

# IL TELERILEVAMENTO PER IL PROTOCOLLO DI KYOTO: CONFRONTO TRA I DATI GSE-Forest Monitoring e L'INVENTARIO FORESTALE NAZIONALE

Michele Bocci (\*), Olga RENDA (\*\*), Vanessa TEDESCHI(\*\*\*), Antonio LUMICISI (\*\*\*), Espen VOLDEN (\*\*\*\*), Enrico Pompei (\*\*\*\*\*), Flora De Natale (\*\*\*\*\*), Patrizia Gasparini (\*\*\*\*\*)

(\*) Geographike, Via Sansedoni 7, 53100 SIENA, m.bocci@geographike.it

(\*\*) Intecs Informatica e Tecnologia del Software S.p.A., Pisa, olga.renda@pisa.intecs.it, bocci@tin.it

(\*\*\*) Direzione per la Ricerca Ambientale e lo Sviluppo del Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare, vanessa.tedeschi@tfambiente.it, antonio.lumicisi@tfambiente.it

(\*\*\*\*) European Space Agency, ESA – ESRIN, Via Galileo Galilei, 00044 Frascati (Roma), Espen.Volden@esa.int

(\*\*\*\*\*) V. Questore A.F. del Corpo forestale dello Stato Ispettorato Generale del CFS - Servizio II, Divisione 5° (Rapporti Internazionali) Via Carducci, 5 - 00187 ROMA, e.pompei@corpoforestale.it

(\*\*\*\*\*) CRA-Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale, Piazza Nicolini, 6, 38050 Trento – Villazano patrizia.gasparini@entecra.it

## Riassunto

Il Registro Nazionale dei Serbatoi di Carbonio Forestali è lo strumento, definito dal ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), per monitorare i flussi di gas a effetto serra, con lo scopo ultimo di ridurre il livello di emissioni rispetto al 1990, come prescritto dal Protocollo di Kyoto. Il Registro si avvale anche del nuovo Inventario Nazionale delle Foreste dei serbatoi forestali di Carbonio (INFC), realizzato dal Corpo Forestale dello Stato, con la collaborazione del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, atto a stimare il potenziale di assorbimento di CO<sub>2</sub> da parte dei territori forestali in base alle diverse tipologie.

È inoltre sentita l'esigenza di determinare i cambiamenti di uso del suolo che possono contribuire al bilancio delle emissioni, e quindi in particolare i fenomeni di Afforestazione, Riforestazione e Deforestazione (ARD). I progetti Kyoto-Inventory e GSE-Forest Monitoring (GSE-FM), finanziati dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA), hanno dimostrato l'importanza del telerilevamento per il monitoraggio del cambiamento di uso del suolo ed hanno contribuito a fornire utili indicazioni su molti dati a questo scopo, fra i quali si cita in particolare l'uso del suolo 1990 per tutta Italia.

Nel presente lavoro i risultati del progetto Kyoto-Inventory per la regione Lombardia vengono messi a confronto con i dati INFC allo scopo di valutare l'accuratezza della carta di uso del suolo riferita al 2002 e di analizzare le cause di discordanza nella classificazione.

## Abstract

The Italian Ministry for the Environment, Land and Sea has established the National Register of Carbon Sinks, aimed at monitoring the flows of Greenhouse Gases (GHG). The ultimate goal is the reduction of GHG emissions with respect to 1990 levels, as prescribed by the Kyoto Protocol.

The National Register includes the new National Inventory of Forests and forest Carbon sinks (INFC), which is carried out by the *Corpo Forestale dello Stato* (National Forest Service) in cooperation with the *Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura* (National Council for Agriculture Research). The INFC will estimate the carbon stocking capacity of the different types of forest.

In particular, the Kyoto Protocol emphasizes the need of determining those changes in land use that can contribute to the overall balance of emissions, and in particular the phenomena of Afforestation, Reforestation and Deforestation (ARD).

Within this context, the European Space Agency (ESA) has funded two projects, named Kyoto-Inventory and GSE-Forest Monitoring (GSE-FM), for investigating how remote sensing can support land-use monitoring. Both projects have already produced several data sets, and in particular the wall-to-wall land use map for Italy.

