

Il contributo della geomatica alle attività del terzo inventario forestale nazionale italiano INFC2015

P. Gasparini¹, A. Floris¹, L. Di Cosmo¹, M. Rizzo¹, S. Morelli¹, S. Zanutelli¹

¹Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria – Centro di ricerca Foreste e Legno, p.zza Nicolini 6, 38123 Trento
patrizia.gasparini@crea.gov.it
antonio.floris@crea.gov.it
lucio.dicosmo@crea.gov.it
maria.rizzo@crea.gov.it
stefano.morelli@crea.gov.it
sandro.zanutelli@crea.gov.it

Riassunto

L'Inventario Forestale Nazionale (IFN) italiano rappresenta la fonte di dati più importante sulle foreste del Paese, che coprono oltre un terzo del territorio italiano.

In questo contributo vengono descritte le strategie e le soluzioni geomatiche adottate nelle diverse fasi del terzo IFN denominato Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio - INFC2015. L'insieme di tecnologie di carattere geomatico applicate a INFC2015 ha richiesto l'integrazione di piattaforme diverse esistenti con moduli realizzati ad hoc, la scelta delle configurazioni hw/sw idonee all'acquisizione di dati georiferiti in ambienti difficili e l'acquisizione di indicatori sulla qualità spaziale dei dati rilevati.

Le soluzioni adottate sono state orientate dai risultati di uno studio ex-ante condotto su un sottoinsieme di circa 80 punti inventariali in diverse regioni italiane, i cui esiti vengono confrontati, in questo contributo, con le effettive performance dell'intera campagna di rilevamento.

Parole chiave

Inventari forestali, Geomatica forestale, GNSS, GPS, EGNOS, SBAS

Abstract

The Italian National Forest Inventory (NFI) is the most important source of data on the country's forests, which cover more than one third of the Italian territory. This paper describes the geomatics strategies and solutions adopted in the various phases of the third NFI called Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio - INFC2015. The set of geomatics technologies applied to INFC2015 required the

integration of different existing platforms with ad hoc modules, the choice of hw/sw configurations suitable for the acquisition of geo-referenced data in difficult environments and the acquisition of spatial quality indicators of the data collected.

The solutions adopted were oriented by the results of a previous study carried out on a subset of about 80 inventory points in several Italian regions, the results of which are here compared with the actual performance of the entire survey campaign.

Keywords

Forest Inventory, Forest Geomatics, GNSS, GPS, EGNOS, SBAS

1. Introduzione

L'Inventario Forestale Nazionale (IFN) rappresenta, a livello nazionale, la fonte di dati più importante sulle foreste del Paese, che coprono oltre un terzo del territorio italiano. L'IFN produce le statistiche nazionali e regionali sulla superficie forestale e sulla sua ripartizione per tipo e caratteristiche, nonché statistiche dettagliate sulla consistenza delle foreste in termini di volume legnoso e biomassa, sul relativo incremento annuo, sulla composizione specifica e strutturale e molte altre informazioni utili per la gestione sostenibile delle nostre risorse forestali.

L'IFN italiano denominato Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio - INFC - è un'indagine di tipo campionario; il piano di campionamento prevede tre fasi di rilievo, la prima da realizzare mediante la fotointerpretazione di oltre 300 000 punti inventariali distribuiti secondo un reticolo a maglie quadrangolari di 1 km², la seconda e la terza riguardanti rispettivamente classificazioni e misure, da effettuare in campo su sottocampioni dei punti inventariali (Gasparini e Tabacchi, 2011). La campagna di rilievi al suolo del terzo IFN (INFC2015), da poco conclusa, è stata realizzata sullo stesso campione di punti del precedente inventario (INFC2005). La classificazione dell'uso-copertura del suolo è stata ripetuta, a circa un decennio di distanza dalla prima fase dell'INFC2005, per tutti i 300 000 punti inventariali, mentre i nuovi rilievi al suolo sono stati realizzati in un'unica campagna di rilevamento, che ha riguardato oltre 8000 punti (Gasparini et al, 2021). Durante la campagna INFC2015 sono state eseguite le misure previste per la terza fase inventariale sugli elementi della vegetazione (alberi, arbusti, porzioni di legno morto, ceppaie, rinnovazione) presenti in unità di osservazione – aree di saggio - di diversa dimensione, con centro nel punto di campionamento; sono state aggiornate, inoltre, le classificazioni (della copertura, dei caratteri della vegetazione), e condotte classificazioni e misure ex-novo in un sottocampione di punti inventariali rappresentativo dei cambiamenti dell'uso-copertura del suolo evidenziati dal confronto tra le due fotointerpretazioni.

L'utilizzo di strumenti e tecniche propri della geomatica è essenziale per la conduzione delle diverse fasi dell'indagine inventariale, dalla classificazione dell'uso-copertura del suolo mediante fotointerpretazione, all'associazione di informazioni disponibili in layer GIS di livello nazionale o regionale/locale e, non ultimo, all'accurato posizionamento al suolo dei punti di campionamento e delle aree di saggio, ai fini dell'esecuzione dei rilievi. Sebbene il disegno di campionamento INFC non sia

quello di un inventario permanente in senso stretto, la miglior coincidenza spaziale tra punti e aree di osservazione nelle diverse fasi e tra le due indagini è condizione importante per la realizzazione del disegno a più fasi dell'inventario.

Il presente contributo ha l'obiettivo di descrivere le strategie e le soluzioni adottate per rispettare al meglio tale requisito, in particolare per assicurare la necessaria corrispondenza tra punti visualizzati sulle ortofoto, per la fotointerpretazione, e punti materializzati al suolo in fasi e indagini successive, nonché per assicurare la corretta delimitazione delle aree di saggio, riducendo al minimo l'errata inclusione o esclusione degli elementi della vegetazione da misurare (individui arborei, rinnovazione). Tale insieme di tecnologie geomatiche applicate all'INFC ha richiesto: i) l'integrazione di piattaforme diverse e già esistenti con moduli realizzati ad hoc, ii) la scelta delle configurazioni hardware e software più idonee all'acquisizione di dati georiferiti e in grado di operare in ambienti difficili quali la foresta, la macchia mediterranea e la montagna, iii) l'acquisizione di indicatori sulla qualità spaziale dei dati rilevati (metriche di dispersione, diluizioni di precisione dovute alle geometrie delle costellazioni satellitari, evidenze di *multipath*, aliquote di mancato ritrovamento dei punti ecc.). In particolare, le soluzioni adottate per la navigazione verso i punti inventariali e il loro posizionamento al suolo sono state orientate dai risultati di uno studio ex-ante condotto su un sottoinsieme di 81 punti inventariali in diverse regioni italiane, i cui esiti vengono confrontati, in questo contributo, con le effettive performance dell'intera campagna di rilevamento, corredate da dati quantitativi su accuratezza e precisione desunti dai file di posizionamento.

