PROGETTI VI CALL 2025/2026

Titolo progetto:	Quantificazione e comparazione delle aree verdi nelle maggiori realtà urbane italiane
Descrizione	La presenza di vegetazione in ambito urbano incide sulla qualità della vita nelle città. La letteratura documenta effetti benefici delle aree verdi sulla riduzione dello stress, sul benessere psicologico e sull'adozione di stili di vita attivi; sul piano ambientale, la vegetazione concorre alla mitigazione del surriscaldamento urbano, all'assorbimento del particolato e alla qualità dell'aria. La statistica sperimentale Istat sulla quantificazione delle aree (https://www.istat.it/statistica-sperimentale/quantificazione-delle-aree-verdi/) coperte da vegetazione nei centri abitati delle maggiori realtà urbane italiane stima la vegetazione urbana classificando i pixel delle ortofoto AGEA, a 20 cm e quattro bande spettrali, sulla base dell'indice NDVI, entro il perimetro dei centri abitati capoluogo. La risoluzione al suolo consente di discriminare elementi vegetali di dimensioni ridotte, fino alla singola alberatura stradale. Il dettaglio spaziale però si accompagna a una limitata risoluzione temporale. La copertura AGEA è triennale e ciascuna regione è sorvolata una sola volta per ciclo, in un periodo dell'anno ora verificabile dall'analista (AGEA pubblica anche le date dei voli) e variabile su base regionale. La stima è pertanto riferita a un singolo istante e l'intervallo fra due voli resta privo di osservazioni. Le immagini Sentinel-2 presentano caratteristiche differenti: risoluzione di 10 m, di qualità nettamente inferiore rispetto alle ortofoto, a fronte di rivisitazione di pochi giorni, disponibilità gratuita e copertura continua del territorio nazionale. Tali caratteristiche consentono la costruzione di serie temporali ininterrotte, stime tempestive e, potenzialmente, l'estensione della misura oltre l'insieme dei centri attualmente coperti. Le due fonti presentano differenze strutturali che ne condizionano il confronto. A 10 m il pixel copre 100 m² e può contenere simultaneamente vegetazione e altre coperture del suolo, mentre la vegetazione in chiazze di piccola estensione risulta non rilevabile. Inoltre l'NDVI derivato dalle due fonti non è la medesima grandezza, differendo le bande per centratura, ampiezza e calibrazione radiometrica. Entrambi gli aspetti sono ripresi nel paragrafo metodologico.
Obiettivi	Il lavoro persegue cinque obiettivi: (i) adattare a Sentinel-2 la metodologia sviluppata su ortofoto, tenendo conto del diverso passo spaziale e della diversa risposta radiometrica dei due sensori; (ii) produrre indicatori di vegetazione urbana e di superficie vegetata pro capite a livello di Area Subcomunale (ASC); (iii) analizzare la dinamica stagionale nel periodo 2020–2025, anche in relazione a temperatura e precipitazioni; (iv) confrontare le stime con la statistica sperimentale da ortofoto, assunta come riferimento, valutando l'apporto informativo del dato satellitare in termini di tempestività e granularità temporale; (v) verificare la fattibilità di un modello di correzione della vegetazione urbana per i periodi privi di volo.
Metodologia	3.1 Dalle ortofoto alla vegetazione urbana L'impianto procedurale è quello della statistica sperimentale: calcolo dell'NDVI entro il perimetro dei centri abitati e classificazione binaria dei pixel mediante soglia. Mutano due condizioni al contorno. La prima è il passo spaziale, che da 20 cm passa a 10 m, introducendo il problema dei pixel misti, nei quali vegetazione e altre coperture del suolo (ad esempio superfici costruite o suolo nudo) coesistono. La seconda è la radiometria: le bande dei due sensori differiscono per centratura, ampiezza e calibrazione, e le distribuzioni dei rispettivi NDVI non coincidono. Ne discende la scelta metodologica centrale. Una soglia NDVI fissa, derivata da un sensore e da un contesto territoriale differenti, non discrimina in modo uniforme vegetazione e non vegetazione al variare di clima, stagione, tipologia vegetazionale e composizione dell'immagine. Una soglia adattativa è pertanto stimata in modo relativo sulla distribuzione empirica di ciascuna immagine, separatamente per città e trimestre. Gli adattamenti rispetto alla procedura su ortofoto sono cinque: stima della soglia per città e trimestre in luogo di una soglia unica per immagine; impiego di tutti i pixel validi in luogo di un campione dell'1%; soglie ottenute mediante stima kernel della densità (KDE), KMeans e metodo di Otsu; algoritmo di Canny per l'individuazione dei bordi con soglie basate sui quantili della distribuzione; buffer espressi in pixel anziché in metri. 3.2 Dati e pre-elaborazione La base territoriale è costituita dalle Aree Subcomunali Istat (shapefile LOC_ASC1), ristrette ai centri abitati e integrate con la popolazione residente per sezione del censimento 2021. Le ASC dei centri abitati delimitano le aree di elaborazione. Le immagini provengono dal servizio Sentinel-2 L2A di Copernicus Data Space

