

# Il nuovo Inventario Forestale Nazionale Italiano: geomatica e telerilevamento a servizio del monitoraggio delle foreste

di Giovanni D'Amico, Giancarlo Papitto, Walter Mattioli, Lorenzo Fattorini, Emanuele Presutti Saba, Piernaria Corona, Gherardo Chirici



Fig.1 - Procedura inventariale in tre fasi di INFC2005 e INFC2015.

**Le foreste sono una risorsa fondamentale assolvendo a una molteplicità di benefici per la collettività. In questo contesto, le statistiche forestali sono cruciali sia a livello nazionale, sia internazionale, per il monitoraggio della biodiversità, la quantificazione delle risorse forestali, la gestione locale e la pianificazione delle attività di conservazione, e quindi per decisioni informate in un ambiente in continua evoluzione.**

La necessità di una approfondita conoscenza della consistenza delle foreste ha portato all'introduzione degli Inventari Forestali Nazionali (IFN) basati su indagini campionarie già a partire dei primi del '900 nei paesi della penisola scandinava (Norvegia 1919, Finlandia 1921 e Svezia 1923 - Gschwantner et al., 2022). Negli anni '60, grazie allo sviluppo della teoria del campionamento e all'uso delle fotografie aeree, molti paesi europei hanno adottato inventari su larga scala. Più recentemente, le iniziative volte a monitorare la deforestazione e a mitigare gli effetti del cambiamento climatico (REDD+) hanno favorito la realizzazione degli IFN anche nei paesi emergenti, e il

consolidamento nei protocolli nei programmi già operativi (Breidenbach et al., 2021). In Italia, l'esigenza di aggiornare le statistiche forestali nazionali ha portato alla realizzazione del primo Inventario Forestale Nazionale (IFNI85) negli anni '80. Successivamente il rilevamento è stato ripetuto nel 2005 con l'Inventario Nazionale Forestale e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC2005), quando l'IFN è stato istituzionalizzato come pratica permanente e poi replicato nuovamente nel 2015 (INFC2015) mantenendo pressoché invariato il programma di rilievo (Gasparini et al., 2022) (Figura 1). Attualmente, sulla base delle esperienze dei precedenti cicli

di IFN, si è resa necessaria una revisione del sistema di inventario forestale italiano. A partire dal 2023, incontri tra esperti, accademici e portatori di interesse nei settori forestale e ambientale hanno permesso di affinare il protocollo per il nuovo IFN. Queste discussioni e test sul campo, come quelli condotti nella Foresta di Vallombrosa, hanno contribuito a definire le migliori soluzioni per il monitoraggio forestale e a sviluppare un approccio collaborativo tra tutti i gruppi di lavoro coinvolti. Il nuovo progetto dell'Inventario Forestale Nazionale d'Italia (IFNI) segna un'evoluzione significativa rispetto alle precedenti realizzazioni. Sebbene le definizioni delle variabili forestali siano state mantenute pressoché invariate per garantire la coerenza con le stime passate, sono state introdotte importanti innovazioni metodologiche e tecnologiche, con particolari avanzamenti sull'uso del telerilevamento, della geomatica e dei sistemi di posizionamento satellitare (GNSS).

**Disegno inventariale**

Una delle principali modifiche riguarda la struttura statistica dell'indagine, che passa da tre fasi di campionamento a due. La prima fase utilizza un campionamento stratificato a tasselli (*Tassellation Stratified Sampling - TSS*), che prevede la selezione casuale di un punto all'interno di una griglia 4 km x 4 km (16 km<sup>2</sup>) che copre l'intero territorio nazionale, ottenuta dall'accorpamento delle maglie quadrangolari chilometriche impiegate nei precedenti inventari

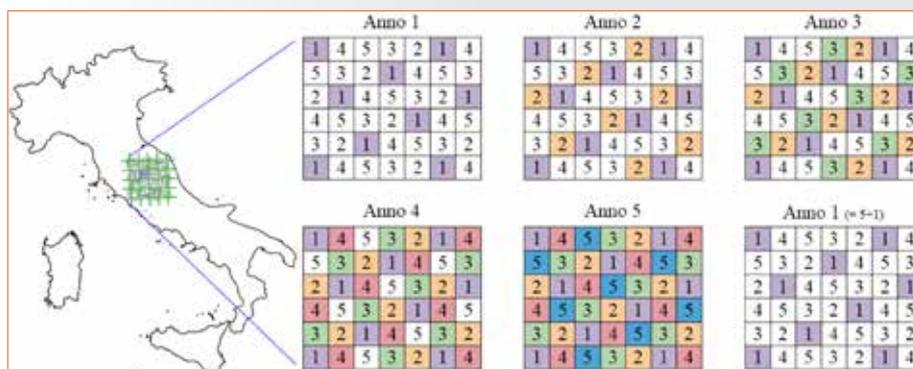


FIG. 2 - Rappresentazione grafica dei panel di appartenenza delle celle di seconda fase.

