

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse

Dottorato di Ricerca

IN

ECOLOGIA FORESTALE XVIII CICLO

Espa

50



Candi

Enrie

gnozza

Coorc

Prof. Paolo De Angelis

INDICE

CAP. 1: INTRODUZIONE	1
CAP. 2: OBIETTIVI E STRUTTURA DELLA TESI.....	4
2.1. Obiettivi della tesi.....	4
2.2. Struttura della tesi.....	5
CAP. 3: QUADRO DI RIFERIMENTO DELLA RICERCA	
.....	7
3.1. Le indagini sulla superficie forestale.....	7
3.1.1. <i>Indagini a livello internazionale</i>	8
3.1.1.1. Le iniziative dell'Unione Europea.....	10
3.1.1.1.1. Il progetto FIRS.....	11
3.1.1.1.2. Lo studio EFICS.....	12
3.1.1.1.3. Il Programma CORINE.....	12
3.1.1.1.4. Le statistiche europee sulle foreste.....	15
3.1.2. <i>La situazione italiana: le informazioni sulle superfici forestali</i>	17
3.1.2.1. Il primo Inventario Forestale Nazionale (IFNI 1985).....	20
3.1.2.2. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC)	27
3.1.2.2.1. La classificazione delle unità di campionamento	30
3.1.2.3. Informazioni sulle foreste italiane fornite dalla FAO.....	38
3.1.3. <i>La Regione Abruzzo: la situazione forestale</i>	39
3.2. L'espansione naturale delle foreste.....	46
3.3. Importanza della conoscenza della superficie forestale attuale e delle sue variazioni nel tempo alla luce delle politiche ambientali	
internazionali.....	51
CAP. 4: METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA CLASSIFICAZIONE DELL'USO DEL SUOLO.....	54
CAP. 5: STIMA PROBABILISTICA DEL TASSO DI ESPANSIONE ANNUA DELLA SUPERFICIE FORESTALE DELLA REGIONE ABRUZZO	

(E STIMA DEL VALORE DELLA SUPERFICIE FORESTALE AL 1990)	64
5.1. Introduzione.....	64
5.2. Materiali e metodi.....	65
5.2.1. <i>Schema di campionamento</i>	65
5.2.2. <i>Fotointerpretazione</i>	65
5.2.3. <i>Stratificazione</i>	69
5.2.4. <i>Calcolo della superficie forestale al 1990</i>	70
5.2.5. <i>Stimatori statistici</i>	70
5.2.5.1. <i>Variazione annua di superficie</i>	70
5.3. Risultati e discussione.....	75
 CAP. 6: STUDIO DEL CAMBIAMENTO DELLE CLASSI D'USO DEL SUOLO NELLA REGIONE ABRUZZO DAL 1954 AD OGGI	 85
6.1. Introduzione.....	85
6.2. Materiali e metodi.....	86
6.2.1. <i>Schema di campionamento</i>	86
6.2.2. <i>Fotointerpretazione</i>	89
6.3. Analisi statistica dei dati (Corona et al., 2006)	96
6.3.1. <i>Definizione del problema</i>	96
6.3.2. <i>Piano di campionamento</i>	96
6.3.3. <i>Stimatori di prima fase</i>	98
6.3.4. <i>Stimatori di seconda fase</i>	101
6.3.5. <i>Stimatori di seconda fase nel campionamento network</i> ..	104
6.3.6. <i>Alcune considerazioni di natura computazionale</i>	106
6.3.7. <i>Calibrazione delle stime</i>	106
6.3.8. <i>Verifica delle differenze di copertura tra l'anno 1954 e l'anno 2002</i>	108
6.4. Risultati e discussione.....	110
 CAP. 7: ELABORAZIONE DI UN MODELLO DI ESPANSIONE SPONTANEA DELLA SUPERFICIE FORESTALE DELLA REGIONE ABRUZZO MEDIANTE REGRESSIONE LOGISTICA MULTINOMIALE.....	 114
7.1. Introduzione.....	114

7.2. Materiali e metodi.....	114
7.3. Analisi logistica e risultati.....	118
7.3.1. <i>Analisi di associazione</i>	118
7.3.2. <i>Sviluppo del modello di predizione</i>	120
7.3.3. <i>Applicazione del modello di predizione</i>	122
7.4. Discussione	124
 CAP. 8: ANALISI DELLA STRUTTURA VEGETAZIONALE DI UN PUNTO FORESTALE DI NUOVA FORMAZIONE: IL CASO STUDIO DELLA PIANA DI AMPLERO (COLLELONGO - AQ).....	127
8.1. Introduzione.....	127
8.2. Descrizione del sito di studio.....	128
8.2.1. <i>Caratteristiche generali</i>	128
8.2.2. <i>Area di studio</i>	131
8.2.3. <i>La metodologia sperimentale per la determinazione della struttura della vegetazione</i>	137
8.3. Risultati e discussione.....	142
 CAP. 9: CONCLUSIONI	147
 Ringraziamenti.....	150
 BIBLIOGRAFIA.....	151

CAP. 1: INTRODUZIONE

I cambiamenti d'uso del suolo rappresentano una delle tematiche più importanti presenti attualmente nel settore ambientale. La modificazione del territorio colonizzato è stata, da sempre, una delle prerogative dell'attività umana. Dalla trasformazione delle foreste in terreni dissodati, che ha caratterizzato l'inizio e lo sviluppo della società umana, fino all'urbanizzazione del territorio in seguito allo spostamento di moltitudini di persone nei centri urbani, sedi delle attività conseguenti allo sviluppo della rivoluzione industriale, per finire allo spopolamento ed all'abbandono delle aree montane avvenuto nei paesi industrializzati ed in particolare in Italia negli ultimi 50 anni che ha portato il bosco a riconquistare lentamente i terreni dismessi dall'agricoltura, le aree gestite dall'uomo sono state oggetto di cambiamento.

Queste modificazioni sono sempre state di importanza strategica nell'organizzazione e nella crescita della società umana, hanno avuto grande importanza in passato e lo hanno sempre di più oggi che le tematiche ambientali condizionano in modo fondamentale le scelte dei governi di tutti i Paesi, sia quelli industrializzati che in via di sviluppo.

L'impatto di questi cambiamenti è piuttosto complesso e talvolta difficile da comprendere. E' fonte di implicazioni in processi che stanno acquisendo grande rilevanza, sia a livello scientifico che politico, quali l'assorbimento e l'immagazzinamento del carbonio atmosferico, la conservazione della biodiversità, la produzione di biomasse, la stabilità del suolo.

In particolare, un interessante fenomeno che sta interessando i Paesi del nord del Mediterraneo, riguarda la trasformazione di terreni agricoli in superfici forestali (Piusi e Farrel, 2000), che lentamente riconquistano in modo naturale territori dismessi dall'agricoltura ed abbandonati dall'attività umana.

In Italia questo fenomeno, iniziato a partire dagli anni '50 del secolo scorso, è progressivamente aumentato con il cambiamento della struttura sociale che, da agricola si è rapidamente trasformata in industriale, in particolar modo negli anni '60 e '70.

Questo ha comportato lo spostamento di una parte della popolazione rurale verso i grossi nuclei industriali, con conseguente diminuzione di impiego nel settore agricolo, in quegli anni attivo anche nelle zone di alta collina e montagna. Oltre a questo, anche la

modernizzazione del settore agricolo ha influito pesantemente sull'uso del suolo di detti territori. La meccanizzazione spinta, efficace solo in terreni con caratteristiche pianeggianti e con superfici considerevoli, la mancanza di maestranze da impiegare nei campi, i redditi da agricoltura non più competitivi rispetto a quelli derivanti dalle altre attività, hanno portato al progressivo abbandono delle coltivazioni in terreni di collina e montagna (a meno di particolari peculiarità quali ad esempio vigneti in zone D.O.C. oppure oliveti, ecc.). L'attività agricola in questi territori è passata da principale ad ausiliaria (agricoltura come attività per il tempo libero) per finire alla cessazione definitiva. A questo punto, in modo graduale e naturale, il bosco ha iniziato la ricolonizzazione, prima nelle aree cosiddette marginali per poi entrare anche in quelle che in passato erano utilizzate dall'agricoltura.

Questo fenomeno ha riguardato, ed è tutt'ora fortemente in atto, tutta la zona di media alta collina e montana del paese, sia nelle isole, che nell'area appenninica che in quella alpina. L'unica zona dove non si riscontra tale realtà è quella relativa alle Province di Trento e Bolzano, che da anni hanno in atto programmi di sostegno economico per le attività agro-silvo-pastorali nei territori di montagna (Giau B., comunicazione orale, SISEF 2005).

L'espansione naturale della foresta è dunque un fenomeno in atto che ha, come sopra detto, numerose conseguenze in tantissimi settori, sia a livello sociale che ecosistemico.

L'importanza del fenomeno è fortemente legato anche al ruolo che oggi le foreste rivestono a livello non solo di equilibrio dell'ecosistema di cui fanno parte ma anche nelle scelte strategiche da mettere in campo nella comprensione e nella gestione dei cambiamenti climatici, sempre più presenti nelle agende della politica nazionale ed internazionale.

L'importanza delle risorse forestali è riconosciuta a livello planetario (FAO, 1997). È sempre più evidente, infatti, che una seria politica ambientale non può prescindere da una considerazione delle foreste e degli effetti diretti ed indiretti delle attività antropiche su di esse. Le foreste costituiscono buona parte dei sistemi naturali e seminaturali presenti sulle terre emerse e assumono un ruolo cruciale per le forme di vita, contribuendo all'equilibrio globale del sistema terrestre (Bianchi M., 1998).

E' per quanto sopra esposto che sempre di più è diventata importante la conoscenza delle superfici coperte da foreste, ed è per questo che azioni tese alla conoscenza puntuale del territorio, quali ad esempio i progetti CORINE, gli inventari forestali a carattere nazionale e regionale, si sono moltiplicati negli ultimi anni, sfruttando il grande potenziale offerto dalla tecnologia moderna.

La possibilità di utilizzare immagini da fonti remote, quali satelliti, aerei, radar, ecc. e la sempre maggiore disponibilità di software (GIS) sempre più capaci di interpretarle e gestirle sta consentendo, ogni giorno di più, di avere dati aggiornati e precisi in materia di conoscenza e classificazione dell'uso del suolo. La richiesta di informazioni precise riguardo i flussi di carbonio, le quantità di carbonio immagazzinato e la localizzazione di quest'ultimo sta dando vita a numerosi studi ed a progetti di ricerca volti a rispondere alle sempre più frequenti richieste di chi deve decidere in materia di sviluppo sostenibile, sia su scala locale che su scala planetaria. Di basilare importanza per le tematiche sopra descritte è poi la conoscenza, non solo della situazione attuale, ma anche del processo storico che ha portato alla presente situazione.

Allo stato attuale molte sono le indagini e gli studi, già realizzati ed in fase di realizzazione, che hanno cercato di dare un contributo alla conoscenza del fenomeno. L'importanza di individuare correttamente la superficie delle varie classi di uso del suolo, ed in particolare quella forestale, sono un obiettivo primario per l'analisi di fenomeni sia ecologici che socio-economici. Oltretutto, alcuni programmi strategici dal punto di vista della gestione delle risorse planetarie, come quelli predisposti nell'ambito della Convenzione Quadro per i Cambiamenti Climatici dell'ONU (UNFCCC) e dal suo strumento operativo, il cosiddetto "Protocollo di Kyoto", richiedono con forza la conoscenza delle superfici forestali, con particolare riferimento alla loro variazione nel tempo. A tale proposito non si conoscono studi che abbiano affrontato l'argomento della variazione negli ultimi decenni della superficie forestale su larga scala (regionale o nazionale).

In questo ambito si inserisce questa ricerca avente l'obiettivo di conoscere i cambiamenti passati e futuri della superficie forestale della Regione Abruzzo.

CAP. 2: OBIETTIVI E STRUTTURA DELLA TESI

2.1. Obiettivi della tesi

Lo studio si prefigge di conoscere i cambiamenti d'uso del suolo, ed in particolare della superficie forestale, che sono avvenuti negli ultimi 50 anni e che potranno avvenire in futuro nella Regione Abruzzo. La scelta di operare su questa unità amministrativa dell'Italia centrale, avente una superficie di 1.081.070 ettari, è stata dettata dal grande interesse naturalistico e socio-economico che tale area riveste. Infatti, la conformazione geografica regionale presenta numerosi ambienti fisico-climatici differenti, quali le aree costiere sul mare Adriatico, le aree pianeggianti dove le attività produttive ed industriali hanno profondamente mutato il territorio, le aree collinari dove l'agricoltura ancora riveste un ruolo preponderante con le coltivazioni di olivi e viti, e le aree montane dove la foresta è in continua espansione a causa della forte riduzione delle attività agro-pastorali e dove la principale risorsa economica è diventata il turismo, con particolare riferimento a quello "naturalistico" determinato dalla presenza di tre parchi nazionali, un parco regionale e numerose altre aree protette.

L'ipotesi di studio, largamente documentata da analisi territoriali e ricerche scientifiche svolte in Italia ed all'estero, è che l'uso del suolo regionale, ed in particolare la superficie forestale, è fortemente mutato nel corso degli ultimi anni. A tal fine, mediante una procedura standardizzata, riproducibile e con la necessaria accuratezza ed affidabilità statistica è stato messo a punto un sistema di valutazione del cambiamento in atto, sia in termini di variazione percentuale annuale (riferita agli ultimi dieci anni) sia in termini di quantificazione delle superfici cambiate (negli ultimi cinquanta anni).

Inoltre, alla luce dell'importanza legata agli impegni dettati dal Protocollo di Kyoto, lo studio si è anche posto l'obiettivo di quantificare la superficie forestale presente nel 1990, anno base (*baseline*) per gli impegni legati al suddetto protocollo, dato molto spesso assente e di non facile calcolo.

La conoscenza del cambiamento dell'uso del suolo nel prossimo futuro è stato un altro dei temi oggetto della ricerca, che ha realizzato a tale scopo, un apposito modello predittivo.

Per ultimo, anche se in modo preliminare, si è posto l'obiettivo di raccogliere informazioni relativamente alla conoscenza della composizione, della struttura e dell'evoluzione di questi boschi di neoformazione, mediante l'analisi di un singolo caso studio di un'area oggetto di rinaturalizzazione.

La metodologia che è stata scelta per lo sviluppo della tesi vuole rappresentare, per le procedure standardizzate utilizzate aventi carattere di obiettività e riproducibilità e supportate da un'accurata analisi statistica, un moderno metodo di analisi territoriale, applicabile su ampie superfici. Proprio questa caratteristica è l'elemento innovativo di questo lavoro: infatti, sono rari gli studi relativi all'analisi dell'uso del suolo, con riferimento al suo cambiamento nel corso del tempo, realizzati su superfici ad ampia scala, regionale o nazionale.

2.2. Struttura della tesi

Lo studio è stato suddiviso in 4 fasi:

- 1) Stima probabilistica del tasso di espansione annua della superficie forestale della Regione Abruzzo (e stima del valore della superficie forestale al 1990).
- 2) Studio del cambiamento delle classi di uso del suolo nella Regione Abruzzo dal 1954 ad oggi.
- 3) Elaborazione di un modello di espansione spontanea della superficie forestale della Regione Abruzzo mediante regressione logistica multinomiale.
- 4) Analisi della struttura vegetazionale di un punto forestale di nuova formazione: il caso studio della località "Amplero" (Collelongo – AQ).

La metodologia utilizzata ha seguito l'approccio probabilistico di valutazione campionaria basato sulla classificazione della copertura del suolo ripetuta in occasioni successive sugli stessi punti di sondaggio, secondo il cosiddetto "inventario continuo". Nella prima fase del lavoro, tutti i 10.811 punti del nuovo inventario nazionale delle

foreste e dei serbatoi di carbonio (INFC, 2002), individuati su cartografia digitale ortoretta AGEA 2002, sono stati confrontati con gli stessi punti riportati e rivalutati (seguendo la stessa metodologia INFC) sulla cartografia regionale ortoretta degli anni '80, al fine di determinare il tasso di variazione annuale di cambiamento dell'uso del suolo relativo alla superficie regionale (oltre che stimare la superficie forestale relativa al 1990). La seconda fase dello studio ha visto il confronto dei punti INFC con gli stessi punti riportati sulle foto aeree della cartografia IGM del 1954 (un campione di 30 per un totale di 593 punti inventariati) allo scopo di determinare la variazione di superficie forestale regionale degli ultimi 50 anni. Nella terza fase, mediante l'utilizzazione dei risultati della fase 1, è stato elaborato un modello di espansione spontanea della superficie forestale utilizzando come base il "modello di regressione logistica multinomiale o polinomiale". Infine, nella quarta fase, sono stati esaminati circa 3.100 m² nell'intorno di un punto INFC che è cambiato in foresta negli ultimi 20 anni al fine di studiare la composizione e la struttura di un bosco di neoformazione. In questa area sono state registrate le posizioni e le altezze di tutti gli individui arborei ed arbustivi oltre che le proiezioni al suolo delle chiome e sono stati sviluppati indici di diversità e di consociazione.

CAP. 3: QUADRO DI RIFERIMENTO DELLA RICERCA

3.1. Le indagini sulla superficie forestale

L'interesse della comunità internazionale nei confronti delle risorse forestali e della loro importante funzione nella tutela degli equilibri ambientali del pianeta è andato aumentando nel corso dell'ultimo decennio (ISAFA, 1998).

A livello internazionale numerosi sono stati gli accordi che hanno preso in considerazione le foreste. Tra i tanti, i principali possono essere certamente considerati quelli derivati dagli accordi di Rio de Janeiro (UN, 1992) che hanno portato alla stipula delle convenzioni su biodiversità (UNCBD), cambiamenti climatici (UNCCC) e desertificazione (UNCED), fino ai processi relativi alla gestione sostenibile delle foreste.

La conoscenza delle superfici forestali è sempre di più legata alle indagini relative all'efficienza e al valore dei boschi in termini di produzione di ossigeno, fissazione del carbonio, biodiversità, oltre che per valutare la sostenibilità della gestione delle foreste.

Conoscere la superficie forestale è quindi oggi un obiettivo primario sia a livello globale che su scala sovranazionale, nazionale, regionale e, per finire, locale.

A livello di Unione Europea, l'importanza di operare in un ambito condiviso dai Paesi membri ha portato allo sviluppo di norme, regolamenti e mezzi comuni tesi ad uniformare i metodi di indagine per l'individuazione e valutazione delle superfici forestali.

I più recenti studi e progetti comunitari relativi alle foreste europee mirano pertanto a colmare le lacune informative, nonché a rendere confrontabili le informazioni esistenti presso i singoli Stati attraverso l'adozione di definizioni e procedure di rilievo più unitarie possibili. A livello nazionale è stata avviata in questi ultimi anni una serie di iniziative volte a garantire il rispetto degli impegni presi in sede europea e a colmare le lacune informative nella conoscenza delle risorse naturali e del territorio (ISAFA 1998).

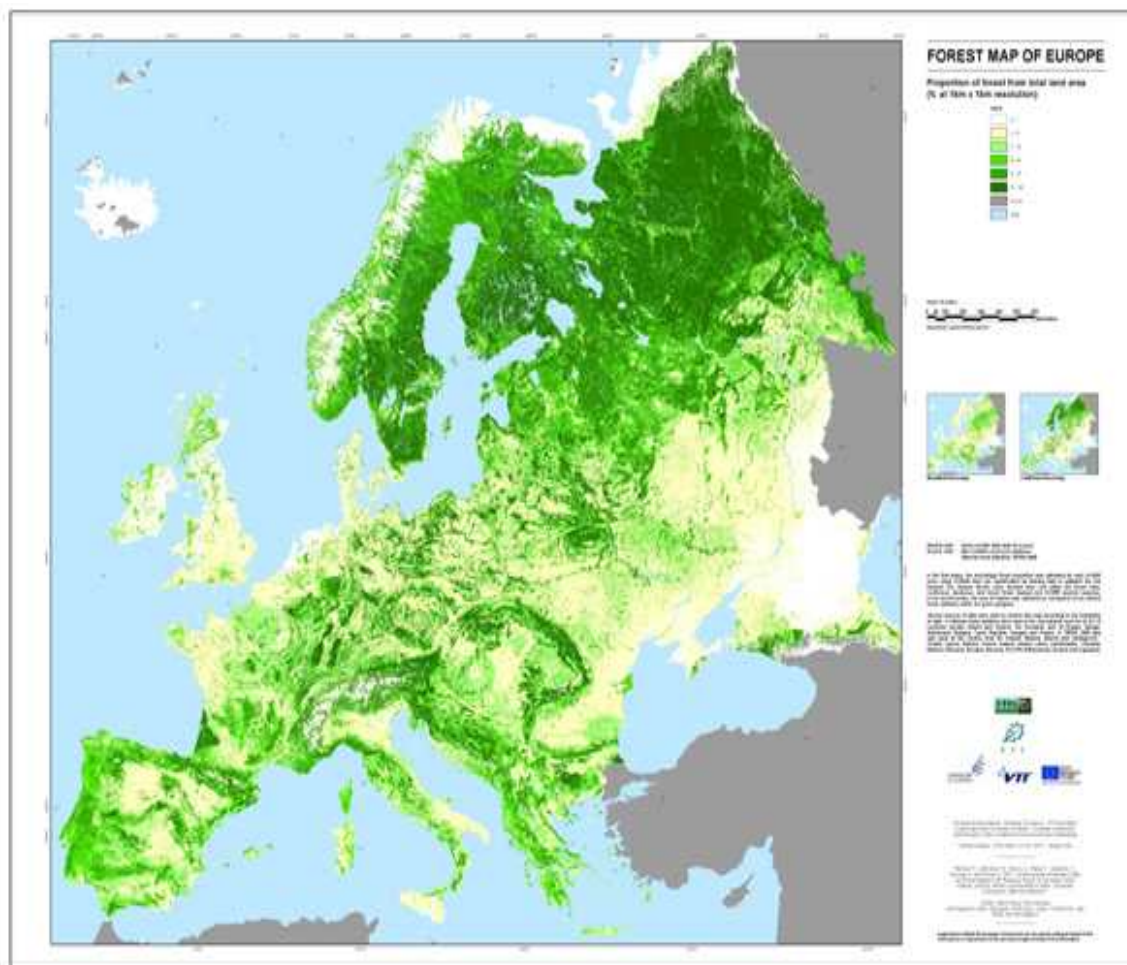
3.1.1. Indagini a livello internazionale

Le iniziative intraprese a livello internazionale al fine di conoscere le foreste, sia a livello di superficie che a quello di composizione specifica, uso, valore, ecc. sono state e sono tuttora numerose.

Tra le prime che ricordiamo ci sono sicuramente quelle svolte dalla FAO in collaborazione con la Commissione Economica per l'Europa dell'Organizzazione delle Nazioni Unite (UN-ECE) che, tramite i *Forest Resources Assessment* (FRA), realizzati a cadenza dapprima quinquennale e poi decennale, hanno interessato, anche se con modalità diverse, sia le zone tropicali che quelle temperate e boreali. Il numero dei paesi che forniscono dati è progressivamente aumentato fino ai 229 paesi di FRA 2005 (FAO, 2005) e sia le definizioni che il tipo di informazioni richieste sono mutate nel tempo riflettendo i cambiamenti avvenuti nella considerazione comune del ruolo e dell'importanza delle foreste. Le prime indagini, infatti, servivano a fornire informazioni soprattutto sulla produzione e sul consumo di prodotti legnosi, mentre le altre funzioni delle foreste, e in particolare gli aspetti ambientali, vengono considerate solo a partire dal 1980 (Korotkov, 1994). Analogamente la definizione di bosco ha subito un'evoluzione parallela a quella dei contenuti delle indagini, andando sempre più ad interessare tutte le aree naturali caratterizzate dalla presenza di alberi e/o di arbusti, indipendentemente dal loro valore produttivo. Le informazioni sulla consistenza e lo stato delle foreste del pianeta, contenute nei FRA, provengono dai questionari compilati dai singoli stati sulla base dei dati disponibili. Gli inventari forestali nazionali sono dunque la fonte principale dei dati per i *Forest Assessment*. Il loro valore informativo dipende dall'affidabilità e dal grado di aggiornamento delle informazioni fornite dai singoli stati, nonché dalla capacità di questi di adattarsi alle definizioni e ai criteri di valutazione adottati per i FRA (ISAFA 1998).

Attualmente, sono in via di ultimazione le specifiche ed i criteri di valutazione adottati per il FRA 2005. Nel 2005 è stata anche pubblicata la mappa delle foreste europee (Fig. 3.1 e Tab. 3.1).

Fig. 3.1 e Tab. 3.1: foreste dell'Unione Europea e dei Paesi candidati a diventarne membri.



Forests in the European Union and candidate Countries

Member States	Land area (ha)	Forest area (ha)	% of forest land	Forest area pro capite (ha)
Austria	8.273.000	3.886.000	47,0%	0,5
Belgium and Luxembourg	3.282.000	728.000	22,2%	0,1
Cyprus	925.000	172.000	18,6%	0,2
Czech Republic	7.728.000	2.632.000	34,1%	0,3
Denmark	4.243.000	455.000	10,7%	0,1
Estonia	4.227.000	2.060.000	48,7%	1,5
Finland	30.459.000	21.935.000	72,0%	4,2
France	55.010.000	15.341.000	27,9%	0,3
Germany	34.927.000	10.740.000	30,7%	0,1
Greece	12.890.000	3.599.000	27,9%	0,3
Hungary	9.234.000	1.840.000	19,9%	0,2
Ireland	6.889.000	659.000	9,6%	0,2
Italy	29.406.000	10.003.000	34,0%	0,2
Latvia	6.205.000	2.923.000	47,1%	1,2
Lithuania	6.258.000	1.994.000	31,9%	0,5
Malta	32.000	-	0,0%	0
Netherlands	3.392.000	375.000	11,1%	n.s.
Poland	30.442.000	9.047.000	29,7%	0,2
Portugal	9.150.000	3.666.600	40,1%	0,4
Slovakia	4.808.000	2.177.000	45,3%	0,4
Slovenia	2.012.000	1.107.000	55,0%	0,6
Spain	49.945.000	14.370.000	28,8%	0,4
Sweden	41.162.000	27.134.000	65,9%	3,1
United Kingdom	24.160.000	2.794.000	11,6%	n.s.
TOTAL EU	385.059.000	139.637.600	36,3%	0,63
Bulgaria	11.055.000	3.690.000	33,4%	0,4
Croatia	5.592.000	1.783.000	31,9%	0,4
Romania	23.034.000	6.448.000	28,0%	0,3
Turkey	76.963.000	10.225.000	13,3%	0,2
TOTAL CANDIDATE COUNTRIES	116.644.000	22.146.000	19,0%	0,33
TOTAL	501.703.000	161.783.600	32,2%	/

(*) Source: "State of the World's Forests - 2005", FAO.

3.1.1.1 Le iniziative dell'Unione Europea

Nell'UE non esiste una politica forestale comune, in quanto la competenza in materia appartiene ai singoli Paesi membri (a causa della gran diversità di situazioni geografiche, ecologiche, politiche, sociali, ecc.). Inoltre il legame con altre politiche (soprattutto agricole ed ambientali) influenza fortemente le decisioni che interessano questo settore.

Esistono però, fin dagli anni '70-'80 del secolo scorso, dei Regolamenti trattanti materie forestali nonché un documento sulla Strategia forestale dell'Unione Europea (UE, 1998) che delineano linee guida generali su cui si può attestare una sorta di politica forestale comune (Colletti, 2005).

I vigenti regolamenti comunitari in campo forestale seguono tre linee direttrici principali:

- la valorizzazione del ruolo delle foreste per lo sviluppo del mondo rurale;
- la protezione del patrimonio forestale dall'inquinamento atmosferico e dagli incendi boschivi;
- la promozione della ricerca.

Oltre a queste, altre misure di carattere più "isolato" sono state emanate in questi anni. Tra le altre ricordiamo a titolo esemplificativo quelle sul materiale forestale di propagazione, sulle misure fitosanitarie, sulla gestione delle foreste tropicali, sulla tutela della biodiversità, ecc.

Per poter partecipare ai programmi comuni promossi dall'Unione Europea, gli Stati membri hanno dovuto dotarsi di strumenti e linguaggi comuni, relativi soprattutto agli attributi statistici e spaziali, al fine di costituire cartografie e banche dati comuni. Per molti anni le informazioni riguardanti le foreste europee sono state costituite da indagini condotte dai singoli Stati con tecniche, metodologie e intensità diverse. Questo ha ostacolato il confronto dei dati e non ha consentito di fare valutazioni riferite all'intero territorio dell'Unione. Negli ultimi due decenni del secolo scorso, per ovviare a tale mancanza, sono stati emanati dall'UE due Regolamenti (1614/89 e 400/92), istituenti l'*European Forestry Information and Communication System* (EFICS), che hanno avviato gli studi sugli inventari forestali. Inoltre con il progetto di ricerca *Forest Information from Remote Sensing* (FIRS) la Commissione Europea ha dato vita ad un sistema informativo europeo sulle foreste.

3.1.1.1.1. Il progetto FIRS

L'obiettivo principale del progetto di studio *Forest Information from Remote Sensing* consiste nello sviluppo di metodologie per l'acquisizione di informazioni che prevedano, per quanto possibile, l'uso di nuove tecnologie e in particolare del telerilevamento da satellite. Lo studio ha coinvolto tutti gli Stati dell'Unione Europea e quelli dell'EFTA (*European Free Trade Association*), interessando così l'intero continente europeo (ISAF 1995). I temi trattati dagli studi sono stati i seguenti:

– La suddivisione dell'Europa in ecoregioni forestali e di queste in sottoregioni o strati (*Stratification and Regionalization of European Forest Ecosystems*), con conseguente realizzazione della Carta delle Ecoregioni Forestali d'Europa costituita da un database delle ecoregioni, degli strati forestali e della relativa rappresentazione cartografica in scala 1:12.500.000 (IRSA, 1995). Per ciò che riguarda il territorio italiano sono stati individuati i seguenti strati:

- n° 5 Toscana e Lazio;
- n° 6 area compresa tra le Marche e la Puglia (escluse zone montuose);
- n° 7 area compresa tra la Campania e la Sicilia (escluse zone montuose);
- n° 9 Sardegna;
- n° 19 Appennino Settentrionale;
- n° 20 Appennino Centro-meridionale inclusa la Sicilia;
- n° 22 Bacino del Po;
- n° 104 Zona Prealpina;
- n° 107 Alpi.

– La definizione di una nomenclatura specifica (*Designing of a System of Nomenclature for European Forest Mapping*).

– Il GRID (*European Geo-referenced Forest Data Directory*).

Tra gli altri studi realizzati si ricorda, il FMERS – *Forest Monitoring in Europe with Remote Sensing* (studio per il monitoraggio della superficie forestale europea oltre che della sua composizione attraverso l'uso di dati telerilevati) e la Carta Forestale

d'Europa in scala 1:1.000.000, rappresentante uno degli obiettivi del terzo tema di ricerca – *European forest mapping* – dell'originario progetto FIRS.

3.1.1.1.2. Lo studio EFICS

I Regolamenti UE n° 1614/89 e n° 400/92 hanno istituito l'*European Forestry Information and Communication System* (EFICS) allo scopo di fornire le informazioni e gli strumenti necessari per delineare e coordinare le politiche in campo forestale, oltre che per verificare l'applicazione delle decisioni e dei regolamenti comunitari. Le numerose convenzioni ed i vari protocolli internazionali hanno richiesto un sistema conoscitivo integrato europeo in grado di rispondere alle esigenze di standardizzazione e di controllo di qualità dell'informazione a loro fornita dai paesi firmatari.

Allo studio, coordinato dall'EFI (*European Forestry Institute*), hanno partecipato vari istituti di ricerca appartenenti ai diversi stati dell'UE, dell'EFTA (Islanda, Liechtenstein, Norvegia e Svizzera) ed ai rappresentanti dell'EUROSTAT. L'Italia, che ha assunto anche il ruolo di coordinamento per l'area mediterranea, è stata rappresentata dall'ISAF (Istituto Sperimentale per l'Assestamento e l'Alpicoltura) di Trento. Sono state delineate azioni concrete finalizzate a uniformare la qualità delle informazioni e a costituire un sistema informativo sulle foreste europee utilizzando il telerilevamento come principale mezzo tecnico a disposizione.

3.1.1.1.3. Il Programma CORINE

Nella seconda metà degli anni '80 del secolo scorso, a seguito dell'emanazione della Decisione n. 85/338/CEE, venne emanato il Programma CORINE (*Coordination of Information on the Environment*) al fine di “di raccogliere e coordinare le informazioni sullo stato dell'ambiente e delle risorse naturali della Comunità e di garantirne la coerenza”. Detto Programma è diviso in due sottoprogetti, il *CORINE Land Cover Project* e il *CORINE Biotopes Project*, riguardanti rispettivamente il rilievo delle classi di copertura del suolo e il censimento delle aree di interesse naturalistico.

Gli obiettivi del programma possono essere riassunti nei seguenti 3 punti (Commissione Europea, 1991):

- acquisire informazioni relative ad aspetti di importanza prioritaria per la conservazione dell'ambiente, utili a delineare ed attuare la politica comunitaria

- in campo ambientale e a favorire in particolare l'inserimento delle questioni ambientali nelle altre politiche;
- coordinare, indirizzare o incoraggiare iniziative di organizzazioni internazionali, governi nazionali o regioni, il cui scopo sia quello di ottenere informazioni sull'ambiente, in modo da assicurare la coerenza dei dati raccolti e quindi l'uso ottimale delle risorse umane e finanziarie;
 - sviluppare le basi metodologiche necessarie ad ottenere dati comparabili a livello comunitario.

I dati raccolti nelle aree di studio di argomenti quali inquinamento atmosferico, biotopi, erosione costiera, uso del suolo, risorse idriche, sono stati organizzati in un sistema informativo geografico divenuto permanente con l'istituzione dell'Agenzia Europea per l'Ambiente. Tale sistema informativo riguarda la base geografica (confini nazionali e comunitari, unità amministrative, corsi d'acqua, insediamenti, trasporti), le risorse naturali (biotopi, aree protette, vegetazione potenziale), il territorio (tipi di suolo, qualità delle risorse, rischio di erosione del suolo, erosione costiera, uso del suolo), l'aria (quantità di immissioni), l'acqua (localizzazione delle risorse idriche, qualità), gli aspetti socio-economici (attività, trasporti, centrali nucleari, aree designate per particolari interventi comunitari) (ISAFA 1995).

