



AIRFRESH

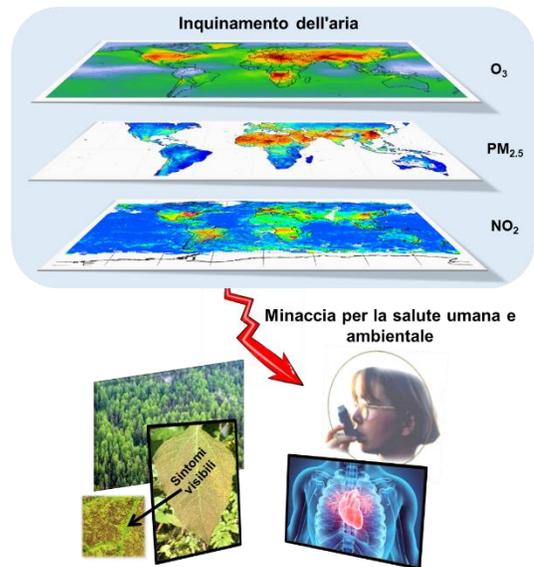
Rimozione dell'inquinamento atmosferico
da parte delle foreste urbane per
migliorare il benessere umano



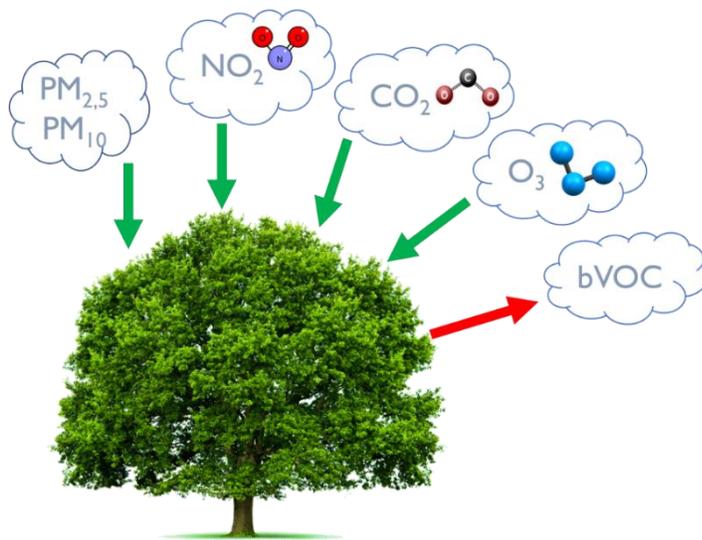
per



L'**urbanizzazione di massa** è una delle sfide più urgenti del XXI secolo; infatti, l'82% della popolazione dell'Unione Europea vivrà nelle città nel 2030. L'**inquinamento atmosferico** e il **cambiamento climatico** sono strettamente collegati e l'inquinamento atmosferico è una delle sfide ambientali più urgenti affrontate dalle città moderne che necessitano una **cooperazione internazionale** e **sforzi di ricerca unificati**. Le emissioni dei veicoli, le attività industriali e il consumo di energia contribuiscono ad aumentare le concentrazioni di inquinanti atmosferici chiave come il particolato (PM), il biossido di azoto (NO_2) e l'ozono troposferico (O_3). Questi inquinanti sono **una minaccia per la salute umana** (quali, ad esempio, malattie respiratorie e cardiovascolari, asma, cancro ai polmoni) e per gli ecosistemi naturali.



Scopo ed obiettivi del Progetto.



La **riforestazione urbana**, ad esempio aumentando la densità degli alberi nelle città, e la riforestazione periurbana, in prossimità di città densamente popolate dove non è facile piantare alberi, possono aiutare a **migliorare la qualità dell'aria** ed a raggiungere gli standard di aria pulita nelle città.

Pertanto, sono necessari sforzi per **migliorare il verde urbano** per avere città sane. L'Unione Europea ha lanciato la **Strategia sulla biodiversità per il 2030** chiedendo ai comuni con almeno 20.000 abitanti di sviluppare ambiziosi Piani di rinverdimento urbano.

Tuttavia, è **necessaria un'attenta selezione delle specie** per evitare effetti collaterali indesiderati, come l'emissione di composti organici volatili biogenici (bVOC) che possono contribuire alla formazione di O_3 . Alcuni comuni hanno frettolosamente piantato qualsiasi specie di albero ovunque e queste strategie hanno degradato la qualità dell'aria.