This paper compares the results of the Kyoto-Inventory project with the INFC data on the region of Lombardy. The aim is to assess the accuracy of the land-use map for 2002 and to analyze the causes of the identified classification discrepancies.

## Il Registro Nazionale dei Serbatoi di Carbonio e l'importanza dei serbatoi agroforestali per limitare le emissioni di gas ad effetto serra

Gli attuali cambiamenti climatici hanno un impatto negativo sull'intera comunità in termini di sicurezza, produzione agricola, sviluppo socio-economico, risorse idriche, infrastrutture. *L'Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), ovvero il Gruppo Intergovernativo sul Cambiamento del Clima, che da anni studia questo problema per conto degli organismi internazionali (*UN Environment Programme* UNEP – *World Meteorological Organization* WMO), ha individuato un legame tra i cambiamenti climatici e produzione da parte dell'uomo dei cosiddetti "gas serra" (come

anidride carbonica, metano e gas fluorurati [i clorofluorocarburi sono in effetti anche gas serra ma di fatto sono quasi scomparsi per effetto del Protocollo di Montreal; i loro sostituti i HFC e PFC sono invece in uso e oggetto dello sforzo di riduzione previsto dalla Convenzione sui Cambiamenti Climatici e dal Protocollo di Kyoto]) che contribuiscono ad innalzare la temperatura media globale.

L'immissione di tali gas in atmosfera non è dovuta soltanto alla combustione di petrolio o carbone, ma anche a cambiamenti nelle modalità di uso del suolo, soprattutto riconducibili a deforestazione, riduzione o degradazione dei suoli agricoli e degradazione delle foreste. Le stime attuali indicano che addirittura il 25% delle emissioni globali antropiche di anidride carbonica è dovuto a questo tipo di attività.

Le foreste in particolare, ma anche le colture agrarie, hanno un ruolo fondamentale nel controllo dell'emissione di gas serra. Le piante assorbono infatti la CO<sub>2</sub> mediante la fotosintesi e la fissano nella sostanza organica, prima nella biomassa epigea ed ipogea, quindi nella lettiera e nei suoli.

Il Protocollo di Kyoto impone ai paesi industrializzati di monitorare il contributo delle attività selvicolturali e di uso del suolo a partire dal 2008 e di stimare l'assorbimento di carbonio delle foreste e delle altre forme di vegetazione (*sinks*, di carbonio) nell'ambito degli impegni di riduzione delle emissioni di gas serra, fissati rispetto all'anno 1990.

In base agli impegni di Kyoto, i paesi come l'Italia, che hanno fissato degli obiettivi di riduzione delle emissioni, possono servirsi degli assorbimenti di carbonio derivanti dai nuovi impianti forestali realizzati su terreni già in precedenza forestali e su terreni non forestali, al netto delle emissioni legate alla deforestazione (purché dal 1990 in poi).

Ogni paese potrà usare i crediti generati dalle attività nel campo dell'uso del suolo, delle variazioni dell'uso del suolo e della selvicoltura, anche al di fuori dei propri confini.

Oltre alla creazione di nuove foreste, le "attività addizionali" che possono essere impiegate per mantenere gli impegni nazionali di riduzione delle emissioni di gas-serra sono:

- la gestione delle aree forestali;
- la gestione dei prati e dei pascoli;
- la gestione dei suoli agricoli;
- la rivegetazione.

A questo scopo l'Italia ha predisposto il proprio Piano di Azione Nazionale (PAN) che regola le attività coinvolte nell'assorbimento e nella produzione del carbonio e che individua, per il periodo 2008-2012, una riduzione delle emissioni del 6,5% rispetto al 1990.

Il Piano prevede tra l'altro una riduzione delle emissioni mediante interventi di afforestazione e riforestazione ed attività di gestione forestale<sup>1</sup>. Il potenziale di fissazione riconosciuto al nostro Paese è di 14,2 Mt di CO<sub>2</sub> equivalenti (in grado, quindi di compensare emissioni di gas-serra per una stessa quantità).

