



**PARTENARIATO EUROPEO PER L'INNOVAZIONE IN MATERIA DI PRODUTTIVITÀ E
SOSTENIBILITÀ DELL'AGRICOLTURA**

**Piano Strategico di Gruppo Operativo
ANNUALITÀ 2019**

fortrack

ACRONIMO DEL PIANO STRATEGICO

GO-FORTRACK- Sviluppo Di Un Sistema Di Supporto Decisionale Per La Mappatura Continua Delle Risorse Forestali

Report Banca dati grezza

Indice

Introduzione	3
Raccolta dati esistenti telerilevati e cartografici	3
Serie temporali dati multispettrali satellitari – Sentinel-2 2016–2024	3
Dati LiDAR acquisiti da aereo	4
Dati Cartografici a livello regionale.....	5
Raccolta dati Inventario Forestale Nazionale 2005 e 2015	6
Dati orografici TIN Italy	7
Dati climatici.....	7
Dati di suolo	7
Dati geografici sviluppati ad hoc per il sistema fortrack	7
Raccolta dati esistenti sulle aree test (aree di saggio esistenti)	8

Introduzione

La raccolta e la gestione dei dati geografici sono fondamentali per numerosi settori, tra cui la gestione forestale. Un sistema forestale ben strutturato richiede dati accurati e coerenti per supportare attività come il monitoraggio della biodiversità, la pianificazione delle risorse, la prevenzione degli incendi e la gestione sostenibile delle foreste.

Recentemente, il GO ha condotto una vasta raccolta di dati con l'obiettivo di creare una banca dati grezza dedicata al sistema forestale includendo informazioni geografiche provenienti da varie fonti. Questa collezione preliminare contiene informazioni cruciali riguardanti la distribuzione delle specie arboree, la composizione del suolo, le aree di conservazione e altre variabili ambientali essenziali. Questa raccolta ha richiesto molto tempo dal momento che i dati raccolti sono frammentati e distribuiti su diversi portali, cosa che rende difficile la loro integrazione e analisi efficace. Inoltre, è stato evidenziato come la regione Calabria, rispetto ad altre regioni non dispone di un portale cartografico regionale che permette di visualizzare i layer tramite WMS ed è quindi stato necessario richiedere direttamente questi dati.

Questa azione è preliminare a creare una banca dati standardizzata (Azione 2), che possa essere efficacemente utilizzata in analisi e decisioni strategiche, è necessario un processo di standardizzazione che renda questi dati omogenei, coerenti e facilmente integrabili in sistemi informativi geografici (GIS).

Infatti, l'obiettivo dell'Azine 2 è anche quello di trasformare la banca dati grezza, frammentata e dispersa, in una risorsa standardizzata e operativa, in grado di supportare una gestione forestale avanzata e sostenibile. Attraverso la standardizzazione, garantiremo che i dati siano accurati, aggiornati e prontamente disponibili per tutti gli stakeholder coinvolti nella gestione e nella conservazione delle foreste.

Raccolta dati esistenti telerilevati e cartografici

In questa fase, sono state raccolte tutte le informazioni cartografiche (i.e. catastale, DEM, viabilità, vincoli, ecc.), satellitari, LiDAR sia nelle aree test che a scala regionale. Nel corso di questa attività, tutte le informazioni sono state armonizzate in termini di standard informativi internazionali (direttiva INSPIRE).

Partner coinvolti: PP3-Università degli Studi di Firenze DAGRI

La raccolta dei dati esistenti sulle aree test ha riguardato due diversi tipi di dati:

- Dati telerilevati (satellitari, LiDAR)
- Dati cartografici

I dati raccolti sono poi stati implementati nel sistema (Azione 3) o sono serviti per sviluppare le carte delle utilità ecosistemiche/servizi ecosistemici che poi sono state implementate nel sistema (Azione 3).

In particolare, i dati telerilevati Sentinel-2 sono stati utili alla mappatura delle variabili forestali, mentre i dati cartografici di base sono stati raccolti per l'individuazione dei vincoli e/o per fornire informazioni circa variabili orografiche come quota, pendenza, esposizione utili a generare informazioni che possono essere utilizzate per la pianificazione forestale e l'implementazione della selvicoltura di precisione. Nei prossimi paragrafi vengono illustrati nel dettaglio le attività svolte per la raccolta dei raccolti e come questi sono stati elaborati per essere poi implementati nel sistema.