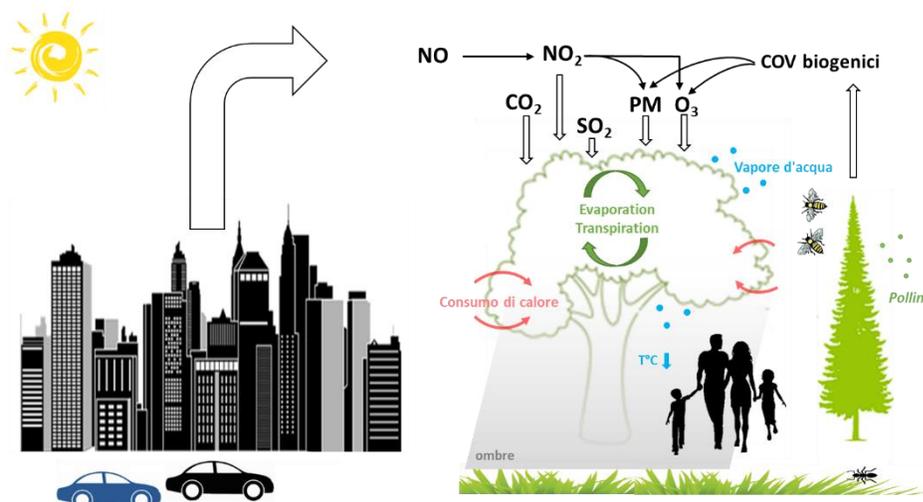


Figura 1 - Oltre a mitigare l'inquinamento, gli alberi urbani forniscono ulteriori servizi ecosistemici, tra cui la regolazione della temperatura, il sequestro del carbonio e il miglioramento della biodiversità.

Per ridurre in modo efficiente l'inquinamento atmosferico e puntare a **città a zero emissioni di carbonio e resilienti al clima**, è necessaria una valutazione quantitativa e concreta del ruolo degli alberi urbani nell'influenzare la qualità dell'aria e l'ambiente termico, nonché una **selezione adeguata delle specie arboree** da utilizzare. In LIFE AIRFRESH, abbiamo selezionato le città di **Aix-en-Provence** nella Francia sud-orientale (143.000 abitanti) e **Firenze** in Italia (380.000 abitanti) come **laboratori viventi** in cui l'esposizione umana supera regolarmente i limiti per la protezione della salute settati dall'Organizzazione mondiale della sanità per PM₁₀, NO₂ e O₃.



Per la prima volta, AIRFRESH si è prefissato di:

Quantificare* i benefici per l'ambiente e per la salute umana forniti da un'area di prova appena piantata.

** sulla base di dati in situ*

Quantificare la rimozione di inquinanti atmosferici da parte degli alberi urbani su scala cittadina.

Proporre **raccomandazioni per politiche di riforestazione** per raggiungere gli standard di qualità dell'aria.

Descrizione della metodologia implementata

Area di prova: piantumazione di alberi, manutenzione e campagne in campo

A gennaio 2022 due aree di prova sono state implementate (400 alberi a crescita rapida, mix di specie, altezza > 3 m, 1 ettaro di superficie). I parametri ambientali sono stati stimati prima e dopo la riforestazione tramite indicatori chiave. Sono state effettuate misurazioni continue delle concentrazioni di inquinanti atmosferici e parametri climatici all'interno e intorno all'area, sopra e sotto la chioma, prima e dopo la piantumazione degli alberi utilizzando sensori AirQino (temperatura dell'aria, umidità relativa, direzione e velocità del vento, particelle (PM_{2.5}, PM₁₀) e inquinanti atmosferici gassosi (NO₂, CO₂, O₃). È stata effettuata anche una valutazione della biodiversità (ad esempio biodiversità del suolo, fauna, DNA ambientale). Per quanto riguarda le emissioni di CO₂, è stata realizzata un'analisi LCA per calcolare l'impronta di carbonio legata alla coltivazione delle piante in vivaio, alla piantumazione degli alberi ed al mantenimento degli alberi nel tempo.



Figura 2 – Implementazione di un'area di prova di nuova piantumazione in entrambe le città: selezione delle specie arboree, piantumazione degli alberi, manutenzione e campagne di misurazione con sensori AirQino.

Distribuzione, classificazione e mappatura degli spazi verdi

[Sicard et al., 2023](#) hanno sviluppato un **approccio basato su immagini satellitari** per rilevare, delineare e classificare la vegetazione urbana in aree pubbliche e private, con la selezione di **caratteristiche spettrali e basate** sulla consistenza, specifiche per ciascuna specie vegetale. Le caratteristiche principali dei singoli alberi (ad esempio distribuzione, specie, altezza, copertura della chioma) sono state derivate utilizzando un approccio di classificazione basato su oggetti, tecniche di preprocessamento incluso correzione atmosferica, pan-sharpening e correzione spaziale per derivare il Normalized Deviation Vegetation Index (NDVI) da immagini satellitari ad altissima risoluzione WorldView-2 o Pleiades (ad una risoluzione spaziale di 0,5 m).