Per la "contabilizzazione" di tali attività è in via di istituzione il Registro Nazionale dei Serbatoi di Carbonio Forestali, al fine di certificare i flussi di carbonio nel periodo 2008-2012 derivanti da attività di afforestazione, riforestazione, deforestazione e gestione forestale.

### **L'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio**

L'inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di (INFC), è realizzato dal Corpo Forestale dello Stato (CFS), con il supporto scientifico dell'Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (ex ISAFSA) del CRA (Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura) e in collaborazione con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM). Il nuovo inventario forestale nazionale ha lo scopo "*di stimare le superfici forestali, ma anche di misurarne la capacità di assolvere ad alcune funzioni essenziali per l'equilibrio del pianeta, come la capacità di assorbimento del carbonio presente nell'atmosfera*".

Nell'INFC è stata adottata una definizione di bosco coerente con gli standard internazionali, cioè quella utilizzata dalla FAO per i due ultimi *Forest Resources Assessment* (FRA) (FAO, 2000; FAO, 2005). Secondo tale definizione si considera **Bosco** una superficie con ampiezza minima di 0,5 ha e larghezza minima di 20 m, caratterizzata da una copertura arborea superiore al 10% determinata da specie capaci di raggiungere 5 m di altezza a maturità *in situ*; sono escluse le aree con copertura arborea superiore alla soglia del 10% ma aventi uso prevalente agricolo o artificiale (INFC, 2003b). Oltre ai boschi vanno considerate come superfici di interesse inventariale anche le cosiddette **Altre terre boscate**, ovvero le aree con copertura arborea compresa tra il 5 e il 10%, oppure quelle con copertura superiore al 10% ma dovuta ad alberi o arbusti che non raggiungono 5 m di altezza a maturità *in situ*.

Il cambiamento di definizione rispetto al precedente Inventario comporta alcune difficoltà di confronto delle informazioni, ma si è ritenuto preferibile adottare una soluzione che, partendo da una definizione standard, e quindi condivisa e impiegata a livello sovranazionale agevolasse:

---

<sup>1</sup> L'Italia, nell'ambito delle possibilità di azione attribuite dal Protocollo di Kyoto e dai successivi accordi negoziali ad ogni Paese firmatario, ha scelto di impiegare tra le attività addizionali per la riduzione del bilancio nazionale delle emissioni, solo quelle di "gestione forestale".

- l'integrazione di statistiche agricole e forestali nazionali con quelle europee,
- il confronto con le politiche forestali degli altri Paesi della stessa area geografica,
- l'adeguamento e la partecipazione a meccanismi finanziari sovra-nazionali per interventi nelle aree forestali previsti nel Protocollo di Kyoto.

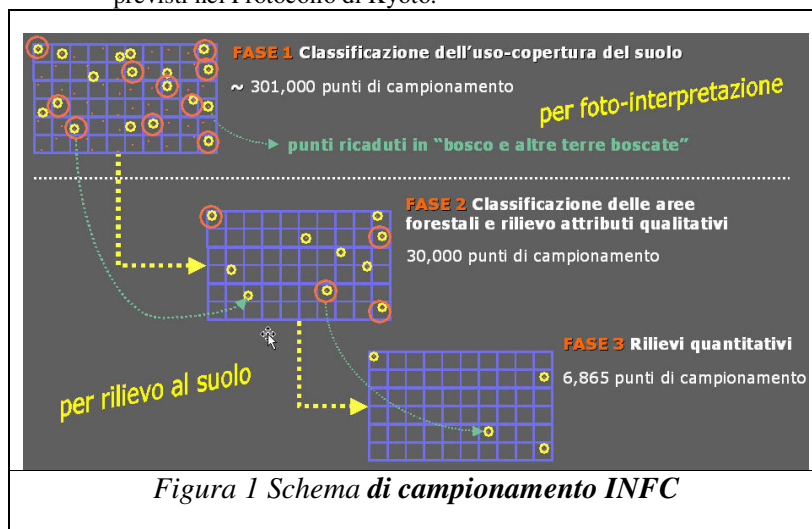


Figura 1 Schema di campionamento INFC

L'indagine inventariale è stata realizzata attraverso un campionamento triplo per la stratificazione con l'osservazione di tre diversi insiemi campionari: i primi due sono serviti per la stima dell'estensione delle diverse classi di uso e copertura forestale, mentre il terzo per la determinazione degli attributi quantitativi relativi ai soprassuoli forestali distinti per categorie di vegetazione.