La copertura CORINE Land Cover rappresenta altresì uno strato informativo di base per lo sviluppo di applicazioni di modellistica e di analisi spaziale su base GIS (*Geographical Information System*) finalizzati alla derivazione di informazioni complesse utili a supportare le scelte politiche a livello europeo e nazionale (Maricchiolo, 2004).

Il **Progetto CORINE Land Cover** si è posto come obiettivo quello di realizzare la *CORINE Land Cover Map*, la carta di copertura del suolo europea. Questa prevede, secondo la propria terminologia 44 classi, organizzate secondo 3 livelli gerarchici. Le foreste, definite come superfici omogenee di almeno 25 ha occupate da alberi e/o arbusti, vengono inserite nella categoria *Forests and seminatural areas* che comprende le foreste vere e proprie (*Forests*), gli arbusti e/o la vegetazione erbacea (*Scrub and/or herbaceous*) e gli spazi aperti con scarsa o nulla copertura vegetale (*Open spaces with little or no vegetation*). Le superfici boscate vengono distinte poi al livello gerarchico successivo in:

– *Broadleaved Forests*, con latifoglie arboree e arbustive che coprono almeno il 75% della superficie;

– *Coniferous Forests*, con conifere arboree e arbustive che coprono almeno il 75% della superficie;

– *Mixed Forests*, se né le conifere né le latifoglie raggiungono il 75% della copertura oppure nel caso di soprassuoli complessi costituiti da un mosaico di piccoli aggregati di conifere e latifoglie in cui non sia possibile individuare soprassuoli omogenei estesi per almeno 25 ha.

Altre formazioni di interesse forestale vengono incluse in classi di copertura del suolo diverse da quelle sopra citate: la gariga, che viene classificata come *Scrub and/or herbaceous – Sclerophyllous vegetation*, le tagliate, le aree in rinnovazione, le giovani piantagioni e i boschi fortemente degradati, che vengono inclusi nella classe *Scrub and/or herbaceous – Transitional woodland-scrub*, e infine le aree percorse dal fuoco classificate come *Open spaces with little or no vegetation - Burnt areas*. (ISFA 1995).

Il **Progetto CORINE Biotopes** invece è stato il primo censimento su scala europea delle aree ad elevato interesse naturalistico. La scelta dei siti è avvenuta prendendo in considerazione i criteri stabiliti nella fase preliminare del progetto (Commissione Europea, 1991). Il **CORINE Biotopes Database** contiene i dati relativi a circa 5.600 aree individuate dal progetto come significativamente importanti per la conservazione dell'ambiente naturale in Europa. La tipologia di habitat CORINE descrive le comunità vegetali presenti sul territorio europeo e le organizza secondo uno schema di classificazione di tipo gerarchico. Da notare che non esiste una corrispondenza tra le classi di uso del suolo adottate nella *CORINE Land Cover Map* e gli habitat CORINE.

Nell'ambito delle attività seguite ai Progetti CORINE si deve menzionare, per importanza, il censimento dei siti **Natura 2000** (anche detto Progetto Natura 2000) attivato a seguito dell'emanazione della "Direttiva Habitat" 92/43/CEE, che individua i principi fondamentali della conservazione delle risorse naturali nell'Unione Europea. Sono stati individuati, secondo le procedure e la terminologia CORINE i cosiddetti SIC (siti di importanza comunitaria) inquadrati nella rete europea di aree protette denominata "Rete Natura 2000".

Un'attenzione particolare va posta infine al Progetto *Image e CORINE Land Cover* 2000 (I&CLC2000), sviluppo dei Progetti CORINE. Prevede l'acquisizione di una copertura di immagini telerilevate mediante satellite Landsat 7 ETM+ (Image2000) per l'aggiornamento della copertura CORINE Land Cover all'anno 2000 (CLC 2000) e la produzione di un database geografico dei cambiamenti di uso del suolo tra il 1990 ed il 2000 (CLC change) (Maricchiolo, 2004).

3.1.1.1.4. Le statistiche europee sulle foreste

Le statistiche forestali a livello europeo sono pubblicate annualmente dall'istituto Europeo di Statistica (EUROSTAT). I dati, diffusi dalla Sezione F1 "*Structural survey and forestry statistics*", riportano le informazioni fornite dai singoli paesi attraverso la compilazione dei questionari annuali e periodici di statistica forestale (*annual/periodical forestry statistics questionnaires*) strutturati su base FAO (stessa definizione di foresta del FRA 2000). L'aggregazione di dati, provenienti da diversi Paesi, non è sempre possibile in quanto spesso i metodi di raccolta dati e la terminologia adottata dai singoli Stati non sono comparabili tra loro. Spesso anche la tempistica di raccolta dati non è la stessa, non consentendo quindi confronti temporali corretti.

I dati presenti nelle pubblicazioni EUROSTAT riguardano essenzialmente gli aspetti produttivi della foresta. Le definizioni adottate nella classificazione delle superfici, che avviene secondo lo schema di Fig. 3.2 (Schönig, 1994), sono le seguenti (come riportato in ISAFA, 1995):

- *Actual forest area* – superficie complessivamente occupata da *stocked forest land* e *unstocked forest land*;
- *Other wooded land* – formazioni forestali che non raggiungono il 10% di densità e/o 0,5 ha, per es. arbusteti, piantagioni di alberi di Natale, margini boscati, filari;
- *Calculated area* – stima area teoricamente occupata da alberi fuori foresta (filari, alberi isolati e a piccoli gruppi);
- *Stocked forest land* – area occupata da associazioni vegetali dominate da alberi o arbusti in grado di produrre legname o altri prodotti forestali e aventi superficie minima di 0,5 ha e densità minima del 10%; comprende anche aree temporaneamente prive di vegetazione (tagliate, giovani piantagioni, aree in rinnovazione, aree incendiate ecc.);
- *Unstocked forest land* – aree non produttive ma funzionali alla produzione forestale come aree forestali, piazzali, vivai.

Fig. 3.2: schema adottato da EUROSTAT per la classificazione delle superfici (da Schönig, 1994).

TOTAL AREA	WATER				
	LAND AREA	UTILIZED AGRICULTURAL AREA			
		WOODED AREA	TOTAL WOODED AREA	FOREST AREA	STOCKED FOR-EST LAND Regularly man-aged - high forest (coniferous, broad-leaved) -coppice + stand-arts -coppice Not regularly managed
					UNSTOCKED FOREST LAND
				OTHER WOODED AREA	
			CALCULATED AREA		
OTHER AREA					

3.1.2. La situazione italiana: le informazioni sulle superfici forestali

In Italia, per un lunghissimo periodo, le uniche informazioni relative alle superfici forestali, sia in termini di estensione che di composizione, di produttività, ecc. sono state quelle fornite dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT). A partire dal 1933, infatti ogni anno è stato pubblicato, in collaborazione con il Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste ed in particolare con il contributo del Corpo forestale dello Stato che ha fornito i dati richiesti, il volumetto relativo alle "Statistiche forestali".

Va subito detto che la definizione adottata dall'ISTAT, per lungo tempo non è stata conforme alle attuali concezioni di foresta (per esempio quella FRA 2000). I dati relativi al passato sono perciò da interpretare con cautela e non sono direttamente confrontabili con quelli attuali.

In ogni modo le statistiche forestali ISTAT riportano anno dopo anno le superfici forestali e le loro provvigioni, suddivise per specie legnose e per tipi di bosco. Si è passati dai 29 i tipi originari ai 21 delle statistiche forestali attuali, così suddivisi:

– fustaie di resinose pure

- di abete bianco
- di abete rosso
- di larice
- di pini
- di altre resinose

– fustaie di resinose miste

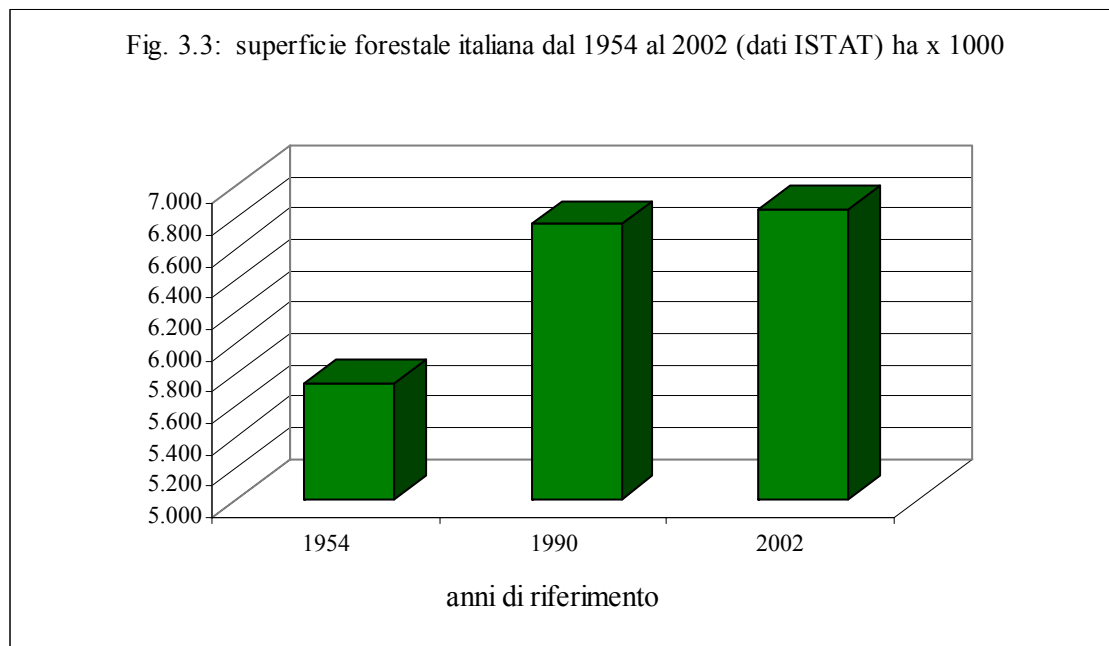
– fustaie di latifoglie pure

- di sughera
- di rovere
- di cerro
- di altre querce
- di castagno da frutto
- di castagno non da frutto

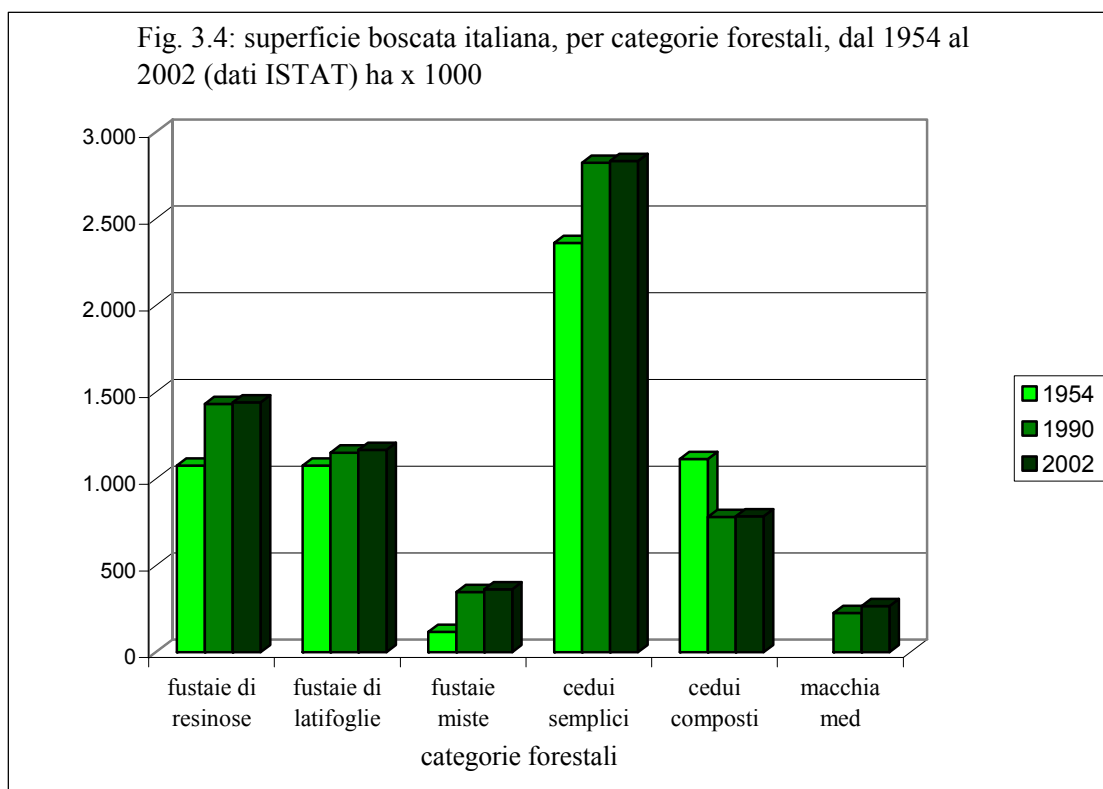
- di faggio
 - pioppeti
 - di altre latifoglie
- fustaie di latifoglie miste
 - fustaie di latifoglie e resinose consociate
 - cedui semplici
 - cedui composti puri e misti con resinose
 - macchia mediterranea

Oltre alle variazioni di superficie per rimboschimenti e disboscamenti vengono riportate annualmente le utilizzazioni e i prezzi di macchiatico del legname da lavoro e da ardere all'imposto, oltre ai dati relativi agli incendi boschivi, ai prodotti non legnosi e ai vivai forestali.

I grafici sotto riportati mostrano il cambiamento della superficie forestale negli ultimi 50 anni. L'espansione del bosco risulta evidente, passando dai 5.745.490 ha del 1954 ai 6.855.844 ha del 2002 (Fig. 3.3).



L'aumento della superficie boscata può essere meglio compreso analizzando i dati di Fig. 3.4 che suddividono l'aumento nelle varie categorie forestali. A parte la categoria dei cedui composti, mostrandone una riduzione del numero degli ettari nel tempo, tutte le altre categorie mostrano un forte aumento, in particolare la categoria delle fustaie di resinose (per lo più dovuta ai rimboschimenti) e quella dei cedui semplici.



3.1.2.1. Il primo Inventario Forestale Nazionale (IFN 1985)

Nel 1985, a cura del Corpo forestale dello Stato, che si è avvalso di un'apposita commissione consultiva e della progettazione e supervisione scientifica dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura di Trento, è stato pubblicato il primo inventario forestale italiano.

Per la prima volta si è cercato, utilizzando una metodologia scientificamente adeguata, di dare risposte in merito alle dimensioni ed alle caratteristiche della superficie forestale italiana.

In quegli anni il cambiamento della società era profondamente in atto e la foresta cominciava ad essere vista al di là del semplice serbatoio di legname utile per fini produttivi e protettivi. Indagini sempre più puntuali sulle formazioni forestali erano richieste non solo a livello nazionale ma anche comunitario (vedi l'indagine sul deperimento delle foreste, INDEFO) e sempre di più la necessità di strumenti adeguati per rispondere a tali esigenze rafforzava, nella comunità scientifica e politica, la volontà di dotarsi di un inventario nazionale forestale moderno ed efficiente.

Il progetto fu impostato sul criterio statistico del campionamento sistematico in unica fase. I punti di campionamento furono sovrapposti con cadenza trichilometrica ai punti nodali del reticolato (UTM) dell'Istituto Geografico Militare. Ogni punto di campionamento era quindi rappresentativo di un'area di 900 ha. Fu così stesa su tutto il territorio nazionale una rete ideale a maglia quadrata, con lato di 3 km. Nel caso in cui i vertici di tale maglia coincidevano con una superficie forestale questi venivano materializzati sul terreno con appositi picchetti metallici nell'intorno dei quali (600 m²) si procedeva alle misurazioni previste.

La definizione di superficie forestale utilizzata, nuova rispetto ai parametri fino ad allora presi in considerazione per lo studio dei boschi, intendeva l'insieme delle aree rispondenti ad una o più delle caratteristiche sotto riportate (IFN, 1988):

- aree destinate a fornire produzioni legnose o non legnose correntemente considerate di tipo forestale;
- aree ospitanti formazioni arboree od arbustive ricoprenti un ruolo di protezione diretta o indiretta delle attività umane contro gli eventi meteorici o fisici e le loro conseguenze;

- aree ospitanti formazioni arboree o arbustive spontanee la cui conservazione risponde ad esigenze di ordine naturalistico, paesaggistico, ricreativo.

Tali superfici rientravano nelle formazioni forestali anche se fossero risultate temporaneamente prive di soprassuolo a causa di utilizzazioni o di eventi accidentali.

Non sono state incluse invece le formazioni arboree od arbustive, anche di specie forestali, vegetanti nell'ambito di parchi, giardini, orti botanici, ed in generale in ogni situazione nella quale la formazione arborea avesse esclusive finalità estetiche o comunque diverse da quella forestale (IFN, 1988).

Per avere rilevanza inventariale una superficie boscata doveva essere estesa almeno 2.000 m², larga più di 20 m e doveva ospitare un soprassuolo che avrebbe dato origine ad una copertura almeno pari al 20%.

Solo i punti bosco, ammontanti a 9.639 a fronte dei 33.444 punti inventariali, sono stati descritti ai fini del loro inquadramento nelle diverse tipologie previste (Tab. 3.2) e solo per essi sono stati effettuati i necessari rilievi. L'errore standard riferito alla superficie forestale totale è stato dell'ordine dello 0,9%, aumentante all'1,5% se riferito alla superficie dei boschi cedui ed al 2% se riferito alla superficie totale delle fustaie.

Rispetto ai precedenti dati sulle foreste italiane (gli unici dati allora disponibili erano quelli ISTAT) i parametri presi in considerazione per individuare le aree forestali sono stati individuati diversamente; infatti secondo l'ISTAT le superfici, per ricadere nel comparto foreste, dovevano avere un grado di copertura a maturità, del 50%, dato che scende al 20% nelle indicazioni CEE e dell'IFN. Inoltre secondo l'ISTAT le aree interessate da arbusteti, macchie, boscaglie in stazioni particolari, ecc., non fanno parte della superficie forestale, mentre secondo le indicazioni CEE, riprese dall'IFN queste vanno a far parte pienamente di detto comparto. Va anche detto però che rispetto alle indicazioni CEE sono state considerate forestali le aree boscate superiori 0,2 ha, mentre la prescrizione comunitaria indicava 0,5 ha. Questo per via della notevole frammentazione delle superfici forestali del nostro Paese e la sua peculiare struttura del paesaggio. Inoltre è stato introdotto il limite dei 20 m, non prescritto dalla CEE così come non è stata considerata l'indicazione comunitaria di inserire nelle aree boschive le aree arborate di superficie e/o con copertura inferiori alle soglie minime previste per la loro aggregazione alla categoria delle "foreste dense" (0,5 ha, 20%) (IFN, 1988).

Tab. 3.2: tipologia prevista dall'INF 1985 (IFN, 1987).

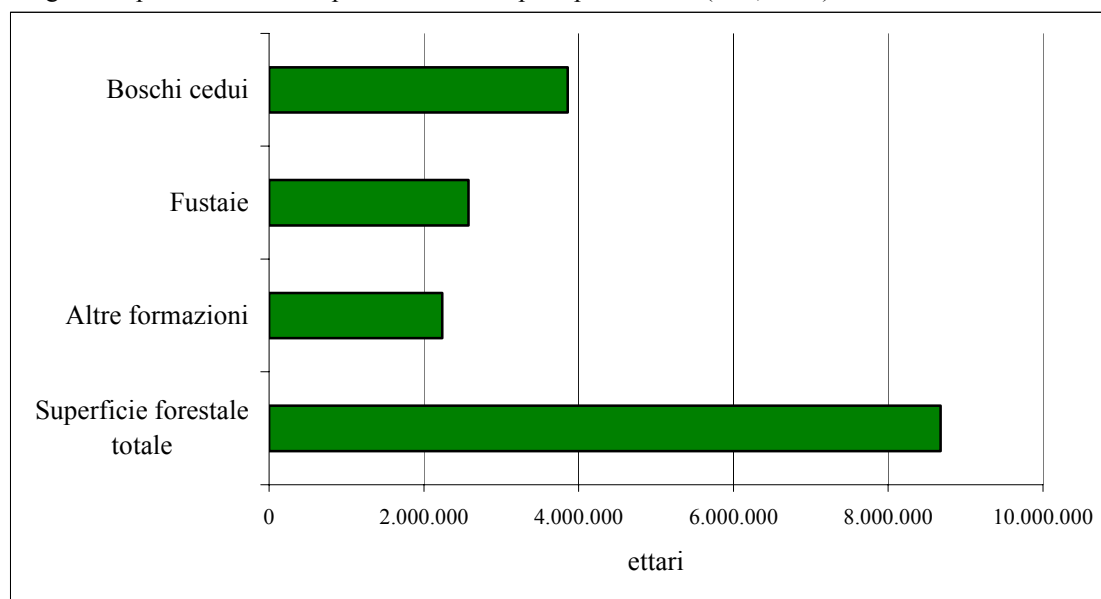
Categoria inventariale	Tipo inventariale	Sottotipo inventariale
FUSTAIE	Fustaie coetanee	<i>novelleti</i> <i>spessine</i> <i>perticaie</i> <i>fustaie adulte</i> <i>fustaie mature – stramature</i> <i>fustaie biplane</i>
	Fustaie disetanee	<i>per piede d'albero</i> <i>a gruppi</i>
	Fustaie articolate	
	Fustaie irregolari	
	Fustaie transitorie	
CEDUI	Cedui senza matricine	<i>a sterzo</i> <i>semplici</i>
	Cedui matricinati	<i>a latifoglie</i> <i>a conifere</i> <i>a matricinatura mista</i>
	Cedui composti	<i>a latifoglie</i> <i>a conifere</i> <i>a matricinatura mista</i>
POPOLAMENTI A PRODUZIONE SPECIALE	Popolamenti specializzati a produzione legnosa	
	Popolamenti specializzati a produzione forestale prevalentemente non legnosa	
FORMAZIONI FORESTALI PARTICOLARI	Formazioni rupestri	<i>a prevalenza di alberi</i> <i>a prevalenza di arbusti</i> <i>composite</i>
	Formazioni riparie	<i>a prevalenza di alberi</i> <i>a prevalenza di arbusti</i> <i>composite</i>
	Arbusteti	<i>stabili</i> <i>in evoluzione</i>
SUPERFICI FORESTALI TEMPORANEAMENTE PRIVE DI SOPRASSUOLO	Per utilizzazione	
	Per cause accidentali	
SUPERFICI INCLUSE IN SUPERFICI FORESTALI	Permanentemente non produttive per natura o destinazione	
	Attualmente non produttive	

L'inventario (IFN, 1987) ci ha fornito le seguenti principali informazioni: la superficie occupata dalle foreste italiane secondo il primo inventario forestale nazionale (INFI) è risultata essere di 8.675.100 ha (Tab.3.3 e Fig. 3.5), con una prevalenza di boschi cedui (3.858.300 ha) sulle fustaie (2.577.600 ha). La novità presentata è stata quella delle altre formazioni forestali, per la prima volta rappresentate e fuori, fino ad allora dai rilevamenti ISTAT.

Tab. 3.3: superficie forestale nazionale (IFN, 1987).

Descrizione	superficie ha INFI	<i>Sup. ha</i> <i>ISTAT</i>	massa legnosa m ³	m ³ ha ⁻¹
Boschi cedui	3.858.300	3.613.812	337.859.684	88
Fustaie	2.577.600	2.789.296	419.610.101	163
Altre formazioni (arbusti, macchia mediterranea, riparie, rupestri)	2.239.200			
Superficie forestale totale	8.675.100	6.403.108		

Fig. 3.5: ripartizione della superficie forestale per tipo di bosco (IFN, 1985).



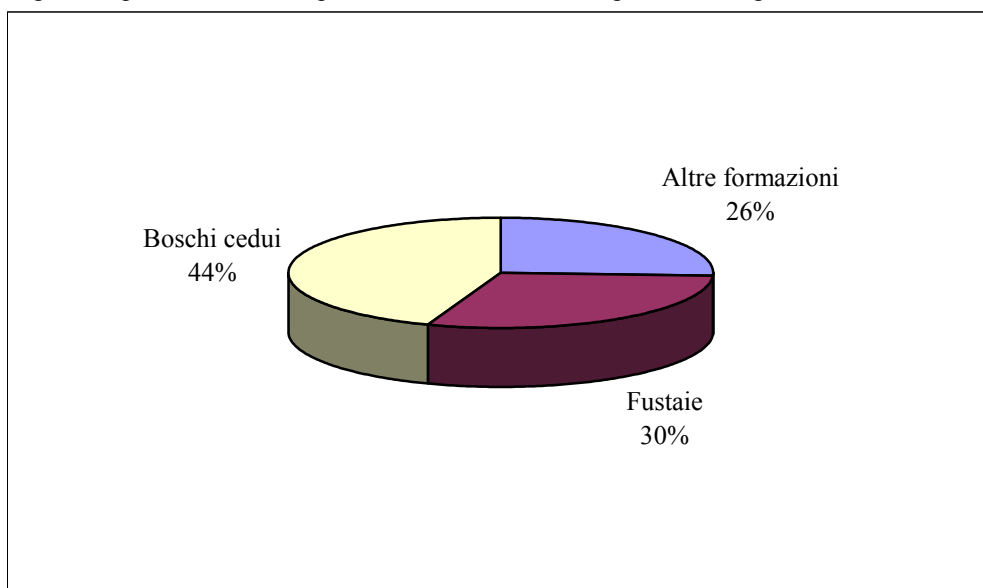
La ripartizione della superficie forestale secondo la composizione presenta la gran parte dei boschi italiani appartenenti, per i quattro quinti, alla categoria dei boschi di latifoglie, mentre l'ulteriore quinto viene diviso tra boschi di latifoglie e boschi misti (Tab. 3.4)

Tab. 3.4: ripartizione della superficie forestale secondo la composizione.

Tipologia	Dato IFN	Dato ISTAT
Conifere	16%	21%
Latifoglie	80%	74%
Misti	4%	5%

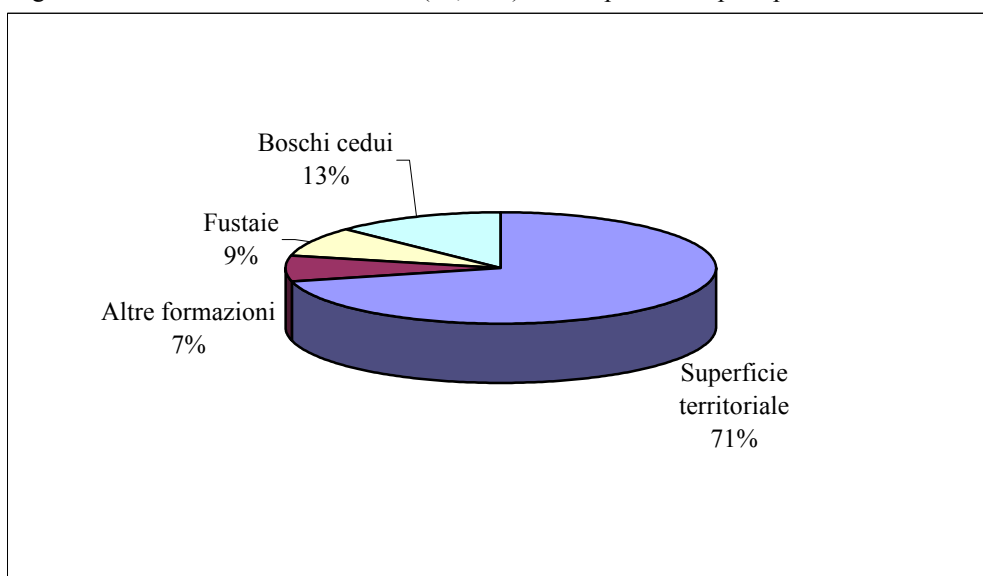
La ripartizione della superficie forestale nazionale per forma di governo (Figg. 3.6 e 3.7) mostra come la maggioranza dei boschi italiani sia suddivisa tra boschi cedui e altre formazioni boschive, cosa che fece affermare la nota frase dell'allora Direttore Generale del Corpo forestale dello Stato, Alessandrini, "l'Italia è un paese ricco di boschi poveri".

Fig. 3.6: ripartizione della superficie forestale nazionale per forma di governo.



La conifera più diffusa è risultata essere l'abete rosso, mentre il faggio è la latifolia più diffusa.

Fig. 3.7: indice di boscosità nazionale (28,80%) e sua ripartizione per tipo di bosco.



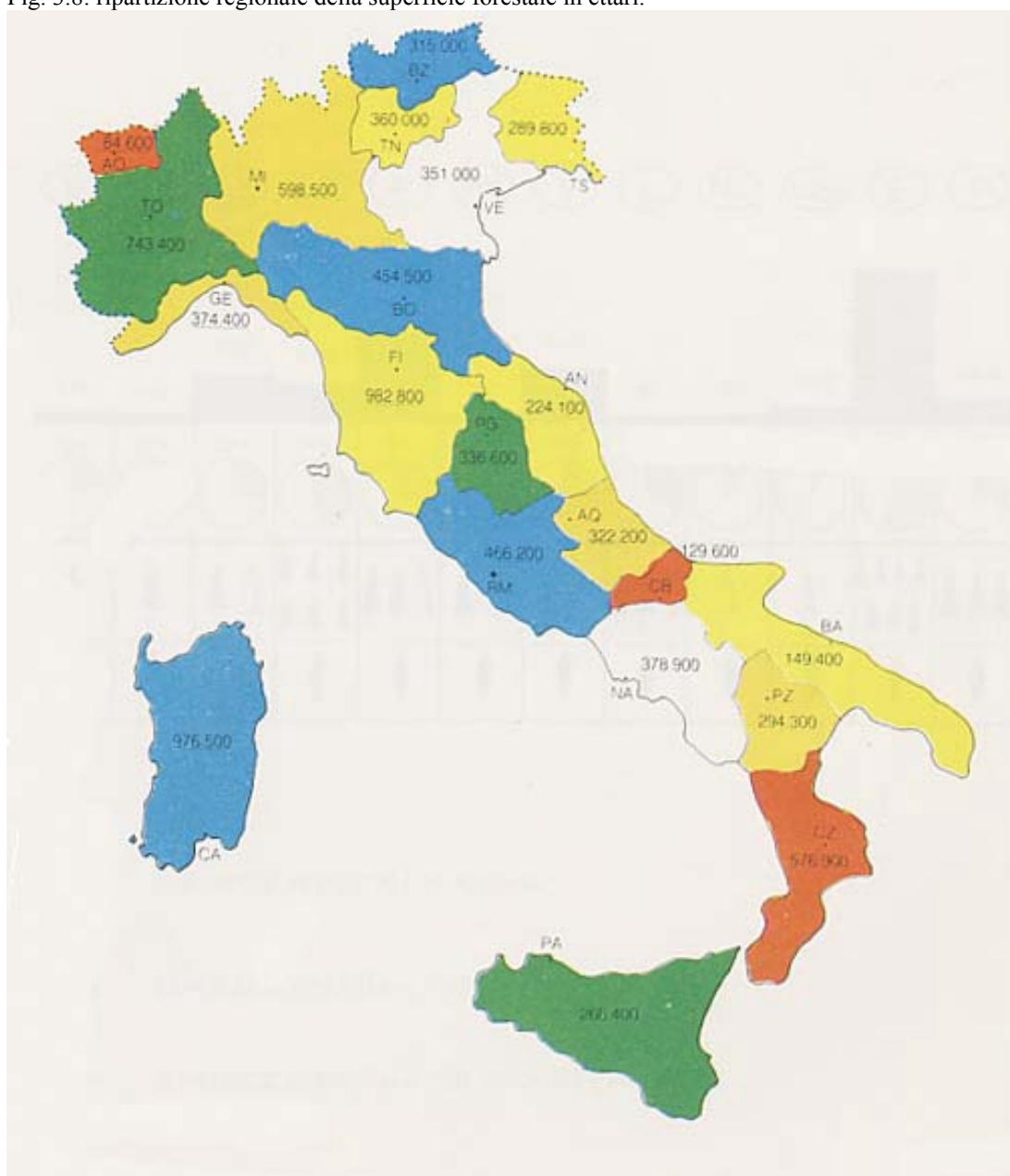
L'IFN del 1985 ci ha proposto quindi uno scenario forestale nuovo, che non smentisce i dati ISTAT allora presenti (6.403.108 ha di fustaie e cedui) ma li integra con i 2.239.200 ha delle formazioni forestali minori.

Le differenze nelle definizioni e il fatto che le statistiche forestali nazionali si basavano solo sulla registrazione delle variazioni relative alla superficie forestale, raccolte attraverso questionari, senza prevedere rilievi di tipo inventariale, giustificano la notevole discordanza dei dati ISTAT/IFN '85.

I dati esposti sono soltanto una parte, seppure la più significativa, dell'insieme di informazioni fornitoci dall'Inventario; nel volume "IFN 1985 - Risultati e sintesi metodologica" (Trento, 1988) è riportato il complesso dei dati.

Dalla loro lettura si evince chiaramente che nei boschi italiani il tasso di incremento era in quel periodo abbastanza elevato. Dall'analisi dei dati emersi infatti si è potuto notare come le superfici forestali italiane fossero soggette ad un invecchiamento sensibile oltre che ad un consistente accumulo di massa. Il tasso di utilizzazione si aggirava intorno a $1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ di legno a fronte di un incremento di oltre $3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$.

Fig. 3.8: ripartizione regionale della superficie forestale in ettari.



3.1.2.2. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC)

Il nuovo Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC), ha lo scopo di rispondere alle più moderne esigenze della società italiana riguardo alle tematiche ambientali. Gli obiettivi che si pone sono i seguenti (ISAFA 2005):

- creare un nuovo sistema nazionale di statistiche forestali, maggiormente integrato in quello europeo;
- impostare il sistema italiano di monitoraggio dei boschi e di vari altri ambienti naturali, per adempiere agli accordi del Protocollo di Kyoto riguardanti il contenimento dei gas ad effetto serra;
- più in generale rafforzare le azioni italiane finalizzate a rispettare le grandi convenzioni quadro che difendono la biodiversità e contrastano la desertificazione.

Il compito di progettare ed attuare il nuovo Inventario è stato affidato dal Ministero delle Politiche e Forestali (Decreto del Ministro del 13 dicembre 2001) al Corpo forestale dello Stato che si avvale della consulenza tecnica dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento e per l'Alpicoltura (ISAFA) di Trento.