Serie temporali dati multispettrali satellitari - Sentinel-2 2016-2024

I satelliti Sentinel dell'ESA (European Space Agency) costituiscono la componente spaziale del programma Copernicus di osservazione della Terra per il monitoraggio Ambientale. In tale contesto i satelliti Sentinel-2 acquisiscono immagini multispettrali della superficie terrestre nelle lunghezze d'onda del visibile e dell'infrarosso riflesso. Il primo satellite, Sentinel-2A, è stato lanciato il 23 giugno 2015; il lancio del secondo, Sentinel-2B, invece è stato effettuato nel 2016. I satelliti Sentinel-2 sono equipaggiati con lo strumento MSI (MultiSpectral Instrument) in gradi di acquisire 4 bande nel visibile e vicino infrarosso con risoluzione spaziale 10 m, 6 bande nell'infrarosso con risoluzione spaziale 20 m e 3 bande con risoluzione 60 m di cui una nel blu e due nell'infrarosso.

In questo progetto sono state utilizzate immagini Sentinel-2 dal 2016 al 2024 (tutt'ora il database viene aggiornato ogni mese). Per ogni mese è stato effettuato un "false color composite RGB 843" utilizzando i pixel con copertura

nuvolosa inferiore al 20%. Il dataset delle immagini è ottenuto mediante l'utilizzo della piattaforma Google Earth Engine con codice elaborato specificamente dal DAGRI – UNIFI nell'ambito di questo GO. Come esempio riportiamo il codice di estrazione di una singola immagine mensile color composite con codice di mascheramento delle nuvole utilizzato per generarla (Figura 8). Il codice ogni 5 giorni (tempo di rivisitazione del satellite Sentinel-2) acquisisce i nuovi dati satellitari Sentinel-2 al fine di aggiornare sempre l'immagine disponibile con la più recente. Le immagini derivanti dall'acquisizione vengono archiviate in uno specifico archivio digitale e sono utilizzate da UNIFI per la mappatura delle variabili forestali come provvigione legnosa (volume), biomassa, carbonio che sono state elaborate ad hoc per il sistema a partire da integrazione con dati a terra e dati anche Sentinel-2. Tutti i dati sono stati poi proiettati in un comune sistema di riferimento geografico WGS 84 / UTM zona 32 Nord (EPSG:32632)