(Fattorini, 2015). Una ulteriore novità è l'adozione di un sistema di campionamento annuale a panel ruotato. La griglia è stata ordinatamente numerata in blocchi da 1 a 5 (Figura 2) e ogni anno è prevista la rilevazione dei punti appartenenti al panel identificato dalla stessa cifra. Ogni anno sarà possibile produrre stime delle variabili di interesse. Ogni cinque anni, al completamento del rilievo inventariale con tutti i punti misurati, sarà possibile realizzare, in condizioni di

assenza di eventi estremi di disturbo, stime complessive con un grado di precisione maggiore rispetto a quelle annuali. Al sesto anno si ripartirà con il panel 1 (Fig. 2). **Campione di prima fase** Per garantire la continuità con i precedenti IFN e integrare i nuovi dati nei sistemi di monitoraggio esistenti, il protocollo di rilievo ha previsto che il campione di punti da misurare in campagna includa alcune aree di saggio già esaminate durante INFC2015 e siti

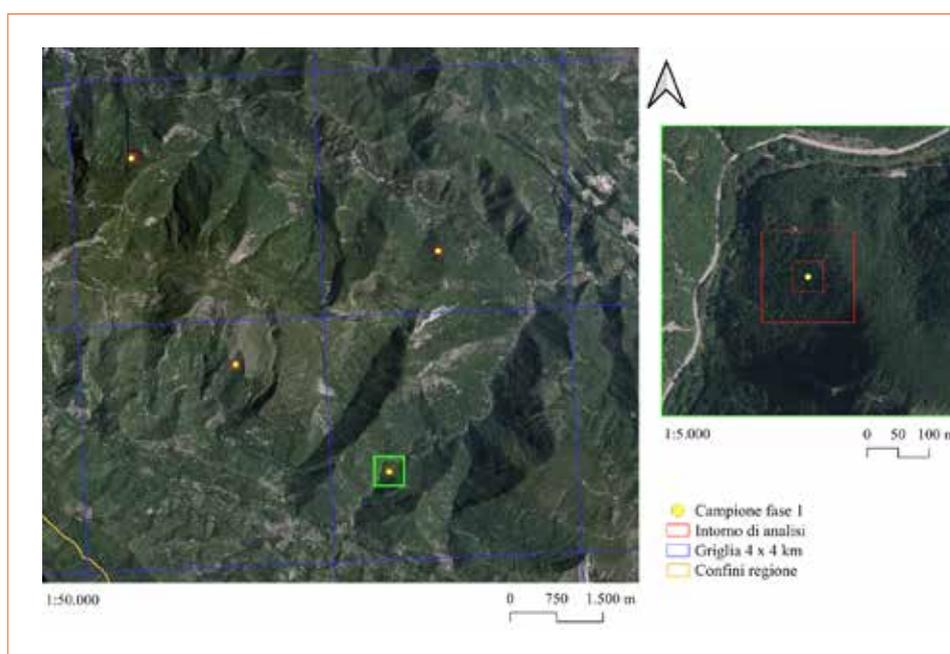


Fig. 3 - Progetto GIS per la fotointerpretazione dei punti campione di fase 1.

appartenenti al programma CONECOFOR (CONtrollo ECOSistemico delle FOReste), il programma italiano di monitoraggio a lungo termine delle foreste, che, attraverso indagini periodiche, analizza la salute degli ecosistemi forestali, l'inquinamento atmosferico e i cambiamenti climatici, raccogliendo dati su alberi, suolo e biodiversità in siti permanenti distribuiti in Italia. Questo programma rappresenta il contributo italiano a ICP Forests (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests), iniziativa internazionale avviata nel 1985 per comprendere gli impatti ambientali sulle foreste europee (Papitto et al., 2021). L'indagine IFNI ha per oggetto sia le aree boschive sia le altre terre boscate, in conformità alle definizioni del *Global Forest Resource Assessment*



Fig. 4 - Ricevitore GNSS Solutop MS2 in stazione su palina e bipiede, con smartphone per la gestione del rilievo (da Mattioli et al., 2025).