Nella prima fase di campionamento sono stati osservati e classificati per fotointerpretazione oltre 300.000 punti distribuiti secondo un disegno sistematico non allineato, dove veniva selezionato casualmente un punto all'interno di ciascuna delle maglie di

un reticolo regolare che ricopre tutto il territorio nazionale. L'intensità del campionamento è di un punto di osservazione ogni 100 ettari, ovvero nove volte superiore al precedente inventario forestale nazionale. Questo ha permesso di ridurre al minimo l'errore campionario nella stima della superficie forestale nazionale (ES 0,3%).

Il campione di seconda fase è costituito da un sottoinsieme delle unità campionarie di prima fase (circa 30.000) risultate appartenenti alla superficie forestale. I punti di seconda fase sono stati rilevati in campo allo scopo di verificare la classificazione di prima fase e assegnare i punti ad una delle diverse categorie inventariali (bosco alto, bosco basso, arbusteto, ecc.) e forestali (boschi di abete rosso, faggete, querceti, ecc.). Nella seconda fase sono stati anche osservati molti altri caratteri qualitativi relativi alla stazione (esposizione, giacitura, accidentalità, viabilità, ecc.) e al soprassuolo (tipo colturale, stadio di sviluppo, presenza di patologie, ecc.).

I risultati finali delle prime due fasi di campionamento sono stati presentati presso la sede Istat nel maggio 2007 e costituiscono parte integrante delle statistiche ufficiali nazionali. La superficie forestale nazionale è stata stimata pari a 10.467.533 ha, di cui 8.759.200 ha di boschi e 1.708.333 di altre terre boscate.

La terza fase ha riguardato un sottoinsieme dei punti di seconda fase (quasi 7.000) selezionati tra quelli appartenenti alle categorie inventariali "boschi alti" e "impianti di arboricoltura". In corrispondenza di questi punti di campionamento sono state realizzate numerose misure e osservazioni sui soggetti arborei, sul legno morto, sulla rinnovazione e gli strati inferiori di vegetazione, al fine di ottenere dati quantitativi sul numero e la densità degli alberi, distinti per specie, sul volume legnoso, sulla necromassa, sull'accrescimento ecc. L'elaborazione dei dati raccolti in terza fase si concluderà entro il 2007 con la pubblicazione del terzo report INFC.

### Risultati del Telerilevamento : i progetti Kyoto-Inventory e GSE Forest Monitoring

L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha finanziato due progetti, Kyoto-Inventory e GSE Forest Monitoring, con l'obiettivo di indagare le potenzialità del telerilevamento satellitare nel monitoraggio delle attività di uso del suolo e di cambiamento di uso del suolo, con un'attenzione particolare alle esigenze derivanti dal Protocollo di Kyoto.

Il progetto Kyoto Inventory, coordinato da Intecs Informatica e Tecnologia del Software (IT), si è concluso nel 2005, dopo avere prodotto carte di uso del suolo e dei cambiamenti per oltre 200.000 Km<sup>2</sup> e per tre diversi anni di riferimento. I paesi coinvolti erano Italia, Spagna, Svizzera, Olanda, Finlandia e Norvegia. Il progetto ha avuto la sua naturale continuazione nel progetto GSE-Forest Monitoring, coordinato da GAF (D), che ha interessato un'area più vasta. Il GSE-Forest Monitoring è finanziato da ESA nell'ambito del programma GMES (Global Monitoring for Environment and Security) e coinvolge praticamente tutti i paesi dell'Europa centro-occidentale e la Polonia, diversi paesi africani, e la Guyana Francese.