2. Uso delle ortofoto digitali e di layer GIS con informazioni ancillari

La Fase 1 dell'inventario (classificazione del campione nazionale di oltre 300 000 punti inventariali per classe di uso e copertura del suolo) è stata eseguita tramite fotointerpretazione di ortofoto digitali a 4 bande (RGB+NIR), su piattaforma WebGIS dedicata denominata GeoInfo, sviluppata da Almaviva SpA con la collaborazione di Telespazio. La piattaforma consente ai singoli fotointerpreti del CFS-CUFAA, circa 50, di visualizzare le ortofoto relative al territorio da analizzare (quello della Regione di appartenenza) riferite all'ultima copertura disponibile e a quella o quelle utilizzate per la classificazione INFC2005. Lo scopo della fotointerpretazione è di individuare i punti aventi un uso/copertura di interesse per le fasi successive, ossia i punti ricadenti in boschi o altre terre boscate secondo le definizioni internazionali UNECE-FAO, che si basano sulle seguenti caratteristiche: la copertura delle chiome, che deve essere superiore a 10%, la dimensione dei poligoni boscati, che deve essere superiore a 0.5 ha e avere larghezza maggiore di 20 m, l'altezza potenziale dei soggetti arborei, almeno 5 m per le foreste, e infine l'uso prevalente forestale. Il software gestisce in automatico la sequenza di fotointerpretazione, proponendo all'operatore i punti da classificare, e consente di verificare le condizioni sopra descritte per la definizione di bosco attraverso strumenti di misura, delle distanze e delle superfici, e la visualizzazione di un intorno di analisi e di una griglia, che facilitano la verifica del raggiungimento delle soglie

minime di dimensione e copertura come richiesto dalle regole di fotointerpretazione (Gasparini et al, 2014) (Figura 1). La piattaforma WebGIS consente inoltre di visualizzare la toponomastica, la viabilità principale, la quota attraverso un layer delle fasce di altitudine e un box che riassume le informazioni principali relative al punto da fotointerpretare (identificativo, coordinate nominali e quota del punto).

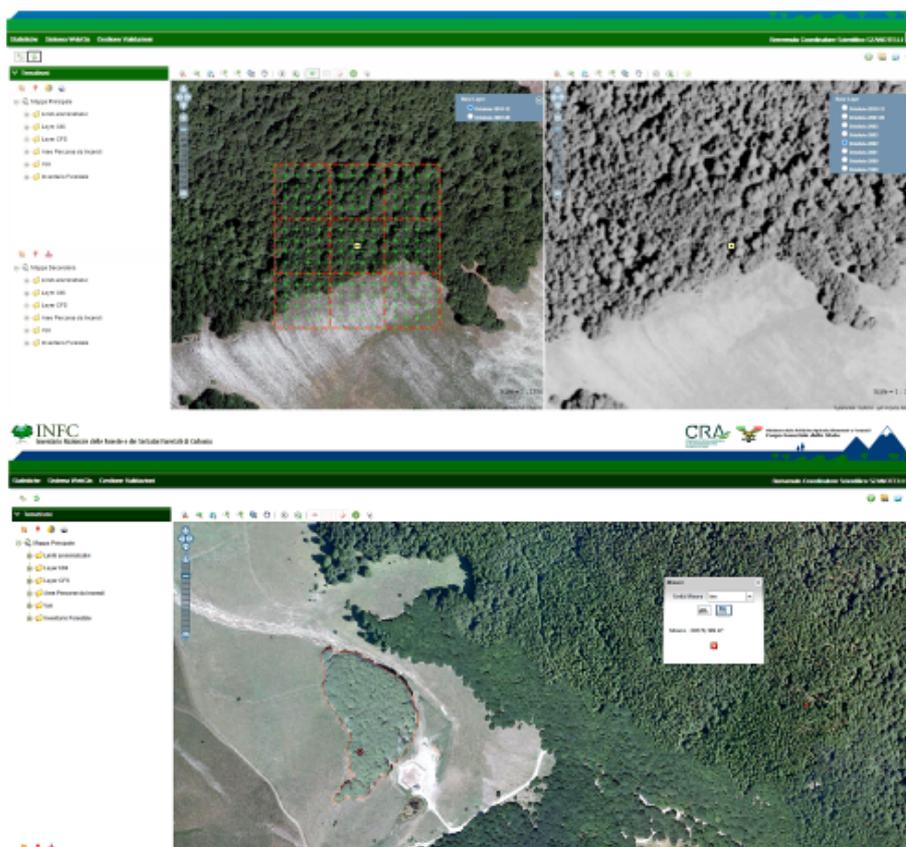


Figura 1 – Schermate del Web-GIS GeoINFO, con funzionalità per la fotointerpretazione e la determinazione della copertura, il confronto con ortofoto storiche, il controllo dei requisiti geometrici di appartenenza alle categorie di bosco attraverso la misurazione di elementi areali e lineari.

Nel corso dei rilievi in campo eseguiti su un sottocampione di 30000 punti selezionati, con procedura casuale stratificata per regione e classe di uso/copertura, tra quelli di interesse inventariale, vengono eseguite classificazioni finalizzate al controllo e conferma delle classificazioni di fase 1, all'attribuzione della categoria forestale (sulla base della/delle specie arboree prevalenti) e al rilievo di circa 30 caratteri qualitativi relativi alla gestione forestale, allo stato di salute, alla viabilità forestale ecc.. Per alcuni

tipi di classificazione ci si è avvalsi del contributo di informazione geografica reperibile in layer GIS di livello nazionale o regionale/locale, quali ad esempio: presenza di vincoli e di aree protette, proprietà, livello della pianificazione, dotazione di viabilità idonea all'esbosco, e altre ancora. Tali layer sono stati consultati dai rilevatori su diverse piattaforme nazionali e regionali/locali, attraverso l'informazione delle coordinate nominali dei punti di campionamento interessati dal rilievo. L'informazione è stata quindi trasferita dal rilevatore nella banca dati INFC attraverso l'applicazione INFC_APP residente sul tablet utilizzato per la registrazione dei dati di campo (Gasparini et al, 2021).