(FRA) della FAO, adottate come standard a livello globale per il monitoraggio e il reporting delle risorse forestali, definizioni già utilizzate nei precedenti inventari INFC2005 e INFC2015.

Ogni punto campione selezionato è stato classificato in una delle categorie: Bosco (che include le categorie di "soprassuolo forestale", "piantazione da legno" e "bosco temporaneamente privo di soprassuolo"), Non Bosco e Altre Terre Boscate, per fotointerpretazione in ambiente GIS, basandosi sulle Ortofoto AGEA del triennio 2021-2022-2023, oltre alle immagini liberamente disponibili di Google Satellite (Figura 3).

Secondo la definizione FAO-FRA, un'area è considerata bosco se ha:

- ▶ copertura arborea > al 10%;
- ▶ superficie > di 0,5 ettari;
- ▶ altezza degli alberi a maturità  $\geq 5$  m,

includendo anche giovani soprassuoli e aree temporaneamente prive di alberi a causa di eventi naturali o interventi umani, purché suscettibili di ricopertura nel breve termine. Sono inoltre inclusi vivai forestali, strade e fasce tagliafuoco, piccole radure, barriere frangivento e piantagioni per la produzione di legno, a condizione che superino 0,5 ettari di superficie e 20 metri di larghezza. Tuttavia, le aree prevalentemente destinate ad attività agricole o urbane non rientrano nella definizione di bosco.

Le altre terre boscate comprendono invece:

- ▶ copertura arborea tra il

5% e il 10% di alberi alti a maturità  $\geq 5$  m;

- ▶ copertura > 10%, ma con alberi che non superano 5 metri a maturità, oppure dominate da arbusti e cespugli.

#### Posizionamento satellitare

Per le indagini di campagna è previsto il parziale ritrovamento di aree di saggio già misurate in precedenti programmi di monitoraggio, oltre al mantenimento dei punti della prima fase per i futuri cicli inventariali. Di conseguenza, particolare attenzione è stata dedicata alla scelta di un affidabile sistema di posizionamento satellitare GNSS. Uno dei principali ostacoli all'utilizzo dei sistemi GNSS in foresta è rappresentato dalla copertura delle chiome, che può ridurre significativamente la qualità del segnale satellitare. Foglie e rami attenuano e riflettono il segnale, causando errori di posizionamento, perdita di segnale (*loss of lock*) e un aumento della deviazione della posizione rilevata rispetto a quella reale. Questi problemi risultano particolarmente evidenti nelle foreste dense con chiome fitte, soprattutto nei periodi di massima copertura fogliare.

Vari studi hanno analizzato la precisione dei sistemi GNSS in contesti forestali. Kaartinen et al. (2015) hanno confrontato diverse soluzioni GNSS in foreste boreali, rilevando errori medi di posizionamento tra 2 e 10 metri a seconda delle condizioni di copertura. Più recentemente è stato dimostrato il miglioramento della precisione grazie alle nuove costellazioni satellitari come Galileo, che aumentano il numero di segnali disponibili