In entrambi i progetti il Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ha partecipato come Utente finale per il caso italiano, definendo i propri requisiti e validando i prodotti con il supporto tecnico/scientifico del Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse (Di.S.A.F.Ri.) dell'Università degli Studi della Tuscia.

Il servizio fornito alle amministrazioni dal progetto GSE-FM consiste nella produzione di una cartografia di uso del suolo sintetica dal punto di vista del contenuto semantico (6 classi di legenda) ma di alto dettaglio geometrico (MMU =

0.5 ha), e della corrispondente Carta dei Cambiamenti - Le fonti primarie di dati sono costituite da coppie di immagini Landsat 5 e 7 (*season to season*), integrate da dati ausiliari forniti dal MATTM e dalle singole Amministrazioni regionali.

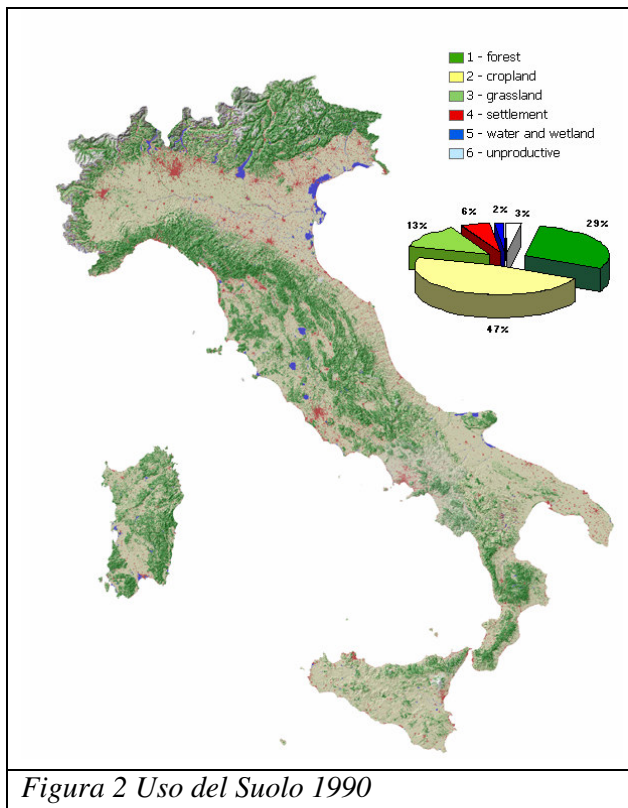


Figura 2 Uso del Suolo 1990

La copertura dell'uso del suolo del '90 (anno di riferimento per il protocollo di Kyoto) iniziata durante il progetto Kyoto Inventory (su sei regioni) verrà completata nel settembre 2007. Nel 2008 verrà effettuata la copertura 2007 per la regione Lombardia, con la relativa carta dei cambiamenti rispetto al 1990

Il metodo, applicato, inizialmente basato su tecniche di classificazione isodata, si è successivamente evoluto con l'adozione di strumenti per la segmentazione multirisoluzione e classificazione *fuzzy*. Sono state adottate procedure per il trattamento integrato dei dati satellitari, satellitari mediante uso di *set* di dati ausiliari, impiegando strategie di elaborazione ad hoc per comprensori fisiografici omogenei, definiti con una preventiva fase di analisi geografica e con l'impiego dei dati ausiliari stessi.

Il prodotto finale si ottiene mediante una successiva fase di revisione per fotointerpretazione basata sull'analisi comparata delle immagini Landsat del periodo di riferimento e delle le ortofoto digitali, accompagnata da una valutazione di accuratezza interna condotta su fotogrammi del volo IT88/89 ortorettificati. Le accuratezze tematiche complessive rientrano nel range 90-95%.

### Confronto dei risultati di GSE-Forest Monitoring con i dati dell'Inventario Forestale

Le prime due fasi dell'Inventario hanno prodotto, tra gli

altri, dei dati relativi all'uso-copertura del suolo affini, sotto il profilo tematico, a quelli prodotti da GSE-FM. Nonostante i due progetti si differenzino notevolmente sia negli obiettivi che nella metodologia, può risultare interessante confrontare i risultati prodotti, ai fini di una valutazione qualitativa degli stessi e soprattutto per indagare la possibilità di integrazione tra i due progetti in future applicazioni.