3. Procedure di navigazione e posizionamento sul terreno: lo studio preliminare

L'obiettivo delle procedure di navigazione e posizionamento previste dal protocollo inventariale INFC2015 è il ritrovamento dei centri delle aree di saggio materializzati nella campagna inventariale 2005 oppure, in caso di mancato ritrovamento o di nuovi punti selezionati tra quelli interessati da un cambiamento di uso-copertura, il riposizionamento o posizionamento ex novo degli stessi con la minor incertezza possibile, rispetto alle coordinate teoriche del disegno campionario, anche al fine di possibili future campagne inventariali.

Per raggiungere tali obiettivi è necessario utilizzare ricevitori con requisiti di precisione e accuratezza quanto meno pari a quelli impiegati in INFC2005 (Colle et al., 2007). Al riguardo, è stata a priori adottata la scelta di escludere dal novero dei ricevitori potenzialmente utilizzabili quelli di categoria "escursionistica" i quali, pur se in alcuni casi in grado di conseguire precisioni di posizionamento accettabili, non garantiscono costanza di prestazioni in tutte le situazioni di rilevamento che caratterizzano l'inventario forestale; inoltre, tali ricevitori non consentono di registrare e archiviare le misure grezze del codice di *pseudorange*, fondamentali per eseguire sia controlli di qualità ex-post sui posizionamenti effettuati sia la correzione differenziale in *post-processing* (Wells, 1987).

Individuata pertanto una gamma di ricevitori, alcuni dei quali già in possesso del personale del Corpo Forestale dello Stato – CFS (in seguito al d.lgs 177/2016, Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari Carabinieri - CUFAA) - titolare dei rilievi INFC, sono stati svolti alcuni test comparativi in aree test istituite con il progetto TARGETSTARS presso Fornace (TN) e Feudozzo (AQ), secondo il protocollo standard del progetto stesso (Pompei et al., 2009; Scrinzi et al., 2014).

Sono stati sottoposti a test, in particolare, cinque modelli di ricevitori Trimble di classe GIS, due dei quali di livello medio (Juno SB e Juno T41/5) e tre di livello alto (GEO7x, R1 e R2), eseguendo posizionamenti stazionari con quattro numerosità crescenti di posizioni singole contribuenti alla posizione media: 1, 10, 50, 150. I risultati dei test, riportati nella Tabella 1, hanno confermato le attese di una migliore performance dei modelli di livello alto (nel caso specifico il modello R2). Il parametro di accuratezza considerato è il *Root Mean Square Error* (RMSE) delle coordinate piane rispetto alla posizione "vera" dei vertici delle aree test, istituiti con accuratezza

centimetrica. Anche i modelli GEO7x e R1 hanno ottenuto buone performance, pur se leggermente inferiori a quelle del ricevitore R2.

Tabella 1 – Risultati dei test di posizionamento in bosco, eseguiti nelle aree test del progetto TARGETSTARS, su cinque ricevitori GNSS (codice area: 1 = Fornace (TN); 2 = Feudozzo (AQ)).

Area test	Marca GPS	Modello GPS	Data test	n° posizioni	DGPS	RMSE (m)
1	Trimble	Juno T41/5	28/7/2015	1	No	4.94
1	Trimble	Juno T41/5	28/7/2015	10	No	6.22
1	Trimble	Juno T41/5	28/7/2015	50	No	7.37
1	Trimble	Juno T41/5	28/7/2015	150	No	5.97
1	Trimble	Juno SB	28/7/2015	1	No	8.37
1	Trimble	Juno SB	28/7/2015	10	No	9.10
1	Trimble	Juno SB	28/7/2015	50	No	6.88
1	Trimble	Juno SB	28/7/2015	150	No	5.91
1	Trimble	GEO7x	28/7/2015	1	No	4.78
1	Trimble	GEO7x	28/7/2015	10	No	4.15
1	Trimble	GEO7x	28/7/2015	50	No	3.00
1	Trimble	GEO7x	28/7/2015	150	No	2.32
2	Trimble	R1	4/11/2015	1	No	2.54
2	Trimble	R1	4/11/2015	10	No	2.25
2	Trimble	R1	4/11/2015	50	No	2.70
2	Trimble	R1	4/11/2015	150	No	2.71
2	Trimble	R2	5/11/2015	1	No	1.90
2	Trimble	R2	5/11/2015	10	No	2.64
2	Trimble	R2	5/11/2015	50	No	2.34
2	Trimble	R2	5/11/2015	150	No	1.89

Il programma di rilievi al suolo per l'inventario forestale INFC2015 prevedeva l'operatività di circa 50 squadre di rilevatori, dislocate sul territorio nazionale. La scelta del ricevitore GNSS idoneo non poteva pertanto prescindere anche da considerazioni di natura economica (costo complessivo di un numero elevato di ricevitori).

Per questo motivo, durante una campagna sperimentale svolta in cinque regioni italiane, finalizzata soprattutto alla verifica del protocollo e della tempistica per il rilievo completo sui punti di campionamento, sono stati effettuati test di navigazione e ritrovamento di 81 punti istituiti da INFC2005 con il ricevitore Juno SB, modello già nella disponibilità del CFS e impiegato in altri progetti di monitoraggio.