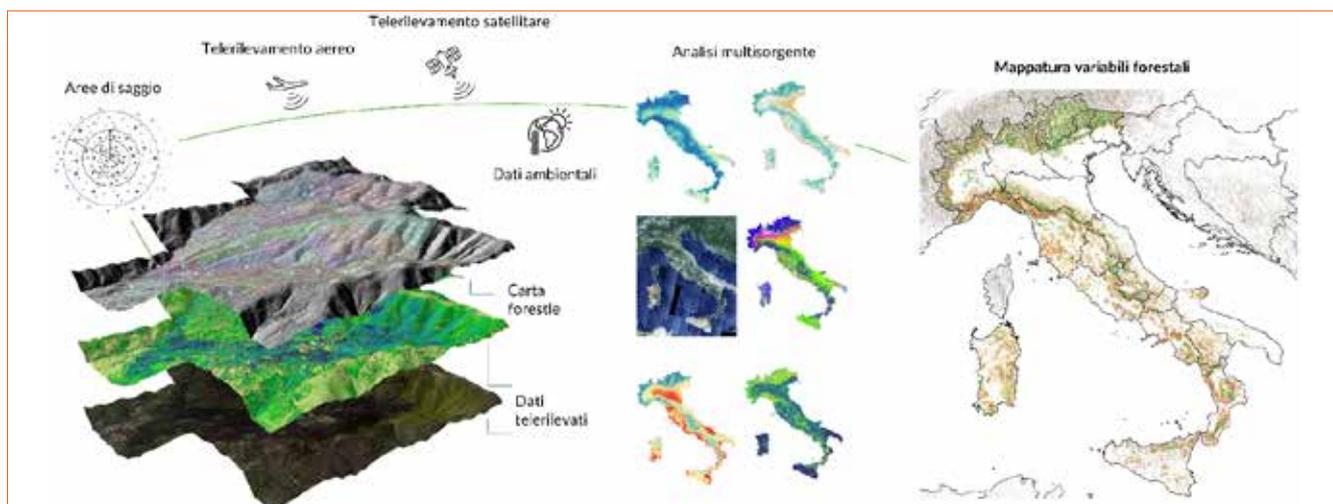


Fig. 5 - Integrazione tra dati a terra e dati telerilevati per la mappatura delle variabili forestali

riducendo gli errori di posizionamento (Brach, 2022). Il rinnovamento di IFNI ha riguardato la strumentazione GNSS con ricevitori multi-costellazione, che sfruttano segnali GPS (americano), GLONASS (russo), Galileo (europeo), BeiDou (cinese), QZSS (giapponese) e SBAS, risultati i più efficienti in ambiente forestale. Il Chip GNSS previsto per i rilievi inventariali presenta, tra le altre, le seguenti caratteristiche:

- ▶ velocità di aggiornamento in RTK fino a 30Hz
- ▶ precisione della posizione in RTK 0,01m+1ppm CEP
- ▶ tempo di convergenza in RTK <10sec
- ▶ acquisizione a freddo circa 24s
- ▶ partenze assistite 2s, ▶ Riacquisizione 2s
- ▶ sensibilità: Tracciamento e navigazione -167dBm
- ▶ avviamenti a freddo -148 dBm, Avvii a caldo -157dBm
- ▶ riacquisizione -160 dBm
- ▶ temperatura operativa -20°C to 60°C
- ▶ temperatura per la registrazione -30°C to 70°C

Per il rilievo forestale il chip

GNSS è collegato ad una multi-band antenna attiva GNSS per applicazioni di precisione topografica (Fig.4). Per la registrazione delle coordinate inventariali, sono state previste tre possibili modalità di ricezione, con diverse modalità di correzioni in post-processing:

- ▶ RTK (Real-Time Kinematic) fix;
- ▶ RTK float;
- ▶ No RTK.

Nella modalità RTK fix il software segnala automaticamente il fixing della posizione e in pochi secondi avviene la registrazione delle coordinate ad alta precisione. Nelle modalità RTK float e No RTK, invece, si raccomanda la registrazione statica delle coordinate per almeno 30'; con il ricevitore collocato nel punto centrale dell'area di saggio, con correzioni post-elaborate (PPK, *Post-Processed Kinematic*) è possibile ridurre gli errori fino a pochi centimetri, anche in presenza di copertura arborea.

#### Mappatura delle risorse forestali

Gli inventari forestali su scala globale hanno via via compiuto

un salto di qualità, passando dalla semplice raccolta di dati aggregati alla realizzazione di mappe dettagliate delle risorse boschive (Kangas et al., 2018). Questo progresso è stato possibile grazie alle tecnologie geomatiche e all'uso di algoritmi di *machine learning*, che permettono di combinare le osservazioni effettuate sul campo con le informazioni derivate da immagini satellitari e altri dati da telerilevamento (analisi multisorgente) (Fig.5). Un presupposto fondamentale per ottenere relazioni affidabili tra dati raccolti a terra e dati telerilevati è l'accurato posizionamento delle aree di saggio, che consente di garantire la coerenza spaziale tra le diverse fonti di informazione. Anche in Italia, metodi di questo tipo hanno già mostrato risultati interessanti (Corona et al., 2014; Chirici et al., 2020; Vangi et al., 2021; Giannetti et al., 2022; Di Biase et al., 2022). Nel caso dell'IFNI, sono adottati approcci per generare mappe tematiche sfruttando sia i rilievi effettuati in bosco sia i dati geospaziali disponibili a livello nazionale, oggi o in futuro, vedasi la missione IRIDE con previsione

di completamento entro il 2026 (Mastracci & Geraldini, 2023).