Ecosystem (CDSE), acquisite tramite piattaforma openEO (bande B04 e B08, 10 m). Sono escluse le scene con copertura nuvolosa superiore al 50% ed è applicata una maschera SCL con dilatazione. Il periodo di riferimento è il 2020–2025, articolato in 24 trimestri. Per ciascuna città e trimestre l'NDVI è calcolato per singola scena e successivamente mediato pixel per pixel, ottenendo un raster rappresentativo del periodo.

3.3 Determinazione della soglia

La soglia è determinata in due step. Nel primo si individua il minimo locale fra le mode della distribuzione NDVI mediante stima kernel della densità; qualora il valore ricada al di fuori dell'intervallo di accettazione, si ricorre a KMeans. Per una discriminazione più focalizzata alla zona di transizione tra vegetazione e non vegetazione, nel secondo step i bordi di vegetazione sono individuati con l'algoritmo di Canny, limitatamente alle aree che superano la soglia iniziale; si applica quindi un buffer attorno ai bordi e si stima la soglia finale con il metodo di Otsu sui pixel della fascia così definita. Se la soglia risultante eccede l'intervallo di accettazione, o se i pixel disponibili sono insufficienti, è mantenuta la soglia iniziale. I parametri definitivi prevedono intervallo di accettazione [0,10; 0,60] e buffer di un pixel pari a 10 m.

3.4 Indicatori

Il raster binario è sovrapposto alle geometrie delle ASC dei centri abitati. Per ciascuna ASC sono calcolati la superficie vegetata, pari al numero di pixel classificati come vegetazione per l'area del pixel; la superficie vegetata pro capite; la quota di superficie vegetata sulla superficie dell'area. Per ciascun centro abitato sono calcolati la copertura vegetale complessiva, la superficie vegetata pro capite e la quota di ASC prive di pixel classificati come vegetazione.
Gli indicatori aggregati si riferiscono all'insieme delle ASC del centro abitato e non all'intero territorio comunale. Il denominatore demografico è quello censuario 2021 e resta costante lungo l'intero periodo, mentre il numeratore varia per trimestre.
L'indicatore di copertura di totale di vegetazione viene messo in relazione ai valori di precipitazione e temperatura rilevati nel comune e nel periodo in esame (rianalisi climatica ERA5-Land - ECMWF, servizio Copernicus C3S).

3.5 Confronto con la statistica sperimentale

Il confronto è condotto sulle 14 città per le quali la statistica sperimentale è disponibile, assumendo come riferimento l'indicatore di verde totale percentuale. Per ciascuna città si considera il composito satellitare della finestra 1 aprile – 1 luglio dell'anno del volo AGEA corrispondente.