I test sono stati eseguiti nel periodo maggio 2015 – febbraio 2016 in Trentino (15 punti), Veneto (27), Lazio (14), Abruzzo (11) e Molise (14), e hanno interessato diversi tipi di soprassuoli boschivi e condizioni orografiche. Le prove sono consistite in una navigazione completa, assistita da GNSS, finalizzata al ritrovamento del picchetto interrato del punto inventariale INFC e nella simulazione delle altre operazioni di rilievo, raccogliendo al contempo una serie di dati quali-quantitativi utili a determinare efficienza ed esito delle procedure stabilite. In particolare sono stati raccolti dati: a) sulla tempistica necessaria allo svolgimento di tutte le operazioni di navigazione speditiva dal veicolo alla prossimità del punto di campionamento (Navigazione da Posizione Istantanea-NPI), di localizzazione della posizione presunta del punto stesso (Navigazione da Posizione Media-NPM) e di ritrovamento del picchetto interrato (tempo d'uso del metal detector); b) sull'affidabilità della procedura NPM, con il ricevitore GNSS a disposizione, eseguendo sessioni di posizionamento di durata variabile. Tale affidabilità è stata espressa in termini di distanza tra la posizione presunta del punto risultante dalla procedura NPM e l'effettiva posizione del picchetto omologo trovato successivamente. Sono state considerate tre durate delle sessioni di posizionamento: 50 posizioni singole, 150 posizioni singole e 300 posizioni singole. Per i dettagli sul protocollo di navigazione e posizionamento si rinvia a Gasparini et al. (2016). I risultati relativi alla tempistica sono riportati in Tabella 2.

Tabella 2 – Principali statistiche descrittive relative alle variabili “durata della Navigazione da Posizione Media-NPM” e “durata della ricerca del picchetto con metal detector” (79 casi¹).

	Durata NPM per F (minuti)	Tempo d'uso metal detector (minuti)
Media	31	10
Mediana	28	5
Min	10	1
Max	67	45
Dev. St.	14	12
CV%	44%	114%

¹ in 2 punti su 81 non è stato possibile elaborare i dati per mancanza di alcune informazioni essenziali

Il tempo complessivo medio di esecuzione della procedura NPM è stato di 31 minuti. Poiché questo tempo è stato necessario per eseguire tre ripetizioni di NPM con diverse numerosità, quello presunto per eseguire la procedura NPM durante l'effettiva campagna di rilievi è stato stimato di circa 10 minuti. Il tempo medio di ricerca del picchetto con metal detector è stato di 10 minuti. Entrambe le tempistiche si riducono se si considera il parametro mediana, forse più adatto a descrivere tale tipo di variabili. I parametri di distribuzione delle grandezze registrate indicano la presenza di campi di variabilità abbastanza ampi. Varie cause possono concorrere ad allungare i tempi di ricerca del picchetto, come ad esempio la disponibilità di dati monografici poco precisi, difficoltà di spostamento per condizioni di sottobosco impenetrabile, scarsa esperienza nell'uso efficiente del metal detector, che richiede accorgimenti tecnici affatto banali in determinate situazioni.

La Tabella 3 riporta i risultati relativi all'affidabilità della procedura NPM con il ricevitore GNSS a disposizione; in 11 punti su 81 non è stato possibile elaborare l'informazione per mancanza di alcuni dati essenziali, riferibili quasi sempre al mancato ritrovamento del picchetto.

Tabella 3 – Principali statistiche descrittive relative alla variabile “distanza tra posizione NPM e picchetto del punto”, per le tre ripetizioni con numerosità diverse del posizionamento GNSS (70 casi).

	Distanza NPM-picchetto (metri)		
	50 posizioni	150 posizioni	300 posizioni
Media	6.19	6.71	6.92
Mediana	4.75	4.72	5.28
Min	0.65	0.70	0.45
Max	21.80	30.00	30.00
Dev. St.	4.82	6.07	5.65
CV%	78%	90%	82%

La distanza fra la posizione presunta del punto stabilita con procedura NPM e il punto “vero” (cioè quello in cui si è effettivamente rinvenuto il picchetto) è variata fra 6 e 7 metri; si può notare che l'aumento del numero di posizioni non determina una diminuzione della distanza, ossia una maggiore accuratezza. Anche in questo caso il dato migliora se si considera la mediana invece della media. La variabilità è ampia ma non altissima, se si escludono i picchi relativi ai valori massimi. La variabile in esame va interpretata come “raggio di incertezza all'interno del quale dovrà essere ricercato il picchetto con il metal detector”; pertanto il variare di questo valore comporta una

variazione quadratica dell'area interessata dalla ricerca, e un aumento dei tempi di ricerca più che proporzionale.

Si è ritenuto di non riportare dati quantitativi riguardo alla tempistica della prima parte di navigazione NPI, perché essa risente molto dell'ubicazione del punto e delle caratteristiche del percorso di avvicinamento, ed è meno dipendente dalla strumentazione e dalla procedura adottate.

Giova ricordare che il protocollo di materializzazione dei punti di campionamento INFC prevede l'interramento di due picchetti: i) il primo posizionato nel punto F di fine navigazione, scelto con un margine di discrezionalità; ii) il secondo posizionato nel vero punto C di campionamento, la cui posizione dipende solo dal disegno campionario e non è individuata soggettivamente (INFC, 2004; Gasparini et al, 2016). L'offset fra i due punti (distanza e azimuth) viene accuratamente misurato in campo e registrato, e costituisce informazione monografica fondamentale.

Nel corso dei test, il picchetto del punto F è stato ritrovato in 71 casi su 81 (88%); Il picchetto di C è stato ritrovato in 67 casi su 81 (83%); almeno uno dei due picchetti (C o F), condizione necessaria e sufficiente al buon riposizionamento del punto di campionamento, è stato ritrovato in 75 casi su 81 (93%) nonostante in numerosi casi il popolamento boschivo fosse completamente mutato per lavori, utilizzazioni forestali, cambi d'uso, schianti o altro) (Figura 2). Questi dati hanno portato a ipotizzare un tasso (prudenziale) di mancato ritrovamento dei punti nella campagna rilievi di circa il 10-15% e un tasso di sostituzione dei picchetti, tenendo conto anche di quelli danneggiati, di circa il 15-20%. Un ruolo essenziale nel ritrovamento dei punti, ancorché non riassumibile in parametri statistici, è stato svolto dalle informazioni monografiche (fotografie, descrizioni, disegni) registrate nel precedente inventario.



Figura 2 – Alcuni esempi di elementi di marcature rinvenute su punti di campionamento, a distanza di oltre dieci anni, in condizioni precarie: picchetto sotto al fusto schiantato di un albero morto; placchetta di un albero di riferimento tagliato, del quale è rimasta solo la ceppaia; picchetto incastrato in terreno con rocce affioranti.