Codice di esempio per il download delle immagini Sentinel-2

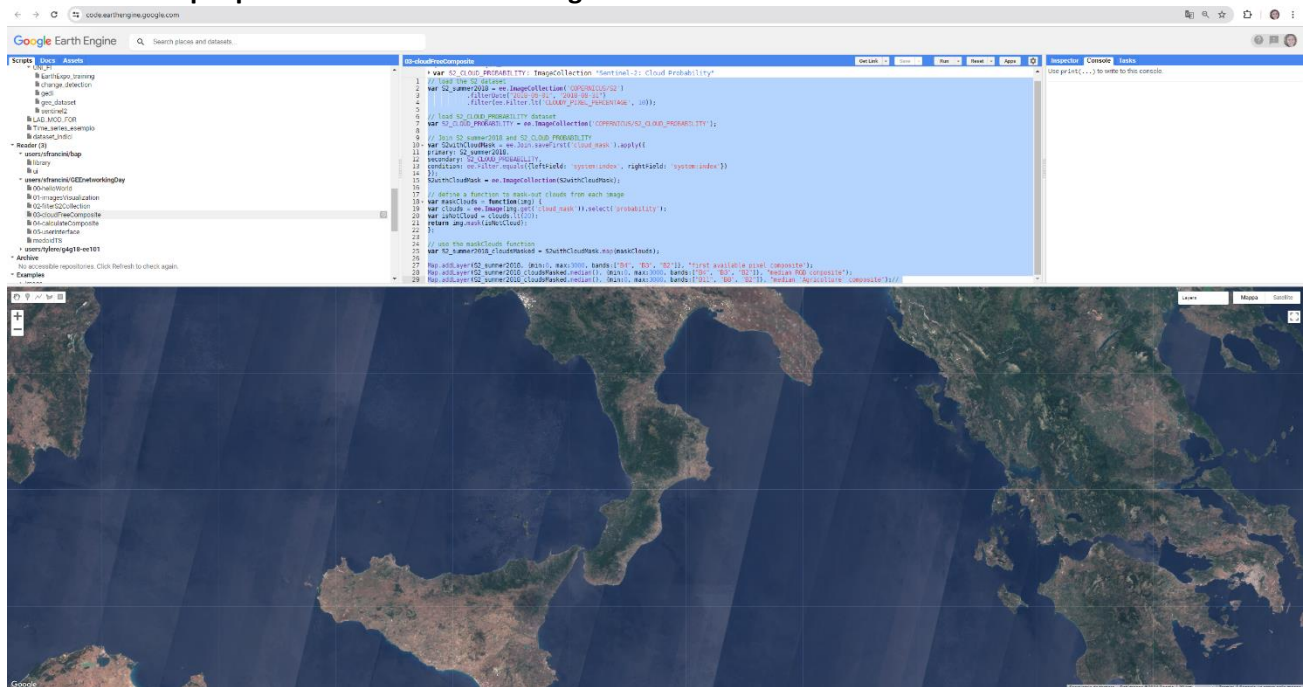


Figura 1 - Implementazione del codice per l'estrazione delle immagini mensili Sentinel-2 su google earth engine e relativo download nella repository di dati del progetto.

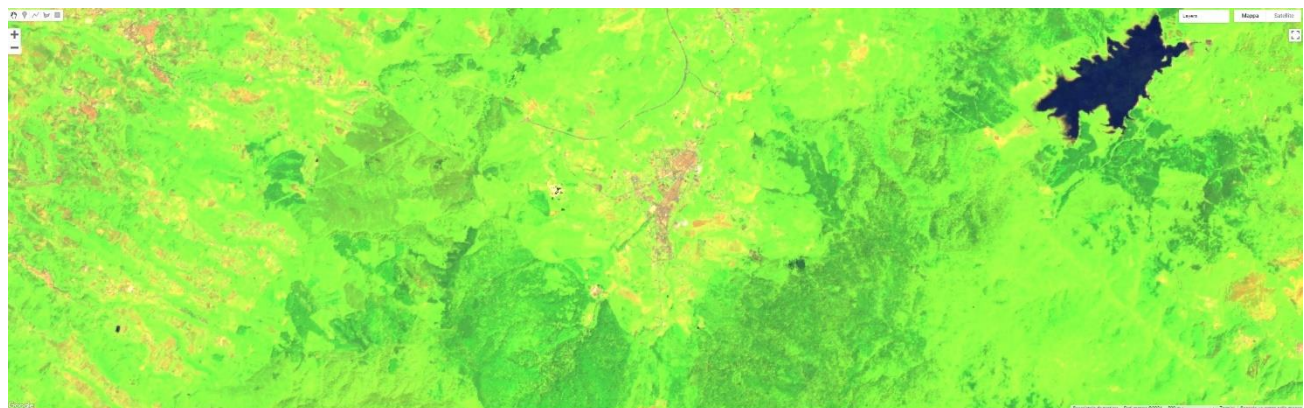


Figura 2 - Esempio immagine scaricata sull'area di Serra San Bruno

Dati LiDAR acquisiti da aereo

I prodotti LiDAR acquisiti per gli scopi del GO-FORTRACK derivano da diverse fonti: Regione Calabria, Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (MATTM). Il DAGRI-UNIFI ha raccolto tutti i dati esistenti nel territorio della Regione Calabria liberamente accessibili, al fine di poterli utilizzare nella mappatura delle variabili forestali.

