon, R. C., Rotschild, L., & Mancinelli, R. (2018). Humusica 2, article 13: Para humus systems and forms. In *Applied Soil Ecology* (Vol. 122, pp. 181–199). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.043>

Zanella, A., Ponge, J. F., Jabiol, B., van Delft, B., de Waal, R., Katzensteiner, K., Kolb, E., Bernier, N., Mei, G., Blouin, M., Juilleret, J., Pousse, N., Stanchi, S., Cesario, F., le Bayon, R. C., Tatti, D., Chersich, S., Carollo, L., Englisch, M., ... Hager, H. (2022b). A Standardized Morpho-Functional Classification of the Planet's Humipedons. In *Soil Systems* (Vol. 6, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6030059>

RINGRAZIAMENTI

Potrà sembrare strano, ma per essere arrivato in fondo a questo percorso vorrei innanzitutto ringraziare la musica. È grazie a lei se sono qui oggi. Vorrei inoltre ringraziare mio padre, per avermi trasmesso la passione e la cultura musicale necessarie a vedere il mondo in profondità. Ringrazio inoltre mia madre, per la sua grandissima passione per le piante e per la natura, per il suo “pollice verde” e per la sua pazienza infinita ed il suo coraggio.

Ringrazio tutta la mia famiglia per il supporto che mi è sempre stato dato, ringrazio nonna Magda e nonno Ernesto, zia Nicoletta, zio Francesco e zio Luca. Ringrazio inoltre Vera e Lelly, i miei sorellidi, spiegarne il motivo risulterebbe sicuramente riduttivo!

Ringrazio tutti i miei amici, quelli che ci sono e quelli che ci sono stati.

Un immenso grazie voglio però renderlo ai miei colleghi. Senza di voi l'università non sarebbe stata possibile.

Un grazie a Lisa, Eracle, Samuele, Giacomo, Pietro, Nicole, Sara, Luca, Matilda, Chiara, Andrea, Matteo, Alessandro, Gabri, David, Broz, Franco. Un grazie speciale ad Alessandro per avermi permesso di tagliare a metà col bisturi blatte congelate per darle in pasto a colonie artificiali di formiche.

Un grazie gigante inoltre a Salvo: tu forse non lo pensi e fai bene, ma so che sei uno dei migliori.

Infine, un grazie immenso va a te, Olga. Non so nemmeno da dove cominciare, ma so che senza di te avrei combinato solo disastri, e non avrei mai capito cosa significa essere persone di valore.

Ringrazio il Prof. Bolzonella per la disponibilità e lo spunto datomi per l'intervento fotovoltaico, e Giorgio P., per i chiarimenti sui costi dell'opera vivaistica.

Ringrazio inoltre il Prof. Augusto Zanella per la disponibilità, il supporto, ed il proficuo scambio di dati.

Torno infine a ringraziare tutti, nessuno escluso, ed anche quelli che non ho citato.

Vorrei dedicare questa tesi a mio padre.