L'esito complessivo di questi test ha indicato che il modello Trimble Juno SB non avrebbe potuto garantire sempre un accettabile livello di efficienza nel ritrovamento dei punti, soprattutto nei casi di carente documentazione monografica e fotografica proveniente dal precedente inventario. Un allungamento dei tempi di navigazione e ritrovamento dei picchetti, inoltre, avrebbe avuto un impatto importante per lo svolgimento dei rilievi inventariali veri e propri. Sulla base di tali risultanze, il ricevitore Trimble Juno SB è stato sostituito, come ricevitore GNSS, con il modello multicostellazione Trimble R1 (GPS, Glonass, Beidou, EGNOS-Galileo), che nei test Targetstars aveva ottenuto un'incertezza di posizionamento pari a circa la metà (meno di 3 m) con numerosità di 50 posizioni, valore che si è stabilito di adottare nel protocollo dei rilievi inventariali. La scelta si è rivelata anche un ottimo compromesso tra prestazioni e costo, poiché ha consentito di utilizzare la dotazione di Juno SB per la funzione di palmare sia per la gestione del ricevitore GNSS (che necessita di palmare esterno) sia per trasferire i dati di navigazione e posizionamento con protocollo bluetooth al tablet deputato alla registrazione dei rilievi inventariali (Gasparini et al, 2021).

4. Procedure di navigazione e posizionamento sul terreno: la campagna inventariale

I rilievi al suolo del terzo inventario forestale nazionale INFC2015 si sono svolti nel periodo novembre 2017-dicembre 2019, con un supplemento di indagine nella prima metà del 2020 su alcuni punti risultati in precedenza non accessibili. I rilievi hanno riguardato oltre 8000 punti di campionamento, costituiti per la maggior parte (circa il 90%) da punti già visitati in campo nel precedente inventario INFC2005, nelle Fasi 2 o 3, e per il restante 10% da punti facenti parte del campione di Fase 1 ma non rilevati al suolo in precedenza. I punti di campionamento costituiscono centri di aree di saggio che assumono dimensioni diverse a seconda dei caratteri inventariali da osservare e misurare.

Le coordinate obiettivo della navigazione potevano essere, a seconda dei casi, quelle GNSS rilevate in campo in passato oppure quelle nominali del disegno di campionamento. Per le prime l'incertezza di posizionamento era stata stimata in circa 3-4 m, a seconda del ricevitore utilizzato (Colle et al., 2007). Le coordinate nominali, invece, pur non essendo corredate da un metadato ufficiale di accuratezza, sono quelle in corrispondenza delle quali è stata eseguita la fotointerpretazione di Fase 1; l'obiettivo è pertanto che il punto di campionamento al suolo ricada il più vicino possibile a tale posizione. Al termine della navigazione di prossimità NPM, le coordinate medie rilevate vengono trasferite dal ricevitore GNSS al tablet, e l'applicativo INFC_APP, utilizzato per tutti i rilievi, calcola l'offset da materializzare sul terreno per raggiungere la posizione (di campo o nominale) del punto di campionamento la cui marcatura, come anticipato, non è esternamente visibile. Il sistema di riferimento adottato è UTM (zone 32 o 33) su datum WGS84. Le quote sono riferite al livello del mare (geoide ITALGEO2005).

Altre informazioni monografiche con contenuto spaziale, come la posizione relativa di due alberi di riferimento rispetto al punto di campionamento, sono state rilevate con strumentazione ottico-elettronica (clino-bussola Suunto Tandem e distanziometro-ipsometro a ultrasuoni Haglof Vertex) e registrate, come offset polare rispetto alla posizione GNSS, in INFC_APP. La stessa strumentazione è stata usata per materializzare (limitatamente alla durata dei rilievi) i limiti delle aree di saggio istituite attorno al punto di campionamento, rappresentate da aree circolari di 4 m e 13 m di raggio in proiezione planimetrica, quindi con raggi variabili nelle diverse direzioni nelle situazioni in pendenza, che sono predominanti per i boschi italiani, situati prevalentemente in aree montane e collinari. L'accurata individuazione di questi limiti è fondamentale per stabilire l'inclusione o l'esclusione di soggetti nel campione (alberi vivi e morti, legno morto a terra, ceppaie) (Gasparini et al., 2016).

5. Statistiche sul ritrovamento dei punti e analisi comparata delle incertezze di posizionamento

Il ritrovamento del picchetto del punto C è condizione vincolante per avere la certezza che il centro delle aree di rilievo delle fasi 2 e 3 del precedente inventario INFC2005 e quello delle aree INFC2015 sia il medesimo. Al riguardo occorre però ricordare che le aree di saggio INFC non sono permanenti secondo la definizione in uso negli inventari forestali, poiché non viene rilevata la posizione dei singoli elementi misurati (alberi, ceppaie, ecc.) rispetto a C e pertanto non è possibile un confronto rigoroso, elemento per elemento, tra le aree di saggio INFC2005 e le omologhe INFC2015.

Ridurre al minimo gli spostamenti del centro dell'area di campionamento nel tempo resta comunque condizione importante sia perché una stessa area viene utilizzata per classificare il tipo di vegetazione nella seconda fase dell'inventario e successivamente, nella terza fase, per associare ad essa i valori delle variabili qualitative (densità, volume, incremento, ecc.) sia per una corretta definizione delle dinamiche dei soprassuoli nel tempo. Per tale motivo, anche il ritrovamento del solo picchetto di F può contribuire al mantenimento di questa condizione.

A tale scopo, una navigazione assistita da GNSS con correzione differenziale in tempo reale sarebbe in teoria la soluzione ottimale per avvicinarsi il più possibile alle coordinate del punto rilevate in precedenza. Nonostante l'infittimento a livello nazionale di reti di stazioni fisse per la correzione differenziale e l'aumento della copertura radio-telefonica anche in aree impervie, si è deciso di non adottare questa modalità di navigazione, perché l'aliquota di punti non coperti dalla correzione sarebbe stata comunque significativa, oltre al rischio di appesantimento delle procedure, soprattutto in termini di tempistica. Si è scelto, in alternativa, di attivare la ricezione della correzione SBAS (Satellite Based Augmentation System) della costellazione EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System), in modalità prioritaria ma non esclusiva: la navigazione e il posizionamento avvengono con il contributo di EGNOS quando possibile, ma proseguono senza interruzione (a precisione inferiore) anche in assenza del segnale specifico (https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/). L'aliquota di punti di campionamento che sono stati raggiunti e rilevati con questa correzione è stata del 35% circa. Il segnale EGNOS non è facilmente recepibile in aree impervie e con copertura boschiva, a causa della bassa elevazione dei satelliti sull'orizzonte (30°).