A differenza che in passato, il nuovo inventario ha tra i suoi scopi principali, non solo la mera acquisizione di dati riferiti alla produzione del bosco (descrizione della stazione, massa legnosa, assortimenti commerciali ritraibili, ritmi di accrescimento degli alberi), ma prende in considerazione anche tutta una nuova serie di parametri quali, lo stato fitosanitario del bosco, la sua importanza dal punto di vista naturalistico, l'aspetto di ambiente di protezione e di sviluppo della fauna selvatica, la funzione turistico-ricreativa e ultima, ma non per importanza, la funzione di assorbimento e immagazzinamento del carbonio atmosferico, argomento d'importanza determinante nel tema più generale dei cambiamenti climatici (Corona, 2000).

Lo schema di campionamento adottato per la realizzazione dell'INFC è stato quello denominato “*campionamento triplo per la stratificazione*”, derivante dallo schema molto noto e frequentemente impiegato del “*campionamento doppio per la stratificazione*” (De Vries, 1986, Schreuder, 1993) e secondo lo “*schema di*

campionamento sistematico non allineato” (Gallego, 1995). L’aggettivo “triplo” prevede una struttura a tre fasi come riportato nella tabella seguente (Tab. 3.5).

Tab. 3.5: struttura del nuovo INFC (da ISAFA, 2005).

Fase 1	Fase 2	Fase 3
selezione su immagini telerilevate di un insieme di unità di campionamento con le quali operare una prima ripartizione delle diverse modalità di uso del suolo. L’assegnazione all’uso forestale è provvisoria, poiché basata solo su alcuni degli elementi necessari all’individuazione delle aree boscate (estensione, copertura e larghezze minime; a questo livello sono riconosciute classi e sottoclassi di uso del suolo quali ad esempio per il contesto forestale, le <i>Formazioni forestali</i>, le <i>Formazioni forestali rade</i>, le <i>Aree temporaneamente prive di soprassuolo</i>, le <i>Piantagioni di arboricoltura da legno</i>.	selezione di un sottoinsieme, numericamente più contenuto, a partire esclusivamente da quella frazione delle unità campionarie precedentemente e temporaneamente assegnate al contesto forestale. Le unità di campionamento sono rilevate al suolo e l’appartenenza alle diverse categorie dapprima inventariali (<i>Boschi</i>, <i>Boschi bassi</i>, <i>Boscaglie</i>, <i>Boschi radi</i>, <i>Arbusteti</i>) e poi forestali (ad esempio, per i <i>Boschi</i>, faggete, Querceti a rovere, roverella, farnia, Castagneti, Pinete mediterranee, <i>Boschi igrofili</i>, ecc.) viene riconosciuta e assegnata con grande accuratezza.	selezione di un terzo insieme campionario composto da una frazione di unità di campionamento di seconda fase definitivamente assegnate all’area forestale e distribuito in modo proporzionale all’estensione delle ripartizioni (strati) previste per tale uso del suolo, con cui osservare gli attributi quantitativi e qualitativi di più stretto interesse forestale.

La definizione adottata differisce rispetto a quella del primo inventario forestale nazionale (IFN, 1985). Infatti, la nuova definizione risulta più estesa riguardo al criterio

della copertura che passa dal 20 al 10% e più restrittiva in relazione alla superficie minima (da 2.000 a 5.000 m²). Ciò è dovuto sostanzialmente per adeguare il sistema italiano ai parametri in uso a livello internazionale ed in particolare a quelli FRA2000.

La progettazione dell'INFC ha adottato un criterio geodetico mediante la costruzione di un reticolo di distribuzione dei punti di sondaggio appoggiato ai meridiani e paralleli geografici, le cui maglie evidenziano una localizzazione più accurata in ogni parte del piano esplorato e rappresentano ciascuna rigorosamente una quantità costante di superficie territoriale, pari, nel nostro caso, ad 1 km², pur avendo forma leggermente diversa al variare della latitudine e longitudine (INFC, 2003e). All'interno di ogni maglia è stato poi individuato, mediante estrazione casuale, un punto di sondaggio.

I punti selezionati per la prima fase sono stati 301.000 ricoprenti tutto il territorio nazionale, 1 ogni 100 ha di territorio, (1 ogni km²), sufficienti per rappresentare in modo congruo il territorio anche a livello regionale tenendo l'incertezza campionaria su valori pienamente accettabili (0,2% a livello nazionale e meno del 3% per le regioni più piccole e con minore superficie forestale).

Per quello che riguarda la seconda fase i punti, circa 30.000, sono stati scelti tra quelli assegnati nella prima fase al contesto forestale (identificati su ortofoto digitali), rispettando la proporzionalità nell'ambito della stratificazione territoriale. Le unità di campionamento sono rilevate al suolo: viene determinata in prima battuta l'appartenenza alla categoria inventariale (Boschi, Boschi bassi, Boscaglie, Boschi radi, Arbusteti), e successivamente, in seconda battuta alla categoria forestale (Faggete, Querceti a rovere, roverella, farnia, Castagneti, Pinete mediterranee, Boschi igrofilo, ecc.).



Fig. 3.9: schema del nuovo INFC (Tabacchi, 2005).

La terza ed ultima fase, ancora in atto nel momento in cui si scrive, sarà costituita da un ulteriore sottocampione di 5.000-10.000 aree di saggio complessive su cui osservare gli attributi quantitativi e qualitativi di più stretto interesse forestale.

3.1.2.2.1. La classificazione delle unità di campionamento

Il nuovo INFC utilizza un sistema di classificazione strutturato su tre livelli:

- classi e sottoclassi di uso del suolo
- categorie inventariali
- categorie forestali (composizione specifica e fitocenosi)

La definizione di bosco adottata è stata quella della FAO per il Forest Resources Assessment dell'anno 2000 (FRA2000), mentre per la classificazione dell'uso del suolo si è fatto riferimento al sistema di classificazione europeo CORINE Land Cover (Commissione Europea, 1993).

Tab. 3.6: sistema di classificazione INFC in versione semplificata (INFC 2005).

COD	CLASSI DI USO DEL SUOLO Prima fase	COD	CATEGORIE INVENTARIALI Seconda fase	COD	CATEGORIE FORESTALI Seconda fase	SOTTOCATEGO RIE FORESTALI
1 1.1 1.2	Superfici artificiali Parchi urbani Altre superfici artificiali	-	-	-	-	-
2 2.1 2.2	Superfici agricole Impianti di arboricoltura da legno Altre superfici agricole	IA	Impianti di arboricoltura	18 19 21	Pioppeti artificiali Piantagioni di altre lat. Piantagioni di conifere	-
3 3.1 3.1.a 3.1.b 3.1.c 3.2 3.3	Superfici boscate e ambienti seminat. Aree boscate Formazioni forestali Formazioni forestali rade Aree temp. Prive di soprassuolo Praterie, pascoli e incolti Aree con vegetazione rada o assente	BA BB BS BR AR AT	Boschi Boschi bassi Boscaglie Boschi radi Arbusteti Aree temp. Prive di soprass.	01 02 03 ... 21 ... 24 25	Boschi di larice-cembra Boschi di abete rosso Boschi di abete bianco ... Arbusteti subalpini ... ATPS per cause antrop. ATPS per calamità nat.	011 012 013 014 Larici-cembra Lariceto in fust. C. Larici isol. In brug. Altre form. Di ...
4	Zone umide	-	-	-	-	-
5	Acque	-	-	-	-	-

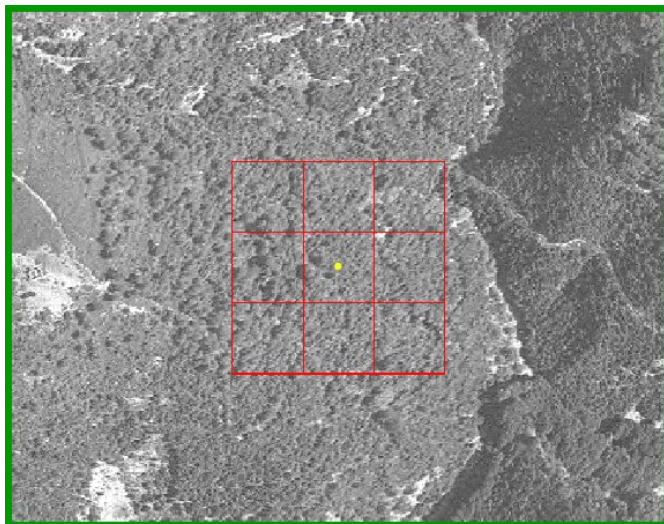
Le principali 5 classi di uso del suolo (1=Superfici artificiali, 2=Superfici agricole, 3=Superfici boscate ed ambienti seminaturali, 4=Zone Umide e 5=Acque) (Tab. 3.7), sono analoghe a quelle del sistema CORINE (con l'eccezione dei castagneti da frutto inclusi nella classe 3). Man mano che si scende nel dettaglio della classificazione ci si allontana dal sistema CORINE per meglio adattarsi al sistema di classificazione FAO.

Tab. 3.7: classi di uso del suolo secondo la nomenclatura utilizzata per il nuovo Inventario Forestale Nazionale (INFC, 2003).

<i>Classe</i>	<i>Definizione</i>
Superfici agricole	superfici destinate all'uso agricolo. Fanno parte delle superfici agricole: seminativi, asciutti e irrigui, vivai non forestali, colture orticole in pieno campo, in serra o in tunnel di plastica, vigneti, oliveti e tutti gli impianti di specie arboree o arbustive da frutto, (compresi i nocciuoli regolarmente coltivati), i prati polifiti permanenti.
Superfici artificiali	centri urbani e tutte le zone recentemente urbanizzate come i "tessuti urbani" continui e discontinui a diversa densità insediativa, inclusi i nuclei abitativi sparsi (borgate, agglomerati rurali) purché raggiungano la superficie minima di 0,5 ha. Vi rientrano altresì gli insediamenti industriali, artigianali, commerciali, i grandi impianti di servizi pubblici e privati con le loro pertinenze e spazi annessi, le reti, le aree infrastrutturali stradali, le strade e le ferrovie, purché più larghe di 20 m.
Superfici forestali bosco	tutti i popolamenti di alberi o di arbusti che presentino contemporaneamente i seguenti tre requisiti: superficie maggiore di 5.000m ² , un grado di copertura maggiore del 10%, superficie di larghezza maggiore di 20 m.
Superfici forestali rade	superficie maggiore di 5.000m ² , un grado di copertura compreso tra il 5 ed il 10%, superficie di larghezza maggiore di 20 m.
Superfici forestali prati pascoli incolti	aree a pascolo naturale, le praterie di alta quota, le aree incolte e comunque tutte le formazioni vegetali occupate da vegetazione erbacea spontanea (con copertura superiore al 40%).
Altro	superfici con vegetazione rada o assente, acque, ecc.

I 301.000 punti del campione di prima fase (vedi Fig. 3.10) sono stati classificati mediante la loro individuazione e la loro interpretazione sulle ortofoto digitali in bianco e nero, riferite al periodo 2002-2003, del Sistema Informativo della Montagna (SIM) del Corpo forestale dello Stato. Per le modalità di classificazione si rimanda al "Manuale di fotointerpretazione per la classificazione delle unità di campionamento di prima fase. Inventario nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio". (INFC, 2003b).

Fig. 3.10: esempio di punto INFC classificato come superficie forestale, come appare sull'ortofoto utilizzata per la fotointerpretazione di prima fase; sono visibili l'intorno di analisi e la griglia di punti per la valutazione del grado di copertura (INFC, 2003b).



Tutto il lavoro di fotointerpretazione è stato sottoposto ad un costante controllo di qualità, secondo la procedura standard definita preliminarmente. (INFC, 2003c).

L'individuazione delle categorie inventariali è stata svolta nella seconda fase del progetto, quella realizzata a terra, dalle squadre di rilevamento. Il primo parametro preso in considerazione è stato l'altezza delle formazioni forestali, non rilevabile dall'interpretazione ortofotografica e indispensabile per l'attribuzione alle categorie FRA2000 e per l'utilizzo di dette categorie ai fini dell'applicazione del protocollo di Kyoto. Sono state individuate le sette categorie sotto riportate:

- **boschi**: copertura delle specie arboree maggiore del 10% e con altezza potenziale *in situ* maggiore di 5 m;
- **boschi bassi**: copertura delle specie arboree maggiore del 10% e con altezza potenziale *in situ* compresa tra 2 e 5 m;
- **boscaglie**: copertura delle specie arboree maggiore del 10% e con altezza potenziale *in situ* inferiore ai 2 m;
- **boschi radi**: copertura delle specie arboree compresa tra il 5 ed il 10% e con altezza potenziale *in situ* maggiore di 5 m;
- **arbusteti**: costituiti da specie arbustive e con copertura di almeno il 10%. Gli alberi, se presenti, non superano il 5% di copertura;
- **impianti di arboricoltura**;
- **aree temporaneamente prive di soprassuolo.**

Una volta determinata la categoria forestale si procede all'individuazione della classificazione del tipo di vegetazione, procedendo all'osservazione su un'area di 2.000 m quadrati intorno al punto di campionamento. Nelle Tabb. 3.8, 3.9, 3.10 e 3.11, si elencano le categorie e le sottocategorie forestali. Per maggiori informazioni sui metodi di classificazione si rimanda alla "Guida della vegetazione forestale" (INFC, 2003a).

Durante la seconda fase verranno inoltre determinati numerosi parametri di carattere stazionale, ecologico, relativi alla viabilità, ecc., che consentiranno di impiegare il nuovo inventario ai fini di numerose tematiche di ricerca e di impiego tecnico. Questo grazie alla concezione di *Multipurpose Resources Inventory* (MRI, Lund, 1998) adottata, che consente di soddisfare esigenze informative ampie e diversificate rispondenti alle moderne esigenze della società, richiedente non solo informazioni relative le conoscenze della risorsa legno, ma, più ampiamente, quelle riguardanti l'intero ecosistema ed il suo funzionamento.

La terza ed ultima fase del nuovo INFC (in svolgimento al momento della stesura di questa tesi) porterà alla conoscenza, a livello di dettaglio, dei caratteri delle fitocenosi, in particolar modo a livello dendrometrico. Dati relativi alle fitomasse, al contenuto in carbonio nel legname e nel suolo, alla presenza ed al tipo di necromassa, sono, tra gli altri, le informazioni che verranno determinate.

Va detto che in tutte le fasi di realizzazione dell'INFC si è posto grande rilievo alla tecnologia impiegata: l'uso di moderni personal computer, di cartografia digitale, di programmi GIS di ultima generazione (per la prima fase), di sistemi GPS, di computer palmari, di fotografia digitale, di invio e stoccaggio dei dati rilevati in tempo reale mediante Internet (seconda fase), le indagini scientifiche relative alla terza fase, sono esempi di come si sia affrontato il lavoro con la più moderna tecnologia disponibile.

Facendo il confronto con il precedente inventario nazionale (IFN, 1985), per rispondere agli standard internazionali, è cambiato il sistema di classificazione, le definizioni di classe di uso del suolo (vedi ad esempio la definizione di bosco che è stata estesa e l'ampliamento del dominio inventariale alle "altre terre boscate", quali boschi bassi, boschi radi, boscaglie, arbusteti). Inoltre, la ampia numerosità del campione e la moltitudine dei parametri indagati nella seconda e terza fase,

forniscono un panorama della situazione forestale completo e rispondente alle esigenze di carattere nazionale ed internazionale.

Tab. 3.8: categorie e sottocategorie forestali INFC della categoria inventariale boschi, boschi bassi, boscaglie e boschi radi.

Gruppo	Categoria forestale	Sottocategoria forestale
CONIFERE	Boschi di larice e di cembro	<i>larici-cembreto</i> <i>lariceto in fustaia chiusa</i> <i>larici isolati nella brughiera subalpina</i> <i>altre formazioni di larice e cembro</i>
CONIFERE	Boschi di abete rosso	<i>pecceta subalpina</i> <i>pecceta montana</i> <i>altre formazioni con prevalenza di peccio</i>
CONIFERE	Boschi di abete bianco	<i>abetina e abeti-faggeta a Vaccinium e majanthemum</i> <i>abetina a Cardamine</i> <i>abetina a Campanula</i> <i>altre formazioni di abete bianco</i>
CONIFERE	Pinete di pino silvestre e pino montano	<i>pineta (pino silvestre) a erica</i> <i>pineta (pino silvestre) a carice o astragali</i> <i>pineta (pino silvestre) a farnia e molina</i> <i>pineta (pino silvestre) a roverella e citiso a foglie s.</i> <i>pineta di pino montano</i> <i>altre formazioni a pino silvestre e pino montano</i>
CONIFERE	Pinete di pino nero, pino laricio e pino loricato	<i>pinete a pino nero a erica e orniello</i> <i>pineta a pino nero a citiso e ginestra</i> <i>pineta a pino laricio</i> <i>pineta a pino loricato</i> <i>altre formazioni a pino nero e pino laricio</i>
CONIFERE	Pinete di pini mediterranei	<i>pinete a pino marittimo</i> <i>pinete a pino domestico</i> <i>pinete a pino d'Aleppo</i>
CONIFERE	Altri boschi di conifere puri o misti	<i>formazioni a cipresso</i> <i>altre formazioni a conifere</i>
LATIFOGIE CADUCIFOGIE	Boschi di rovere, roverella e farnia	<i>boschi di rovere</i> <i>boschi di roverella</i> <i>boschi di farnia</i>
LATIFOGIE CADUCIFOGIE	Boschi di cerro, farnetto, fragno, vallonea	<i>cerrete di pianura</i> <i>cerrete collinari e montane</i> <i>boschi di farnetto</i> <i>boschi di fragno e nuclei di vallonea</i> <i>altre formazioni di cerro farnetto, fragno e vallonea</i>
LATIFOGIE CADUCIFOGIE	Castagneti	<i>castagneti da legno</i> <i>castagneti da frutto, selve castanili</i>
LATIFOGIE CADUCIFOGIE	Ostietti, Carpineti	<i>boschi di carpino nero e orniello</i> <i>boscaglia a carpino orientale</i> <i>boschi di carpino bianco</i>
LATIFOGIE CADUCIFOGIE	Boschi igrofili	<i>boschi a frassino ossifillo e olmo</i> <i>boschi a ontano bianco</i> <i>boschi a ontano nero</i> <i>pioppeti naturali</i> <i>saliceti ripariali</i> <i>plataneto</i> <i>altre formazioni forestali in ambienti umidi</i>

LATIFOGIE CADUCIFOGIE	Altri boschi caducifogli	<i>acero-tilieti di monte e boschi di frassino, ecc. acereti appenninici boschi di ontano napoletano boscaglie di Cercis betuleti, boschi montani pionieri robinieti e ailanteti altre formazioni caducifoglie</i>
LATIFOGIE SEMPREVERDI	Leccete	<i>lecceta termofila costiera bosco misto di leccio e orniello lecceta rupicola boscaglia di leccio</i>
LATIFOGIE SEMPREVERDI	Sugherete	<i>sugherete mediterranee pascolo arborato a sughera</i>
LATIFOGIE SEMPREVERDI	Altri boschi di latifoglie sempreverdi	<i>boscaglie termomediterranee boschi sempreverdi di ambienti umidi</i>

Tab. 3.9: categorie e sottocategorie forestali INFC della categoria inventariale degli impianti di arboricoltura.

Categoria forestale	Sottocategoria forestale
Pioppeti artificiali	<i>pioppeti artificiali</i>
Piantagioni di altre latifoglie	<i>piantagioni di latifoglie piantagioni di eucalipti</i>
Piantagioni di conifere	<i>piantagioni di conifere indigene Pseudotsuga menziesii Pinus radiata altre piantagioni di conifere esotiche</i>

Tab. 3.10: categorie e sottocategorie forestali INFC della categoria inventariale degli arbusteti.

Categoria forestale	Sottocategoria forestale
Arbusteti alpini	<i>mughete altri arbusteti subalpini di aghifoglie brughiera subalpina formazioni ad ontano verde saliceti alpini</i>
Arbusteti di clima temperato	<i>pruneti e corileti altri arbusteti di clima temperato arbusteti a ginestra arbusteti a ginestra dell'Etna arbusteti a ginepro</i>
Macchia, arbusteti mediterranei	<i>formazioni a ginepri sul litorale macchia a lentisco macchia litorale cisteti altri arbusteti sempreverdi</i>

Tab. 3.11: categorie e sottocategorie forestali INFC della categoria inventariale delle aree temporaneamente prive di soprassuolo.

Categoria forestale	Sottocategoria forestale
ATPS per cause antropiche (utilizzazioni)	<i>in tutti i casi in cui è evidente un intervento di taglio con o senza rilascio di superstiti (purché la copertura di questi ultimi non superi il 10%)</i>
ATPS per calamità naturali o cause accidentali	<i>laddove è riconoscibile che un intervento accidentale (incendio, vento, esondazione, ecc) ha eliminato il soprassuolo, senza pregiudicare la capacità della stazione di tornare ad ospitare, in un tempo ragionevole, un soprassuolo simile al precedente</i>

I risultati del nuovo INFC non sono stati ancora pubblicati in quanto parte del progetto è ancora in corso. Vengono di seguito però riportati, al fine di avere un'idea di massima del risultato finale della superficie forestale italiana (Tab. 3.12), i dati relativi alla prima fase del progetto inventariale (INFC, 2004). Va tenuto presente che questo dato è soltanto relativo alla prima fase, quella ottenuta dalla fotointerpretazione della cartografia digitale AGEA (scala 1:10.000). Detto dato verrà controllato, corretto e validato alla fine della seconda fase del progetto.

Tab. 3.12: Corpo forestale dello Stato - Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio - dati di I Fase (N.B.: i dati sono provvisori, le stime definitive saranno disponibili al termine della II fase).

	Bosco + Altre terre boscate (ha)	Impianti di Arboricoltura da legno (ha)	Superficie forestale totale (ha)	Praterie pascoli e incolti (ha)	Aree con vegetazione rada o assente (ha)	Altri usi del suolo (ha)	Totale (ha)
Piemonte	911.659	44.203	955.862	226.215	192.112	1.167.975	2.542.164
Valle d'Aosta	104.707	100	104.807	66.404	124.608	29.302	325.121
Lombardia	641.841	33.002	674.844	161.410	130.408	1.421.192	2.387.854
Trentino	400.326	0	400.326	49.803	61.004	110.907	622.040
Alto Adige	343.622	0	343.622	95.906	141.409	157.510	738.448
Veneto	428.028	7.600	435.628	78.905	41.803	1.283.783	1.840.119
Friuli Ven. Giulia	340.822	9.201	350.023	41.003	23.902	368.924	783.851
Liguria	390.925	100	391.025	36.702	1.800	108.607	538.135
Emilia Romagna	616.340	16.801	633.141	65.304	12.001	1.503.997	2.214.443
Toscana	1.175.776	8.401	1.184.176	53.503	6.800	1.053.968	2.298.448
Umbria	381.225	4.300	385.525	27.202	1.100	430.428	844.254
Marche	310.420	400	310.820	55.504	7.000	598.339	971.663
Lazio	621.140	2.100	623.240	110.307	6.400	980.263	1.720.211
Abruzzo	450.429	1.900	452.329	150.410	16.401	461.930	1.081.070
Molise	144.509	800	145.309	36.402	2.600	258.717	443.029
Campania	486.131	1.300	487.431	66.304	7.100	800.452	1.361.288
Puglia	190.012	0	190.012	104.107	2.300	1.636.706	1.933.125
Basilicata	362.123	3.200	365.324	50.603	11.601	571.437	998.964
Calabria	630.041	900	630.941	111.907	4.600	759.049	1.506.497
Sicilia	365.224	1.100	366.324	443.929	33.602	1.727.311	2.571.166
Sardegna	1.232.780	10.101	1.242.880	184.512	34.002	949.561	2.410.956
Italia	10.528.080	145.509	10.673.589	2.216.343	862.556	16.380.357	30.132.845

Dati disponibili sul sito www.infc.it

Come è subito facilmente osservabile il dato relativo alla superficie forestale nazionale è fortemente diverso dal dato ISTAT del 2002 e ancora più differente dal dato del primo inventario del 1985 (IFNI). La superficie forestale totale ammonta a 10.673.589 ha, aumentata di oltre il 23% rispetto agli 8.675.100 ha del dato IFNI del

1985 e addirittura di oltre il 55% rispetto ai 6.855.844 ha del dato ISTAT del 2002. Come già detto queste elevate variazioni non dipendono solo dall'avvenuta espansione della superficie forestale, ma anche dalla differente metodologia applicata (in particolar modo si consideri la diversa definizione di bosco adottata).

3.1.2.3. Informazioni sulle foreste italiane fornite dalla FAO

Come precedentemente riportato la FAO svolge, nell'ambito dei propri Forest Research Assessment (FRA), indagini sulle risorse forestali a livello mondiale. Nel corrente anno sono stati diffusi dati relativi alle foreste Europee riportate dal FRA2005.

Di seguito (Tabb. 3.13, 3.14 e 3.15) si evidenziano alcuni dati riguardanti le foreste italiane: il FRA2005 mette in evidenza come in Italia il tasso di cambiamento di uso del suolo e l'aumento di superficie forestale sia ben maggiore della media degli altri paesi europei.

Tab. 3.13: estensione della superficie forestale e delle altre superfici boscate 2005.

Paese / Area	Superficie totale					Acque (fiumi, laghi,..)	Area totale
	Foreste		Altre formazioni boscate	Altre superfici			
				Totali	Con copertura arborea		
	1000 ha	% di copertura su tot area	1000 ha	1000 ha	1000 ha	1000 ha	1000 ha
Italia	9.979	33,9	1.047	18.385	-	723	30.134
Europa	1.001.394	44,3	100.925	1.157.788	8.044	37.611	2.297.719

Tab. 3.14: cambiamento dell'estensione della superficie forestale e delle altre superfici boscate nel periodo 1990 – 2005.

Paese / Area	Foreste						Altre superfici boscate			
	Superficie			Tasso di cambiamento annuale			Superficie			
	1990	2000	2005	1990-2000	2000-2005		1990	2000	2005	
	1000 ha	1000 ha	1000 ha	1000 ha/anno	%	1000 ha/anno	%	1000 ha	1000 ha	1000 ha
Italia	8.383	9.447	9.979	106	1,2	106	1,1	880	992	1.047
Europa	989.320	998.091	1.001.394	877	0,1	661	0,1	105.138	100.525	100.925

Tab. 3.15: carbonio immagazzinato (*Carbon stock*) nelle foreste e nella altre superfici forestali 2005.

Paese / Area	Foreste					Altre superfici boscate				
	C della biomassa epigea	C della biomassa ipogea	C nel legno morto	C nella lettiera	C nel suolo	C della biomassa epigea	C della biomassa ipogea	C nel legno morto	C nella lettiera	C nel suolo
	M t	M t	M t	M t	M t	M t	M t	M t	M t	M t
Italia	521	115	80	67	825	44	18	6	8	128

3.1.3. La Regione Abruzzo: la situazione forestale

Lo studio che è stato svolto nell'ambito di questa ricerca ha preso come base geografica, come riferimento territoriale, l'intera superficie della Regione Abruzzo.

Questa Regione, posta al centro della penisola italiana, mostra infatti interessanti caratteristiche per chi voglia intraprendere studi di carattere ecologico, soprattutto per ciò che riguarda il settore forestale. Tutto ciò, prima di tutto, per la sua posizione geografica, poi per la varietà di situazioni stazionali presenti (un parametro esemplificativo è l'altitudine sul livello del mare che passa da zero metri della costa ai 2.914 m della cima più alta, il Gran Sasso d'Italia). Le superfici forestali sono numerose e varie: abbiamo foreste planiziarie e quelle d'alta quota, boschi mediterranei e faggete che vegetano al limite altitudinale della vegetazione. Inoltre la varietà del territorio ed il suo clima hanno determinato numerosi ambienti unici, biotopi e biomi caratteristici, con endemismi e specie relitte tra la flora, e specie rare tra la fauna.

Un'altro fattore di notevole interesse deriva dalla protezione che una larga parte del territorio gode grazie al sistema di parchi nazionali (Parco Nazionale d'Abruzzo, del Lazio e del Molise, Parco Nazionale della Maiella, Parco Nazionale del Gran Sasso e dei Monti della Laga), Parchi Regionali (Parco Regionale Sirente-Velino) e delle numerosissime (38) Oasi, Riserve Naturali Statali e Regionali. La superficie totale protetta risulta essere attualmente pari a circa 325.000 ha, il 30% della superficie regionale totale.

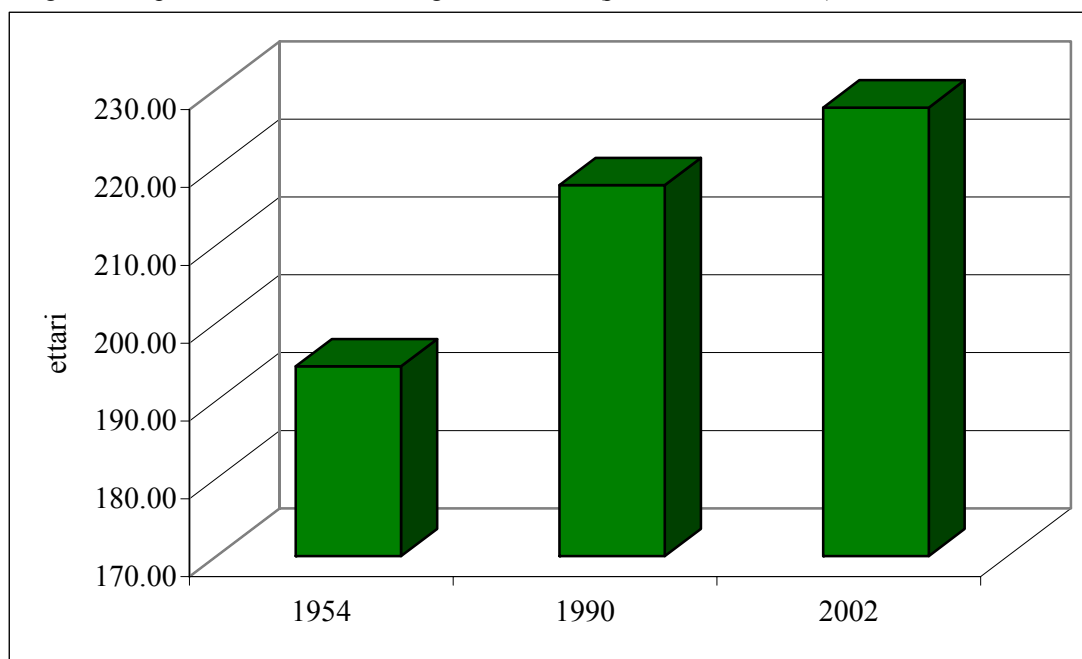
Di grande interesse poi risulta essere la storia socio-economica della Regione che ha portato le principali attività del passato, quelle agro-silvo-pastorali, ad essere sostituite da quelle legate al settore industriale (nella zona costiera in particolare) e a quello terziario, con particolare riferimento alla produzione di servizi e soprattutto al turismo.

Le attività delle zone montane e collinari, fino al primo dopoguerra (anni 50' del secolo scorso) legate all'agricoltura ed alla pastorizia, sono state rapidamente dismesse, talvolta parzialmente, spesso del tutto, lasciando spazi di riconquista al bosco che, anno dopo anno, ha velocemente ricolonizzato spontaneamente numerosi ettari di superficie territoriale.

I dati relativi alla superficie forestale della Regione Abruzzo sotto riportati sono relativi alle due principali fonti disponibili: ISTAT e primo Inventario Forestale Nazionale (INF, 1985). Il nuovo INFC ha fornito, al momento, solo risultati provvisori. Come già per i dati nazionali non esistono altre informazioni. Infatti pur se la Regione Abruzzo ha commissionato recentemente un proprio inventario forestale regionale, soltanto i dati recentemente diffusi relativi al nuovo Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi di Carbonio (INFC, 2005), hanno aggiornato i dati forestali regionali.

Di seguito si riportano, rappresentati in forma grafica, i dati ISTAT relativi al periodo 1954-2002 (Fig. 3.11). Si può notare l'avvenuta crescita di superficie della forestale, che passa dai 195.000 ha del 1954 ai 228.000 del 2002.

Fig. 3.11: superficie forestale della Regione Abruzzo (periodo 1954 – 2002). Dati ISTAT.



L'aumento riguarda tutti i tipi di bosco, dalle fustaie (sia di resinose che di latifoglie) ai cedui (semplici e composti) (Fig. 3.12). A titolo esemplificativo si riporta anche il dato relativo alle specie principali, con un aumento del territorio coperto dalle faggete proporzionalmente superiore a quello delle pinete (Fig. 3.13). Inoltre vengono anche presentati i dati relativi al cambiamento della superficie regionale negli ultimi 50 anni (dati ISTAT) relativamente alle classe di uso del suolo (Fig. 3.14), ai tipi di bosco (Fig. 3.15) ed alle specie forestali principali (Fig. 3.16).

Fig. 3.12: superficie forestale della Regione Abruzzo (periodo 1954 – 2002). Dati ISTAT.