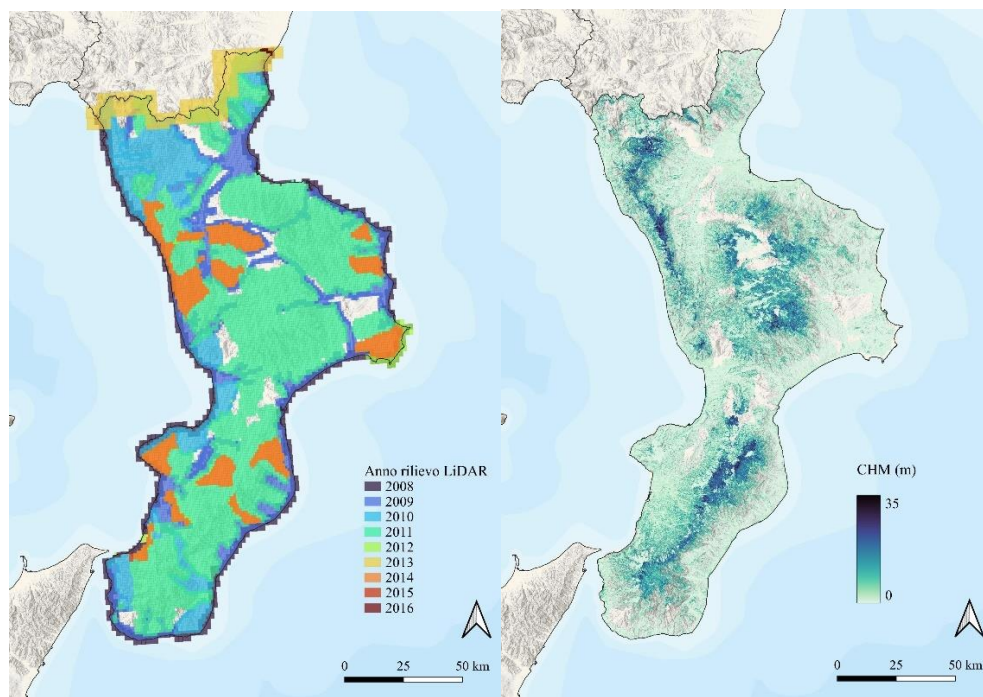


Figura 3 - dati LiDAR pre-esistenti in regione Calabria. A sinistra l'anno di acquisizione a destra il Modello digitale delle Chiome elaborato sulla base di tutti i rilievi

Per i rilievi riportati in Figura 10 sono stati raccolti due diversi tipi di dati: le nuvole di punti grezze quando disponibili e/o dati pre-elaborati (cioè DSM e DTM). Dove disponibili i dati di tipo nuvola di punti per elaborarli è stato utilizzato il software LasTools (Isenburg, 2017) utilizzando procedure comuni per la pre-elaborazione dei dati ALS, tra cui la rimozione dei valori anomali, la classificazione ground/non-ground e il calcolo di DTM e del DSM. Il DTM è stato ottenuto classificando i punti ground sulla base dell'algoritmo adattativo del modello TIN (Axelsson, 2000) e il DSM è stato costruito utilizzando i punti non-ground, entrambi i modelli sono stati generati come raster con una risoluzione di 1m x 1m. Successivamente per omogeneizzare i DTM e DSM dei vari rilievi, è stata eseguita una riclassificazione dei modelli digitali disponibili alle risoluzioni spaziali di 2m x 2m alla comune risoluzione di 1m x 1m utilizzando un filtro di convoluzione cubica. Infine, dai dati DTM e DSM ottenuti (cioè 1m x 1m), abbiamo calcolato per ogni rilievo il Modello digitale delle chiome (CHM) per sottrazione algebrica tra DSM e DTM (Kraus e Pfeifer, 1998):

$$\text{CHM} = \text{DSM} - \text{DTM}$$

I CHM ottenuti sono stati poi proiettati sul sistema di coordinate della griglia nazionale, ovvero il WGS 84 / UTM zona 32 Nord (EPSG:32632) e fusi in un unico CHM raster. Nel caso di sovrapposizioni tra rilievi di diverse annualità, per la generazione del CHM sul territorio della Regione Calabria è stato utilizzato il dato più recente.