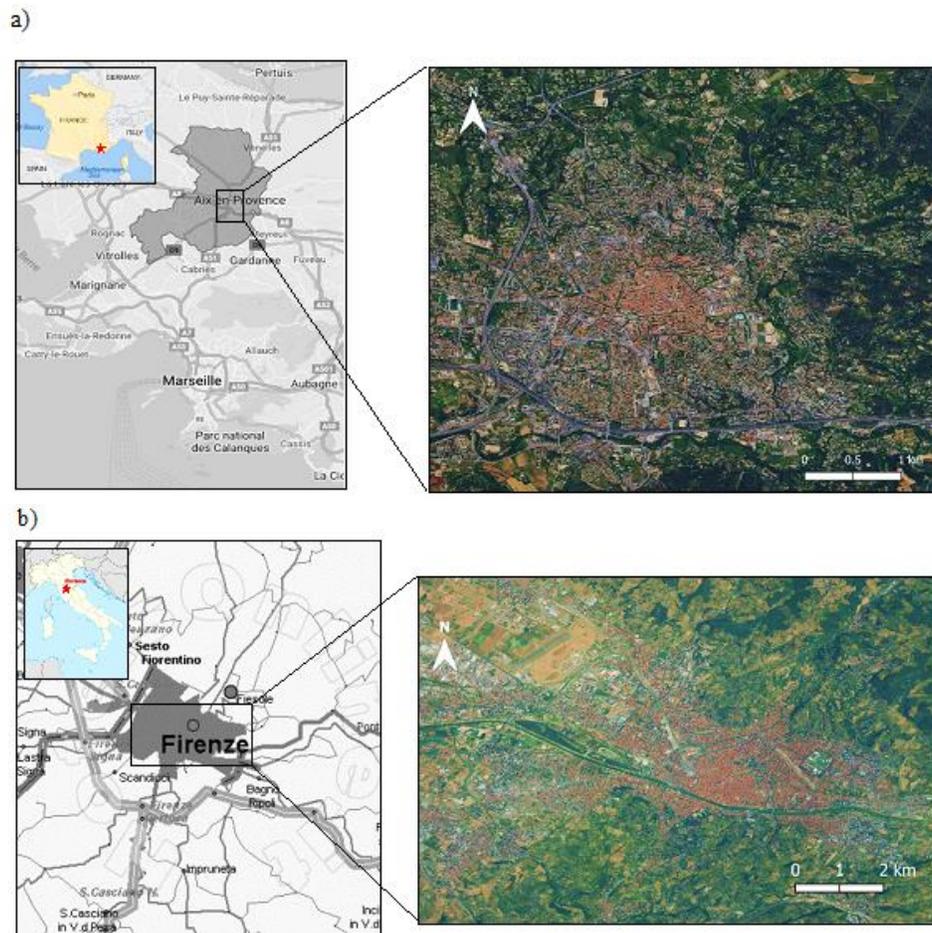


Figura 3 - Localizzazione delle due aree di studio in entrambe le città: Aix-en-Provence (a) e Firenze (b). L'area di studio, coperta dall'immagine satellitare, si estende per oltre 50 km² ad Aix-en-Provence e 80 km² a Firenze.

Mappatura e valutazione degli ecosistemi e dei loro servizi

Abbiamo sviluppato un modello innovativo per singolo albero (**FlorTree**) per quantificare e mappare la capacità di rimozione degli inquinanti atmosferici di circa **220 specie vegetali**, in particolare CO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2,5} e NO₂. Viene anche quantificato l'effetto di raffreddamento dovuto alla vegetazione. I dati meteorologici orari e le concentrazioni di inquinanti atmosferici superficiali sono ottenuti con il modello WRFCHM con una risoluzione spaziale di <1 km.

Conformità alla regola 3-30-300: uno strumento geospaziale per la pianificazione urbana



La **regola 3-30-300**, introdotta nel 2021, sancisce che ogni cittadino possa vedere almeno tre alberi maturi dalla propria casa, viva in quartieri con almeno il 30% di copertura arborea e si trovi entro 300 metri da uno spazio verde di alta qualità.

Per stabilire **strategie di rinverdimento efficaci**, abbiamo sviluppato uno strumento geospaziale utilizzando tecniche di telerilevamento e Geographic Information System (GIS) per valutare la conformità alla regola del 3-30-300. Lo strumento impiega immagini satellitari ad altissima risoluzione per rilevare gli alberi e stimare la copertura della chioma ed integra i dati di **OpenStreetMap** per valutare la vicinanza agli spazi verdi. Lo **strumento geospaziale cittadino** è fondamentale per aiutare le città a sviluppare piani di rinverdimento **urbano resilienti e climaticamente neutri**. I risultati di questo studio offrono una tabella di marcia fondamentale per identificare le aree prioritarie per l'inverdimento nelle città in rapido sviluppo e densamente popolate.