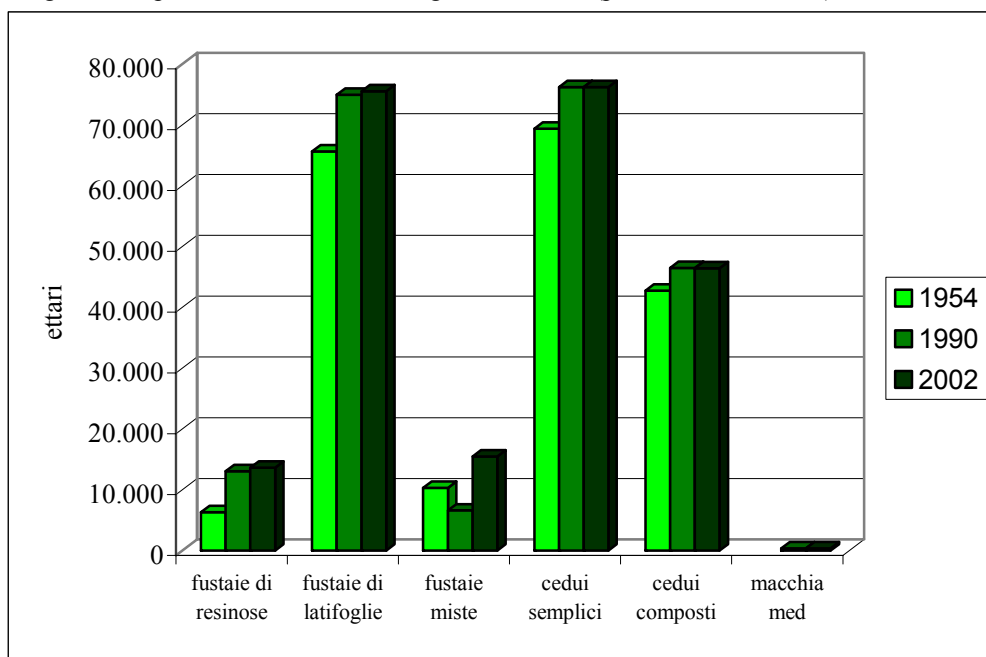
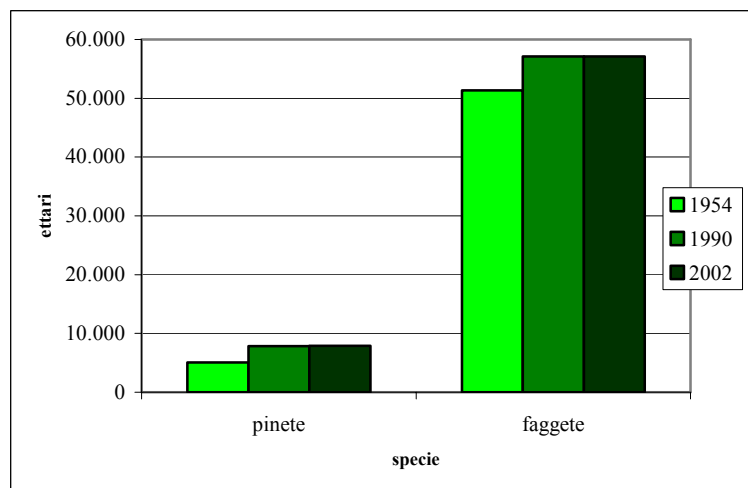


Fig. 3.13: superficie forestale della Regione Abruzzo – l'andamento delle specie principali (periodo 1954 – 2002). Dati ISTAT.



Si evidenzia come ci sia stato un forte aumento della superficie forestale, soprattutto nella Provincia de L'Aquila ma anche in quella di Chieti.

Fig. 3.14: cambiamento dell'uso del suolo nel periodo 1954 -1990 Regione Abruzzo. Dati ISTAT.

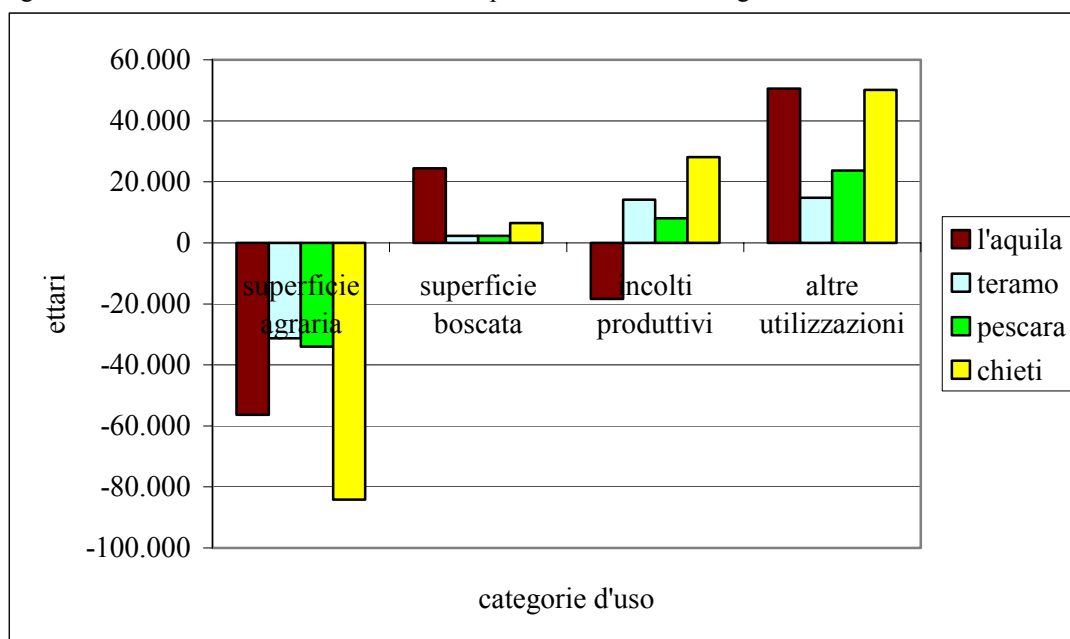
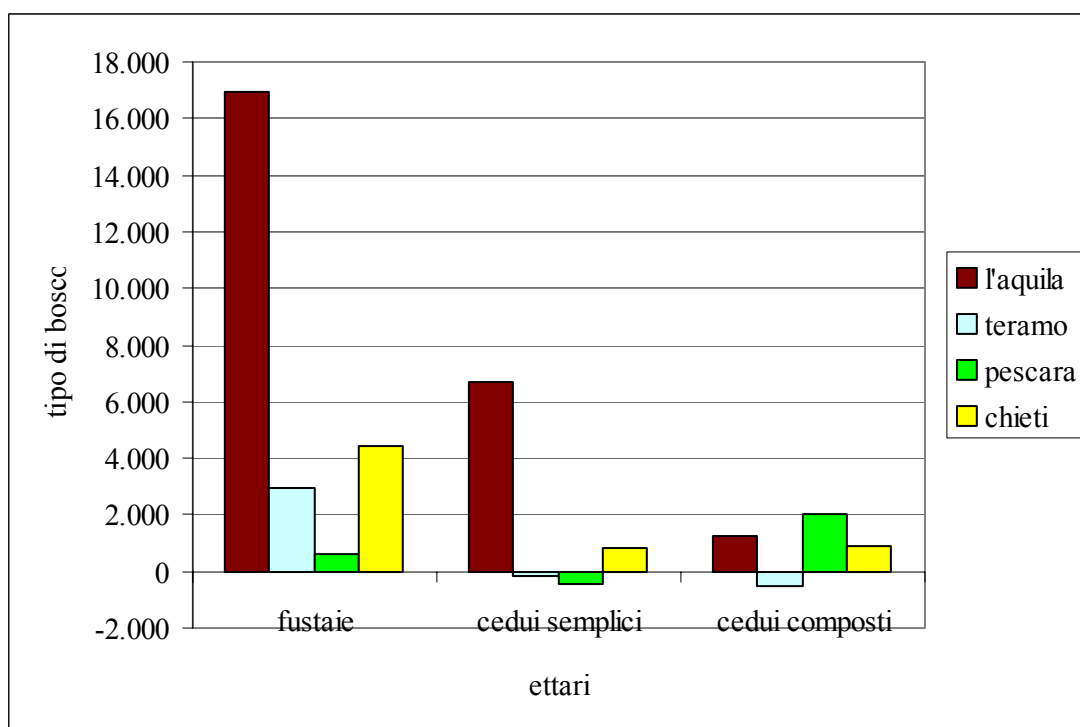
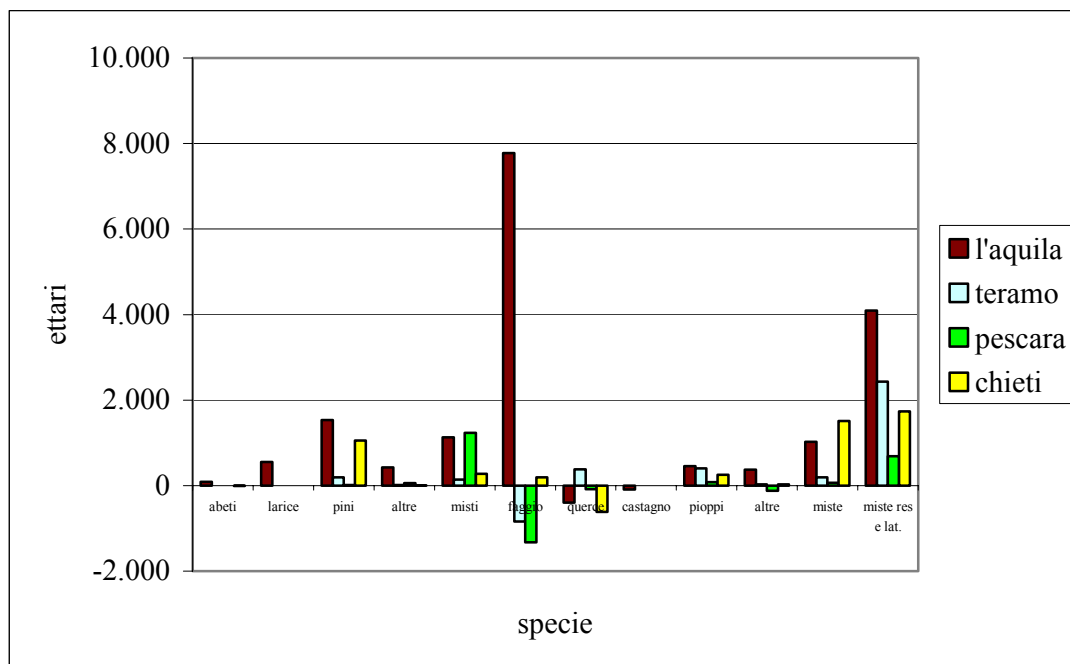


Fig. 3.15: variazioni della superficie forestale nel periodo 1954 -1990 in ha per tipo di bosco- Regione Abruzzo. Dati ISTAT.



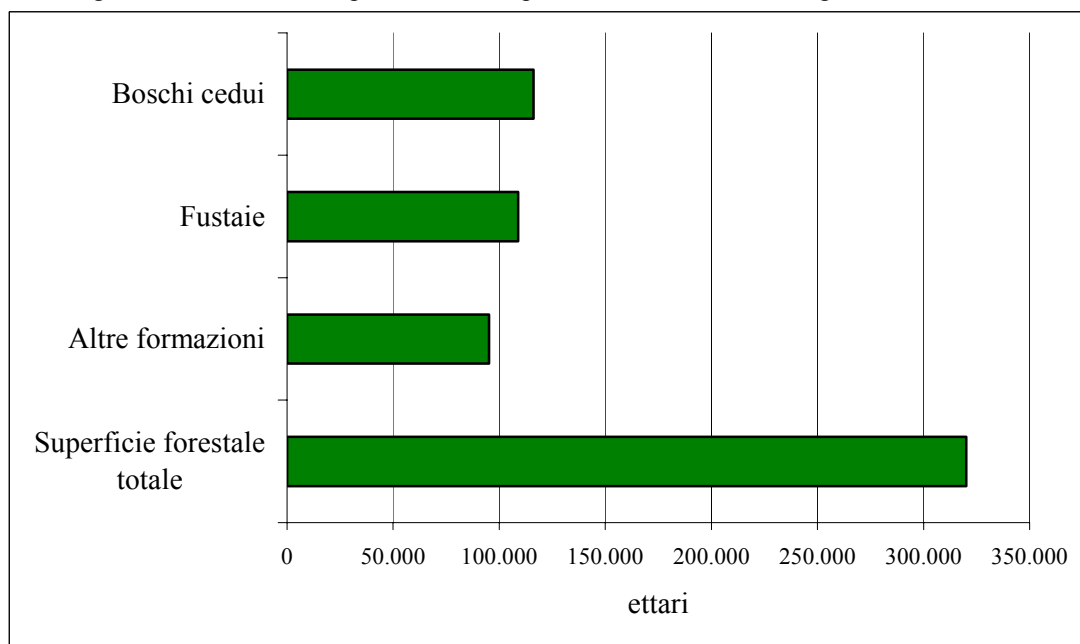
Le specie maggiormente aumentate sono i pini (rimboschimenti degli anni 50-70) e faggio (probabile diffusione naturale).

Fig. 3.16: variazione della superficie forestale per specie e per provincia nel periodo 1954 - 1990. Regione Abruzzo – fustaie. Dati ISTAT.



I dati IFN del 1985 mostrano una certa differenza rispetto a quelli ISTAT per i motivi che sono stati precedentemente già illustrati.

Fig. 3.17: IFN 1985 - composizione del soprassuolo forestale della Regione Abruzzo.



I grafici relativi a questo argomento mostrano la composizione del soprassuolo forestale regionale del 1985 in ettari (Fig. 3.17), in percentuale rispetto alla superficie territoriale (Fig. 3.18), la sua composizione specifica (Fig. 3.19).

Fig. 3.18: IFN 1985 - composizione % del soprassuolo forestale della Regione Abruzzo.

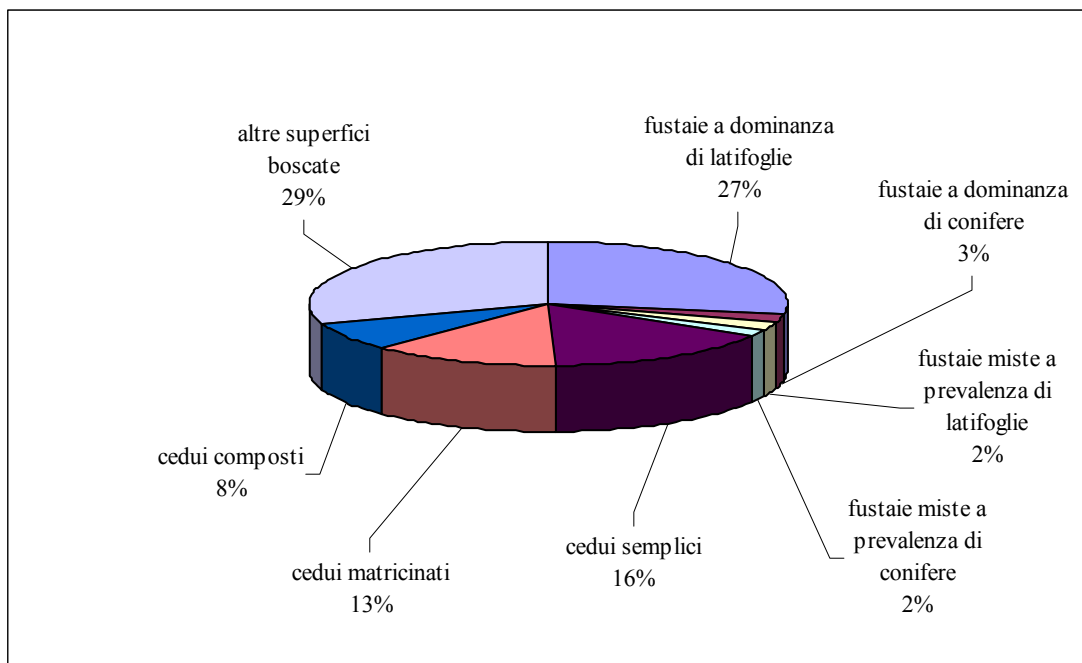
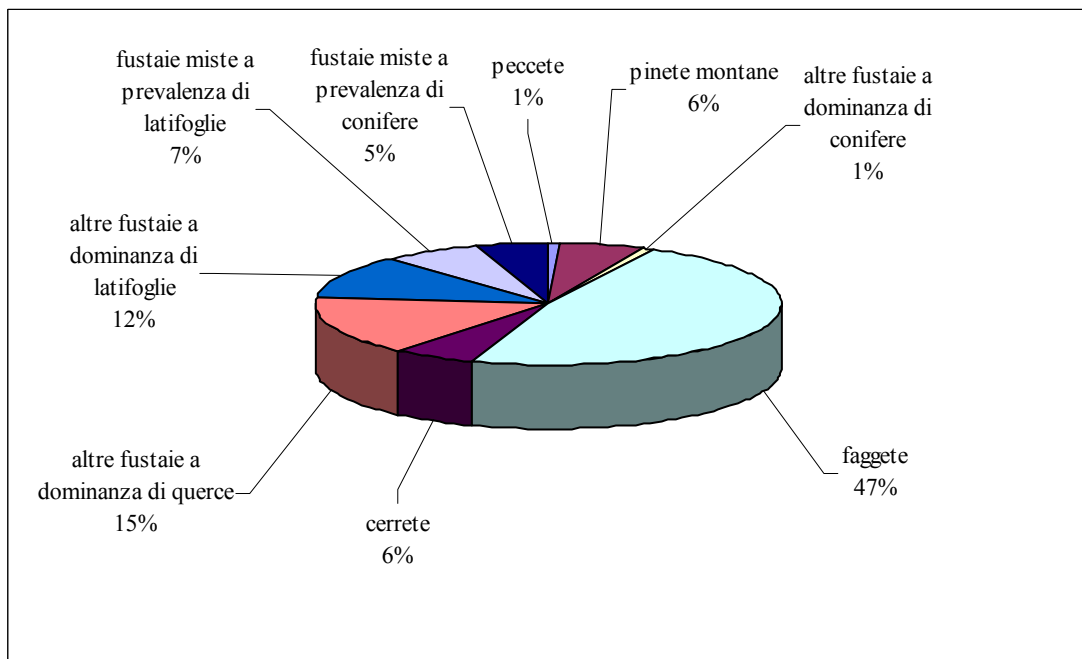


Fig. 3.19: IFN 1985, composizione del soprassuolo per specie forestali della Regione Abruzzo (escluse le altre superfici boscate).

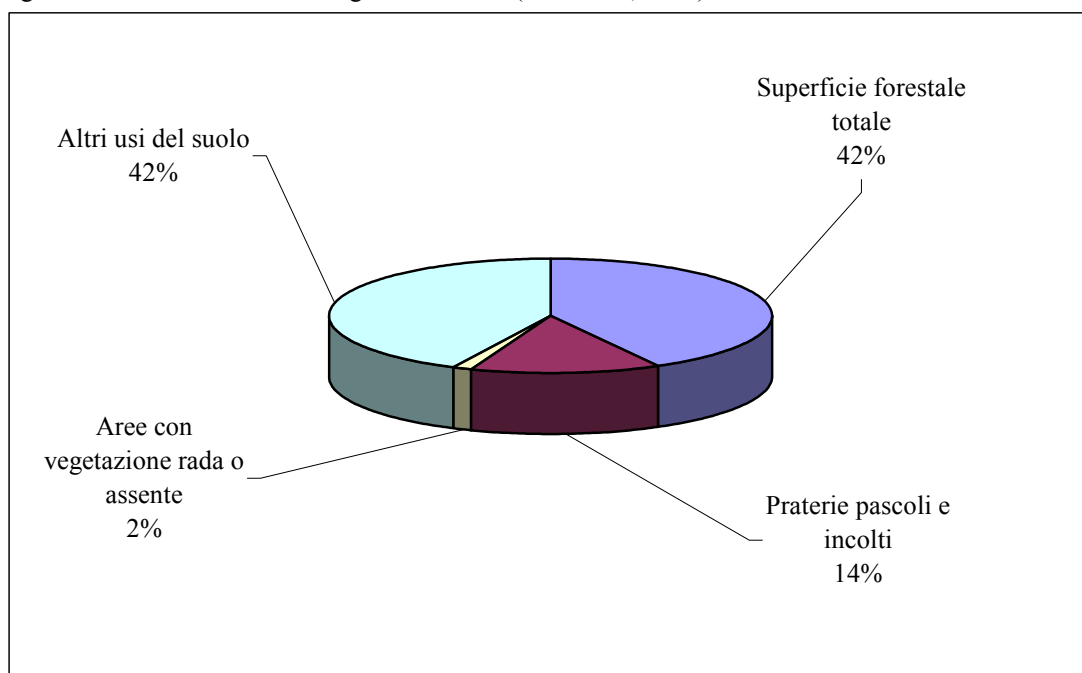


I risultati del nuovo inventario relativi alla prima fase per la Regione Abruzzo, mostrano, come già per il dato nazionale, una superficie forestale largamente differente da quella del primo inventario 1985 (IFN) e ancora più differente da quella emergente dai dati ISTAT del 2002. La superficie forestale regionale abruzzese INFC totale risulta essere di 452.329 ha, pari a quasi il 42% dell'intera superficie regionale ed ad oltre il 4,2% della superficie forestale nazionale. Inoltre questa risulta essere aumentata di oltre il 41% rispetto agli 320.200 ha del dato IFN del 1985 e addirittura di oltre il 98% rispetto ai 228.000 ha del dato ISTAT del 2002 (Tab. 3.16 e Fig. 3.20). Come già detto queste elevate variazioni non dipendono solo dall'avvenuta espansione della superficie forestale, ma anche dalla differente metodologia applicata (in particolar modo si consideri la diversa definizione di bosco adottata).

Tab. 3.16: uso del suolo nella Regione Abruzzo (dati INFI, 2005).

	Bosco + Altre terre boscate (ha)	Impianti di Arboricoltura da legno (ha)	Superficie forestale totale (ha)	Praterie pascoli e incolti (ha)	Aree con vegetazione rada o assente (ha)	Altri usi del suolo (ha)	Totale (ha)
Abruzzo	450.429	1.900	452.329	150.410	16.401	461.930	1.081.070
Italia	10.528.080	145.509	10.673.589	2.216.343	862.556	16.380.357	30.132.845

Fig. 3.20: Uso del suolo nella Regione Abruzzo (dati INFC, 2005)



3.2. L'espansione naturale delle foreste

Lo studio che è stato realizzato in questa sede si è fatto carico di verificare quanto e come le superfici forestali siano variate nel corso degli ultimi 50 anni nel territorio della Regione Abruzzo. Ma quali sono stati i meccanismi che hanno portato alla crescita del bosco? Come, dove e perché la componente forestale dell'ecosistema è riuscita a riguadagnare spazio ed ad affermarsi in modo più o meno marcato?

Questi temi non possono essere dibattuti senza avere la conoscenza dei meccanismi di adattamento degli ecosistemi e di dinamismo della vegetazione.

La vegetazione è soggetta a dinamismo. Fattori catastrofici come gli uragani, o come il fuoco e fattori antropici, come le utilizzazioni dei boschi o l'abbandono delle colture agrarie e dei pascoli, rappresentano agenti i cui effetti sono facilmente percepibili dalla vegetazione in tempi relativamente brevi (Paci, 2004).

In ogni modo il cambiamento della struttura vegetale può avvenire anche senza i cosiddetti “*disturbances*”, senza che avvenga un evento traumatico come quelli sopra descritti. Infatti, naturalmente, ogni ecosistema, tende nel tempo a modificarsi dando vita a differenti stati di equilibrio sempre più complessi. La componente vegetale, così come quella animale, che però agisce spesso di conseguenza alla prima (Paci, 2004), è soggetta comunemente al fenomeno delle successioni, cioè a fasi evolutive successive nel tempo, a *stadi* lungo una *serie* temporale. La *serie di vegetazione* è “l'unità geobotanica successionale o paesistica che comprende nel suo insieme tutti gli aggruppamenti vegetali legati da una logica successionale che si hanno in una tessera, e che pertanto include sia gli stadi maturi che quelli secondari di evoluzione” (Blasi, 1993). La successione non è altro quindi che l'azione determinata dai cambiamenti di direzione avvenuti nel tempo nella comunità.

Per molto tempo si è discusso se questi cambiamenti possano portare la vegetazione ad uno stadio finale di equilibrio denominato *climax* (vedi Odum, 1983) o se questo sia solo teorico e non raggiungibile. Oggi è largamente accettato il concetto di instabilità di tutti i sistemi biologici che sono in continua evoluzione e quindi tendenti a equilibri dinamici (Margalef, 1968). Per semplificare, gli studiosi di scienze della vegetazione hanno introdotto il concetto di *vegetazione naturale potenziale* al posto di quello di climax. Questa è la vegetazione stabile e durevole che tende a formarsi in un

certo luogo, partendo dalle condizioni di flora e di fauna presenti, in assenza di intervento antropico sulla vegetazione e assumendo che il clima si mantenga relativamente stabile e non cambi molto rispetto a quello attuale (Tomaselli, 1966).

Nello studio delle successioni vegetazionali è importante distinguere *successioni autogene* (le variazioni presenti sono determinate da co-azioni interne alla comunità vegetale, come ad esempio nel caso di substrati “nuovi” come le morene o le superfici derivate da eruzioni vulcaniche), dalle *successioni allogene* (allorché le variazioni sono apportate da fenomeni di disturbo esterni, quali, ad esempio, eventi meteorici estremi, frane e valanghe, incendi, ecc.). Vanno inoltre distinte le *successioni primarie* (agenti su substrati che non sono mai stati oggetto di colonizzazione vegetale, come per esempio quelli derivati dall’attività eruttiva vulcanica), dalle successioni secondarie (operanti su suoli che hanno già ospitato comunità vegetali, come ad esempio nel caso di incendi, disboscamenti, abbandono delle colture agricole, ecc.).

Le fasi delle successioni, denominate *sere*, possono avere durata e natura diversa. Sono stati individuati diversi modelli successionali, quali quelli della **facilitazione**, della **inibizione** e della **tolleranza** riportati in Fig. 3.21.

Anche la suddivisione tra *successione progressiva* e *successione regressiva* è importante al fine della comprensione di questo fenomeno ecologico: mentre la prima procede da stadi evolutivi inferiori verso quelli superiori (dalla colonizzazione di una frana al bosco consolidato, per esempio), la seconda ha direzione contraria, cioè da stadi evolutivi superiori a quelli inferiori (successioni originate da fattori perturbativi quali disboscamenti, pascolo, fuoco, alluvioni, inquinamenti, ecc.).

Un fenomeno molto interessante relativo alle successioni è quello della **rinaturalizzazione**. Questa manifestazione, può essere osservata in Italia ad esempio in numerosi soprassuoli forestali artificiali nei quali si sta osservando una reintroduzione naturale delle specie forestali indigene. E’ il caso della rinaturalizzazione delle pinete di pino nero, all’interno delle quali si stanno insediando fitocenosi miste di latifoglie, così come nelle abetine pure di abete bianco toscane dove le latifoglie si stanno lentamente reintroducendo (Paci, 2004).

Un caso particolare e molto interessante di rinaturalizzazione è quello che riguarda i prati ed i pascoli abbandonati. Questo fenomeno, molto diffuso in Italia a partire dagli anni ’60-’70 del secolo scorso, in particolar modo su terreni a passato uso agricolo

insistenti nella fascia altitudinale collinare-montana (500-800 m s.l.m. sull'Appennino, 300-600 m s.l.m. sulle Alpi), partendo da campi dove l'attività agricola è stata dismessa, porta alla costituzione di boschi di neoformazione attraverso diversi stadi evolutivi. Secondo i dati della FAO (FAO, database 2001), l'area usata come *Arable Land & Permanent Crops* in Europa si è ridotta del 12,9% tra il 1961 e il 2001 e in Italia, nello stesso periodo, del 29,7%.

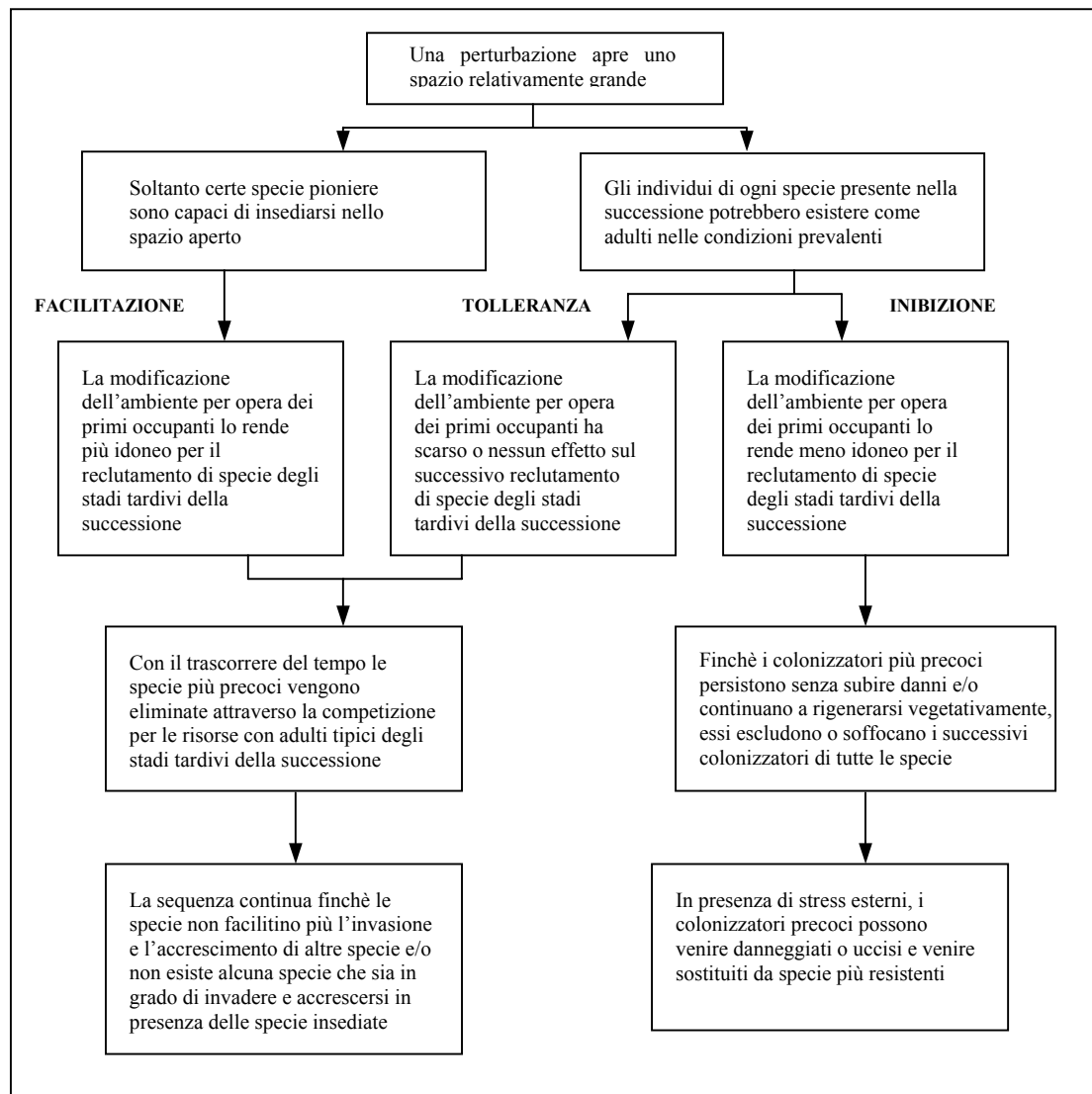
La successione secondaria in un campo agricolo inizia quando questo viene abbandonato. Può essere definita come l'insieme dei cambiamenti della struttura di un sistema fitocenosi/sito, che avanzano spontaneamente, e che portano ad un aumento del suo livello di organizzazione (Glavac 1996, in Rühl, 2005).

Si parte da specie erbacee annuali che si insediano e che lasciano il posto in tempi piuttosto brevi a specie perenni. In seguito le specie arbustive e poi quelle arboree colonizzano l'area in questione modificandola fortemente e avviandola verso la struttura forestale vera e propria. Chiaramente la casistica dei differenti tipi di rinaturalizzazione dei terreni agricoli abbandonati è molto vasta. Ci sono differenti situazioni di partenza e molti modi diversi per arrivare alla struttura forestale. La presenza o meno di specie arboree (ad esempio l'acero campestre nei vigneti abbandonati, il nocciolo, specie fruttifere arboree come meli, peri, ciliegi, sorbi), di specie arbustive, di siepi (spesso utilizzate per la demarcazione dei confini poderali o delle unità agricole produttive dismesse), può dar vita a tipi di rinaturalizzazione differenti ed a velocità di evoluzione diverse. La presenza di muretti di delimitazione o di contenimento, in caso di terrazzamenti, può portare a situazioni di particolare protezione per le specie arbustive ed arboree che in detti frangenti possono svilupparsi di più e più velocemente delle piante situate nelle vicinanze (Salbitano, 1987; Agnoletti e Paci, 1998). Oppure è il bosco stesso che, con la sua disseminazione, allunga le proprie propaggini verso i territori dismessi abbandonati, con il lento avanzamento della fascia vegetale denominata *mantello* cui segue il bosco vero e proprio.

L'evoluzione dei terreni abbandonati verso la struttura forestale può avere, come detto, tempi diversi. Infatti si può passare dalle rapide colonizzazioni, richiedenti pochi anni, che possono interessare terreni invasi da specie forestali pioniere quali betulle e pioppo tremolo (Salbitano, 1987), alle lente rinaturalizzazioni delle aree ex agricole mediante la copertura di arbusteti (in particolare di prugnolo e biancospino) che

colonizzano sì molto rapidamente il suolo, ma che ne impediscono poi, per lungo tempo, lo sviluppo seguente verso consociazioni più evolute a causa della notevole densità che raggiungono che non fa insediare nuove specie al di sotto di esse (Salbitano, 1987).

Fig. 3.21: modelli successionali secondo Connel e Slayter. in Paci, 2004.



Le conseguenze della rinaturalizzazione dei terreni dismessi dall'agricoltura e abbandonati possono essere ricondotte a diverse tematiche. Se da un lato, dal punto di vista prettamente naturalistico, si può osservare positivamente il fenomeno, dall'altro le conseguenze socio-economiche possono avere diversi effetti non sempre positivi. Infatti sicuramente l'aumento della superficie forestale dovuta alla rinaturalizzazione porta ad

un aumento della biodiversità (soprattutto con la creazione negli spazi ecotonali di numerosi rifugi per le specie ornitiche), al miglioramento della qualità del suolo, ad una maggiore capacità di assorbimento del biossido di carbonio (tematica legata ai cambiamenti climatici globali). In ogni caso dal punto di vista ecosistemico si va verso una evoluzione, verso sistemi più complessi, stabili e maturi. D'altro canto va detto però che molto spesso l'abbandono dei terreni agricoli porta a cambiamenti del paesaggio tipico (scomparsa dei terrazzamenti nelle colline e nei terreni in pendenza), cui seguono fenomeni di erosione, smottamenti e frane. Inoltre molto spesso i terreni invasi da arbusteti e da vegetazione erbacea perenne sono molto più suscettibili agli incendi soprattutto nel periodo secco estivo. Ultima considerazione, di carattere socio-economico, è riferita alla perdita di cultura e di tradizioni locali che la vita agricola dell'alta collina e di montagna aveva in sé. Lo spopolamento di questi territori molto spesso è accompagnato dalla perdita di usi e attività che per centinaia di anni hanno caratterizzato le società agricole montane italiane, determinandone il tipico "paesaggio culturale", la cui scomparsa non può essere certo considerata un lato positivo dello "sviluppo" della società attuale.