Dati Cartografici a livello regionale

I dati geografici pre-esistenti visualizzabili come WMS sull'applicativo WebGIS sono stati identificati nel Geoportale nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/mattm/>), mentre gli altri sono stati direttamente richiesti alla Regione Calabria che ha messo a disposizione una cartella drive dove poterli scaricare. Purtroppo, non è stato possibile implementare la carta CTR perché per questa è necessario pagare un costo che non era possibile affrontare nell'ambito del GO. Tuttavia, qualora fosse disponibile in futuro anche come servizio WMS sarà implementata.

Tra i dati sono stati individuati gli strati informativi (layer) ritenuti di maggiore importanza per supportare la gestione forestale e necessari a soddisfare i bisogni degli utenti target (Tabella 1 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Tabella 1- Dati geografici pre-esistenti individuati, scaricati ed armonizzati

Bisogni	Dati geografici pre-esistenti
Conoscere le risorse forestali	Ortofoto RGB - Layer Ortofoto Google Satellite poiché non disponibile quella AGEA a

	scala regionale - Layer Carta delle tipologie forestali Regione Calabria
	<i>Cartografie parchi e zone a protezione speciale:</i> - Layer confini Siti Natura 2000 e zone a conservazione - Layer confini Parchi Provinciali - Layer confini Parchi Regionali - Layer confini Parchi Nazionali <i>Cartografie degli ambiti di paesaggio e zone soggette a vincoli naturali speciali</i>
Conoscere i vincoli	- Layer Zone soggette a vincoli naturali o ad altri vincoli specifici ai sensi degli artt. 31 e 32 del Reg. UE 1305/2013 - valido fino al 01/11/2020 - Layer Zone soggette a vincoli naturali o ad altri vincoli specifici ai sensi degli artt. 31 e 32 del Reg. UE 1305/2013 - valido dal 02/11/2020 - R.D. n.3267/1923 - R.D. n 3267/1923 - Immobili ed aree di notevole interesse pubblico - DCP n. 46 del 23/07/2019
Supporto alla redazione di documentazione per processi autorizzativi	- <i>Cartografia dei limiti amministrativi:</i> Comuni - <i>Cartografica catastale:</i> Fogli catastali; Particelle catastali

Raccolta dati Inventario Forestale Nazionale 2005 e 2015

La raccolta dei dati su tutto il territorio del Calabria si è resa fondamentale per creare la banca dati utile a creare i plot a terra utili per stimare in maniera spaziale i servizi ecosistemici come provvigione legnosa, biomassa, e carbonio.

In particolare, sono stati scaricati e armonizzati i dati inventariali dell’Inventario Forestale Nazionale 2005 e 2015 al fine di creare una banca dati utile alla spazializzazione di alcune variabili inventariali considerate fondamentali per l’applicazione della selvicoltura di precisione e per il monitoraggio della gestione forestale sostenibile:

- Provvigione Legnosa (m^3ha^{-1})
- Area basimetrica (m^2ha^{-1})
- Biomassa ($kg ha^{-1}$)

I dati dell’Inventario Forestale Nazionale 2005 e 2015 sono gli unici attualmente disponibili su tutto il territorio del CALABRIA e strutturati per poter essere utilizzati per creare le mappe delle utilità ecosistemiche/servizi ecosistemici da implementare nel sistema FORTRACK. Infatti, i dati INFC, 2005 e 2015 risultano gli unici ad avere una posizione geografica nota che è fondamentale quando si vuole collegare questi dati a dati telerilevati.

I dati dell’Inventario Forestale Nazionale 2005 e 2015 sono messi a disposizione dai Carabinieri Forestali, dal Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l’Analisi dell’Economia Agraria (CREA) del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali gratuitamente on-line. I dati sono stati scaricati in modalità “dati grezzi” del cavallettamento dei punti di terza fase dell’Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali del Carbonio - INFC2005 e INFC2015. I dati dei due inventari forestali nazionale sono disponibili insieme ai relativi metadati all’indirizzo \Rightarrow <http://www.inventarioforestale.org/>. UNIFI DAGRI, previa registrazione al portale ha scaricato i dati INFC 2005 e 2015 relativi ai cavallettamenti dei plot di terza fase dell’INFC 2005 e 2015 ricadenti in tutta Italia (Figura 9). I dati scaricati sono stati elaborati attraverso codici propri sviluppati su R-CRAN al fine di derivare variabili inventariali elencate precedentemente. Per il calcolo della provvigione legnosa (m^3/ha) e Biomassa (t/ha) sono state utilizzate le equazioni dell’inventario forestale nazionale (Tabacchi et al., 2011), mentre per la conversione in carbonio è stato usato l’approccio ICPP.