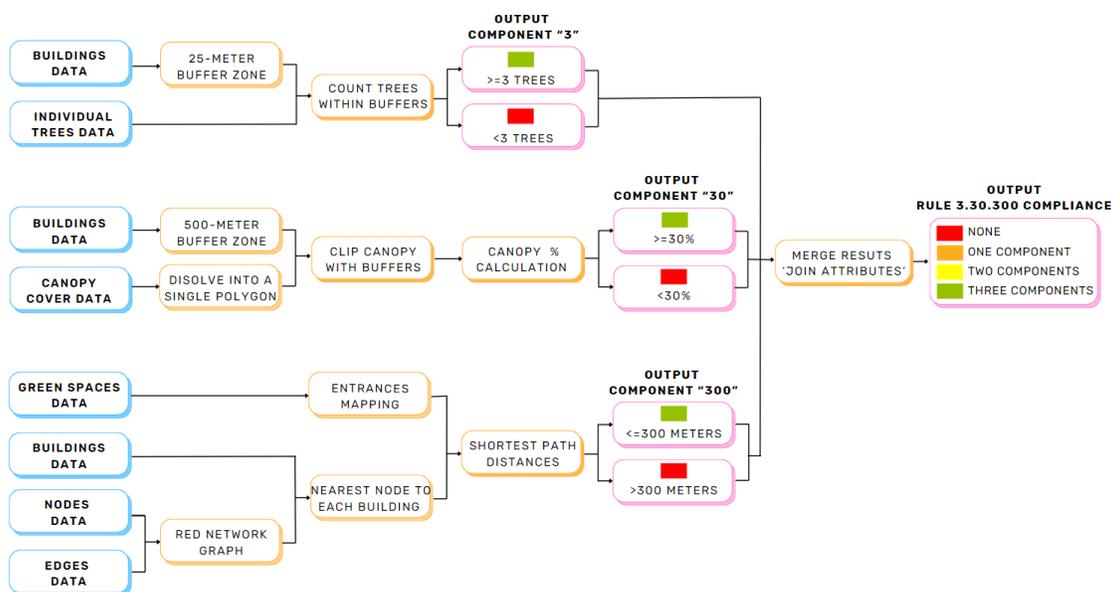


Figura 4 - Diagramma di flusso della metodologia per l' algoritmo creato per la conformità alla regola del 3-30-300: i riquadri blu rappresentano i dati di input, i riquadri arancioni indicano i processi principali e i riquadri rosa indicano gli output.

Risultati ottenuti

Mappatura degli alberi urbani a scala urbana

Ad Aix-en-Provence e Firenze, 22 specie vegetali dominanti e prati sono state identificate e classificate con una precisione complessiva dell'84% (Sicard et al., 2023). Le caratteristiche geolocalizzate degli alberi urbani, degli spazi verdi e delle **aree aperte potenzialmente disponibili per la rinaturazione** sono mappate in un ambiente GIS.

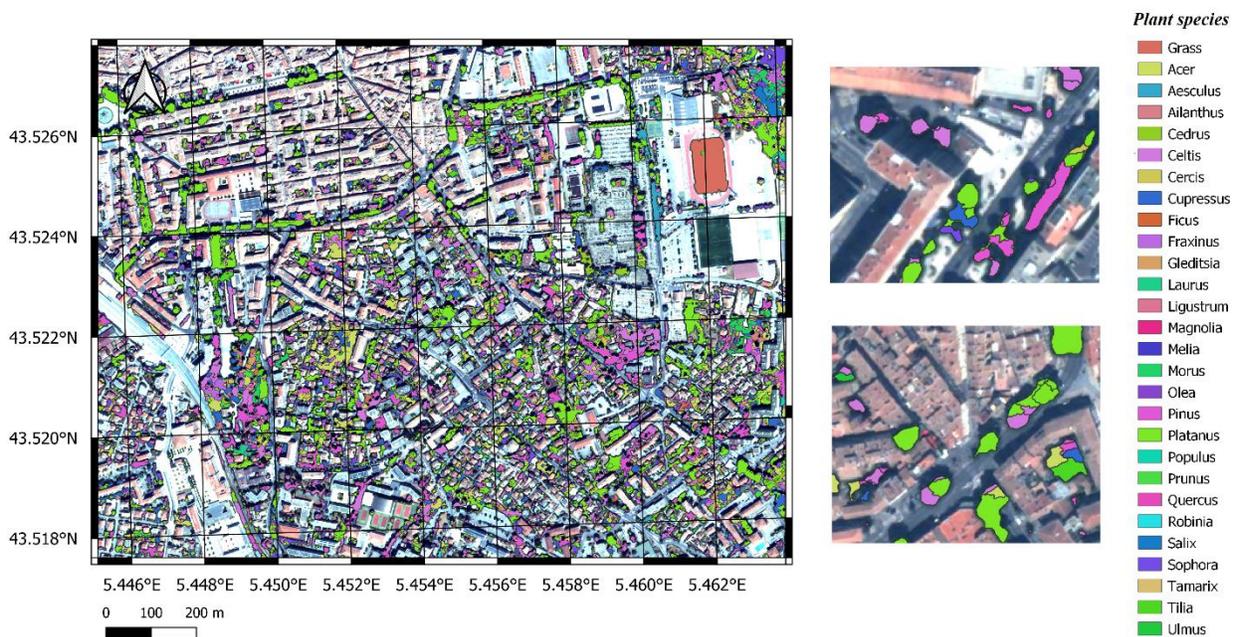


Figura 5 – Rilevamento, delimitazione e classificazione della vegetazione urbana nell'area di studio ad Aix-en-Provence (zoom sulla parte sud-orientale dell'area di studio).

Conformità alla regola 3-30-300: aree prioritarie per il rinverdimento

Ad Aix-en-Provence, il **18% degli edifici** è pienamente conforme e il 4% degli edifici non è conforme alla regola del 3-30-300. A Firenze, il **4% degli edifici** è conforme e il 37% degli edifici non è conforme alla regola del 3-30-300. La conformità a due componenti rappresenta il 56% e il 19% degli edifici di Aix-en-Provence e Firenze.