### Novità nei rilievi e nelle misurazioni delle variabili forestali in campo

Le misurazioni in campo si basano su unità di rilevamento strutturate coerentemente con i precedenti inventari forestali, quali il punto C (centro dell'unità di rilevamento) e varie aree di saggio (AdS) circolari, individuate sul terreno per il monitoraggio di specifiche componenti dell'ecosistema forestale. Ad esempio, l'AdS25 è il riferimento per i caratteri qualitativi (categoria forestale, tipo colturale, ecc.). Nelle AdS concentriche con raggio di 4 m e 13 m vengono rilevati gli alberi in piedi, in particolare l'AdS4, è dedicata a soggetti "piccoli" con diametro a 1,30 m da terra compreso tra 4,5

e 9,4 cm, mentre nell'AdS13 sono rilevati tutti gli alberi diametro a 1,30 m maggiore di 9.5 cm. L'AdS13 è anche l'unità di campionamento di legno morto, mentre le AdS2 sono dedicate a rinnovazione e arbusti (Fig. 6).

Un'importante innovazione riguarda il rilevamento della posizione georeferenziata dei singoli alberi all'interno dell'AdS13, facilitando così l'integrazione con dati telerilevati ad alta risoluzione. Inoltre, vengono introdotti rilievi di biodiversità relativi a diverse componenti dell'ecosistema forestale — come flora erbacea, licheni e microhabitat arborei — in linea con gli standard europei di monitoraggio e reportistica, con l'obiettivo di quantificare e monitorare la ricchezza ecologica delle foreste italiane. La diversità vegetale è rilevata tramite

l'acquisizione di immagini del sottobosco e la valutazione quantitativa dei gruppi morfo-funzionali presenti. La diversità lichenica viene analizzata su alberi campione mediante fotografie scattate all'interno di una cornice standard di 10 × 15 cm, posizionata sul tronco a un metro da terra; le immagini sono poi elaborate da modelli di intelligenza artificiale addestrati per l'identificazione automatica dei licheni. La presenza e l'abbondanza relativa dei microhabitat arborei sono invece valutate attraverso un protocollo speditivo basato sul catalogo di Kraus et al. (2016), successivamente ampliato da Larrieu et al. (2018, 2022), che prevede il riconoscimento visivo delle diverse tipologie di microhabitat presenti su ciascun albero.

### Conclusioni

Il nuovo IFNI rappresenta un passo avanti nell'uso delle tecnologie di geomatica applicate al monitoraggio forestale. L'integrazione di GNSS, telerilevamento satellitare e rilievi di campo consente di ottenere dati accurati e aggiornati, a supporto della gestione sostenibile delle foreste italiane. Con l'adozione di metodologie avanzate di mappatura, IFNI non solo fornisce un quadro dettagliato delle risorse boschive, ma diventa strumento fondamentale per la pianificazione ambientale e la conservazione del patrimonio naturale del Paese.