3.3. Importanza della conoscenza della superficie forestale attuale e delle sue variazioni nel tempo alla luce delle politiche ambientali internazionali

Gli studi territoriali relativi alla conoscenza della superficie forestale ed alla sua variazione nel tempo, possono avere un importante riscontro in una delle tematiche oggi più in evidenza nel panorama della gestione territoriale legata alle scelte di carattere scientifico-politiche in materia di protezione dell'ambiente. Infatti di notevole importanza risulta essere la conoscenza, in termini qualitativi e quantitativi, delle nuove superfici forestali presenti all'attualità, alla luce degli accordi sottoscritti dall'Italia nell'ambito della problematica legata ai cambiamenti climatici dovuti al fenomeno del cosiddetto "effetto serra".

A partire dalla rivoluzione industriale del XVIII secolo, ed in particolare negli ultimi 40 anni le attività umane hanno portato all'uso di combustibili di origine fossile che, unitamente al forte disboscamento su scala planetaria delle grandi risorse forestali, hanno provocato un aumento sempre più rapido della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera, in particolare del biossido di Carbonio che ha fortemente modificato l'equilibrio energetico terrestre. La conseguenza di questa alterazione è stata un aumento di temperatura media globale che, secondo stime e modelli, potrà arrivare, restando queste le condizioni dello sviluppo umano, a 1,5 – 5,5 °C entro l'anno 2100. L'aumento della temperatura atmosferica media è la causa principale dei cambiamenti climatici. Le modificazioni a carico del clima riguardano l'aumento, in intensità e frequenza, dei fenomeni estremi (uragani, temporali, inondazioni, siccità, ecc.), l'innalzamento del livello dei mari, la desertificazione, la perdita di biodiversità.

La Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), approvata a New York il 9 maggio 1992, è la risposta pensata a livello internazionale per contrastare e ridurre al minimo gli effetti negativi dei cambiamenti climatici sul nostro pianeta. La Convenzione ha come obiettivo la stabilizzazione a livello planetario della concentrazione dei gas ad effetto serra (biossido di carbonio CO₂, protossido di azoto N₂O, metano CH₄, idrofluorocarburi HFC, perfluorocarburi

PFC, esafluoruro di zolfo SF₆) che sono le principali sostanze in grado di interferire ed alterare il clima globale.

Il Protocollo di Kyoto, accordo per la mitigazione dei cambiamenti climatici firmato nel dicembre 1997, rappresenta lo strumento attuativo della Convenzione (UNFCCC). Il testo del protocollo è stato adottato da tutti gli stati firmatari nel 1997 (decisione1/CP3), ratificato dall'Italia e dall'EU nel 2002, ed è entrato in vigore nel 2005. Il Protocollo tra le attività previste per la mitigazione dei cambiamenti climatici include anche quelle riferibili ai *Land Use, Land Use Change and Forestry* (LULUCF), cioè riconosce che agendo sugli usi delle terre si possono ottenere dei vantaggi concreti verso la stabilizzazione delle concentrazioni di gas serra nell'atmosfera. Questa inclusione ha, di fatto, accresciuto l'importanza del ruolo ecologico e quindi della funzione socio-economica che le foreste del pianeta svolgono (Mollicone e Federici, 2005).

L'espansione della superficie forestale (indotta dall'azione umana) potrà essere infatti calcolata al fine di soddisfare l'impegno di riduzione netta delle emissioni di gas ad effetto serra. A tal fine molti studi sono in corso di attuazione allo scopo di chiarire sia il funzionamento dell'ecosistema forestale come contenitore (*sink*) di carbonio sia la dinamica dei popolamenti forestali in termini quantitativi e qualitativi al fine di determinare la quantità di carbonio fissato.

Il Protocollo di Kyoto, ha riconosciuto alle foreste ed ai terreni agricoli, detti serbatoi di carbonio o *sink*, come sopra detto, la funzione di assorbitori di biossido di carbonio, il principale gas ad effetto serra. Questa funzione viene riconosciuta negli articoli nn. 2, 3, 6, 12 e 17 del Protocollo stesso. L'articolo 2 afferma che i Paesi dell'Annesso I (paesi sviluppati, tra cui l'Italia) dovranno promuovere politiche di protezione ed estensione dei serbatoi di carbonio e promozione di pratiche di gestione forestale sostenibile, afforestazione e riforestazione. L'articolo 3, che definisce quali emissioni interne devono essere inventariate dai Paesi industrializzati nel primo periodo di impegno (*1st Commitment Period*), richiede che siano contabilizzate le emissioni di gas-serra dovute a deforestazione e gli assorbimenti ottenuti con attività di afforestazione e riforestazione, a partire dal 1990. Questa data è di particolare interesse nell'ambito delle misure di *implementation e reporting* del Protocollo di Kyoto, in quanto il 1990 è, per detto Protocollo, l'anno di riferimento (*baseline*) per il conteggio

delle riduzioni/emissioni di gas a effetto serra determinate da interventi di cosiddetta “afforestazione”, “riforestazione”, “deforestazione” o da fenomeni di “riforestazione naturale” (secondo la terminologia di cui alla Delibera CIPE 19.12.2002) nel primo periodo di impegno (*commitment period* 2008-2012).

Questa data del 1990 è quindi fondamentale per il calcolo degli impegni da rispettare ai fini del Protocollo ed è per questo che nei precedenti paragrafi, relativi all'estensione della superficie forestale italiana e della Regione Abruzzo, sono stati riportati i valori di ampiezza del territorio boscato rilevati, oltre che per gli anni '50 (inizio del periodo studiato) e per il 2002 (fine del periodo), all'anno 1990.

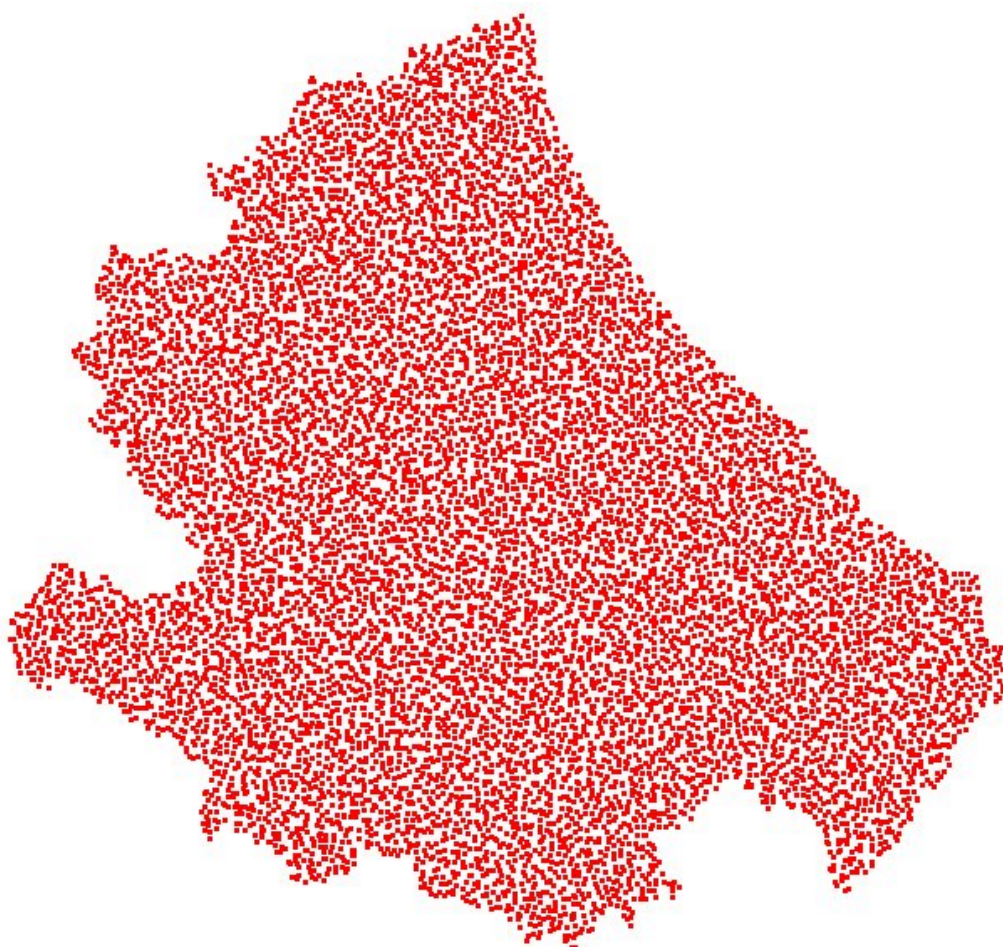
L'Italia ha assunto l'impegno, con la ratifica del Protocollo di Kyoto, di ridurre le emissioni nazionali di gas ad effetto serra del 6,5% rispetto al 1990.

Il nuovo Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio (INFC) è uno degli strumenti messi in atto al fine di rispondere efficacemente alle richieste del Protocollo (INFC, 2003b). Il suo completamento e la sua adozione potranno risultare fondamentali nell'azione italiana di risposta ai cambiamenti climatici.

CAP. 4: METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA CLASSIFICAZIONE DELL'USO DEL SUOLO

Tutte le varie fasi della ricerca hanno utilizzato per la classificazione dell'uso del suolo all'anno 2002 la base dei dati derivante dalla prima fase dell'Inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi forestali di carbonio (INFC), in corso dal 2002 a cura del Corpo Forestale dello Stato (vedi Cap. 3.1.2.2). Infatti, i 10.811 punti di sondaggio permanenti adottati, base di partenza per tutto il lavoro, sono gli stessi INFC (Fig. 4.1).

Fig. 4.1: 10.811 punti inventariali INFC della Regione Abruzzo.



Come già detto nel capitolo precedente riguardo al nuovo INFC, il territorio della Regione Abruzzo è stato suddiviso in quadrati giustapposti di superficie unitaria pari a 1 km². All'interno di ciascun quadrato è stato selezionato casualmente un punto di sondaggio secondo lo schema del campionamento sistematico non allineato (*unaligned systematic sampling*), come riportato in Fig. 4.2. La superiorità di questo schema di campionamento rispetto ad altri schemi sistematici usualmente impiegati negli inventari forestali è stata più volte provata (Fattorini, 2003, Fattorini et al., 2003).

I punti di campionamento sono individuati sulle 322 ortofoto aeree pancromatiche AGEA, riprese nell'anno 2002, con dimensioni dei pixel corrispondenti a terra a 1 metro per 1 metro (scala nominale 1:10.000) e georeferenziate sul sistema di coordinate topografiche Gauss-Boaga.

I punti di sondaggio (Fig. 4.3, 4.4, 4.5, e 4.6) sono stati classificati nelle sei classi di copertura del suolo elencate in Tab. 4.1, già evidenziate nel precedente capitolo, secondo il protocollo ufficialmente adottato dal nostro Paese per il nuovo inventario forestale INFC (vedi Figg. 4.7, 4.8, 4.9, e 4.10).

Fig. 4.2: posizione geografica della Regione Abruzzo con lo schema del campionamento sistematico non allineato adottato per identificare i punti di campionamento.

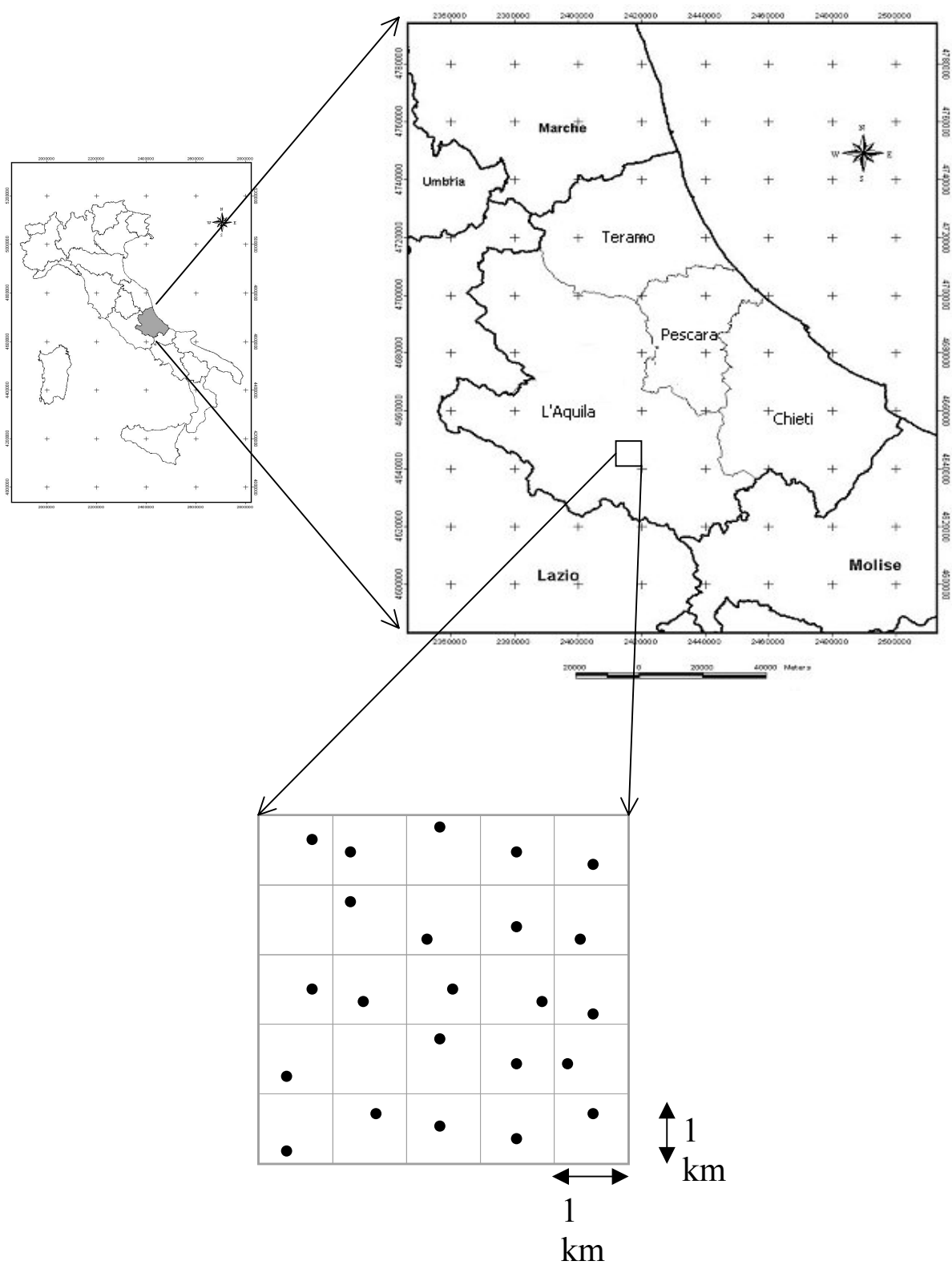


Fig. 4.3: 10.811 punti inventariali INFC della Regione Abruzzo.

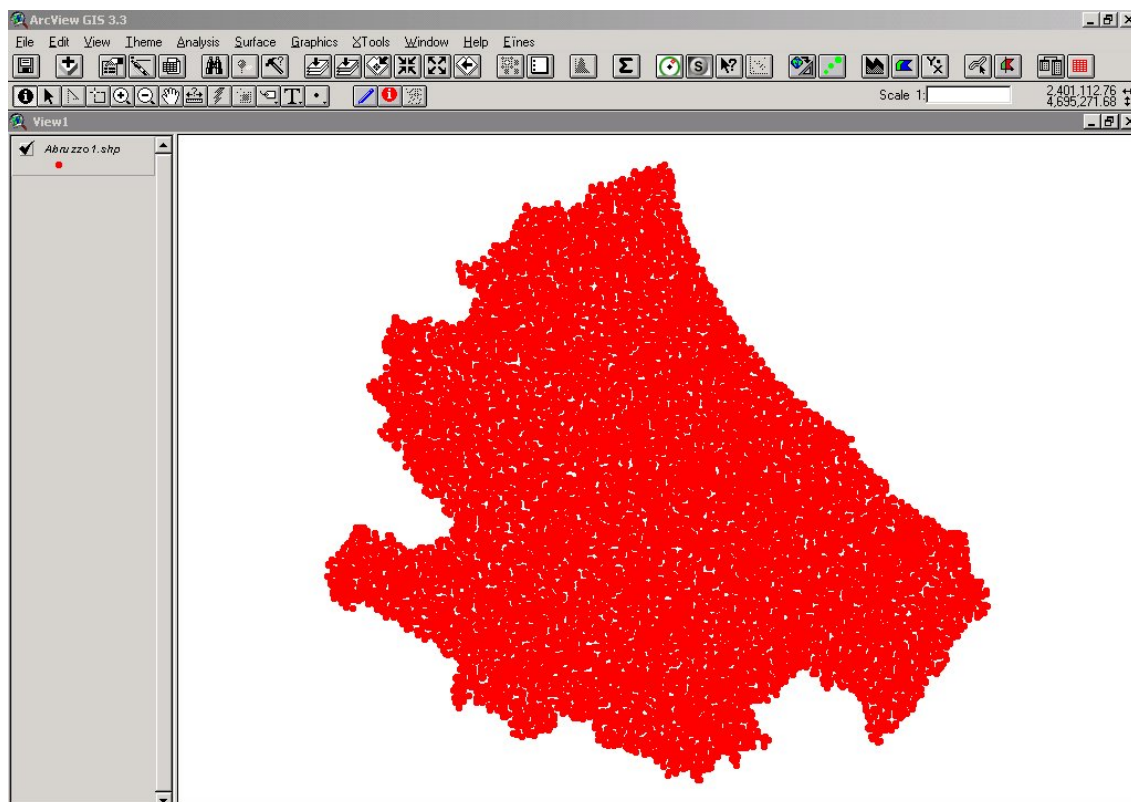


Fig. 4.4: 10.811 punti inventariali INFC della Regione Abruzzo, in verde i punti bosco.

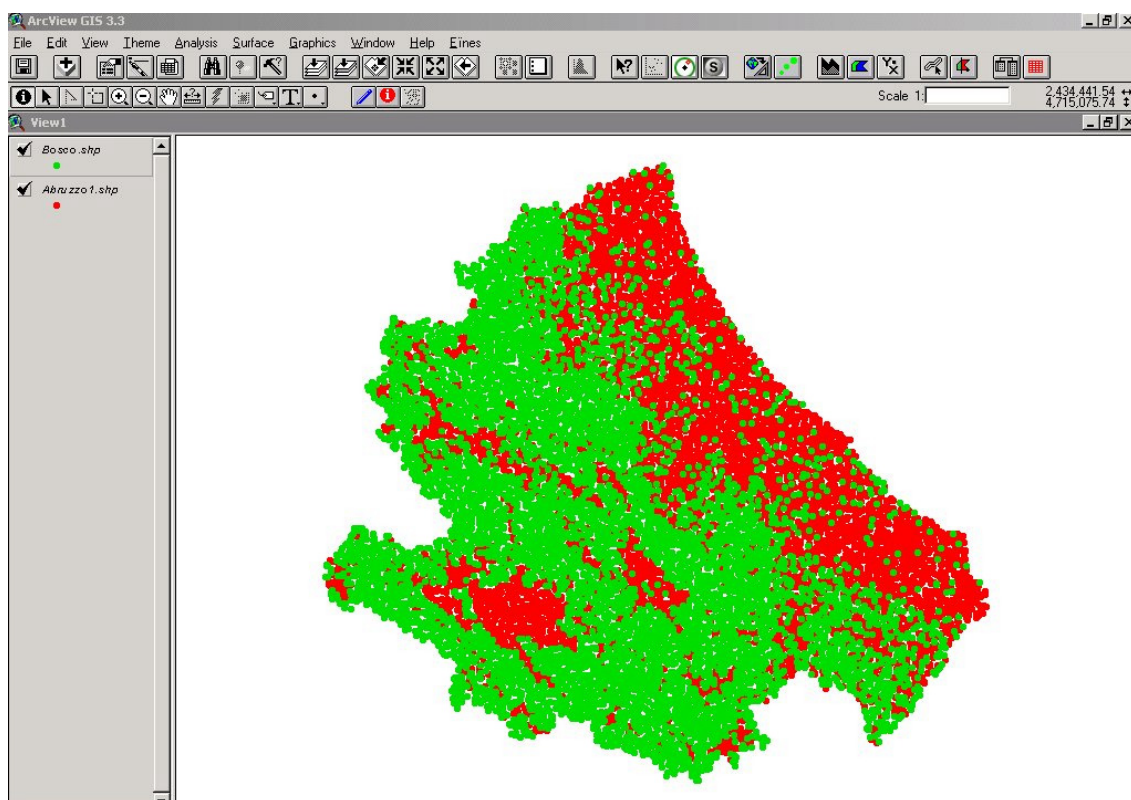


Fig. 4.5: ortofoto 360140 della Regione Abruzzo con punti INFC.

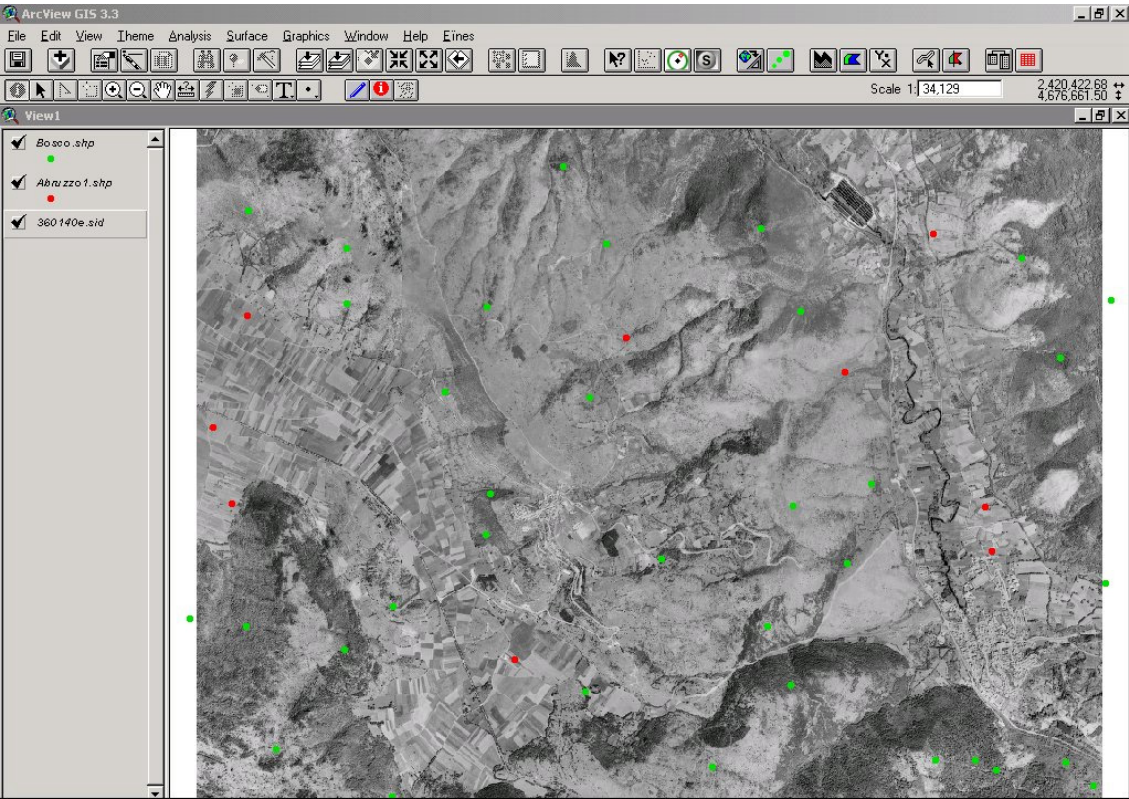


Fig. 4.6: punto n. 171687 INFC.

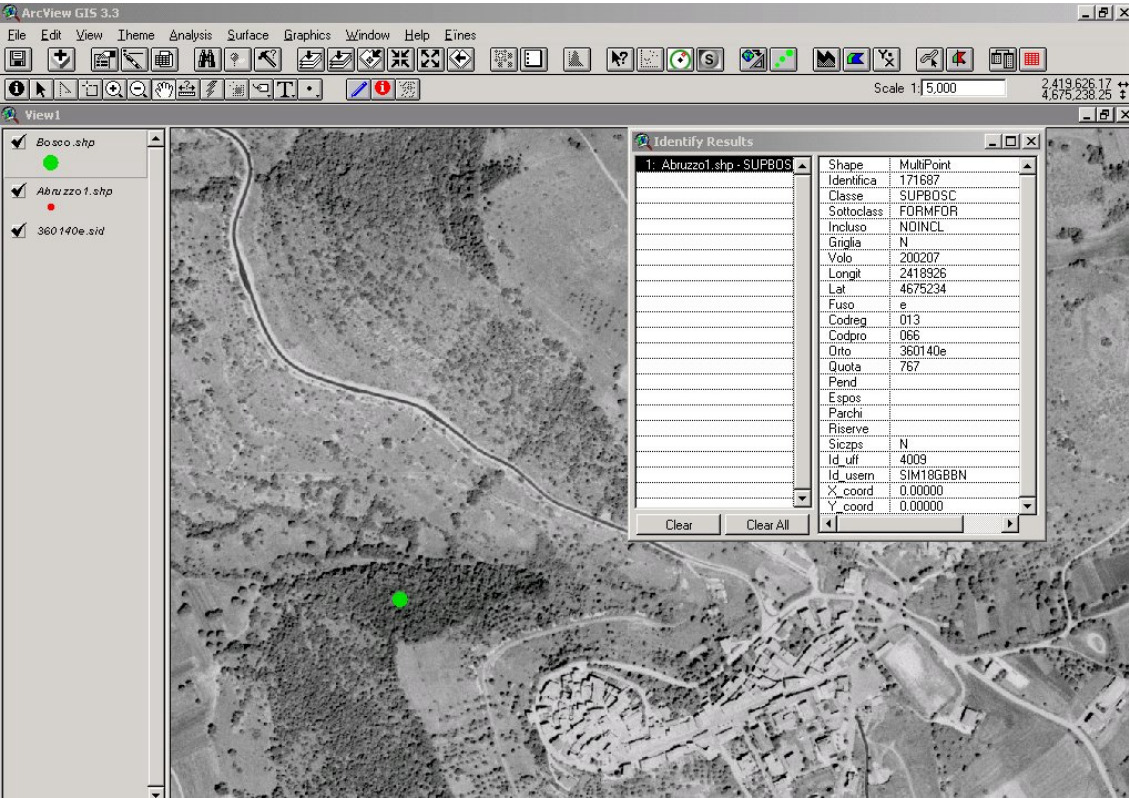
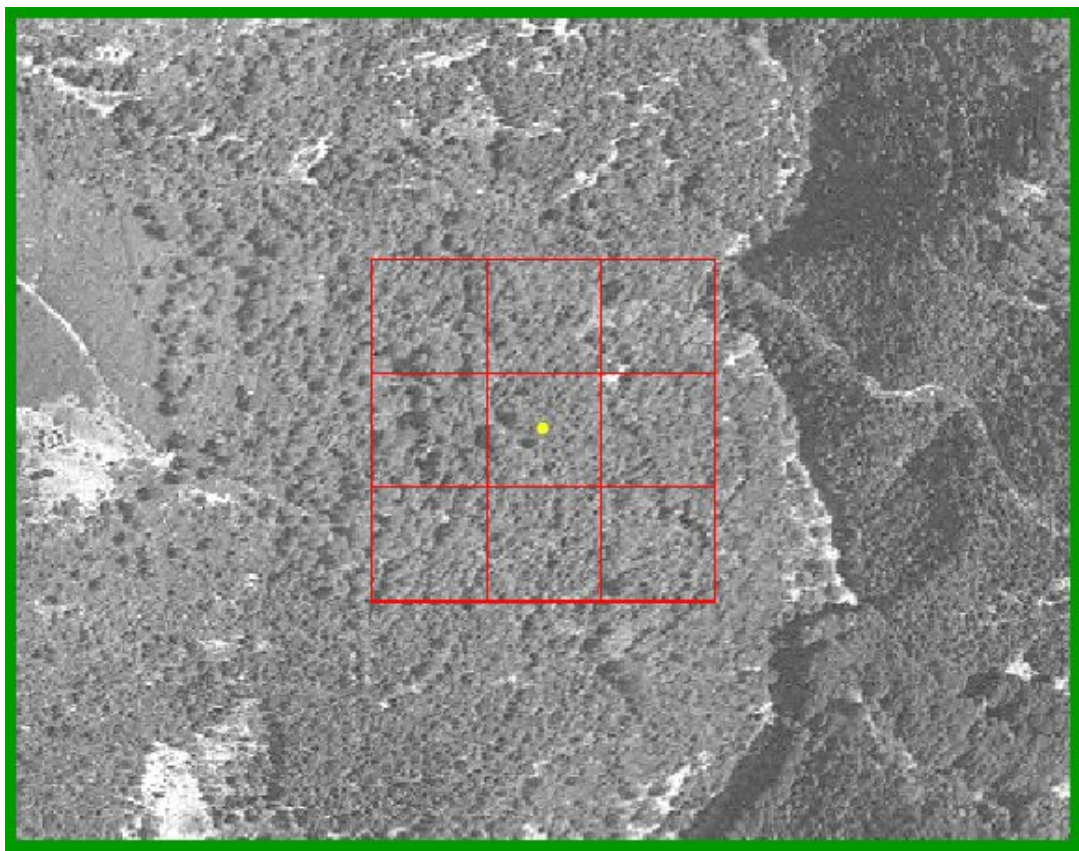


Tabella 4.1: Classi di copertura del suolo adottate nella presente sperimentazione, secondo il sistema di nomenclatura utilizzato per la prima fase dell’Inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi forestali di carbonio (INFC, 2003). La definizione di superficie forestale è la stessa utilizzata dal nostro Paese per il *reporting* ai fini del Protocollo di Kyoto ed è analoga a quella del *Forest Resources Assessment* della FAO (UNECE-FAO, 1997), tranne per il parametro “altezza potenziale a maturità”, che non viene preso in considerazione poiché non direttamente rilevabile su ortofoto digitali aeree.

<i>Classe</i>	<i>Definizione</i>
Superfici artificiali	Centri urbani e zone recentemente urbanizzate, come i tessuti urbani continui e discontinui a diversa densità insediativa, inclusi i nuclei abitativi sparsi (borgate, agglomerati rurali) purché raggiungano la superficie minima di 5.000 m ² ; rientrano in questa classe gli insediamenti industriali, artigianali, commerciali, i grandi impianti di servizi pubblici e privati con le loro pertinenze e spazi annessi, le reti, le aree infrastrutturali stradali, le strade e le ferrovie, purché più larghe di 20 m.
Superfici agricole	Superfici destinate all’uso agricolo con estensione minima di 5.000 m ² : seminativi, asciutti e irrigui, vivai non forestali, colture orticole in pieno campo, in serra o in tunnel di plastica, vigneti, oliveti e tutti gli impianti di specie arboree o arbustive da frutto (compresi i noccioleti regolarmente coltivati), prati polifiti permanenti.
Formazioni forestali	Popolamenti di alberi o di arbusti che presentano contemporaneamente i seguenti tre requisiti: superficie maggiore di 5.000 m ² , grado di copertura delle chiome maggiore del 10%, superficie di larghezza maggiore di 20 m.
Formazioni forestali rade	Popolamenti di alberi o di arbusti che presentano contemporaneamente i seguenti tre requisiti: superficie maggiore di 5.000 m ² , grado di copertura delle chiome compreso tra il 5 ed il 10%, superficie di larghezza maggiore di 20 m.
Prati, pascoli e incolti	Aree a pascolo naturale, praterie di alta quota, aree incolte e tutte le formazioni vegetali occupate da vegetazione erbacea spontanea (con copertura superiore al 40%), purché con superficie minima di 5.000 m ² .
Altro	Tutte le superfici non rientranti nelle precedenti classi.

Fig. 4.7: esempio di classificazione del punto di campionamento: A) superficie forestale, B) superfici forestali rade (da INFC, 2003).

A)



B)

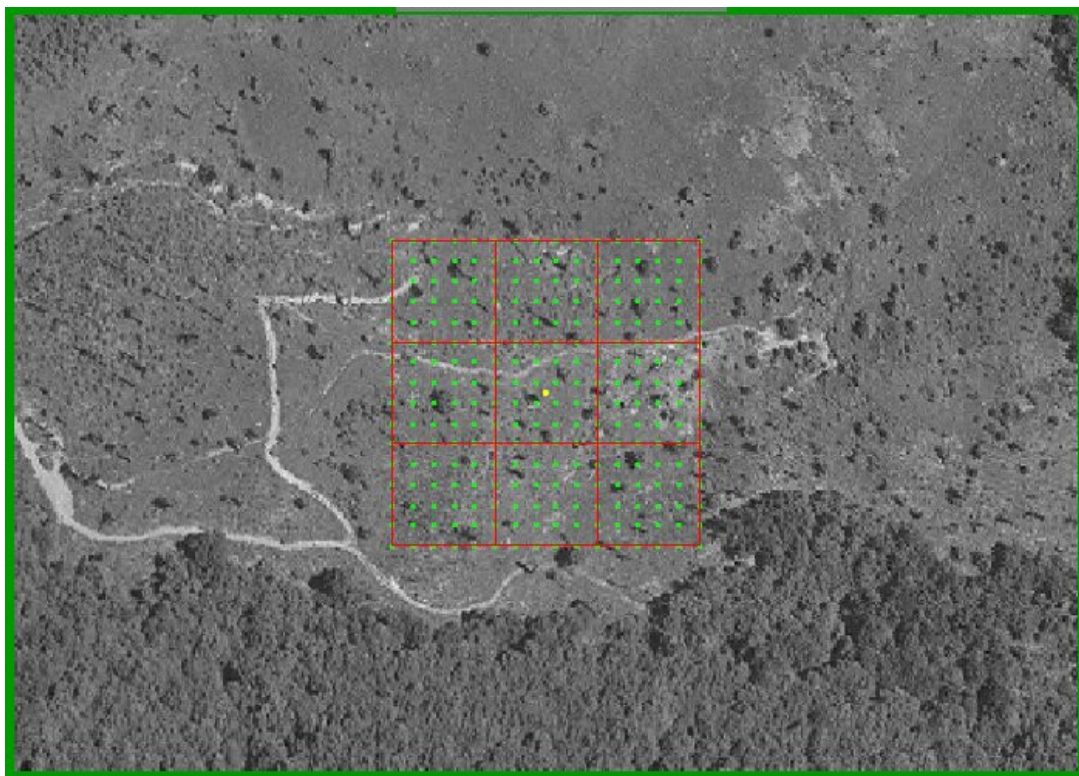


Fig. 4.8: esempio di classificazione del punto di campionamento: A) superfici artificiali, B) superfici agricole (da INFC, 2003).