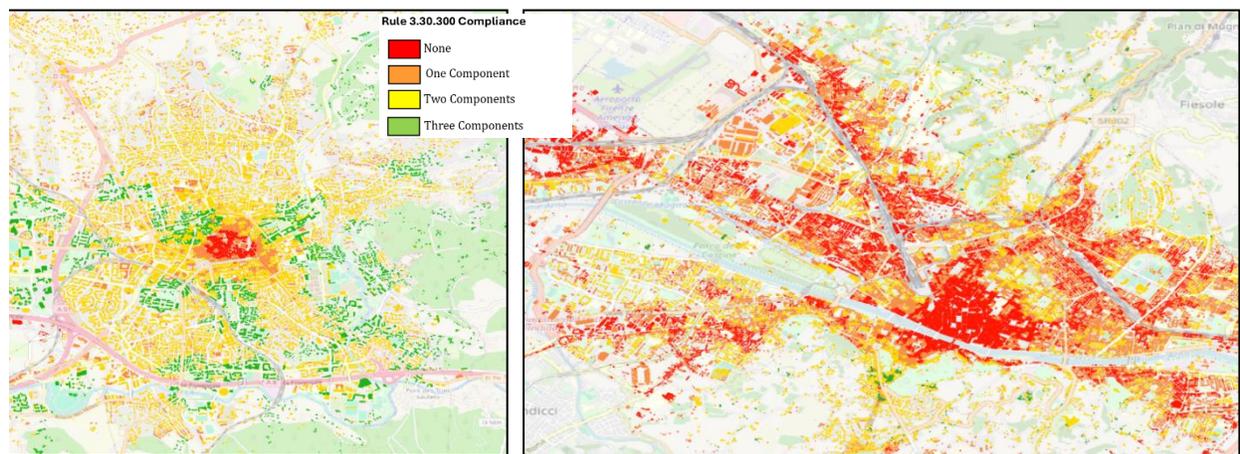


Figura 6 - Conformità rispetto alla regola del 3.30.300 nelle aree di studio di Aix-en-Provence (a sinistra) e Firenze (a destra) combinando le tre componenti: rosso per la non conformità, arancione per la conformità a un componente, giallo per due componenti e verde per la piena conformità.

Capacità di rimozione dell'inquinamento atmosferico su scala urbana

Ad **Aix-en-Provence**, le aree vegetate (alberi ed erba) coprono il 39,6% dell'area studiata e i **413.960 alberi adulti** hanno eliminato nel 2023: 225 tonnellate di O₃ (formazione: 9 tonnellate, rimozione: 234 tonnellate), 41 tonnellate di NO₂ (6.600 auto¹), 97 tonnellate di PM₁₀ (147.400 auto¹), 16.560 tonnellate di CO₂ (10.400 auto¹) e prati/erbacee hanno eliminato 423 tonnellate di CO₂ (circa il 2,6%). I 414.000 alberi adulti hanno eliminato il 3,1% e il 2,8% delle emissioni locali di NO_x e CO₂ e il 36,7% delle emissioni di PM₁₀. A **Firenze** le aree vegetate coprono il 30,3% della superficie studiata e dai **553.450 alberi adulti** sono state eliminate: 530 tonnellate di O₃ (formazione: 22 tonnellate, asportazione: 552 tonnellate), 73 tonnellate di NO₂ (17.140 auto¹), 185 tonnellate di PM₁₀ (281.550 auto¹), 25.205 tonnellate di CO₂ (15.890 auto¹).