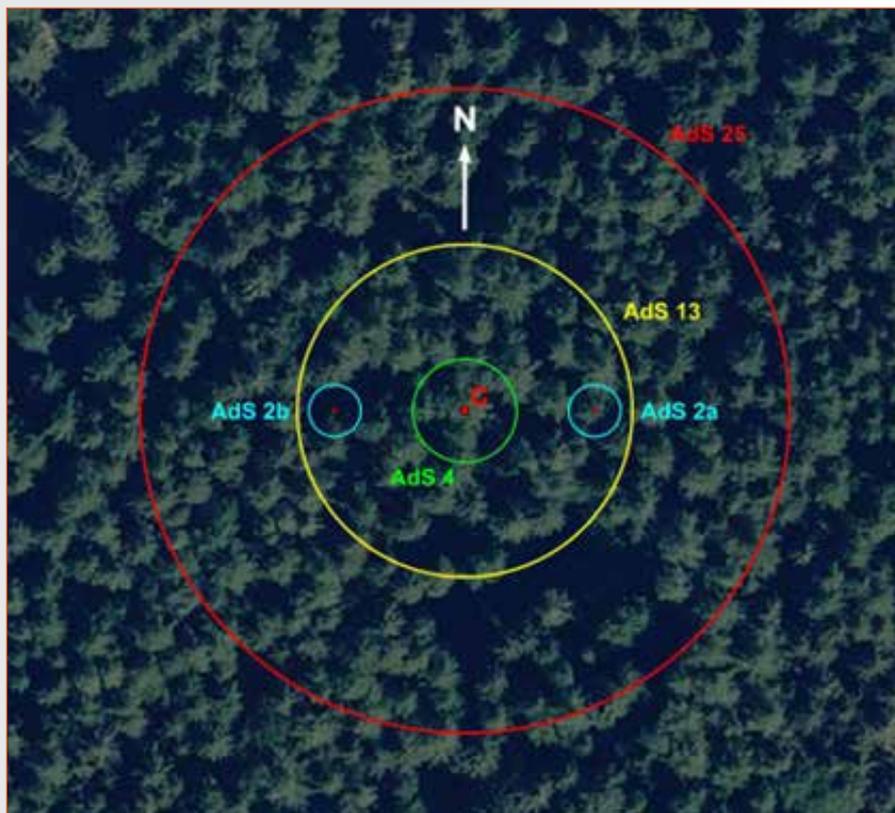


Fig. 6 - Schema delle unità di rilevamento a terra (da Mattioli et al., 2025).

## BIBLIOGRAFIA

- Brach, M. (2022). Rapid Static Positioning Using a Four System GNSS Receivers in the Forest Environment. *Forests*, 13(1), 45. <https://doi.org/10.3390/fl3010045>
- Breidenbach, J., McRoberts, R. E., Alberdi, I., Antón-Fernández, C., & Tomppo, E. (2021). A century of national forest inventories—informing past, present and future decisions. *Forest Ecosystems*, 8, 1–4. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00315-x>
- Chirici, G., Giannetti, F., McRoberts, R.E., Travaglini, D., Pecchi, M., Maselli, F., Chiesi, M., & Corona, P. (2020). Wall-to-wall spatial prediction of growing stock volume based on Italian National Forest Inventory plots and remotely sensed data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 84: 101959. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101959>
- Corona, P., Fattorini, L., Franceschi, S., Chirici, G., Maselli, F., & Secondi, L. (2014). Mapping by spatial predictors exploiting remotely sensed and ground data: A comparative design-based perspective. *Remote Sensing of Environment* 152: 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.011>
- Di Biase, R. M., Fattorini, L., Franceschi, S., Grotti, M., Puletti, N., & Corona, P. (2022). From model selection to maps: A completely design-based data-driven inference for mapping forest resources. *Environmetrics*, 33(7), e2750. <https://doi.org/10.1002/env.2750>
- Fattorini, L. (2015). Design-based methodological advances to support national forest inventories: a review of recent proposals. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 8: 6-11 <https://doi.org/10.3832/ifer1239-007>
- Gasparini, P., Di Cosmo, L., Floris, A., & De Laurentis, D. (2022). Italian National Forest Inventory—Methods and Results of the Third Survey: Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio—Metodi e Risultati della Terza Indagine (p. 576). *Springer Nature*.
- Giannetti, F., Chirici, G., Vangi, E., Corona, P., Maselli, F., Chiesi, M., D'Amico, G., Puletti, N. (2022). Wall-to-Wall Mapping of Forest Biomass and Wood Volume Increment in Italy. *Forests*, 13(12), 1989. <https://doi.org/10.3390/fl3121989>
- Gschwantner, T., Alberdi, I., Bauwens, S., Bender, S., Borota, D., Bosela, M., ... & Tomter, S. M. (2022). Growing stock monitoring by European National Forest Inventories: Historical origins, current methods and harmonisation. *Forest Ecology and Management*, 505, 119868. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119868>
- Kaartinen, H., Hyypä, J., Vastaranta, M., Kukko, A., Jaakkola, A., Yu, X., ... & Hyypä, H. (2015). Accuracy of kinematic positioning using global satellite navigation systems under forest canopies. *Forests*, 6(9), 3218-3236. <https://doi.org/10.3390/f6093218>
- Kangas A, Astrup R, Breidenbach J, Fridman J, Gobakken T, Korhonen KT, Maltamo M, Nilsson M, Nord-Larsen T, Næsset E (2018) Remote sensing and forest inventories in Nordic countries—roadmap for the future. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33(4):397–412. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1416666>
- Kraus D., Büttler R., Krumm F., Lachat T., Larrieu L., Mergner U., Paillet Y., Rydkvist T., Schuck A., Winter S. (2016). Catalogo dei microhabitat degli alberi. *Elenco di riferimento da campo. Integrate+ Documento Tecnico*, 13, 16pp.
- Larrieu L., Paillet Y., Winter S., Büttler R., Kraus D., Krumm F., Lachat T., Michel A.K., Regnery B., Vanderkerkhove K. (2018). Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. *Ecological Indicators*, 84, 194-207. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.051>
- Larrieu L., Courbaud B., Drènou C., Goulard M., Büttler R., Kozák D., Kraus D., Krumm F., Lachat T., Muller J., Paillet Y., Schuck A., Stillhard J., Svoboda M., Vanderkerkhove K. (2022). Perspectives: Key factors determining the presence of Tree-related Microhabitats: A synthesis of potential factors at site, stand and tree scales, with perspectives for further research. *Forest Ecology and Management*, 515, 120235. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120235>
- Mastracci F. and Geraldini S. (2023). IRIDE dai servizi definiti