Per realizzare questo confronto è stata scelta come area test una regione tra quelle trattate nel precedente progetto Kyoto-Inventory Phase II, che aveva prodotto mappe di *Land Use* anche per il 2002, data utile per un confronto con l'INFC. In particolare è stata scelta la regione Lombardia, per la quale sono previste delle nuove elaborazioni su dati del 2007 nell'ambito delle attività GSE-FM del prossimo anno. Questa ulteriore fase del progetto vedrà anche il coinvolgimento diretto, come utente finale, dell'Agenzia Regionale per la Protezione ambiente (ARPA Lombardia).

Dal confronto della classificazione di uso-copertura dei punti INFC di prima fase ricaduti in Lombardia con i dati di *Land Use* GSE-FM 2002 è stata prodotta una matrice di confronto, in analogia con la classica matrice di confusione, che evidenzia una concordanza complessiva dell'informazione sull'uso-copertura del 86.39%. Ai fini del confronto i sistemi di classificazione utilizzati nelle due indagini sono stati rivisti accorpando alcune classi per ottenere classificazioni quanto più possibile confrontabili. Ovviamente si è trattato di un confronto di due dati telerilevati, poiché la classificazione di prima fase INFC è stata ottenuta per fotointerpretazione di ortofoto in bianco e nero. La classificazione di prima fase INFC inoltre non era finalizzata a riconoscere l'uso del suolo foresta, ma a stratificare il campione in modo da rendere più efficiente il campionamento al suolo.

Si è quindi proceduto al confronto della classificazione GSE-FM con i dati INFC di seconda fase rilevati a terra, con riferimento alla distinzione tra bosco e non-bosco. Per garantire una migliore omogeneità con i dati del progetto Kyoto-Inv e GSE-FM sono state considerate come bosco anche le categorie INFC dei "boschi bassi" (altezza > 2m) e delle "altre terre boscate". Sono state inoltre accorpate le aree di non bosco in un'unica categoria.

In tal modo è stato possibile calcolare un utile indice di accuratezza, la *Producer Accuracy*, per la classe bosco. Non è stato invece possibile produrre una vera e propria matrice di confusione poiché il campione disponibile grazie ai rilievi al suolo INFC per le verifiche di accuratezza non era completo e comprendeva soprattutto punti appartenenti alla classe del bosco. In tutto dei 1453 punti classificati al suolo come bosco dall'INFC, 1227 sono stati classificati come bosco anche dalla mappa GSE-FM, raggiungendo una *Producer Accuracy* pari all'84,45%.

Successivamente sono stati esaminati a video su ortofoto tutti i 226 casi classificati come bosco per INFC e come non bosco dalla *Land Use Map*, in modo da comprendere meglio il significato dell'indicatore di accuratezza, riconducendo le quote di discordanza a cause specifiche. Nell'analisi si è fatto riferimento alle celle di 30 m di lato, coerenti

geometricamente con la mappa di *Land Use*, confrontando la classificazione del punto INFC con i caratteri della cella in cui esso ricadeva.

I 226 casi esaminati sono stati quindi raggruppati secondo quattro diversi tipi di cause di discordanza (figura 3).

| Tipo | Descrizione  | N° casi | %    |
|------|--|---------|------|
| 1    | La cella non cade esattamente nel bosco, la <i>Land Use Map</i> appare corretta  | 106     | 46,9 |
| 2    | La cella cade nel bosco, la <i>Land Use Map</i> appare errata  | 31      | 13,7 |
| 3    | La cella cade sul bordo tra bosco e non bosco, difficile interpretazione della <i>Land Use Map</i>   | 72      | 31,9 |
| 4    | La cella cade in un poligono di bosco di dimensioni e forma tali da non superare le condizioni di <i>Minimum Measurement Unit</i> (MMU) fissate da Kyoto-Inv | 17      | 7,5  |