A)

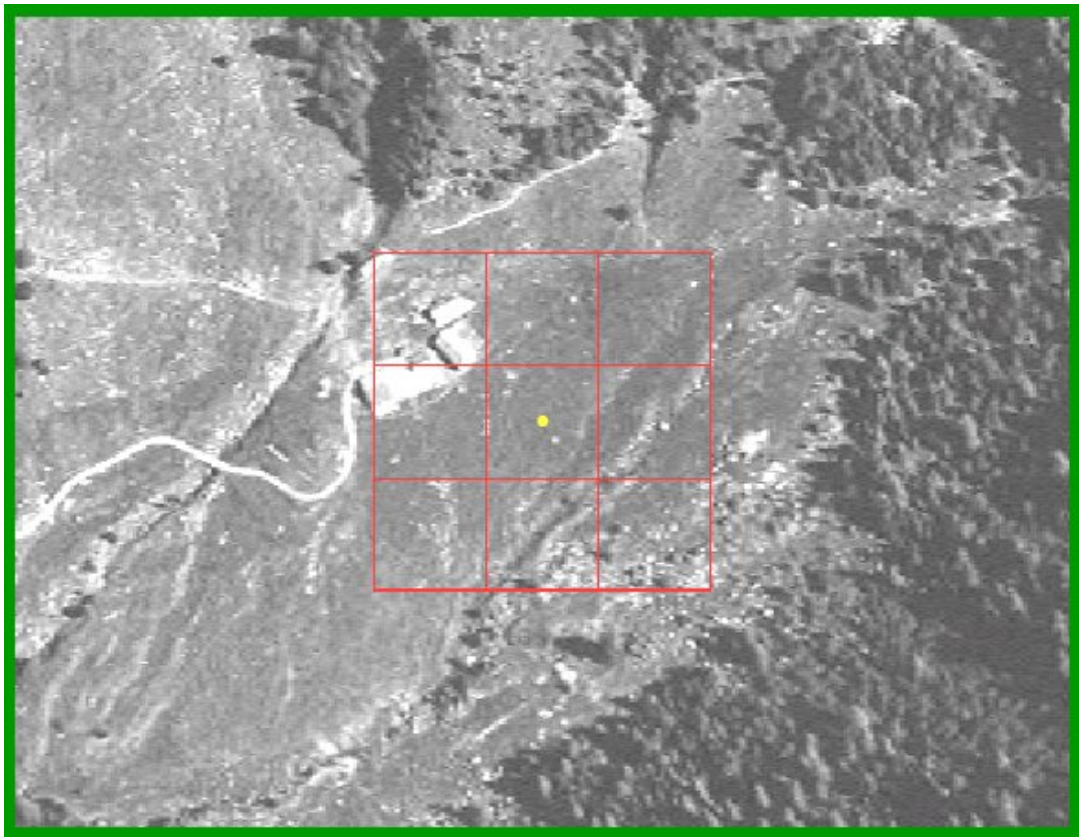


B)



Fig. 4.9: esempio di classificazione del punto di campionamento: A) prati pascoli e incolti, B) vegetazione rada o assente (da INFC, 2003).

A)



B)

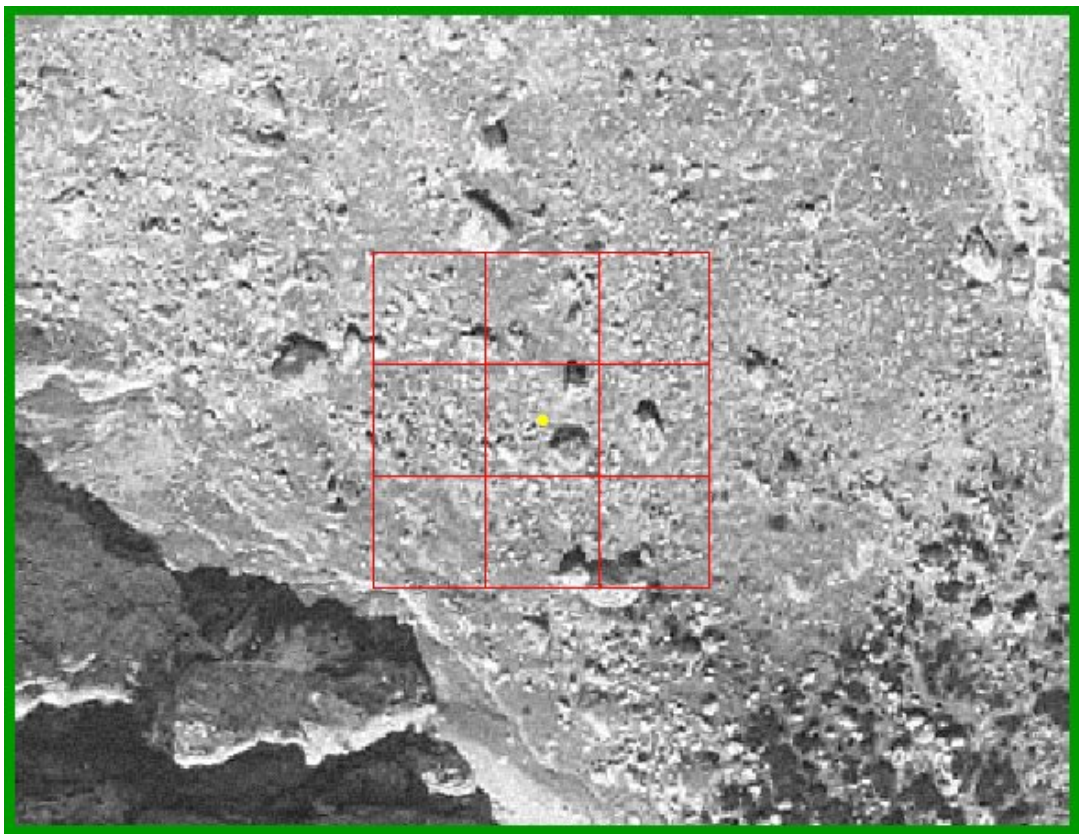
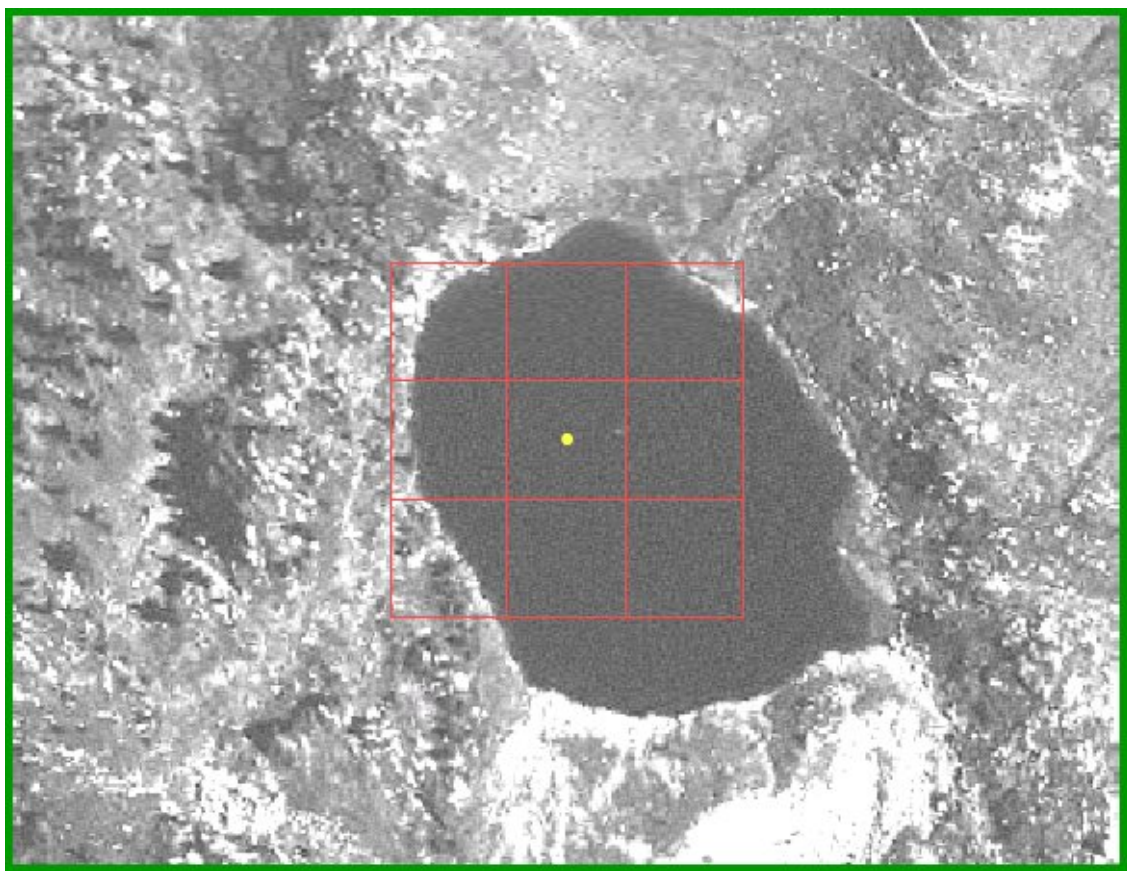


Fig. 4.10: esempio di classificazione del punto di campionamento: acque (da INFC, 2003).



CAP. 5: STIMA PROBABILISTICA DEL TASSO DI ESPANSIONE ANNUA DELLA SUPERFICIE FORESTALE DELLA REGIONE ABRUZZO (E STIMA DEL VALORE DELLA SUPERFICIE FORESTALE AL 1990)

5.1. Introduzione

La ricolonizzazione spontanea da parte delle cenosi boschive è uno dei principali fattori che negli ultimi decenni ha caratterizzato, e ancora oggi caratterizza, la dinamica del mosaico territoriale italiano. A seconda dei casi, tale fenomeno può rappresentare un elemento positivo o di criticità per la conservazione del paesaggio e della biodiversità, ma comporta comunque sempre un aumento di fissazione di carbonio atmosferico. Attualmente non sono disponibili dati aggiornati, omogenei e oggettivi per poter quantificare il fenomeno, almeno con riferimento ad una scala territoriale a livello regionale o nazionale. La dinamica delle superfici forestali deducibile dalle statistiche ISTAT non può, infatti, essere utilizzata a tal fine, tenuto conto delle modalità con cui queste statistiche sono prodotte (Corona et al., 2004).

Obiettivo di questa ricerca è la presentazione di un approccio probabilistico di valutazione campionaria basato sulla classificazione della copertura del suolo ripetuta in occasioni successive sugli stessi punti di sondaggio (cosiddetto “inventario continuo”, vedi Corona, 2000). In particolare, viene illustrata una sperimentazione condotta sull'intera Regione Abruzzo, dove la classificazione multitemporale di punti di sondaggio permanenti su foto aeree ortocorrette ha consentito una stima oggettiva del tasso medio di espansione delle formazioni forestali dagli anni '80 all'attualità (Corona et al., 2005).

Infine lo studio ha consentito anche una valutazione oggettiva della superficie boschiva che la Regione Abruzzo aveva al 1990, anno di riferimento (*baseline*) per il conteggio delle riduzioni/emissioni di gas a effetto serra del Protocollo di Kyoto.

5.2. Materiali e metodi

5.2.1. *Schema di campionamento*

Il numero e la dislocazione dei punti di sondaggio permanenti adottati nella presente sperimentazione sono gli stessi di quelli della prima fase dell’Inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi forestali di carbonio (INFC), in corso a partire dal 2002 a cura del Corpo Forestale dello Stato (vedi Cap. 4).

5.2.2. *Fotointerpretazione*

Il materiale utilizzato per l’analisi multitemporale della superficie forestale nel territorio considerato proviene da 322 ortofoto aeree pancromatiche riprese sia nell’anno 2002, sia nel corso degli anni ‘80. Ambedue le serie di ortofoto hanno dimensioni dei pixel corrispondenti a terra a 1 metro per 1 metro (scala nominale 1:10.000) e sono georeferenziate sul sistema di coordinate topografiche Gauss-Boaga.

Per quel che riguarda il 2002, il materiale utilizzato è rappresentato da ortofoto aeree digitali realizzate per conto di AGEA, mentre per quanto riguarda gli anni ‘80 il materiale analizzato è rappresentato da ortofoto pancromatiche (non digitali) realizzate, per conto della Regione Abruzzo, su parti diverse non sovrapposte del territorio regionale, negli anni 1981 (185 ortofoto), 1985 (86 ortofoto) e 1987 (61 ortofoto).

I punti di sondaggio sono stati classificati nelle sei classi di copertura del suolo elencate in Tab. 4.1 (vedi Cap. precedente), secondo il protocollo ufficialmente adottato dal nostro Paese per il nuovo inventario forestale INFC. Con riferimento agli standard nomenclaturali e procedurali del citato protocollo, non sono stati riscontrati particolari problemi in sede di classificazione dei singoli punti grazie al grande dettaglio e alla qualità, in termini di luminosità e contrasto, di ambedue le serie di ortofoto utilizzate. La classificazione dei punti di sondaggio sulle ortofoto AGEA è stata considerata come verità a terra al 2002, mentre quella sulle ortofoto della Regione Abruzzo è stata considerata come verità a terra al 1981/85/87, a seconda degli strati (Figg. 5.1, 5.2 e 5.3).

Figura 5.1: esempio di confronto tra due cartografie dello stesso territorio realizzate in periodi differenti. A destra ortofoto anni '80, a sinistra ortofoto del 2002. Su entrambe le foto sono riportati i punti del nuovo inventario INFC.

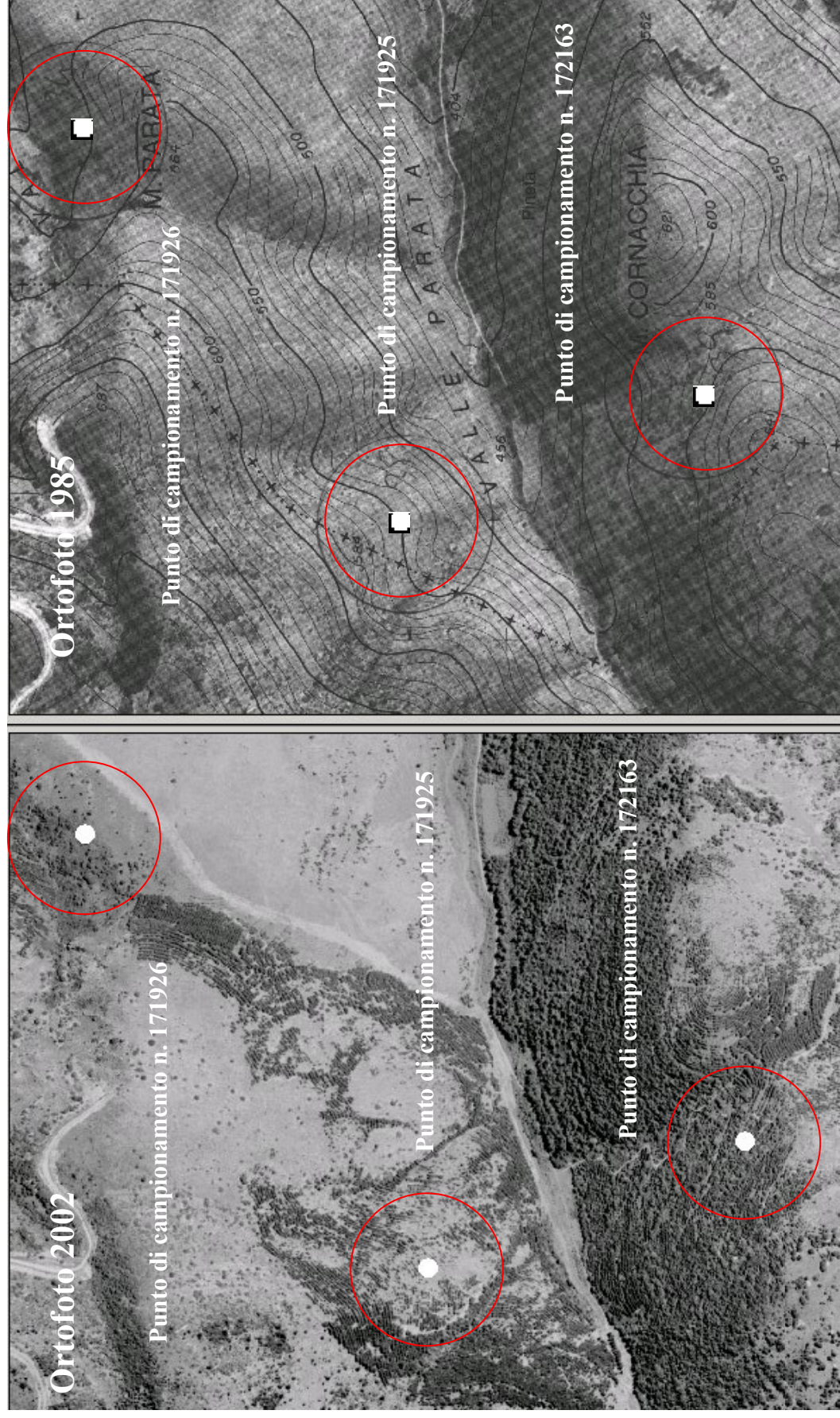


Figura 5.2: esempio di cambiamento di uso del suolo evidenziato dall'analisi multitemporale delle ortofoto. A destra (ortofoto anni '80) punto valutato come "formazioni forestali", a sinistra lo stesso punto INFC (ortofoto del 2002) valutato come "superfici artificiali".

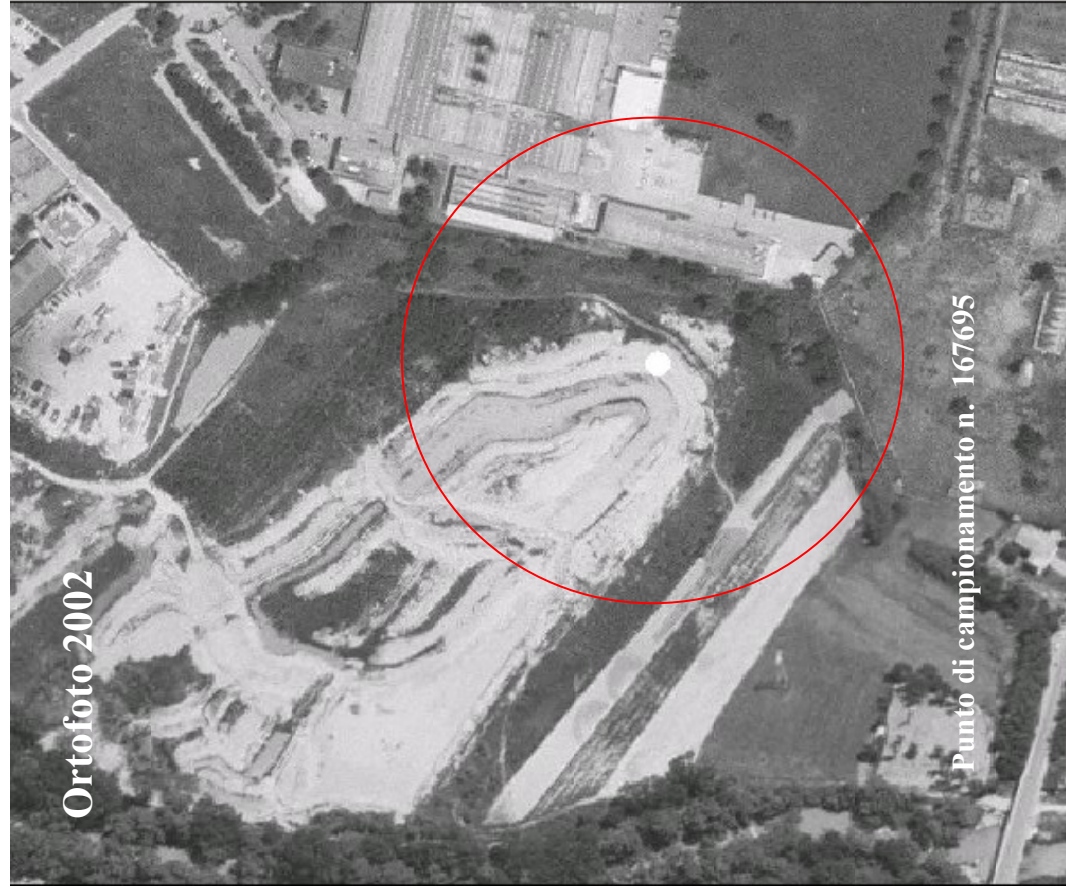
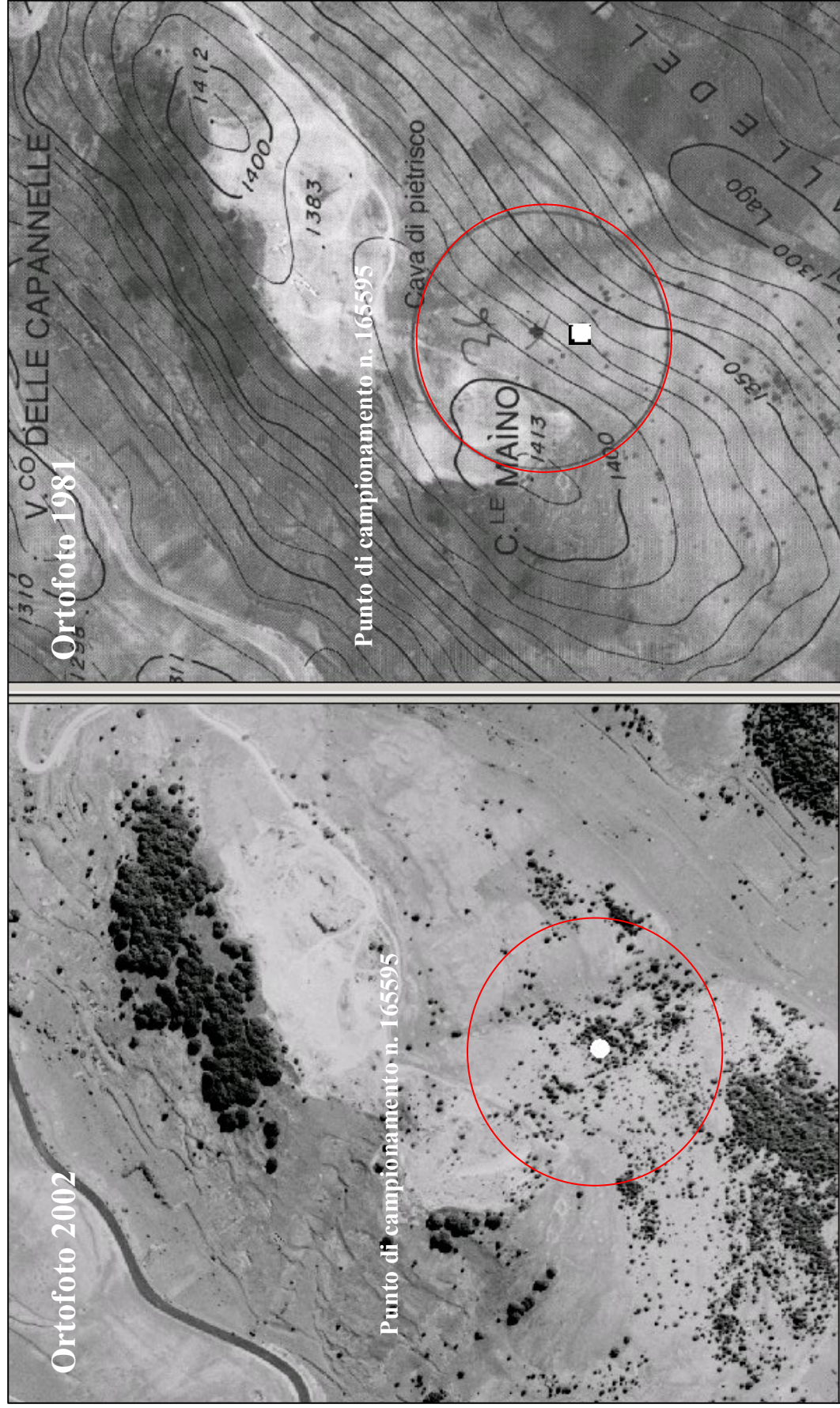


Figura 5.3: esempio di cambiamento di uso del suolo evidenziato dall'analisi multitemporale delle ortofoto. A destra (ortofoto anni '80) punto valutato come "prati pascoli ed incolti", a sinistra lo stesso punto INFC (ortofoto del 2002) valutato come "formazioni forestali".



5.2.3. Stratificazione

Il territorio regionale è stato analizzato e suddiviso per Province (Chieti, L'Aquila, Pescara, Teramo). Ciascuna Provincia è stata a sua volta suddivisa in sottoinsiemi non sovrapposti, ciascuno corrispondente a quella parte di territorio cui facevano riferimento le ortofoto pancromatiche della Regione Abruzzo realizzate, rispettivamente, negli anni 1981, 1985 e 1987. Nel complesso, sono stati considerati 9 strati (Tab. 5.1), ciascuno di superficie A_j nota senza errore.

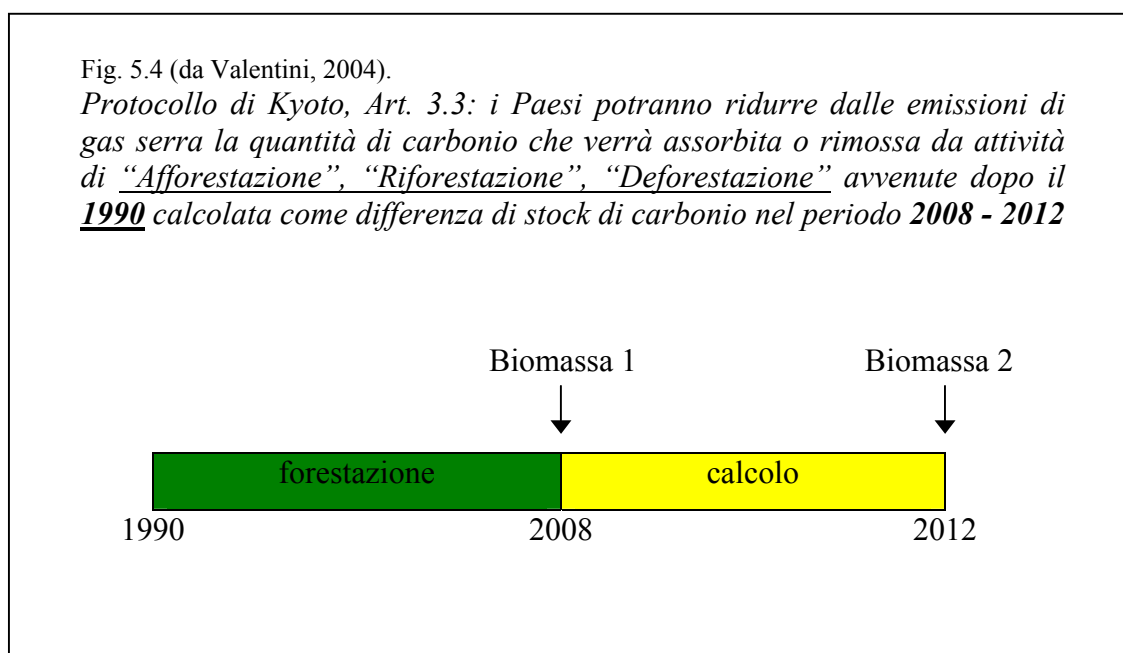
Tabella 5.1: configurazione degli strati in cui è stato suddiviso il territorio oggetto di inventario.

<i>Codice strato</i>	<i>Provincia</i>	<i>Anno di rilevamento nella prima occasione*</i>
1	Chieti	1981
2		1985
3		1987
4	L'Aquila	1981
5		1985
6	Pescara	1981
7		1987
8	Teramo	1981
9		1987

* L'anno di rilevamento nella seconda occasione è stato il 2002 in tutti gli strati.

5.2.4. Calcolo della superficie forestale al 1990

La ricerca condotta ha consentito, mediante lo sviluppo di appositi stimatori, anche una valutazione oggettiva della superficie boschiva che la Regione Abruzzo aveva al 1990. La scelta di questo anno, come già detto in precedenza riveste una particolare importanza nell'ambito delle tematiche legate al Protocollo di Kyoto (Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici). Il 1990 è infatti l'anno base per le misure di implementazione e *reporting* del conteggio delle riduzioni/emissioni di gas a effetto serra provocate dalle opere di "afforestazione", "riforestazione", "deforestazione" o da fenomeni di "riforestazione naturale", nel primo periodo di impegno 2008-2012 (Fig. 5.4).



5.2.5. Stimatori statistici

5.2.5.1. Variazione annua di superficie

Lo stimatore ($\hat{z}_{ij}$) del cambiamento della proporzione di punti campione afferenti alla *i*-esima classe di copertura del suolo tra la prima occasione di rilevamento (anni 1981/85/87, a seconda dello strato) e la seconda occasione di rilevamento (2002) nel *j*-esimo strato è pari a:

$$\hat{z}_{ij} = \hat{p}_{ij2} - \hat{p}_{ij1}$$

dove:

$\hat{p}_{ij2}$ = stimatore della proporzione di punti campione afferenti alla i-esima classe di copertura del suolo al 2002 nel j-esimo strato = n_{ij2}/n_j con n_{ij2} pari al numero di punti classificati nella i-esima classe di copertura del suolo al 2002 nel j-esimo strato; n_j = numero totale di punti campione nello strato;

$\hat{p}_{ij1}$ = stimatore della proporzione di punti campione ricadenti nella classe di copertura del suolo al 1981/85/89 (a seconda dello strato) nel j-esimo strato = n_{ij1}/n_j , con n_{ij1} pari al numero di punti classificati nella i-esima classe di copertura del suolo al 1981/85/89 (a seconda dello strato) nel j-esimo strato.

L'errore standard di $\hat{z}_{ij}$ può essere stimato pari a

$$\hat{s}_{\hat{z}_{ij}} = \sqrt{\hat{s}_{\hat{p}_{ij2}}^2 + \hat{s}_{\hat{p}_{ij1}}^2 - 2\hat{s}_{\hat{p}_{ij2}\hat{p}_{ij1}}}$$

dove:

$$\hat{s}_{\hat{p}_{ij2}}^2 = \text{stimatore conservativo della varianza di } \hat{p}_{ij2} = \frac{\hat{p}_{ij2}(1 - \hat{p}_{ij2})}{n_j - 1};$$

$$\hat{s}_{\hat{p}_{ij1}}^2 = \text{stimatore conservativo della varianza di } \hat{p}_{ij1} = \frac{\hat{p}_{ij1}(1 - \hat{p}_{ij1})}{n_j - 1};$$

$$\hat{s}_{\hat{p}_{ij2}\hat{p}_{ij1}} = \text{stimatore conservativo della covarianza di } \hat{p}_{ij2} \text{ e } \hat{p}_{ij1} = \frac{\hat{p}_{ij1=2} - \hat{p}_{ij2}\hat{p}_{ij1}}{n_j - 1}$$

$\hat{p}_{ij1=2}$ = stimatore della proporzione di punti campione classificati nella i-esima classe di copertura del suolo considerata sia nel 1981/85/87 (a seconda dello strato) che nel 2002, nel j-esimo strato = $n_{ij1=2}/n_j$, con $n_{ij1=2}$ pari al numero di punti classificati nella i-esima classe di copertura del suolo sia nel 1981/85/87 (a seconda dello strato) che nel 2002, nel j-esimo strato.

Lo stimatore della variazione di superficie nella i-esima classe di copertura del suolo tra il 1981/85/87 (a seconda dello strato) e il 2002 nel j-esimo strato è pari a:

$$\hat{Z}_{ij} = A_j \hat{z}_{ij}$$

con errore standard stimato pari a

$$\hat{s}_{\hat{Z}_{ij}} = A_j \hat{s}_{\hat{z}_{ij}}$$

Il valore medio annuo di variazione della superficie della i-esima classe di copertura del suolo nel j-esimo strato può essere stimato pari a

$$\hat{v}_{ij} = \hat{Z}_{ij} / l_j$$

dove: l_j = numero di anni tra il primo e il secondo rilevamento nel j-esimo strato.

Lo stimatore dell'errore standard di $\hat{v}_{ij}$ è pari a:

$$\hat{s}_{\hat{v}_{ij}} = \hat{s}_{\hat{Z}_{ij}} / l_j$$

Per ottenere la stima dei valori medi annui di variazione della i-esima classe di copertura del suolo a livello di Provincia o a livello di intera Regione, è infine possibile aggregare tra loro in modo opportuno i valori stimati a livello di ciascun singolo strato, secondo la formula:

$$\hat{V}_i = \sum_{j=1}^M \hat{v}_{ij}$$

dove: M = numero di strati considerati nell'aggregazione.

Lo stimatore dell'errore standard di $\hat{V}_i$ è pari a:

$$\hat{s}_{\hat{V}_i} = \sqrt{\sum_{j=1}^M \hat{s}_{\hat{v}_{ij}}^2}$$

L'intervallo fiduciario della stima di $\hat{V}_i$ è pari a

$$\hat{V}_i \pm t \hat{s}_{\hat{V}_i}$$

dove t è il valore critico del t di Student (test a due code), stabilito in corrispondenza del prescelto livello di significatività statistica $1-\alpha$ (con α pari alla probabilità di errore di I tipo) e in corrispondenza degli appropriati gradi di libertà.

5.2.5.2. Calcolo della superficie al 1990 (data intermedia tra il primo e secondo rilevamento)

La superficie di una data classe di copertura del suolo nel j-esimo strato a una data intermedia tra il primo e il secondo rilevamento, quale a esempio l'anno 1990, può

essere stimata assumendo costante la variazione annua di tale superficie tra i due rilevamenti inventariali.