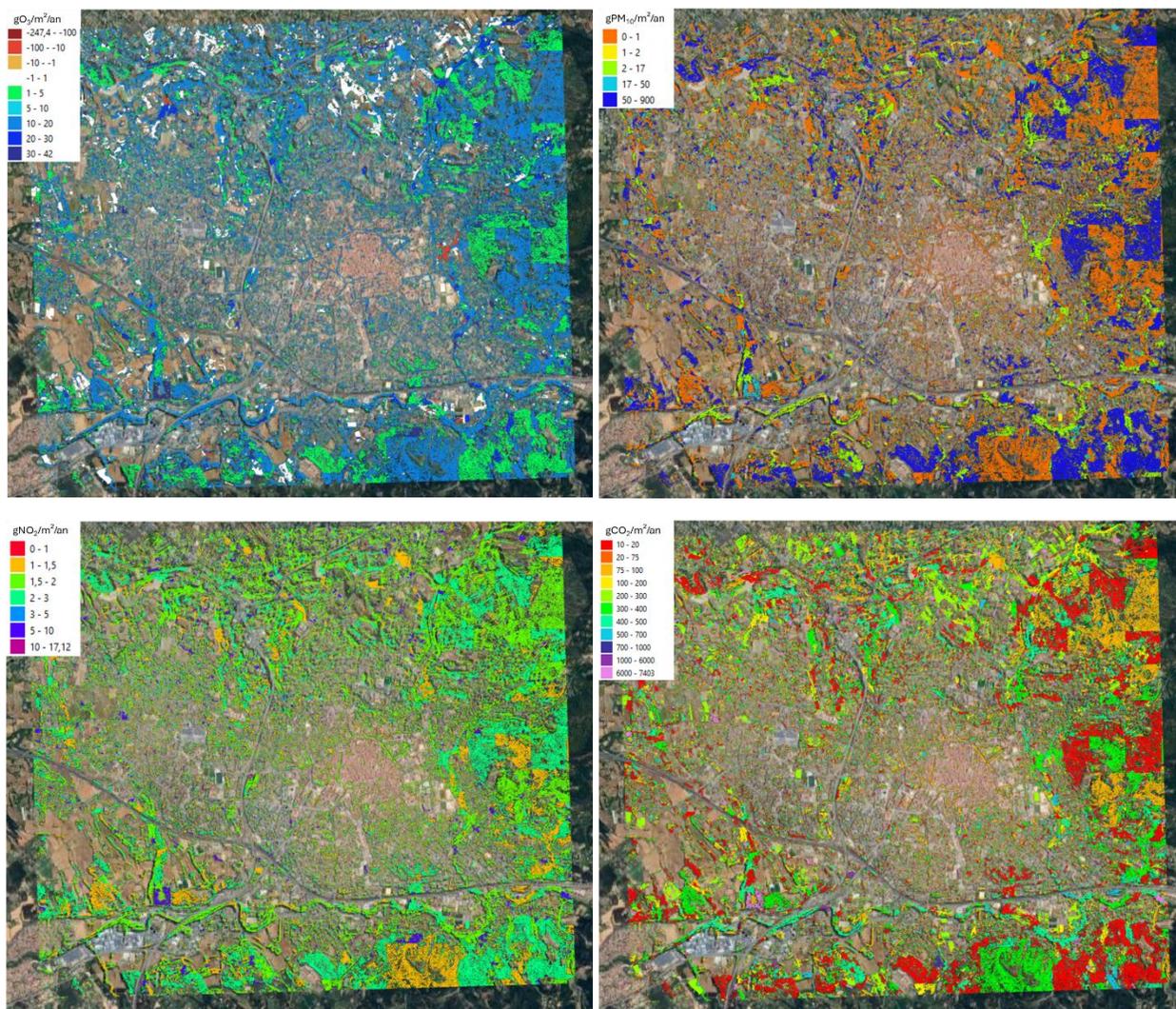


Figura 7 – Distribuzione spaziale della quantità di ozono rimosso (in alto, a sinistra), PM₁₀ (in alto, a destra), NO₂ (in basso, a sinistra) e CO₂ (in basso, a destra) per singoli alberi (g per m² di superficie fogliare all'anno) ad Aix-en-Provence per l'anno 2023.

¹ emissioni delle autovetture private immatricolate in Francia che hanno percorso in media 12.200 km durante l'anno a una velocità media di 70 km/h.

FlorTree: Linee guida per urbanisti e decisori



FlorTree è un **modello "single-tree"** progettato per assistere urbanisti e decisori nella selezione delle specie arboree più adatte a mitigare efficacemente l'inquinamento atmosferico urbano. Il modello valuta i tratti specifici della

specie e le condizioni ambientali, integrando fattori critici come la morfologia dell'albero, la conduttanza stomatica, la superficie fogliare e le emissioni di bVOC. FlorTree consente agli utenti di immettere dati specifici del sito, come il clima locale, i livelli di inquinamento e i vincoli di progettazione urbana, per generare raccomandazioni personalizzate.

Caratteristiche principali di FlorTree:

- **Dati specie-specifici:** 220 specie arboree e arbustive, valutando la loro capacità di rimuovere gli inquinanti atmosferici.
- **Integrazione del clima e dell'inquinamento:** considera le variabili climatiche locali e concentrazioni di inquinanti.
- **Raccomandazioni specifiche per inquinante:** consente la selezione in base a inquinanti specifici mirati.
- **Interfaccia user-friendly:** accessibile agli urbanisti senza competenze tecniche avanzate.



Vantaggi ambientali e socioeconomici del progetto



Rispetto all'attuale copertura arborea, **ogni aumento del 5% della copertura arborea** potrebbe ridurre del 3,0% e dell'1,4% le concentrazioni medie annuali di PM_{2,5} e NO₂ e dell'1,3% la media estiva delle concentrazioni massime giornaliere di O₃ su 8 ore. Ogni area rimboschita ha eliminato nel 2023 1,5 tonnellate di O₃, 170 kg di NO₂ (40 auto¹), 150 kg di PM₁₀ (220 auto¹), 21 tonnellate di CO₂ (13 auto¹) e aumentato le scorte di carbonio (2,6 tonnellate). L'aria ambiente è più fredda di 1,5 °C rispetto all'area circostante. In estate, abbiamo osservato una **riduzione del 55% dei picchi di O₃** a livello degli alberi. Piantare foreste urbane può mitigare gli effetti del cambiamento climatico poiché gli alberi rimuovono CO₂ dall'atmosfera. Tuttavia, creando una nuova foresta urbana, si verificano emissioni di gas serra durante la coltivazione nel vivaio, la piantumazione e le operazioni di mantenimento delle piante. L'impronta di

carbonio era pari a 14,7 t di CO₂ equivalente con il mantenimento nel tempo come fase che emette più CO₂ (62%). Il modello ha evidenziato che sono necessari **13 anni per raggiungere** un bilancio positivo di CO₂. Abbiamo osservato aumenti significativi di i) biodiversità del suolo; ii) biodiversità dei vertebrati; iii) numero di specie di uccelli insettivori.