dall'utente alle costellazioni di satelliti, il primo sistema Italiano end-to-end di osservazione della Terra dallo spazio. *Geomedica* 6:6-12.

Mattioli et al. (2025). Inventario forestale nazionale italiano (IFNI). Manuale dei rilievi in bosco. Versione (1.5). Roma. *Arma dei Carabinieri (CUFAA) - CREA Foreste e Legno*.

Papitto G., Quatrini V., Cindolo C., Cocciufa C. (a cura di) 2021. Rete NEC Italia - Monitoraggio degli ecosistemi terrestri. Lo stato delle foreste italiane. *Arma dei Carabinieri (CUFAA)*. Roma, 116 pp

Vangi, E., D'Amico, G., Francini, S., Giannetti, F., Lasserre, B., Marchetti, M., McRoberts R.E., & Chirici, G. (2021). The effect of forest mask quality in the wall-to-wall estimation of growing stock volume. *Remote Sensing*, 13(5), 1038. <https://doi.org/10.3390/rs13051038>

## KEYWORDS

GESTIONE FORESTALE SOSTENIBILE, GNSS, INVENTARIO FORESTALE NAZIONALE, MONITORAGGIO FORESTALE, TELE-RILEVAMENTO.

## ABSTRACT

Il monitoraggio delle risorse forestali è essenziale per la gestione del territorio e la definizione delle politiche ambientali. In Italia è stato avviato il nuovo Inventario Forestale Nazionale Italiano che segna un cambiamento chiave rispetto alle precedenti realizzazioni, passando da indagini periodiche a un monitoraggio continuo con stime annuali. L'impianto statistico e il protocollo di rilievo sono stati rivisti, prevedendo nuove strumentazioni GNSS e l'integrazione con dati da telerilevamento per una migliore efficienza nel monitoraggio e la rappresentazione cartografica in continuo delle variabili rilevate.

## AUTORE

GIOVANNI D'AMICO

GIOVANNI.DAMICO@UNIFI.IT

GHERARDO CHIRICI

GHERARDO.CHIRICI@UNIFI.IT

GEOLAB-LABORATORIO DI GEOMATICA FORESTALE, DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE, ALIMENTARI, AMBIENTALI E FORESTALI, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE, VIA SAN BONAVENTURA 13, 50145 FLORENCE, ITALY.

GIANCARLO PAPITTO

GIANCARLO.PAPITTO@CARABINIERI.IT

ARMA DEI CARABINIERI, COMANDO UNITÀ FORESTALI, AMBIENTALI E AGROALIMENTARI, VIA. G. CARDUCCI 5, 00187 ROMA, ITALY.

EMANUELE PRESUTTI SABA

EMANUELE.PRESUTTISABA@CREA.GOV.IT

WALTER MATTIOLI

WALTER.MATTIOLI@CREA.GOV.IT

CREA RESEARCH CENTRE FOR FORESTRY AND WOOD, VIA VALLE DELLA QUISTIONE, 27, 00166 ROME, ITALY.

LORENZO FATTORINI

LORENZO.FATTORINI@UNISI.IT

DEPARTMENT OF ECONOMIC AND STATISTICS, UNIVERSITY OF SIENA,

PIERMARIA CORONA

PIERMARIA.CORONA@CREA.GOV.IT

CREA RESEARCH CENTRE FOR FORESTRY AND WOOD, VIALE SANTA MARGHERITA, 80, 52100 AREZZO, ITALY.