La superficie $\hat{A}_{ij(2-x)}$ che la i-esima classe di copertura del suolo nel j-esimo strato aveva x anni prima del secondo rilevamento può, quindi, essere stimata pari a:

$$\hat{A}_{ij(2-x)} = \hat{A}_{ij2} - x\hat{v}_{ij} = \left(1 - \frac{x}{l_j}\right)\hat{A}_{ij2} + \frac{x}{l_j}\hat{A}_{ij1}$$

dove:

$\hat{A}_{ij2}$ = superficie della i-esima classe di copertura del suolo nel j-esimo strato al secondo rilevamento = $\hat{p}_{ij2}A_j$;

$\hat{A}_{ij1}$ = superficie della i-esima classe di copertura del suolo nel j-esimo strato al primo rilevamento = $\hat{p}_{ij1}A_j$;

$\hat{v}_{ij}$ = valore medio annuo di variazione della superficie della i-esima classe di copertura del suolo tra il primo e il secondo rilevamento nel j-esimo strato = $\frac{\hat{A}_{ij2} - \hat{A}_{ij1}}{l_j}$;

l_j = numero di anni tra il primo e il secondo rilevamento nel j-esimo strato.

Lo stimatore dell'errore standard di $\hat{A}_{ij(2-x)}$ è pari a:

$$\hat{s}_{\hat{A}_{ij(2-x)}} = \sqrt{\left(1 - \frac{x}{l_j}\right)^2 \hat{s}_{\hat{A}_{ij2}}^2 + \left(\frac{x}{l_j}\right)^2 \hat{s}_{\hat{A}_{ij1}}^2 + 2 \frac{lx - x^2}{l^2} \hat{s}_{\hat{A}_{ij2}\hat{A}_{ij1}}}$$

dove:

$\hat{s}_{\hat{A}_{ij2}}^2$ = varianza della stima della superficie della i-esima classe di copertura del suolo nel j-esimo strato al secondo rilevamento = $A_j^2 \hat{s}_{p_{ij2}}^2$;

$\hat{s}_{\hat{A}_{ij1}}^2$ = varianza della stima della superficie della i-esima classe di copertura del suolo nel j-esimo strato al primo rilevamento = $A_j^2 \hat{s}_{p_{ij1}}^2$;

$\hat{s}_{\hat{A}_{ij2}\hat{A}_{ij1}}$ = covarianza delle stime della superficie della i-esima classe di copertura del suolo nel j-esimo strato al primo e secondo rilevamento = $A_j^2 \hat{s}_{p_{ij2}p_{ij1}}$.

Per la stima a livello di Provincia o a livello di intera Regione della superficie di una data classe di copertura del suolo a una data intermedia tra il primo e il secondo rilevamento, è infine possibile aggregare tra loro in modo opportuno i valori stimati a livello di ciascun singolo strato, analogamente a quanto già illustrato per l'aggregazione delle stime della variazione annua di superficie (vedi Cap. 5.3.5.1).

5.3. Risultati e discussione

I risultati delle analisi condotte, suddivisi per singoli strati e Province, sono riportati nella tabella 5.2 (analisi del confronto tra superficie anni '80 e 2002) e nella tabella 5.3 (stima della superficie forestale al 1990).

Tabella 5.2: stima della espansione media annua delle formazioni forestali nei singoli strati inventariali.

<i>Provincia</i>	<i>Codice strato</i>	<i>Espansione media annua</i> <i>(ha)</i>	<i>Errore standard dell'espansione media annua</i> <i>(ha)</i>	<i>Espansione media annua per Provincia</i> <i>(ha)</i>	<i>Errore standard dell'espansione media annua per Provincia</i> <i>(ha)</i>
Chieti	1	71	18	479	55
	2	241	39		
	3	167	34		
L'Aquila	4	1.076	70	1.417	83
	5	341	49		
Pescara	6	143	26	176	30
	7	33	15		
Teramo	8	367	41	367	41
	9	0	0		

Nel territorio esaminato, la variazione media annua delle superfici delle classi di copertura del suolo considerate e i rispettivi intervalli fiduciali (al 95% di sicurezza statistica) sono stimati pari a:

⇒ **superfici artificiali: $+323 \pm 83$ ha anno⁻¹;**

⇒ **superfici agricole: -720 ± 124 ha anno⁻¹;**

⇒ **formazioni forestali: $+2.439 \pm 219$ ha anno⁻¹;**

⇒ **formazioni forestali rade: -1.053 ± 186 ha anno⁻¹;**

⇒ **prati, pascoli e incolti: -989 ± 144 ha anno⁻¹.**

Nel periodo considerato si è registrato, dunque, un netto aumento di formazioni forestali, dovuto soprattutto al passaggio a questa classe di copertura del suolo di superfici in precedenza classificate come boschi radi (*other wooded land*) e come prati, pascoli e incolti e, secondariamente, al passaggio da superfici agricole. Anche tenendo conto delle dinamiche interne tra formazioni forestali e formazioni forestali rade, si osserva comunque, globalmente, un significativo incremento medio annuale di aree boschive (formazioni forestali + formazioni forestali rade), pari a ben **1.387 ± 166 ha anno⁻¹**.

Si riscontra, inoltre, un significativo aumento di superfici artificiali, prevalentemente a scapito delle superfici agricole. La classe di copertura del suolo “altre superfici” non ha, invece, mostrato cambiamenti nel corso degli anni, in relazione alla natura dei punti inclusi in questa classe, rappresentati da aree di alta montagna rocciose (vegetazione rada o assente) e da corpi idrici (laghi, e fiumi).

Tabella 5.3: stima della superficie delle formazioni forestali al 1990 nei singoli strati inventariali.

<i>Provincia</i>	<i>Codice strato</i>	<i>Superficie al 1990 (ha)</i>	<i>Errore standard della superficie al 1990 (ha)</i>	<i>Superficie al 1990 per Provincia (ha)</i>	<i>Errore standard della superficie al 1990 per Provincia (ha)</i>
Chieti	1	16.243	946	71.149	2.115
	2	32.706	1.317		
	3	22.200	1.357		
L'Aquila	4	123.586	2.661	225.792	3.374
	5	102.206	2.076		
Pescara	6	30.386	1.336	38.386	1.561
	7	8.000	807		
Teramo	8	67.600	2.037	68.100	2.049
	9	500	216		
TOTALE				403.427	

Tabella 5.4: matrice di cambiamento di uso del suolo (espresso in termini di proporzioni) della Regione Abruzzo tra il primo (anni '80) ed il secondo (2002) rilevamento.

<i>Uso del suolo 2002</i>	<i>Uso del suolo anni '80</i>						
	Superfici artificiali	Superfici agricole	Superfici forestali	Superfici forestali rade	Prati pascoli e incolti	Altro	Totale
Superfici artificiali	0,030524	0,004810	0,000370	0	0,000277	0	0,035981
Superfici agricole	0	0,378966	0,000277	0	0	0	0,379243
Superfici forestali	0	0,007030	0,355472	0,024420	0,013320	0	0,400242
Superfici forestali rade	0	0,000277	0,000000	0,018223	0,005550	0	0,02405
Prati pascoli e incolti	0	0,000647	0,000185	0	0,138470	0	0,139302
Altro	0	0	0	0	0	0,021182	0,021182
Totale	0,030524	0,391730	0,356304	0,042643	0,157617	0,021182	1

La superficie forestale al 1990 è stimata pari a **403.427 ha**, con un intervallo fiduciario (al 95% di sicurezza statistica) pari a ± 9.295 ha.

Le formazioni forestali rade sono stimate pari a **38.635 ha** (± 3242 ha), e nel complesso, dunque, nel 1990 le aree boschive raggiungevano un valore pari a **442.061 ha** (± 9.844 ha).

Fig. 5.5: scheda descrittiva di un punto INFC (n. 166146, in giallo) della Regione Abruzzo che ha cambiato uso del suolo nel corso degli ultimi 20 anni.

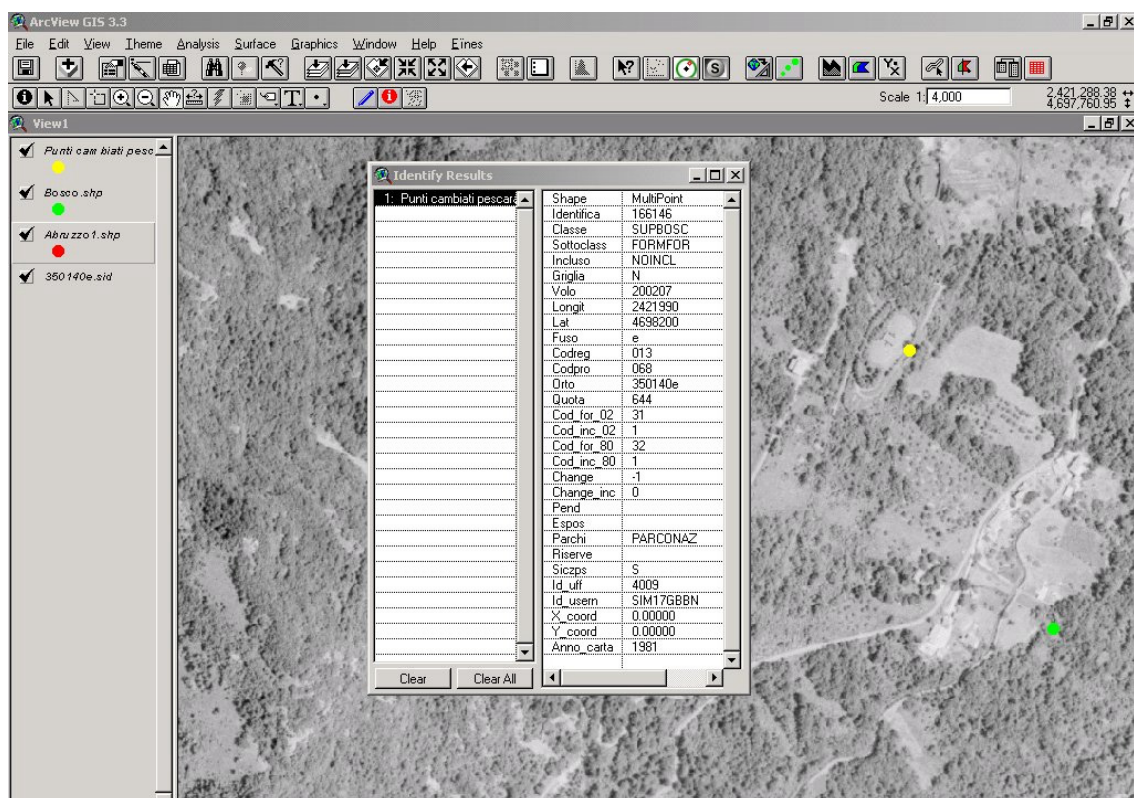


Fig. 5.6: numero di punti INFC della Regione Abruzzo che hanno cambiato uso del suolo nel periodo “anni’80-2002” (supart= sup. artificiali, supagr= sup. agricole, formfor= superfici forestali, formrad= superfici forestali rade, prapasin= prati pascoli ed incolti).

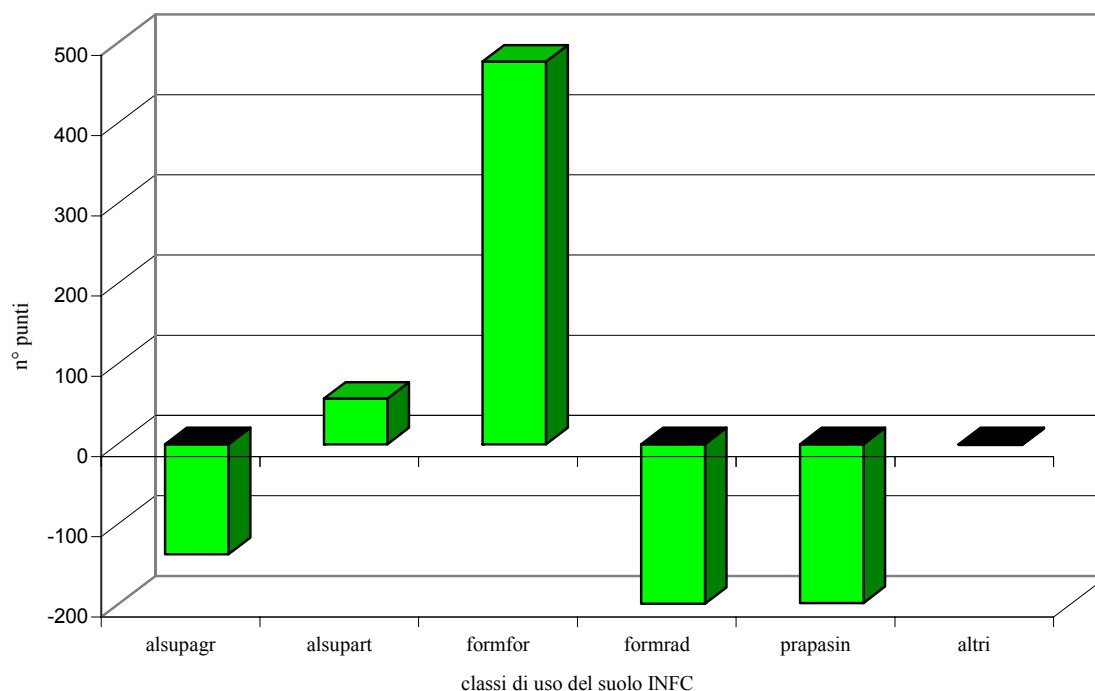


Fig. 5.7: punti INFC della Regione Abruzzo (in %) che hanno cambiato uso del suolo nel periodo “anni’80-2002” (supart= sup. artificiali, supagr= sup. agricole, formfor= superfici forestali, formrad= superfici forestali rade, prapasin= prati pascoli ed incolti)

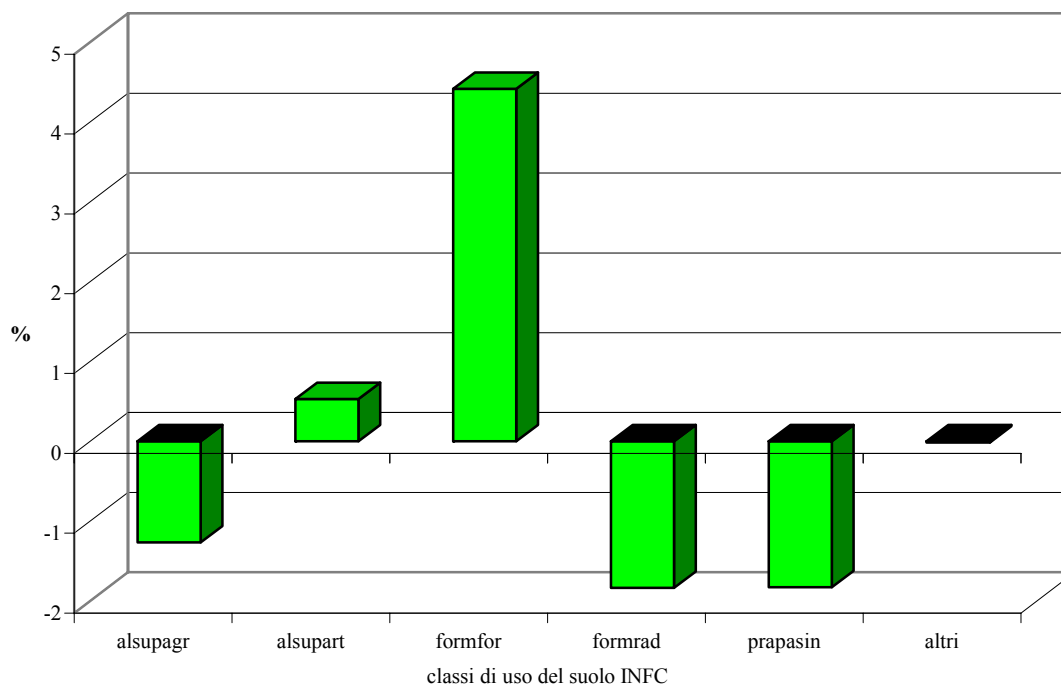


Fig. 5.8: variazione uso del suolo di punti INFC della Regione Abruzzo (suddivisi per province) nel periodo “anni’80-2002” (supart= sup. artificiali, supagr= sup. agricole, formfor= superfici forestali, formrad= superfici forestali rade, prapasin= prati pascoli ed incolti).

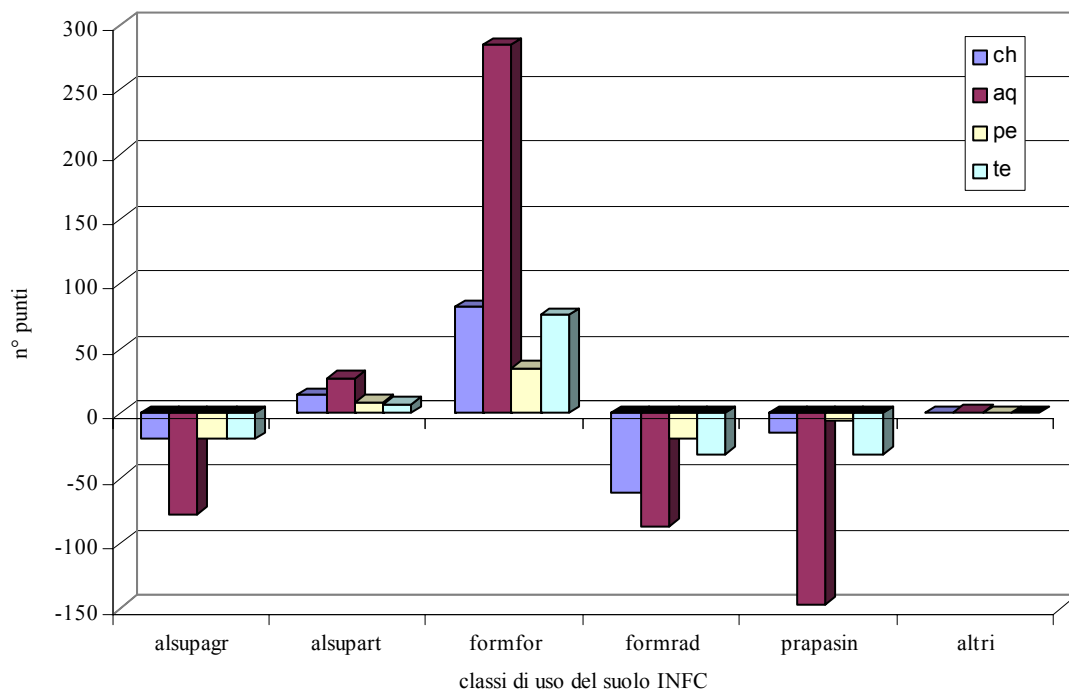
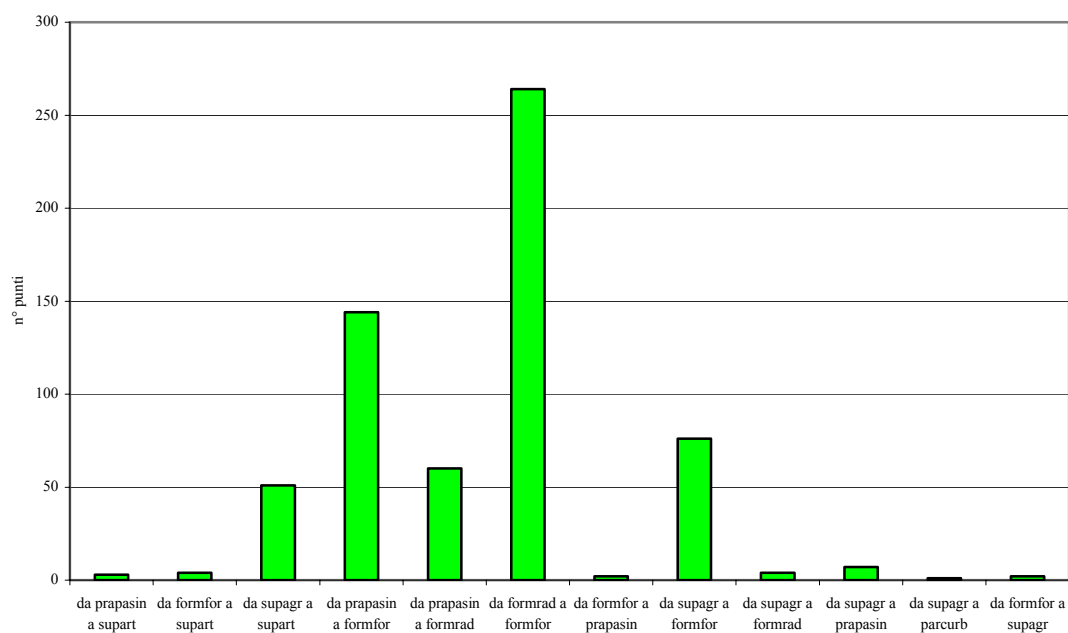


Fig. 5.9: variazione uso del suolo di punti INFC della Regione Abruzzo nel periodo “anni’80-2002” (supart= sup. artificiali, supagr= sup. agricole, formfor= superfici forestali, formrad= superfici forestali rade, prapasin= prati pascoli ed incolti).



L'espansione delle aree boschive rappresenta la dinamica nettamente più significativa riscontrata nel mosaico territoriale esaminato. L'incremento di superficie forestale registrato negli ultimi due decenni in Abruzzo corrisponde a un tasso percentuale medio annuo di espansione pari a circa 0,23%, se rapportato alla superficie totale regionale, e pari a 0,60% se rapportato alla superficie delle formazioni forestali stimata al 1990.

Sulla base delle evidenze ottenute dalla sperimentazione condotta, l'approccio proposto risulta agevolmente applicabile e in grado di fornire risultati assai precisi, tenuto conto della dimensione campionaria adottata (la stessa di INFC). La stima a scala regionale della superficie forestale al 1990 è caratterizzata da un errore standard relativo di poco superiore all'1%; essa rappresenta, dunque, una valutazione molto affidabile della base di partenza (*baseline*) ai fini del conteggio della fissazione/emissione di carbonio determinata da interventi di "afforestazione", "riforestazione" o da fenomeni di "riforestazione naturale" avvenuti dopo il 1990 ai fini di *reporting* nell'ambito delle richieste informative del Protocollo di Kyoto. La stessa stima della variazione media annua di superficie forestale è affetta, a livello regionale, da un errore standard inferiore al 5%.

Data l'ovvia impossibilità di rilievi in campo, le possibili metodologie di determinazione *ex post* dell'espansione della superficie forestale e del suo valore al 1990 devono essere basate sull'utilizzo di immagini telerilevate storiche. È, in ogni caso, necessario disporre di immagini con risoluzione geometrica adeguata alla definizione di "foresta" adottata. A esempio, ai fini del Protocollo di Kyoto, tale definizione, pur variabile da Paese a Paese, contempla un'unità minima rilevabile mai superiore a 1 ha (per l'Italia tale unità minima è pari a 0,5 ha, secondo una definizione analoga a quella impiegata dalla FAO per il *Forest Resource Assessment*, vd. didascalia Tab. 4.1): ciò implica l'impiego di immagini con risoluzione geometrica compatibile con una scala di lavoro mai minore di 1:10.000-1:15.000.

Inoltre, si osserva che per la determinazione delle superfici delle varie classi di copertura del suolo è possibile, tramite le immagini telerilevate, procedere alla mappatura completa di tutto il territorio considerato, con l'individuazione in continuo del perimetro dei poligoni afferenti alle varie classi e successiva loro planimetrazione (automatica), oppure alla stima campionaria delle superfici per conta di punti campione,

come sperimentato nel caso in esame. Per territori vasti, questa seconda opzione non solamente è più veloce, e quindi meno dispendiosa, di quella per mappatura completa, ma, secondo quanto evidenziato da Carfagna e Gallego (1999), i risultati ottenibili sono in genere anche più accurati, nonostante che con la mappatura completa si operi una sorta di censimento completo della popolazione di interesse.

In sintesi, le statistiche di superficie boschiva su ampi territori, e le valutazioni da esse derivabili in termini di espansione del bosco (con il correlato aumento di fissazione del carbonio atmosferico), ottenute con un approccio estimativo quale quello proposto (inventario continuo basato sulla classificazione della copertura del suolo su punti campione) appaiono scientificamente più difendibili, e più agevolmente certificabili di quelle tradizionalmente ottenute dalla mappatura completa della copertura del suolo, in quanto rigorosamente impostate in termini squisitamente probabilistici e più facilmente ripetibili in termini strettamente oggettivi.

Nel caso di ampi territori il campionamento è più veloce, più economico e soprattutto tende a fornire risultati più accurati rispetto alla mappatura completa. Ci sono infatti importanti rischi che possono essere corsi nell'uso della mappatura, prodotti attraverso l'interpretazione di immagini da satellite o da foto aeree come strumenti diretti di stima delle variabili spaziali. Quando si fa mappatura completa gli errori tendono ad essere sistematici e, in generale, non c'è compensazione tra commissioni e omissioni di errori (per esempio l'area con uso del suolo di tipo A è mappata come uso del suolo di tipo B non è compensata da aree di tipo B mappate come A).

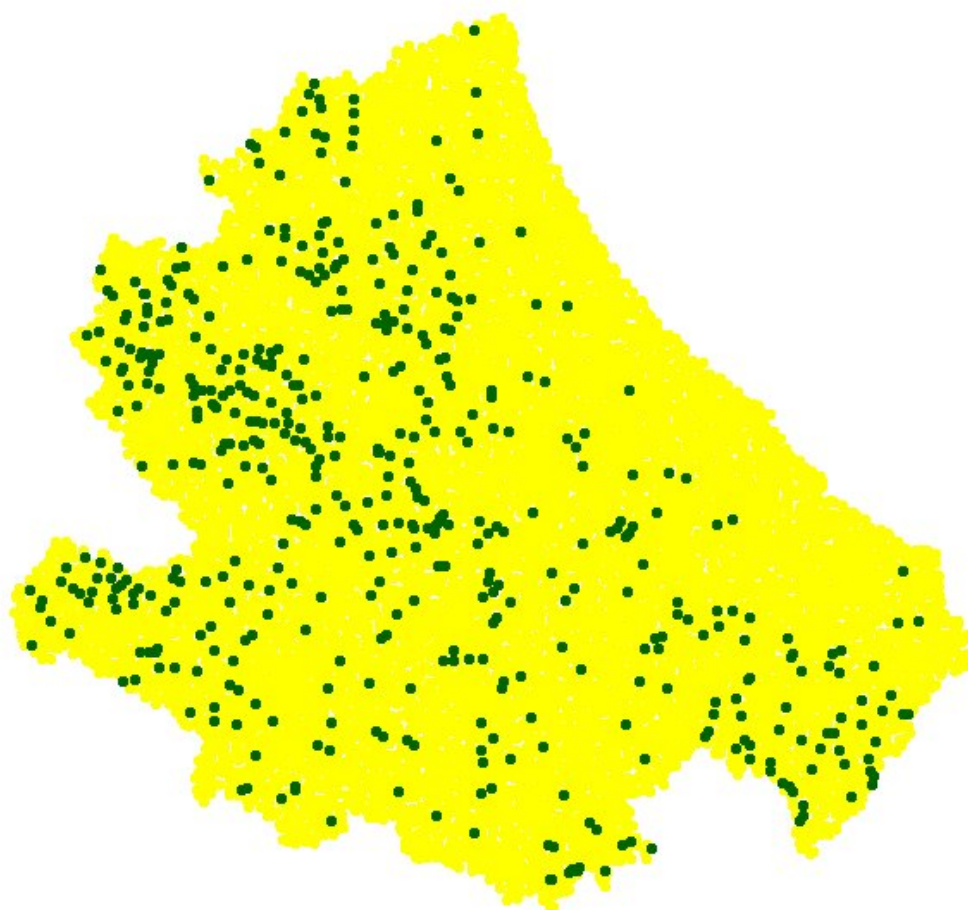
Il risultato è che la somma di errori campionati e non campionati nei campionamenti per stime statistiche territoriali è molto spesso minore rispetto agli errori di non campionamento della mappazione per statistiche territoriali (Carfagna e Gallego, 1999).

Quanto detto è ancor più vero nella stima del cambiamento in caso di territori come quello della Regione Abruzzo, caratterizzato da forti dinamiche tra aree coltivate e prati e pascoli, verso la foresta, la quale classificazione è definita rispetto alla copertura delle chiome degli alberi (superfici non forestali <5%, superfici forestali rade $\leq 5\%$, superfici forestali >10%): l'omissione o la commissione di errori possibili mediante la mappatura di poligoni interamente delineati e la classificazione di poligoni aventi una copertura forestale inferiore o superiore ai limiti del 5% o del 10% sono

normalmente molto più rilevanti rispetto a quelli compiuti attraverso il più semplice e più operativo metodo della classificazione di punti campione.

Per concludere la valutazione delle dinamiche forestali su ampi territori (e le sue implicazioni legate alle tematiche relative ai contenuti in carbonio) ottenute mediante la stima probabilistica che in questo studio è stata utilizzata (classificazione di uso del suolo mediante analisi di punti di campionamento permanenti) rappresenta un valido approccio, più semplice e più oggettivamente ripetibile in confronto alla convenzionale mappatura ripetuta. Questa considerazione è abbastanza rilevante per quel che riguarda l'aspetto pratico poiché supporta la fattibilità dell'approccio metodologico illustrato nel *“Good Practice Guidance”* dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change*, approvato alla Conferenza delle Parti UN-FCCC (Buenos Aires, 2004). La possibilità di derivare stime incerte basate su procedure statistiche formali è un importante vantaggio delle procedure di campionamento in confronto ad altri metodi di valutazione di superfici forestali: l'attendibilità delle informazioni prodotte può essere valutata quantitativamente sulla base dei dati acquisiti e può anche essere di buona utilizzazione nella stima dell'errore totale delle valutazioni dei cambiamenti degli *stock* di carbonio.

Figura 5.10: punti di campionamento che hanno subito un cambiamento di classe di uso del suolo (classificati come non foresta negli anni '80 e successivamente classificati foresta nel 2002) all'interno della Regione Abruzzo.



CAP. 6: STUDIO DEL CAMBIAMENTO DELLE CLASSI D'USO DEL SUOLO NELLA REGIONE ABRUZZO DAL 1954 AD OGGI

6.1. Introduzione

Il capitolo precedente ha mostrato i risultati relativi all'indagine sulla variazione dell'uso del suolo ed in particolare della superficie forestale della Regione Abruzzo negli ultimi 20 anni. Un ulteriore passo in avanti nella conoscenza del cambiamento in atto del territorio abruzzese viene presentato in questo capitolo dove l'analisi multitemporale si spinge fino a confrontare detto territorio in un arco temporale di 50 anni. Questo periodo storico ha, infatti, visto i maggiori cambiamenti della struttura sociale ed economica della popolazione, che, uscita dalla seconda guerra mondiale, ha messo in atto, come nel resto del Paese, una vera e propria rivoluzione culturale che ha investito ogni settore, non ultimo quello ambientale.

La ricerca di seguito illustrata è finalizzata dunque alla presentazione di un approccio probabilistico di valutazione su ampie superfici basato sulla classificazione della copertura del suolo ripetuta in occasioni successive sugli stessi punti di sondaggio. Nello specifico, viene evidenziato il lavoro di ricerca condotto sull'intera Regione Abruzzo, dove la classificazione multitemporale di punti di sondaggio permanenti su foto aeree ha consentito una stima oggettiva del tasso medio di espansione delle formazioni forestali dagli anni '50 del secolo scorso all'attualità (Corona et al., 2006). Lo svolgimento della ricerca ha visto l'utilizzo di materiale fotografico del 1954 (foto IGM del primo volo sull'Italia) confrontato con le ortofoto digitali AGEA del 2002 utilizzate per il nuovo inventario nazionale (INFC) realizzato dal Corpo forestale dello Stato. Il metodo proposto è basato sulla classificazione della copertura del suolo su *cluster* di punti campione permanenti: a tal fine, sono stati sviluppati gli stimatori campionari e sono stati messi in evidenza i cambiamenti intervenuti nel tempo nelle varie classi di copertura del suolo.

6.2. Materiali e metodi

6.2.1. *Schema di campionamento*

Il numero e la dislocazione dei punti di sondaggio permanenti adottati per lo studio del cambiamento delle classi di uso del suolo nella Regione Abruzzo dal 1954 ad oggi rappresentano un campione estratto dal totale di quelli della prima fase dell'inventario INFC (vedi capitoli precedenti).

Il campione di punti è stato individuato mediante la selezione dei punti presenti su 30 foto aeree del 1954, realizzate allo scopo di redigere la prima carta geografica italiana a scala 1:25.000 a cura dell'Istituto Geografico Militare di Firenze.

Queste foto (1.016 in totale) sono state suddivise in strati secondo la loro appartenenza provinciale (Teramo 198 foto, L'Aquila 516 foto, Pescara 112 foto, Chieti 190 foto) (Fig. 6.1).

Proporzionalmente alla superficie provinciale è stato deciso il numero di foto da estrarre per strato al fine di ottenere 30 foto (numero giudicato opportuno e sufficiente per lo svolgimento della ricerca, sia per motivi di ordine statistico, sia per la complessità della tipologia dei punti estratti) da cui estrarre il campione di punti da analizzare.

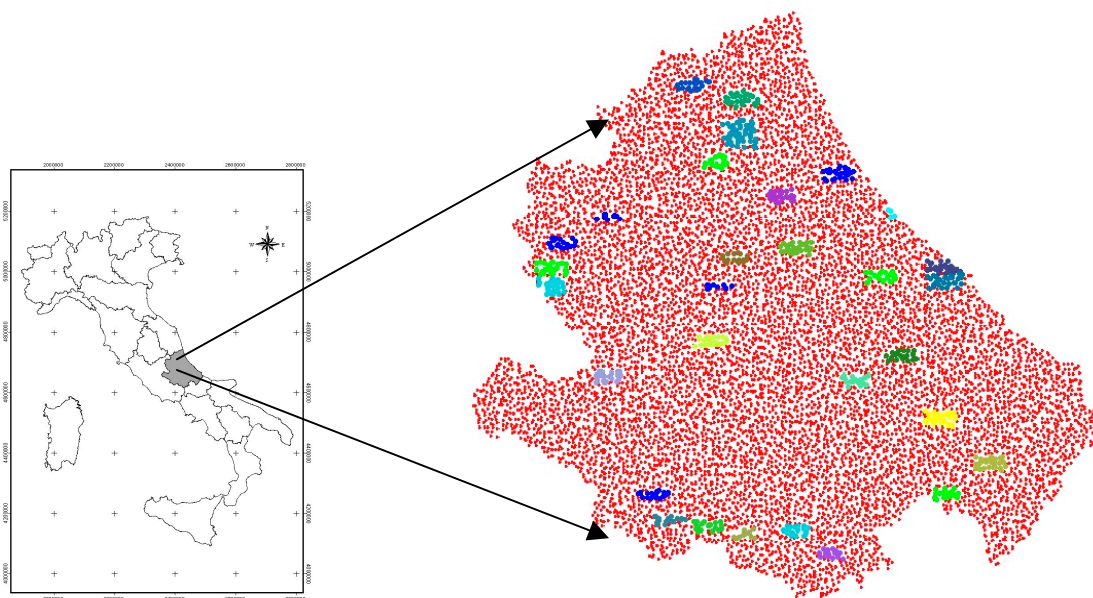
Le 30 foto (Tab. 6.1) estratte casualmente dalle 1016 del volo IGM 1954 sono state così suddivise: 6 foto per Teramo, 14 foto per L'Aquila, 3 foto per Pescara, 7 foto per Chieti.