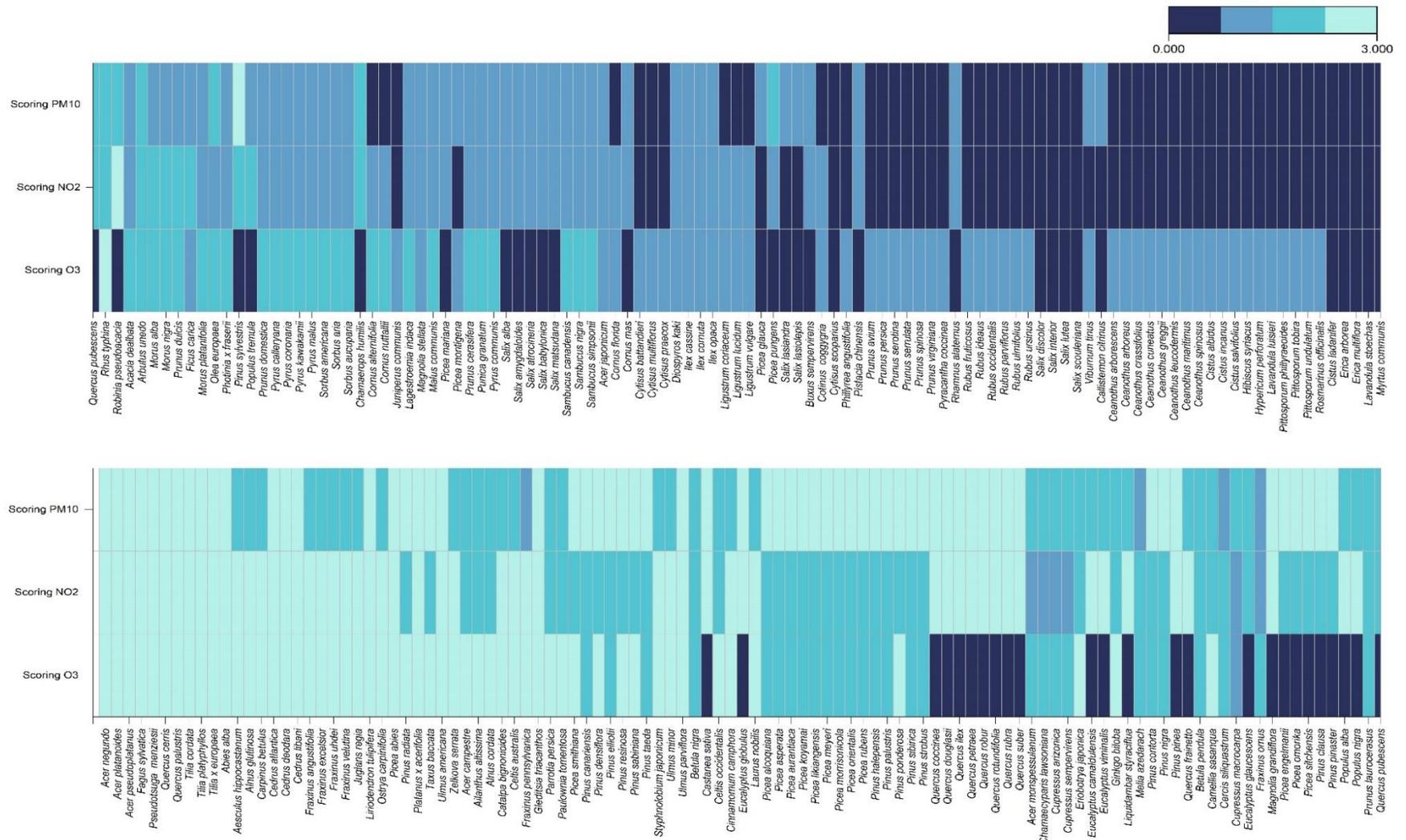


Figura 8 - Classificazione FlorTree: capacità di rimozione per inquinante atmosferico (da 0 a 3).

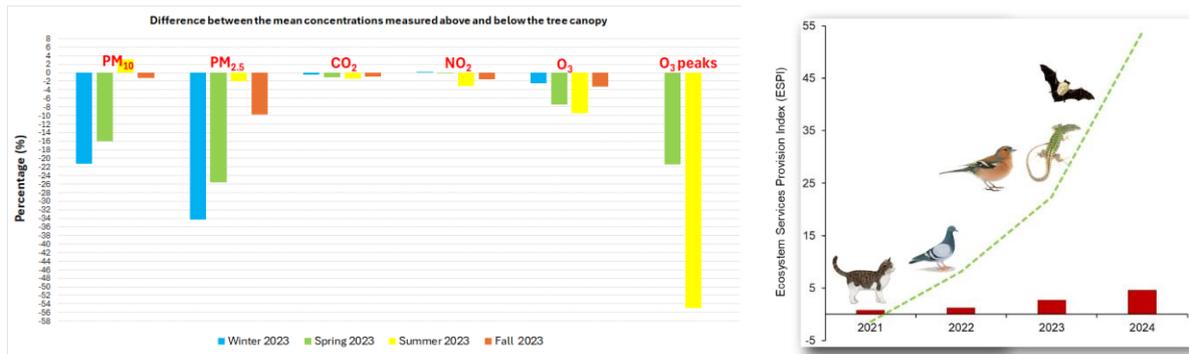


Figura 9 - Differenza tra le concentrazioni medie stagionali sopra e sotto la chioma degli alberi all'interno dell'area di prova ad Aix-en-Provence per l'anno 2023 (a sinistra) e l'indice del potenziale dei servizi ecosistemici prima e dopo il rimboschimento nel 2022.