Il grafico in Figura 3 riporta le percentuali di ritrovamento dei picchetti interrati nei punti di campionamento nelle precedenti Fasi 2 e 3 dell'INFC2005, ossia 11-14 anni prima della campagna INFC2015, nelle diverse regioni italiane. Considerato che a questa percentuale concorre la perdita dei picchetti dovuta a eventi naturali o interventi antropici non prevedibili, il risultato complessivo è molto positivo e in linea con le previsioni formulate dopo lo studio preliminare di cui al par. 3.

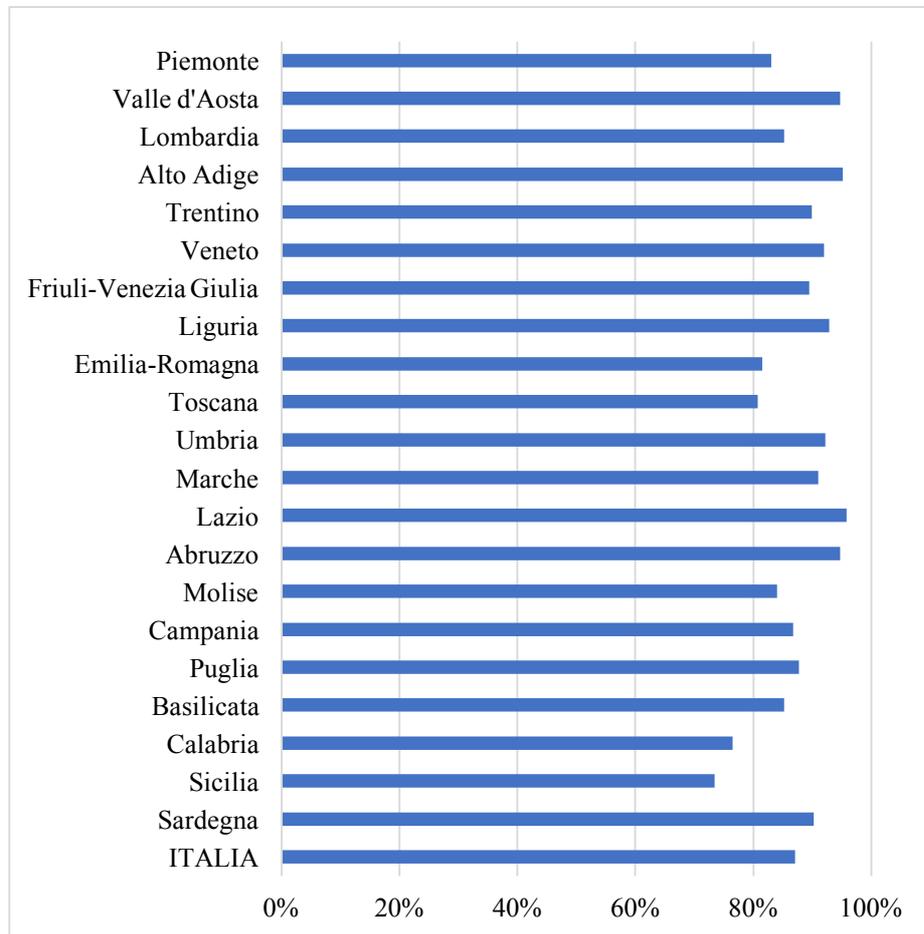
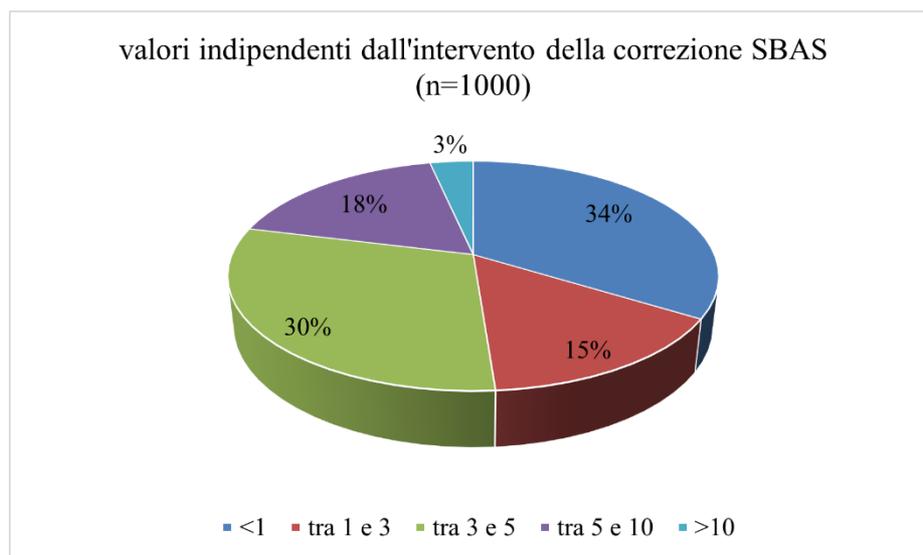


Figura 3 - Percentuali di ritrovamento del picchetto di marcatura del punto di campionamento C nelle diverse regioni italiane.

Per quanto riguarda gli errori conseguiti nel posizionamento stazionario dei punti di campionamento, sono stati presi in considerazione alcuni parametri di precisione e di accuratezza, riportati nei file analitici registrati dal ricevitore GNSS e prodotti dal software Trimble Pathfinder. Riguardo alla precisione, sono state considerate le diluizioni di precisione (PDOP e HDOP), la distribuzione delle singole posizioni (50) attorno alla loro media, indicata con la precisione orizzontale e verticale, e la relativa deviazione standard. I valori medi e le frequenze di distribuzione di questi parametri, in tre sottoinsiemi costituiti ciascuno da 1000 osservazioni estratte casualmente dal campione, sono riportati in Tabella 4 e in Figura 4.