La provvigione legnosa (m^3/ha) e la biomassa (t/ha), il carbonio (t/ha) di ogni albero sono stati stimati utilizzando modelli allometrici specie-specifici sviluppati nel quadro dell’INFC che utilizzano il diametro a 1.30 e l’altezza totale dell’albero come variabili indipendenti (Tabacchi et al., 2011). La provvigione legnosa e di biomassa per ettaro di ciascun plot è stata stimata come aggregazione del volume di tutti gli alberi misurati nel plot. L’incertezza delle previsioni dei modelli allometrici per la stima delle variabili inventariali dei plot per le operazioni successive di mappatura verrà considerata trascurabile e ignorata.

Dati orografici TIN Italy

Per derivare i dati di quota (Modello Digitale del Terreno – DTM) abbiamo utilizzato e mosaicato le tile calabresi del DEM TINITALY a 10 m di risoluzione (Fornaciai et al., 2012; Tarquini et al., 2007; Tarquini and Nannipieri, 2017). Per poter scaricare il TIN ITALY è stato necessario registrarsi a questo portale <http://tinality.pi.ingv.it/> che permette poi di scaricare le varie tile che sono poi state mosaicate. Inoltre, attraverso analisi GIS il DEM è stato elaborato per derivare i dati di pendenza ed esposizione.

Dati climatici

I dati climatici sono stati derivati dai dati climatologici sviluppati da Maselli et al., (2012). Questi dati sono stati ottenuti da un regressione geografica pesata con dati di osservazione della terra. Il dataset italiano consente quindi di avere informazioni relativamente alle precipitazioni e temperature. Questi dati sono stati utilizzati per mappare le variabili forestali e generare i dati ad hoc del progetto.

Dati di suolo

I dati di suolo sono stati scaricati dal portale Europeo del suolo e sono relativi all'European Soil Database v2.0 (2004) (Panagos, 2006). Questo dataset spaziale consente di avere informazioni circa: (i) Capacità di ritenzione idrica disponibile nel sottosuolo; (ii) Capacità di ritenzione idrica disponibile nello strato superficiale del suolo; (iii) Volume delle pietre; (iv) Profondità della roccia; (v) Capacità di scambio cationico del sottosuolo; (vi) Capacità di scambio cationico dello strato superficiale del suolo; (vii) Capacità di scambio del suolo.

Dati geografici sviluppati ad hoc per il sistema fortrack

Nel seguente paragrafo viene presentata la procedura utilizzata per la generazione della mappa del volume legnoso (m^3ha^{-1}) e della biomassa epigea ad ettaro ($Mg ha^{-1}$) e del carbonio in Regione Calabria e nelle aree test. Oltre ai dati rilevati a terra dell'inventario forestali, per la mappatura sono state utilizzate come variabili predittive: i dati Sentinel-2, i dati orografici, i dati climatici e i dati di suolo descritti in precedenza. Tutte le variabili predittive sono state ricampionate ad una risoluzione 23x23 m.

I dati satellitari delle missioni Sentinel-2 sono stati già utilizzati per condurre analisi su cambiamenti e dinamiche ambientali, grazie alla loro libera disponibilità, allo swath di 290 km, all'elevato numero di bande spettrali (13) e alla sua elevata risoluzione spaziale (10-60 m a seconda della banda) e temporale (3-5 giorni). Sulla base di tali dati, è stato realizzato un composite cloud-free per tutta la Regione Calabria, attraverso la piattaforma cloud Google Earth Engine.

Per la predizione della provvigione e della biomassa epigea in Calabria, è stato utilizzato il modello predittivo *random forests* (Breiman, 2001), implementato nel pacchetto 'ranger' di R. Il modello è stato addestrato utilizzando il volume o la biomassa misurato nei plot come variabile dipendente e le variabili spazializzate come variabili indipendenti.