Ogni aumento del 5% nella copertura arborea impedirebbe circa 4.700 morti premature all'anno legate all'inquinamento atmosferico nei 744 centri urbani europei con più di 50.000 abitanti. Raggiungere una copertura arborea del 30% in ogni centro urbano potrebbe impedire quasi 12.000 morti premature all'anno in totale. Ad Aix-en-Provence e Firenze, ogni aumento del 5% nella copertura arborea potrebbe impedire **un totale di 18 morti premature all'anno**. Si osserverebbe un eccesso di 61 morti premature riducendo la copertura arborea media della città dall'attuale copertura arborea a uno scenario ipotetico "senza alberi". Per tradurre la riduzione annuale delle morti premature in risparmi economici, il valore di una vita statistica può essere utilizzato come proxy. In Europa, il valore statistico medio della vita è stimato in 4,3 milioni di €

Oltre il progetto LIFE AIRFRESH - Trasferibilità dei risultati di progetto

[FlorTree](#) può essere applicato in qualsiasi città. Ampliando i set di dati socio-economici, climatici, di pianificazione urbana, del suolo, della fenologia e dell'inquinamento atmosferico (Zagabria, Bucarest, Vilnius, Tokyo), il nostro approccio è stato convalidato e le linee guida sono state perfezionate. Le città follower si baseranno sulle prove e sulla base di conoscenze generate nelle città leader per sviluppare i propri piani urbani locali per replicare e adattare soluzioni basate sulla natura in base alle proprie impostazioni locali.

Digital Twin come strumento decisionale e di pianificazione

Combinando l'approccio LIFE AIRFRESH con scenari di cambiamento climatico e qualità dell'aria, è possibile progettare un Digital Twin per aiutare gli urbanisti a valutare i vantaggi di vari scenari di pianificazione. Digital Twin aiuta ad accelerare la resilienza climatica urbana simulando scenari di cambiamento climatico, identificando aree soggette all'effetto isola di calore urbano e popolazioni ad alto rischio e individuando opportunità per incorporare più verde nelle città. Sono disponibili dati e modelli ([Manzini et al., 2023](#); [Sicard et al., 2023](#); [Anav et al., 2024](#)) per avviare i lavori di replicazione veri e propri.

AIRFRESH key messages

- È stata sviluppata una nuova metodologia per rilevare, classificare e mappare singoli alberi e spazi verdi su scala urbana e quantificare la quantità di inquinanti rimossi dall'aria in città.
- I risultati consentono di identificare le aree prioritarie per il rinverdimento in città densamente popolate.
- Le foreste periurbane influenzano le condizioni climatiche e la qualità dell'aria all'interno delle città. Pertanto, le aree periurbane possono essere un obiettivo per le strategie di rinverdimento.
- Gli alberi privati ad Aix-en-Provence e Firenze erano oltre l'80% del totale, sottolineando la necessità di politiche per i proprietari privati.
- Gli alberi rimuovono gli inquinanti atmosferici dall'aria, ad esempio PM₁₀, NO₂, O₃ e CO₂, ma la loro efficienza dipende dalla specie e dalle condizioni climatiche locali.
- Sono state rese disponibili raccomandazioni scientificamente valide sulle specie legnose migliori/peggiori per gli ambienti urbani inquinati. Le raccomandazioni sono specifiche per ogni città.
- La quantità di inquinanti rimossi può compensare le emissioni di migliaia di auto, ad esempio ad Aix-en-Provence, gli alberi rimuovono ogni anno 41 tonnellate di NO₂ (corrispondenti alle emissioni di 6.600 auto), 97 tonnellate di PM₁₀ (147.400 auto) e 16.560 tonnellate di CO₂ (10.400 auto)
- È stata sviluppata una metodologia per verificare la conformità di ogni edificio alla regola 3-30-300.
- Aumentare la copertura arborea ad Aix-en-Provence e Firenze al 30% potrebbe prevenire 50 morti premature ogni anno.
- Il valore economico della rimozione dell'inquinamento atmosferico e della riduzione dell'isola di calore urbano da parte della vegetazione attuale, stimato in termini di morti premature evitate, è stato di 550 milioni di € per la città di Firenze e 150 milioni di € per Aix-en-Provence. Il valore economico è dipendente dalla città.
- Questa è la prima volta che l'inquinamento atmosferico e la riduzione del riscaldamento da parte delle foreste urbane vengono quantificati simultaneamente.
- Questi risultati aiutano l'implementazione delle strategie dell'UE, ad esempio sulla tutela della biodiversità e sul Green Deal, che mirano a piantare 3 miliardi di alberi entro il 2030 in Europa.

Data d'inizio: 1 settembre 2020

Data di fine: 1 dicembre 2024

Coordinatore: Dr Pierre Sicard, ACRI-ST, Francia

Partners: ACRI-ST (FR), AIR-Climat (FR), ENEA (IT), IRET-CNR (IT), municipalità di Aix-en-Provence (FR) e Firenze (IT)

Budget totale: 1.20 milioni di euro

Contributo della Commissione Europea: €661,250