Tabella 4 – Valori medi delle incertezze di posizionamento, nelle diverse condizioni di correzione SBAS-EGNOS (sottoinsiemi di 1000 punti di campionamento).

Condizione di correzione	Max PDOP	Max HDOP	Precisione orizzontale (m)	Precisione verticale (m)	Deviazione standard (m)
Sia corretti che non corretti (n=1000)	2.32	1.26	3.31	4.82	1.31
Senza correzione (n=1000)	2.61	1.43	4.69	6.70	1.32
Con correzione EGNOS (n=1000)	1.99	1.06	0.71	1.07	0.65



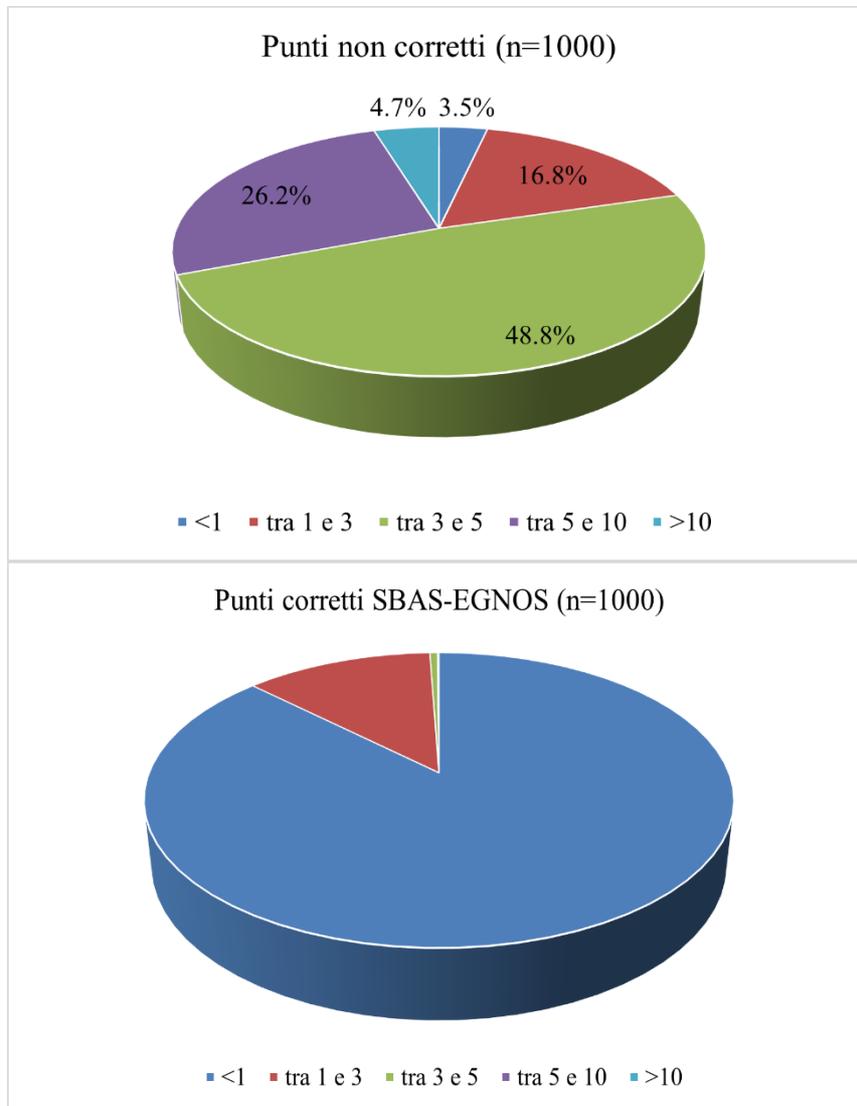


Figura 4 – Frequenze percentuali delle classi di incertezza di posizionamento (in metri) nelle diverse condizioni di correzione SBAS-EGNOS (in alto, indipendenti dall'intervento della correzione; al centro, solo non corretti; in basso, solo corretti SBAS-EGNOS).

Non disponendo di coordinate di campo “vere”, cioè determinate con errore ritenuto trascurabile rispetto a quelle da confrontare, quale parametro di accuratezza è stata considerata la distanza fra coordinate dei punti di campionamento rilevate con GNSS e le rispettive coordinate nominali, da disegno campionario, usate come riferimento per la fotointerpretazione di Fase 1. La Tabella 5 riassume le statistiche relative a questo

dato, mentre la Figura 5 ne riporta la distribuzione di frequenza in classi di distanza crescente.

Tabella 5 – Principali statistiche descrittive della distanza fra coordinate rilevate in campo con GNSS e coordinate nominali.

Statistica	Valore (m)
Media	3.76
Mediana	2.84
Minimo	0.00
Massimo	29.59
Quartile 1	1.58
Quartile 3	4.77

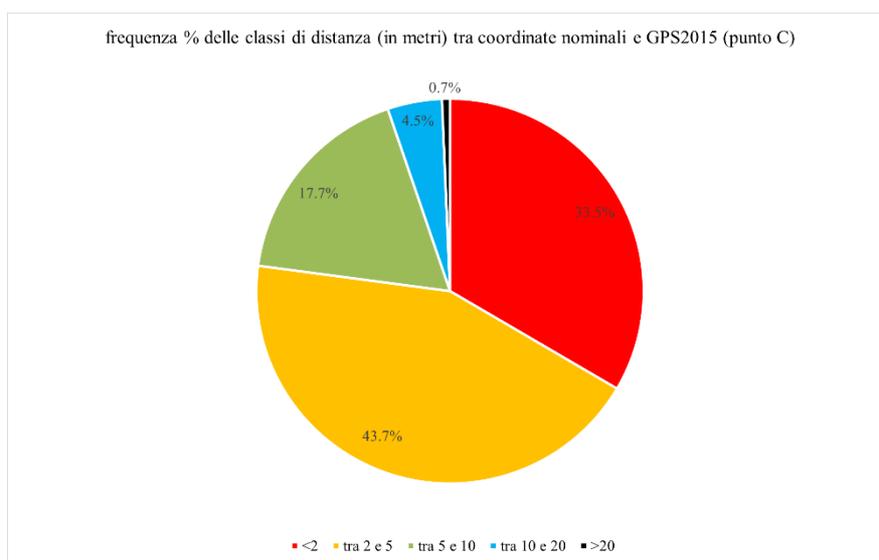


Figura 5 – Distribuzione percentuale per classi di distanza (in metri) tra le coordinate nominali dei punti di campionamento e le rispettive coordinate GNSS rilevate al suolo in INFC2015.