Figura 3 – Tipi di discordanza nella classificazione e rispettivo numero di casi

Il tipo 1, il più frequente, comprende in realtà diverse cause di discordanza: si tratta spesso di casi in cui si è verificata una diversa interpretazione delle definizioni di uso, ad esempio punti caduti su filari ampi in contesto agricolo o aree con copertura forestale ai margini di insediamenti urbani, che sono stati inclusi nelle aree urbane dalla *Land Use Map* e sono stati classificati invece come bosco da parte delle squadre INFC a causa dei caratteri della vegetazione e della loro funzione prevalente; in altri casi la diversa classificazione è dovuta a effettivi cambiamenti avvenuti nel periodo tra l'acquisizione delle immagini utilizzate per produrre la *Land Use Map* e i rilievi a terra INFC (ad esempio emersione di boschi igrofilo che apparivano sotto il limite delle acque nelle immagini telerilevate).



Figura 4 – Caso classificato come discordanza di tipo 1,

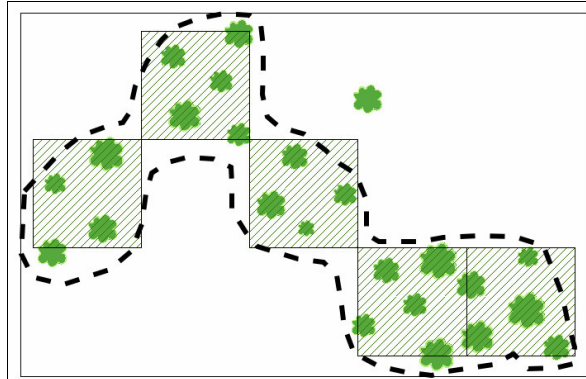
I casi di tipo 2 riguardano invece veri e propri errori di classificazione della mappa di *Land Use*: si tratta generalmente di aree in cui la risposta dell'immagine Landsat ha presentato valori particolari, molto distanti dal *range* delle firme spettrali della vegetazione, tali da far cambiare la classificazione.

Il tipo 3 include tutti i casi per i quali la cella esaminata intercetta un limite tra bosco e non bosco, per i quali la diversa attribuzione è probabilmente dovuta a differente posizione geografica. Inoltre occorre ricordare che la classificazione INFC si basa sulla posizione del punto al suolo rispetto al margine del bosco, tracciato congiungendo gli alberi con chiome distanti tra loro non più di 20 m, mentre la classificazione della *Land Use Map* deriva dall'analisi delle caratteristiche spettrali di un pixel di 30 m di lato. Per questi motivi non è possibile valutare se le discordanze di tipo 3 costituiscano o meno errori di classificazione della mappa di uso del suolo.

Il caso rappresentato in figura 4 è stato classificato come tipo 1 in quanto la casuale corrispondenza tra la stretta fascia a copertura erbacea, larga tra i 30 e i 40 metri, e i pixel dell'immagine hanno determinato la presenza di un numero di pixel non bosco affiancati sufficiente a superare la MMU fissata dal protocollo Kyoto Inv. La *Land Use Map* è quindi corretta secondo la procedura adottata, mentre il punto INFC, che in questo caso si trovava probabilmente al margine del pixel sul confine tra bosco e non bosco, è stato classificato diversamente a causa dei diversi criteri seguiti nella classificazione.

Infine i casi classificati come di tipo 4 riguardano quelle situazioni in cui una elevata frammentazione del bosco ha portato ad una sua sottostima nella mappa di *Land Use*; i singoli pixel sono stati correttamente classificati, ma essendo sparsi o a contatto solo per i vertici, il successivo filtro per il rispetto dell'area minima (0.5 Ha, quindi 5 pixel) li ha esclusi dall'area boscata.

Nella figura 5 si riporta uno schema esemplificativo di questi casi: il corpo boscato, di superficie superiore alla MMU se misurato rispetto ai limiti tracciati congiungendo esternamente le chiome, è costituito da tre pixel a contatto nei vertici e solo due adiacenti e quindi viene classificato come non bosco.