Anno del volo	**Città**
2020	Bologna, Napoli, Roma
2021	Milano, Reggio Calabria, Torino, Venezia
2022	Bari, Cagliari, Catania, Firenze, Genova, Messina, Palermo

Risultati ottenuti

4.1 Indicatori a livello di Area Subcomunale e di città

La produzione di indicatori su base ASC costituisce l'apporto più direttamente utilizzabile, restituendo con cadenza trimestrale la distribuzione intra-urbana della vegetazione, che le ortofoto descrivono solo in corrispondenza del volo.
Sul piano comparativo, Sassari presenta il valore medio più elevato di superficie vegetata pro capite (circa 176 m² per abitante) e Napoli il più contenuto (circa 31 m²); Roma registra una copertura vegetale del 41% e una disponibilità media di circa 73 m² per abitante.
Tali valori misurano la vegetazione complessiva, inclusi giardini privati, incolti e superfici agricole ricadenti nel perimetro del centro abitato, e non sono assimilabili alla dotazione di verde urbano pubblico rilevata dall'indagine sui dati ambientali nelle città, di un ordine di grandezza inferiore. Sono state prodotte a livello si ASC mappe comunali relativo al terzo trimestre del 2025.

4.2 Dinamica trimestrale

L'analisi delle serie 2020–2025 individua tre profili stagionali che indicano una dinamica specifica per caratteristiche climatiche. Le città del Centro-Sud e delle isole presentano un minimo estivo, riconducibile allo stress idrico; quelle del Nord un

	minimo invernale, riconducibile al riposo vegetativo; Genova, Firenze e Venezia un andamento relativamente stabile. L'ampiezza della dinamica varia sensibilmente: l'escursione fra trimestri è di circa 3 punti percentuali a Venezia e compresa fra 12 e 23 punti a Sassari, Roma, Reggio Calabria, Bari, Catania e Cagliari. In presenza di escursioni di tale ampiezza, la stima fatta con ortofoto è particolarmente sensibile al periodo di volo e va interpretata con cura. L'integrazione con le rianalisi ERA5 conferma la natura climatica dei tre profili. Il segno della correlazione fra vegetazione e temperatura segue il regime climatico della città: positivo a Torino e Milano (circa 0,6), sostanzialmente nullo a Genova, Venezia, Firenze e Bologna, negativo nel Centro-Sud e nelle isole (fra −0,70 e −0,90). 4.3 Confronto con la statistica sperimentale Le stime satellitari sono confrontate con quelle della statistica sperimentale Istat da ortofoto, assunta come riferimento. Le stime prodotte con soglia adattativa per città e trimestre risultano più aderenti al riferimento di quelle ottenute con soglia fissa pari a 0,4 (Necula e Oancea, 2023): lo scarto quadratico medio rispetto ai valori Istat si riduce da 17,1 a 10,9 punti percentuali, mentre la correlazione passa da 0,80 a 0,83, variazione che su quattordici unità è da interpretare come sostanziale invarianza. La lettura congiunta dei due indicatori è informativa: una riduzione dell'errore superiore a un terzo a fronte di correlazione pressoché invariata indica che la soglia adattiva corregge una distorsione sistematica senza modificare l'ordinamento relativo delle città. Coerentemente, sui valori non trasformati la soglia fissa sovrastima la copertura rispetto al riferimento in tutte le città considerate. Permane un errore residuo di circa 11 punti percentuali, non trascurabile su livelli di copertura compresi fra il 30 e il 45%. 4.4 Prospettive I risultati incoraggiano all'utilizzo del dato satellitare e all'affiancamento delle ortofoto. L'aderenza è buona sulla dinamica e ancora parziale sul livello. Lo sviluppo successivo potrebbe essere un modello che riporti le stime satellitari sulla scala della statistica sperimentale, così da fornire una misura della vegetazione urbana anche per i periodi privi di volo e integrare l'informazione disponibile. Il percorso si articola in tre passaggi: definizione della finestra temporale di confronto; stima del modello di correzione sugli anni di volo disponibili, assumendo come variabile di riferimento l'indicatore della statistica sperimentale da ortofoto; applicazione del modello per stimare le coperture nei periodi in cui la statistica presenta lacune temporali.
Membri del Team	Fabrizio De Fausti, Marco Di Zio, Giuseppe Lancioni, Stefano Mugnoli, Donatella Papa, Alberto Sabbi e Francesco Sisti