6. Conclusioni

La realizzazione dell'inventario forestale nazionale non può prescindere dall'impiego di tecniche geomatiche, che sono essenziali per l'esecuzione delle diverse fasi di rilievo. Ciò comporta la necessità di addestrare adeguatamente i rilevatori all'utilizzo di tali tecniche ma, allo stesso tempo, di progettare accuratamente le

operazioni che ne comportano l'uso perché siano facilmente apprese anche da personale senza specifiche competenze pregresse.

L'impegno richiesto per acquisire dimestichezza con strumenti, applicativi e concetti basilari della geomatica non è da sottovalutare. Nella recente campagna di rilievo dell'INFC2015 circa un terzo delle 1100 richieste di assistenza pervenute al Centro Assistenza INFC del CREA erano relative a difficoltà incontrate nell'applicazione delle procedure di navigazione e posizionamento. Allo stesso tempo, il carico di lavoro per la formazione sugli aspetti geomatici e l'attenzione da dedicare a questi durante i rilievi in campo non deve andare a scapito delle competenze in materia di descrizione e interpretazione dei caratteri della vegetazione forestale, essenziali per il raggiungimento degli scopi dell'indagine. L'equilibrio tra le due componenti deve essere un obiettivo prioritario anche nella progettazione del prossimo inventario forestale nazionale, soprattutto nell'ottica del necessario aggiornamento dei supporti strumentali e informatici e di un maggior impiego operativo di tecniche geomatiche, quali quelle per l'osservazione da remoto.

Ringraziamenti

L'INFC è realizzato dal Comando Carabinieri per la Tutela della Biodiversità e dei Parchi - Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari Carabinieri (CUFAA) in collaborazione con le Regioni e Province autonome, con il supporto scientifico e tecnico del Centro di ricerca Foreste e Legno del CREA, Trento. Gli autori ringraziano tutti coloro che hanno contribuito a fornire il materiale utilizzato per il presente contributo, in particolare i rilevatori impegnati nello studio preliminare e nei rilievi della campagna INFC2015.

Bibliografia

Colle G., Floris A., Scrinzi G., Tabacchi G., Cavini L., 2009. The Italian National Forest Inventory: geographical and positioning aspects in relation to the different phases of the project. In: Proceedings, 8th annual forest inventory and analysis symposium; 2006 October 16-19; Monterey, CA, USA: 1-8

Gasparini P., Tabacchi G. (a cura di) 2011 - L'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC 2005. Secondo inventario forestale nazionale italiano. Metodi e risultati. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Corpo Forestale dello Stato; Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Edagricole, Milano, pp.653.

Gasparini P., Rizzo M., De Natale F., 2014. Manuale di fotointerpretazione per la classificazione delle unità di campionamento di prima fase. Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio, INFC2015 - Terzo inventario forestale nazionale. Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CRA-MPF); Corpo Forestale

dello Stato, Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali. 64 pp.
<https://www.inventarioforestale.org/it/node/72>

Gasparini P., Di Cosmo L., Floris A., Notarangelo G., Rizzo M., 2016. Guida per i rilievi in campo. INFC2015 – Terzo inventario forestale nazionale. Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CREA-MPF); Corpo Forestale dello Stato, Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali. 341 pp.
<https://www.inventarioforestale.org/it/node/72>

INFC, 2004 – Manuale di campagna per i rilievi di seconda fase con istruzioni per l'uso dell'applicativo INFOR2. Autori: Floris A., Gasparini P., Scrinzi G., Tabacchi G., Tosi V.. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Direzione Generale per le Risorse Forestali Montane e Idriche, Corpo Forestale dello Stato. Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura - ISAFA, Trento. 182 pp. <https://www.inventarioforestale.org/it/node/72>

MAF-ISAFA, 1988 – Inventario forestale nazionale – IFN1985. Sintesi metodologica e risultati. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Corpo Forestale dello Stato. Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura, Trento. 461 pp.

Muscaritoli C., Froncillo F., Piccoli D., Scrinzi G., Floris A., Tartarini G. L., Battistini F., 2004 – L'integrazione GPS/DGPS e database sincronizzati nell'Inventario Forestale Nazionale Italiano mediante l'applicativo INFOR2 ed i Servizi Territoriali del Sistema Informativo della Montagna. CARTOgraphica, Aprile 2004: 13-16

Pompei E., Clementel F., Colle G., Floris A., Galvagni D., Librandi I., Marzullo L., Piccoli D., Scrinzi G., 2009 - Sistema di valutazione e certificazione delle performance di precisione delle tecnologie di rilievo satellitare in dotazione al Corpo Forestale dello Stato in presenza di copertura forestale. Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA – Bari, 1-4 dicembre 2009: 1627-1632

Gasparini P., Floris A., Rizzo M., Patrone A., Credentino L., Papitto G., Di Martino D., 2021 – Il terzo inventario forestale nazionale italiano INFC2015: procedure, strumenti e applicazioni. Geomedia, anno XXIV n.6/2020, p. 6-17.

INFC, 2004 – Manuale di campagna per i rilievi di seconda fase con istruzioni per l'uso dell'applicativo INFOR2. Autori: Floris A., Gasparini P., Scrinzi G., Tabacchi G., Tosi V. Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio, Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, Ispettorato Generale del Corpo Forestale dello Stato. CRA - ISAFA, Trento: 182 pp.

Scrinzi et al., 2014 - TARGETSTARS: an accuracy performance evaluation system for GNSS technologies in forest environments. ForestSat Conference, Riva del Garda, 4th – 7th November 2014.

<https://www.crea.gov.it/en/web/foreste-e-legno/pubblicazioni-istituzionali-e-schede-tecniche>

Wells D., 1987 - Guide to GPS Positioning. New Brunsvich, Canadian GPS Associates. ISBN 9780920114733.