*Figura 5 – Esempio di corpo boscato di piccole dimensioni e forma irregolare che viene escluso dal bosco a causa della procedura adottata per verificare la MMU.*

### Conclusioni e prospettive future

La sperimentazione condotta ha evidenziato una buona concordanza tra i risultati prodotti da GSE-FM e i dati INFC, con una "accuratezza del produttore" per la classe Bosco della *Land Use Map* pari a 84.45%. In realtà, esaminando i 226 casi di punti bosco non corrispondenti al *Forest* della carta, la percentuale di veri e propri errori di classificazione è molto bassa e riguarda solo il 13.7% dei punti esaminati e il 2.1% dei punti bosco INFC. La maggior parte delle discordanze è dovuta invece a diversità nelle definizioni o nell'interpretazione delle definizioni stesse, oppure a problemi di differente posizione geografica. Una certa percentuale di differenze è dovuta infine a problemi geometrici nelle aree di bordo e in quelle frastagliate, a causa della diversa modalità di tracciamento dei limiti del bosco adottata delle due indagini.

Occorre ricordare in ogni caso che la verifica dei risultati della *Land Use Map* attraverso i dati a terra INFC ha riguardato quasi esclusivamente punti bosco; i punti non bosco di cui si dispone di dati a terra sono in misura molto minore e riguardano soprattutto usi del suolo facilmente confusi col bosco (incolti e pascoli). Infatti i rilievi a terra INFC hanno riguardato esclusivamente punti che in prima fase erano stati provvisoriamente attribuiti alle aree di interesse forestale.

In conclusione si può affermare che i risultati del confronto qui presentati non sono in contrasto con i valori di accuratezza complessiva, compresi tra il 90 e il 95%, attribuiti alle mappe di *Land Use* del progetto GSE-Forest Monitoring dalle attività di *accuracy assessment* interne al progetto. Inoltre si può notare che la corrispondenza tra la classificazione di GSE-FM e quella dell'Inventario è maggiore se si considerano le superfici forestali nel complesso, comprendendo sia bosco che altre terre boscate. Tale corrispondenza potrebbe anche essere migliorata applicando definizioni e regole di classificazione uniformi a quelle dell'INFC e affinando l'uso di tecniche di analisi GIS per rispondere meglio alle esigenze di una classificazione per punti propria dell'Inventario.

### Ringraziamenti

Si ringraziano tutti gli sportelli cartografici Regionali per avere messo a disposizione i loro dati, fornendo un contributo prezioso per la riuscita dei due progetti (Kyoto-Inventary e GSE Forest Monitoring) e la messa in opera del servizio.

### Referimenti

- FAO, 2000 – Global Forest Resources Assessment. Main report. Appendix 2: Terms and definitions. FAO Forestry Paper 140.
- FAO, 2005 – Global Forest Resources Assessment. Progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper 147
- INFC, 2003b – Manuale di fotointerpretazione per la classificazione delle unità di campionamento di prima fase. Autori F. De Natale e P. Gasparini. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF - Direzione Generale per le Risorse Forestali Montane e Idriche, Corpo Forestale dello Stato, ISAFSA, Trento. 82 pp. [on line] URL: [http://www.isafa.it/scientifica/publicazioni/pu\\_inf/Public.html](http://www.isafa.it/scientifica/publicazioni/pu_inf/Public.html)
- Inventario Forestale Nazionale, una mappa per orientarsi nella sostenibilità, Forum PA, <http://www.forumpa.it/archivio/2000/2400/2480/2484/inventario-vicine.html>
- Inventario Nazionale delle Foreste e del Carbonio, [www.ifni.it](http://www.ifni.it)
- Janssens IA et Al., (2003), "Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of European anthropogenic CO2 emissions", *Science* 300, 1538-1542.
- Magnani F. (2005), " Il ruolo della vegetazione, il progetto CarboItaly", *ARPA Rivista* N. 5 Settembre-Ottobre 2005, 20-21
- Renda O. (2003) "Forest Environmental Reporting Services", *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'03)*, Vol. 7, p. 4582-458
- Schimel DS et Al.,(2001), "Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems", *Nature* 414, 169-172
- Volden E. (2004) "The ESA KYOTO-INV Project" *Envisat Symposium, Proceedings* n.543