In corrispondenza delle ADS, sono stati estratti i valori medi di ogni variabile indipendente in un buffer di 13 m di raggio dal centro dei plot, costituendo il set di predittori per l'addestramento dei modelli. Per evitare una scarsa performance dei modelli quando i predittori sono altamente correlati (Harrell, 2001; p. 64-65), è stata eseguita l'analisi della correlazione utilizzando il coefficiente di correlazione di Pearson (r). Nel caso di due variabili con $r > 0.85$ solo la variabile con la correlazione minore con tutte le altre è stata scelta per le successive analisi. Con lo stesso pacchetto 'ranger', sono stati ottimizzati i valori degli iperparametri del modello (*mtry*, *splitrule*, *min.node.size*), attraverso una procedura di leave one out cross validation in cui ogni unità dell'insieme di training viene eliminata in sequenza e predetta utilizzando le restanti unità (McRoberts et al., 2015).

Gli strati informativi geografici specificatamente realizzati per il SSDF che sono stati realizzati integrando i dati dell'inventario forestale e dati telerilevati ed ancillari che hanno permesso di sviluppare le mappe di alcune variabili legate alle utilità ecosistemiche indispensabili per supportare le politiche di gestione forestale sostenibile. Queste mappe sono state realizzate secondo le metodologie riportate negli specifici lavori (Giannetti et al., 2022; Vangi et al., 2022; Chirici et al., 2020; Vangi et al., 2021) a partire dai dati rilevati a terra nell'ambito

dell'inventario forestale nazionale 2005 e 2015, integrati con dei dati telerilevati da satellite (Sentinel-2), dati climatici (temperatura minima, massima e media, precipitazioni), dati orografici (Modelli Digitali del Terreno) e dati estratti dalle cartografie forestali (tipologie forestali) applicando un approccio modellistico. Per tutta la Regione Calabria, con questi approcci modellistici, è stato possibile generare una mappa raster per ciascuna delle seguenti utilità ecosistemiche:

- mappa raster della provvigione legnosa regionale ($m^3 ha^{-1}$), risoluzione spaziale 23 m;
- mappa raster della biomassa ($t ha^{-1}$), risoluzione spaziale 23 m;
- mappa raster del contenuto di carbonio immagazzinato ($Mg ha^{-1}$), risoluzione spaziale 23 m;

Per dettagli sulla metodologia di realizzazione delle varie mappe si rimanda alle seguenti pubblicazioni: provvigione legnosa (Chirici et al., 2020, Vangi et al., 2021); biomassa (Giannetti et al., 2022), carbonio (Vangi et al., 2023).

Raccolta dati esistenti sulle aree test (aree di saggio esistenti)

Partner coinvolti: CAPOFILA: SOCIETA' AGRICOLA LA FORESTA SRL, PP2- Società Agricola La Nuova Ferdinanda SS

Le aziende forestali impegnate nel GO CAPOFILA: SOCIETA' AGRICOLA LA FORESTA SRL, PP2- Società Agricola La Nuova Ferdinanda SS hanno e armonizzato secondo le indicazioni di UNIFI i seguenti dati:

- Compresse forestali
- Particellare forestale
- Viabilità forestale
- Aree di saggio raccolte in passato per i piani di gestione

Gli strati informativi in formato autocad .dwg sono stati prima di tutto convertiti in formato geografico. Essendo dati derivati da autocad e non sviluppati per applicativi GIS è stato necessario un lavoro lungo di standardizzazione ed armonizzazione. Per prima cosa i dati sono stati standardizzati e armonizzati del sistema geografico informativo, ovvero trattati nel medesimo sistema di riferimento delle coordinate, al fine di eliminare errori che ne avrebbero pregiudicato il corretto funzionamento all'interno di un database di tipo relazionale geografico. Dopo questa standardizzazione, sono stati eliminati eventuali duplicati presenti negli shape file aziendali. Per ognuno dei file raccolti esistenti le aziende hanno fornito un metadato in modo tale che questi potessero essere utilizzati da PP3-Università degli Studi di Firenze DAGRI, PP4 - Bluebiloba startup innovativa SRL