Su dette 30 foto sono stati riportati i punti INFC individuati sulla cartografia AGEA del 2002 (Fig. 6.2).

Tab. 6.1: elenco delle foto estratte suddivise per strati (1=Teramo, 2=L'Aquila, 3=Pescara, 4=Chieti). I punti campione analizzati sono stati 593.

ID foto 1954	strato	superficie m ² per foto	n. punti campione
2037	1	22.042.027	20
2143	1	18.056.829	17
2239	1	25.523.995	27
2242	1	50.015.407	46
2404	1	22.000.020	22
2449	1	28.081.830	25
1714	2	17.814.854	20
1355	2	18.996.516	18
1399	2	21.536.396	22
1401	2	24.984.412	23
1699	2	16.349.883	9
1856	2	17.263.757	18
2089	2	10.983.341	21
2154	2	8.433.855	9
2252	2	16.163.104	17
2539	2	18.934.361	15
3360	2	18.877.400	15
3502	2	17.325.830	18
3537	2	14.944.953	11
3643	2	18.385.660	17
2360	3	24.410.157	26
2818	3	5.735.972	4
2700	3	17.822.136	16
4498	4	23.750.262	26
2771	4	22.992.540	20
2808	4	21.271.135	21
2834	4	21.680.875	22
2835	4	25.759.450	26
2844	4	24.269.948	24
3856	4	20.122.616	18
	<i>totale</i>	614.529.521	593

Fig. 6.2: 10.811 punti inventariali (in rosso) INFC Regione Abruzzo di prima fase, 593 (in altri colori) dei quali, suddivisi in 30 foto distribuite proporzionalmente alla superficie provinciale, sono stati estratti, identificati e classificati in una delle sei classi di uso del suolo.



6.2.2. Fotointerpretazione

I punti di sondaggio sono stati classificati nelle seguenti classi di copertura del suolo secondo il protocollo ufficialmente adottato dal nostro Paese per INFC (vedi Tab. 4.1):

- superfici artificiali;
- superfici agricole;
- superfici forestali;
- superfici forestali rade;
- prati pascoli e incolti;
- altro (comprensivo di vegetazione rada o assente, acque, ecc.).

La classificazione dei punti di sondaggio sulle ortofoto AGEA è stata considerata come verità a terra al 2002, mentre quella sulle foto IGM è stata considerata come verità

a terra al 1954. I punti facenti parte del campione sono stati suddivisi in 4 strati rappresentanti le diverse Province (1=Teramo, 2=L'Aquila, 3=Pescara, 4= Chieti).

Ogni foto estratta è stata individuata, mediante la lettura delle coordinate geografiche dei fotogrammi scattati riportati sulle relative strisciate contenute nei piani di volo e riportata sulle relative tavolette 1:100.000 IGM, dimensionata, mediante applicazione del programma GIS utilizzato per l'elaborazione e lo studio delle immagini, ed infine vi sono stati riportati i punti del nuovo inventario forestale INFC che sono stati poi valutati e classificati nelle sei classi di copertura del suolo secondo il protocollo ufficialmente adottato dal nostro Paese per INFC, come sopra già specificato (Fig. 6.3).

Per ogni foto estratta quindi è stata misurata la superficie coprente, i punti appartenenti, lo strato di ogni punto e gli eventuali secondi e terzi strati (possibili per le sovrapposizioni delle fotografie), è stata valutata la classe di uso del suolo al 1954 e quella al 2002.

Di seguito sono riportati alcuni esempi di situazioni esaminate. Nelle Figg. 6.4, 6.5, 6.6 e 6.7, si può notare come la situazione mostrata dalle fotografie del 1954 e del 2002, mostri un notevole cambiamento, in alcuni casi mostrante l'avanzamento del bosco, in un caso la diffusione di attività umane (centro abitato).

Fig. 6.3: confronto Foto IGM 1954 (a sinistra) e ortofoto 2002 (a destra), Comune di Montorio al Vomano (AQ).

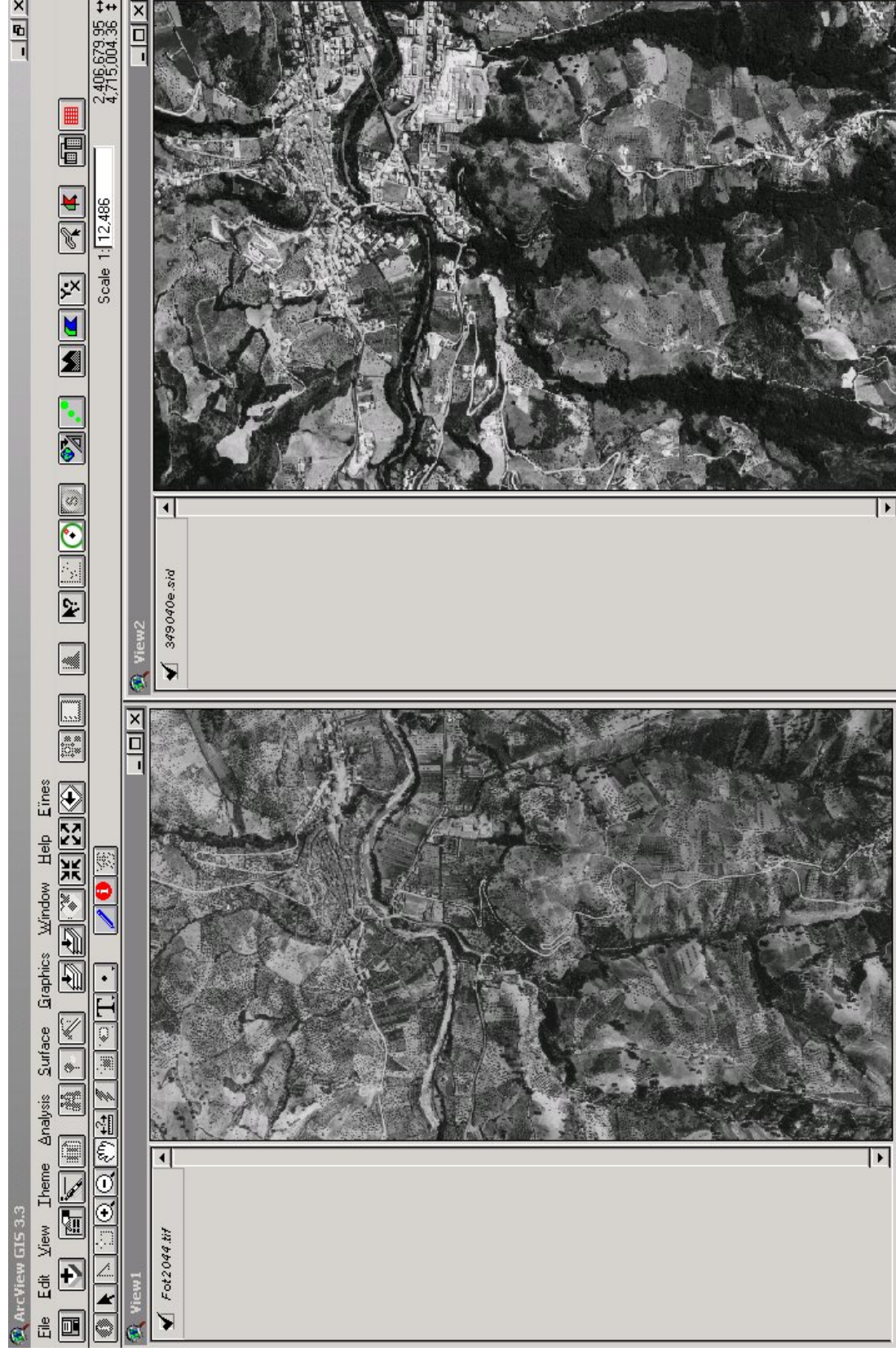


Fig. 6.4: punti INFC 166876 e 166621: a sinistra su foto del 1954 (classificati come “prati pascoli e incolti”), a destra su foto del 2002 (classificati come “formazioni forestali”).

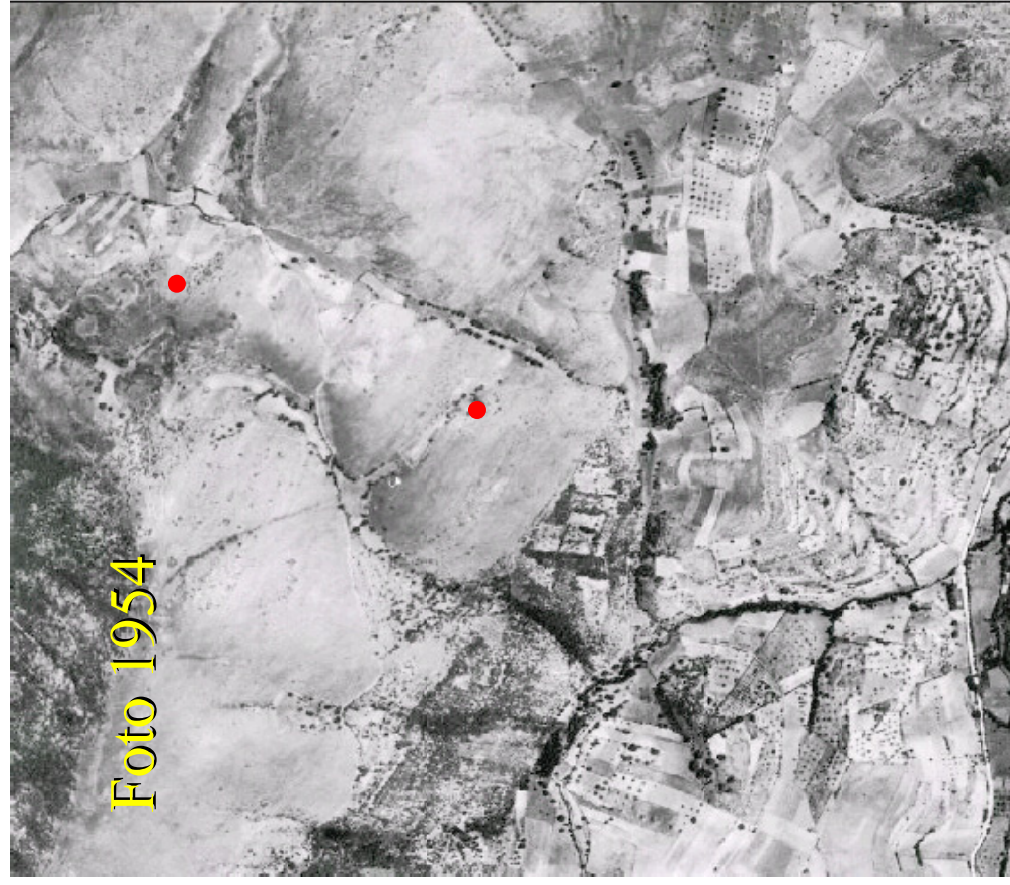


Fig. 6.5: punto INFC 166875, a sinistra su foto del 1954 (classificato come “superfici agricole”), a destra su foto del 2002 (classificato come “formazioni forestali”).



Fig. 6.6: punto INFC 180950 a sinistra su foto del 1954 (classificato come “prati pascoli e incolti”), a destra su foto del 2002 (classificato come “formazioni forestali”).

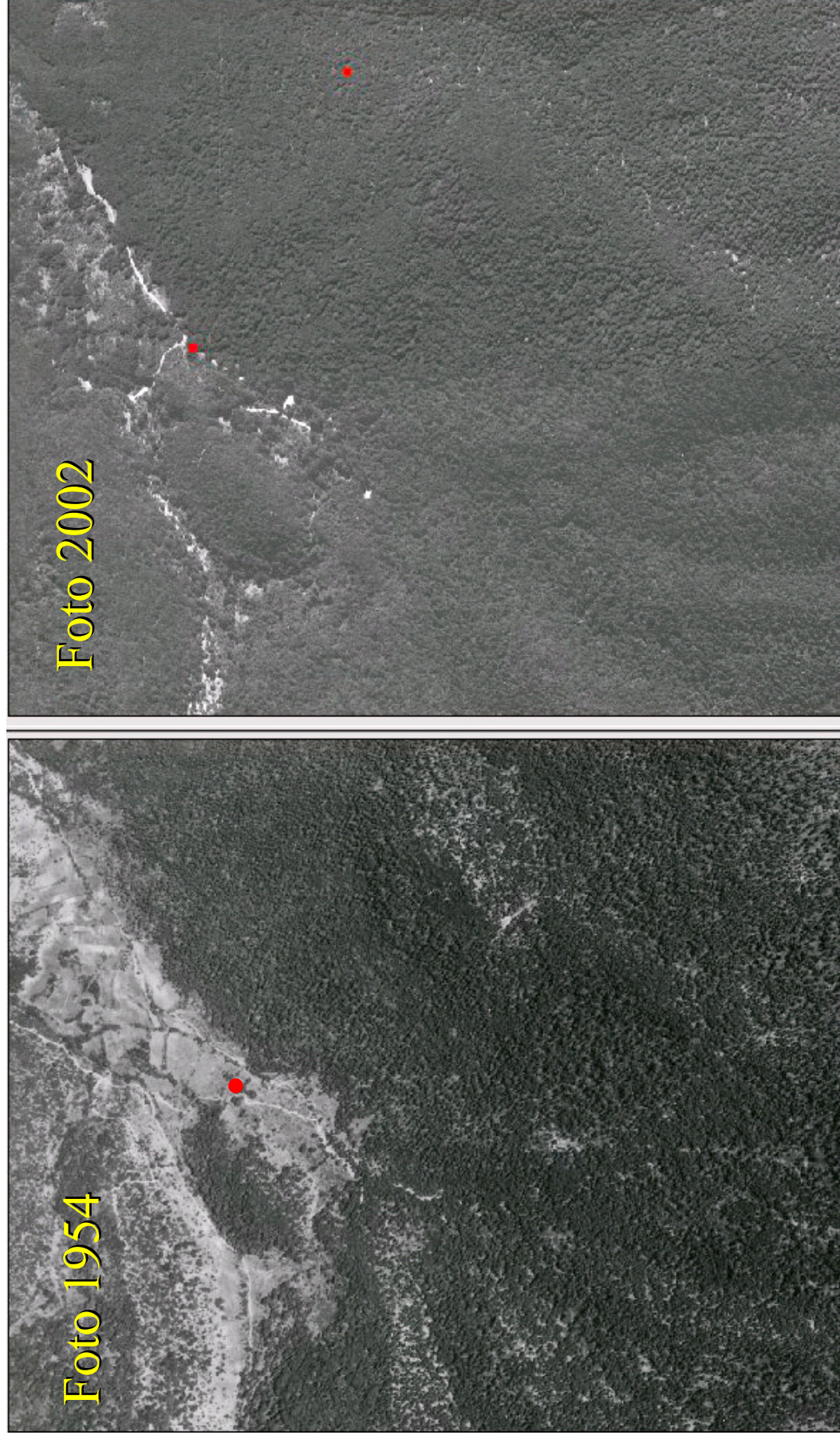


Fig. 6.7: punti INFC 162461 e 162462, a sinistra su foto del 1954 (classificati come “superfici agricole”), a destra su foto del 2002 (classificati come “superfici artificiali”).



6.3. Analisi statistica dei dati (Corona et al., 2006)

6.3.1. Definizione del problema

Alla superficie della Regione Abruzzo pari ad $A = 10.797,81 \text{ km}^2$ è stata sovrapposta una superficie di $R = 11.213 \text{ km}^2$, costituita da $N = 11.213$ quadrati di ampiezza 1 km^2 che ricoprono completamente il territorio stesso. Ciascun quadrato contiene in tutto o in parte una porzione della Regione Abruzzo.

Si considerino allora le 6 classi di uso del suolo elencate ed identificate nella Tab. 4.1 e si indichi con $\mathbf{A} = [A_1, \dots, A_6]^T$ il vettore delle superfici della Regione relative a tali classi all'anno 1954 e con $\mathbf{B} = [B_1, \dots, B_6]^T$ il vettore delle stesse superfici all'anno 2002. Il vettore delle coperture delle 6 classi all'anno 1954, $\boldsymbol{\pi} = [\pi_1, \dots, \pi_6]^T$ può essere allora espresso come $\boldsymbol{\pi} = \mathbf{A} / R$ e, analogamente, il vettore delle coperture delle stesse classi all'anno 2002, $\boldsymbol{\psi} = [\psi_1, \dots, \psi_6]^T$ può essere espresso come $\boldsymbol{\psi} = \mathbf{B} / R$. Dunque, una volta ottenute le stime di $\boldsymbol{\pi}$ e $\boldsymbol{\psi}$, le stime di $\mathbf{A}$ e $\mathbf{B}$ si ottengono semplicemente dalle relazioni $\mathbf{A} = R\boldsymbol{\pi}$ e $\mathbf{B} = R\boldsymbol{\psi}$.

Quindi il vettore $\boldsymbol{\theta} = [\boldsymbol{\pi}, \boldsymbol{\psi}]^T$ costituito da 12 componenti risulta essere il parametro incognito da stimare al fine di determinare le eventuali differenze significative tra la situazione del 1954 e quella del 2002.

6.3.2. Piano di campionamento

La prima fase di campionamento è stata effettuata al fine di stimare le superfici delle sei classi di uso del suolo nell'anno 2002 sulla base delle ortofoto aeree AGEA 2002 che sono considerate come la verità a terra. In tale fase di campionamento le foto sono state suddivise in $N = 11.213$ quadrati di superficie pari a 1 km^2 e in ciascuno dei quadrati è stato selezionato casualmente un punto secondo lo schema del campionamento sistematico non allineato. La superiorità di tale schema di

campionamento rispetto ad altri schemi usualmente utilizzati in prima fase è stata provata in Fattorini (2003) e Fattorini *et al.* (2004) in un approccio completamente basato sul disegno. Dal momento che tutti i punti selezionati sono stati fotointerpretati sulle ortofoto AGEA 2002 e successivamente assegnati ad una delle sei classi di uso del suolo o ad una ulteriore classe comprendente i punti caduti al di fuori dei confini della Regione, l'informazione campionaria raccolta nella prima fase di campionamento è sufficiente per ottenere la stima di ψ , oltre a una stima conservativa della sua matrice di varianza-covarianza campionaria (cfr. paragrafo 6.4.3.). Per quanto riguarda invece la stima di π , la verità a terra al 1954 è costituita dalle foto aeree del volo IGM 1954. Tuttavia andare a ritrovare e fotointerpretare tutti gli 11.213 punti di prima fase sulle foto aeree del 1954 risulterebbe un lavoro proibitivo. Quindi π non può essere stimato con una sola fase di campionamento ma necessita di una seconda fase in cui un campione di $n < N$ punti viene estratto attraverso uno opportuno schema di campionamento e tali punti vengono poi classificati in una delle sei classi di uso del suolo sulla base delle foto IGM 1954.

In particolare dal momento che le foto aeree del volo IGM 1954 ricoprono la Regione Abruzzo sono $M = 1.030$ e che ciascuna foto contiene un diverso numero di punti di prima fase, tali foto sono state considerate come unità di campionamento. In particolare la popolazione di 1.030 foto è stata ripartita in $L = 4$ strati territoriali approssimativamente corrispondenti alle quattro Province: strato 1 (Provincia di Teramo) costituito da $M_1 = 198$ foto; strato 2 (Provincia di L'Aquila) costituito da $M_2 = 529$ foto; strato 3 (Provincia di Pescara) costituito da $M_3 = 112$ foto; strato 4 (Provincia di Chieti) costituito da $M_4 = 191$ foto. Da ciascun strato è stato estratto un campione di foto con campionamento casuale semplice senza ripetizione. Il numero di foto estratte in ogni strato è stato fissato proporzionalmente alla superficie delle Province. In tal modo quattro campioni di $m_1 = 6$, $m_2 = 14$, $m_3 = 3$ e $m_4 = 7$ sono stati estratti dai rispettivi strati per un totale di $m = 30$ foto estratte. Per ognuna delle foto estratte tutti i punti di prima fase contenuti nella foto sono stati identificati e classificati in una delle sei classi di uso del suolo ottenendo così un campione di seconda fase costituito da $n = 593$ punti distinti. Tale operazione conclude il campionamento in quanto l'informazione acquisita nelle due fasi di campionamento è completamente sufficiente per ottenere una stima di π , una stima conservativa della sua matrice di varianza-covarianza e una stima

conservativa della matrice di varianza-covarianza dello stimatore dell'intero parametro θ (cfr. paragrafo 6.3.4.).

6.3.3. Stimatori di prima fase

Al fine di ottenere espressioni compatte degli stimatori è conveniente utilizzare la notazione matriciale adottata in Fattorini *et al.* (2004). Si considerino quindi le 6 classi di uso del suolo identificate nella Tab. 4.1.

Si indichi poi con $\mathbf{x}_i()$ il vettore a 6 dimensioni uguale a $\mathbf{e}_j$ se il punto i si trova nella classe j al 1954 e uguale a $\mathbf{0}$ se il punto i risulta esterno ai confini della Regione Abruzzo e, analogamente, si indichi con $\mathbf{y}_i()$ il vettore a 6 dimensioni uguale a $\mathbf{e}_j$ se il punto i si trova nella classe j al 2002 e uguale a $\mathbf{0}$ se il punto i risulta esterno ai confini della Regione, dove $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_6$ rappresentano i vettori della base standard di $\mathbb{R}^6$ e $\mathbf{0}$ rappresenta il vettore a componenti tutte nulle. Si indichi infine con $\mathbf{z}_i = [\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i]^T$, il vettore a 12 dimensioni che identifica la collocazione del punto i ai due diversi istanti temporali.

Se $\mathbf{x}_i$ ed $\mathbf{y}_i$ fossero completamente rilevabili rispettivamente dalle foto aeree IGM 1954 e dalle ortofoto AGEA 2002, la prima fase di campionamento sarebbe sufficiente ad ottenere uno stimatore corretto di θ e uno stimatore conservativo della matrice di varianza-covarianza campionaria. In questo caso infatti lo stimatore di θ risulta semplicemente

$$\mathbf{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{z}_i \quad (1)$$

ed è possibile dimostrare che tale stimatore è corretto, ovvero

$$E_1(\mathbf{t}) = \theta \quad (2)$$

con matrice di varianza covarianza

$$\mathbf{V}_1(\mathbf{t}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \mathbf{V}_1(\mathbf{z}_i) \quad (3)$$

dove E_1 e V_1 indicano gli operatori valore atteso e varianza-covarianza rispetto alla prima fase di campionamento. Inoltre, dalla proprietà della media di vettori casuali indipendenti risulta che

$$\hat{\mathbf{V}}_1(\mathbf{t}) = \frac{1}{N} \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\mathbf{z}_i - \mathbf{t})(\mathbf{z}_i - \mathbf{t})^T \quad (4)$$

costituisce uno stimatore conservativo della matrice di varianza e covarianza, nel senso che

$$E_1\{\hat{\mathbf{V}}_1(\mathbf{t})\} - \mathbf{V}_1(\mathbf{t}) \geq \mathbf{0} \quad (5)$$

Tuttavia per il seguito della trattazione è utile tenere presente che $\mathbf{t}$ risulta costituito da due sotto-vettori di dimensione 6, ovvero $\mathbf{t} = [\mathbf{p}, \mathbf{q}]^T$ dove

$$\mathbf{p} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i \quad (6)$$

costituisce lo stimatore di prima fase per $\boldsymbol{\pi}$ mentre

$$\mathbf{q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{y}_i \quad (7)$$

costituisce lo stimatore di prima fase per $\boldsymbol{\psi}$. Inoltre la matrice di varianza-covarianza $\mathbf{V}_1(\mathbf{t})$ risulta composta da 4 sotto-matrici quadrate di ordine 6, ovvero

$$\mathbf{V}_1(\mathbf{t}) = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1(\mathbf{p}) & \mathbf{C}_1(\mathbf{p}, \mathbf{q}) \\ \mathbf{C}_1(\mathbf{p}, \mathbf{q})^T & \mathbf{V}_1(\mathbf{q}) \end{bmatrix} \quad (8)$$

dove

$$\mathbf{V}_1(\mathbf{p}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \mathbf{V}_1(\mathbf{x}_i) \quad (9)$$

rappresenta la matrice della matrice di varianza-covarianza di $\mathbf{p}$,

$$\mathbf{V}_1(\mathbf{q}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \mathbf{V}_1(\mathbf{y}_i) \quad (10)$$

rappresenta la matrice di varianza-covarianza di $\mathbf{q}$, mentre

$$\mathbf{C}_1(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \mathbf{C}_1(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i) \quad (11)$$

rappresenta la matrice di covarianza di $\mathbf{p}$ e $\mathbf{q}$.Infine, la matrice $\hat{\mathbf{V}}_1(\mathbf{t})$ risulta composta da 4 sotto-matrici quadrate di ordine 6 , ovvero

$$\hat{\mathbf{V}}_1(\mathbf{t}) = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{V}}_1(\mathbf{p}) & \hat{\mathbf{C}}_1(\mathbf{p}, \mathbf{q}) \\ \hat{\mathbf{C}}_1(\mathbf{p}, \mathbf{q})^T & \hat{\mathbf{V}}_1(\mathbf{q}) \end{bmatrix} \quad (12)$$

dove

$$\hat{\mathbf{V}}_1(\mathbf{p}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^T - \frac{1}{N^2(N-1)} \sum_{h>i=1}^N (\mathbf{x}_i \mathbf{x}_h^T + \mathbf{x}_h \mathbf{x}_i^T) \quad (13)$$

è uno stimatore conservativo di $\mathbf{V}_1(\mathbf{p})$,

$$\hat{V}_1(\mathbf{q}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \mathbf{y}_i \mathbf{y}_i^T - \frac{1}{N^2(N-1)} \sum_{h>i=1}^N (\mathbf{y}_i \mathbf{y}_h^T + \mathbf{y}_h \mathbf{y}_i^T) \quad (14)$$

è uno stimatore conservativo di $V_1(\mathbf{q})$, mentre

$$\hat{C}_1(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i \mathbf{y}_i^T - \frac{1}{N^2(N-1)} \sum_{h>i=1}^N (\mathbf{x}_i \mathbf{y}_h^T + \mathbf{x}_h \mathbf{y}_i^T) \quad (15)$$

è uno stimatore di $C_1(\mathbf{p}, \mathbf{q})$.

Tuttavia, dal momento che i valori di $\mathbf{x}_i$ non sono noti direttamente dalle foto aeree del 1954, ne segue che $\mathbf{q}$ risulta noto dopo la prima fase di campionamento, mentre $\mathbf{p}$ risulta incognito e deve essere stimato sulla base di un campionamento di seconda fase. A tal fine occorre fare presente che $\mathbf{x}_i = \mathbf{0}$ per tutti i 402 punti caduti fuori dai confini della Regione Abruzzo. Quindi, indicando con $\mathbf{U}$ l'insieme dei 10.811 punti caduti entro i confini, le quantità (6), (13) e (15) possono essere riscritte come

$$\mathbf{p} = \frac{1}{N} \sum_{i \in \mathbf{U}} \mathbf{x}_i \quad (16)$$

$$\hat{V}_1(\mathbf{p}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i \in \mathbf{U}} \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^T - \frac{1}{N^2(N-1)} \sum_{h>i \in \mathbf{U}} (\mathbf{x}_i \mathbf{x}_h^T + \mathbf{x}_h \mathbf{x}_i^T) \quad (17)$$

$$\hat{C}_1(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i \in \mathbf{U}} \mathbf{x}_i \mathbf{y}_i^T - \frac{1}{N^2(N-1)} \sum_{h>i \in \mathbf{U}} (\mathbf{x}_i \mathbf{y}_h^T + \mathbf{x}_h \mathbf{y}_i^T) \quad (18)$$

6.3.4. Stimatori di seconda fase

Si indichi allora con $\mathbf{S}$ un campione di seconda fase costituito da n punti selezionati da $\mathbf{U}$ tramite un qualunque campionamento probabilistico e si supponga che

$\mathbf{x}_i$ sia rilevato sulle foto aeree 1954 per ogni $i \in \mathbf{S}$. Si indichi poi con α_i e α_{ih} le probabilità di inclusione del primo e del secondo ordine per ogni $i \neq h \in \mathbf{U}$. Utilizzando la teoria relativa agli stimatori di Horvitz-Thompson, si può dimostrare che lo stimatore corretto di seconda fase per $\boldsymbol{\pi}$ risulta

$$\hat{\mathbf{p}} = \frac{1}{N} \sum_{i \in \mathbf{S}} \frac{\mathbf{x}_i}{\alpha_i} \quad (19)$$

nel senso che

$$E_2(\hat{\mathbf{p}} | \mathbf{U}) = \mathbf{p} \quad (20)$$

mentre

$$V_2(\hat{\mathbf{p}} | \mathbf{U}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i \in \mathbf{U}} \frac{1 - \alpha_i}{\alpha_i} \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^T + \frac{1}{N^2} \sum_{h > i \in \mathbf{U}} \frac{\alpha_{ih} - \alpha_i \alpha_h}{\alpha_i \alpha_h} (\mathbf{x}_i \mathbf{x}_h^T + \mathbf{x}_h \mathbf{x}_i^T) \quad (21)$$

dove $E_2(\cdot | \mathbf{U})$ e $V_2(\cdot | \mathbf{U})$ indicano il valore atteso e la matrice di varianza-covarianza rispetto alla seconda fase di campionamento e condizionatamente alla popolazione $\mathbf{U}$ di punti di prima fase caduti all'interno della Regione Abruzzo.

Quindi, lo stimatore finale del vettore $\boldsymbol{\theta}$ è dato da

$$\hat{\mathbf{t}} = [\hat{\mathbf{p}}, \mathbf{q}]^T \quad (22)$$

che risulta corretto in quanto

$$E_{12}(\hat{\mathbf{t}}) = E_1\{E_2(\hat{\mathbf{t}} | \mathbf{U})\} = E_1\{[E_2(\hat{\mathbf{p}} | \mathbf{U}), E_2(\mathbf{q} | \mathbf{U})]^T\} = E_1\{[\mathbf{p}, \mathbf{q}]^T\} = E_1(\mathbf{t}) = \boldsymbol{\theta} \quad (23)$$

Inoltre, dai noti teoremi sulle matrici di varianza-covarianza subordinate, la matrice di varianza-covarianza di $\hat{\mathbf{t}}$ risulta

$$\begin{aligned}
V_{12}(\hat{\mathbf{t}}) &= E_1 \left\{ \begin{bmatrix} V_2(\hat{\mathbf{p}} | \mathbf{U}) & C_2(\hat{\mathbf{p}}, \mathbf{q} | \mathbf{U}) \\ C_2(\hat{\mathbf{p}}, \mathbf{q} | \mathbf{U})^T & V_2(\mathbf{q} | \mathbf{U}) \end{bmatrix} \right\} + V_1 \{E_2(\hat{\mathbf{t}} | \mathbf{U})\} = E_1 \left\{ \begin{bmatrix} V_2(\hat{\mathbf{p}} | \mathbf{U}) & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \right\} + V_1(\mathbf{t}) = \\
&= \begin{bmatrix} E_1 \{V_2(\hat{\mathbf{p}} | \mathbf{U})\} + V_1(\mathbf{p}) & C_1(\mathbf{p}, \mathbf{q}) \\ C_1(\mathbf{p}, \mathbf{q})^T & V_1(\mathbf{q}) \end{bmatrix} \quad (24)
\end{aligned}$$

dove $\mathbf{0}$ rappresenta la matrice ad elementi tutti nulli mentre E_{12} e V_{12} rappresentano il valore atteso e la varianza-covarianza rispetto ad entrambe le fasi di campionamento.

Inoltre, per quanto riguarda infine la stima di $V_{12}(\hat{\mathbf{t}})$, la matrice $\hat{V}_1(\mathbf{q})$ fornita dalla (14) costituisce, come già detto, uno stimatore conservativo di $V_1(\mathbf{q})$. Dal punto di vista computazionale tale matrice può essere calcolata più semplicemente tramite l'espressione alternativa

$$\hat{V}_1(\mathbf{q}) = \frac{1}{N-1} \{diag(\mathbf{q}) - \mathbf{q}\mathbf{q}^T\} \quad (25)$$

mentre sempre dalla teoria di Horvitz-Thompson risulta che

$$\begin{aligned}
\hat{V}_{12}(\hat{\mathbf{p}}) &= \frac{1}{N^2} \sum_{i \in S} \frac{\mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^T}{\alpha_i} - \frac{1}{N^2(N-1)} \sum_{h > i \in S} \frac{(\mathbf{x}_i \mathbf{x}_h^T + \mathbf{x}_h \mathbf{x}_i^T)}{\alpha_{ih}} + \\
&+ \frac{1}{N^2} \sum_{i \in S} \frac{1-\alpha_i}{\alpha_i^2} \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^T + \frac{1}{N^2} \sum_{h > i \in S} \frac{\alpha_{ih} - \alpha_i \alpha_h}{\alpha_i \alpha_h} \frac{(\mathbf{x}_i \mathbf{x}_h^T + \mathbf{x}_h \mathbf{x}_i^T)}{\alpha_{ih}} \quad (26)
\end{aligned}$$

è uno stimatore conservativo di $E_1 \{V_2(\hat{\mathbf{p}} | \mathbf{U})\} + V_1(\mathbf{p})$, mentre

$$\hat{C}_{12}(\hat{\mathbf{p}}, \mathbf{q}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i \in S} \frac{\mathbf{x}_i \mathbf{y}_i^T}{\alpha_i} - \frac{1}{N^2(N-1)} \sum_{h > i \in S} \frac{(\mathbf{x}_i \mathbf{y}_h^T + \mathbf{x}_h \mathbf{y}_i^T)}{\alpha_{ih}} \quad (27)$$

è uno stimatore di $C_1(\mathbf{p}, \mathbf{q})$. Da tali risultati è infine possibile provare che l'intera matrice

$$\hat{V}_{12}(\hat{\mathbf{t}}) = \begin{bmatrix} \hat{V}_{12}(\hat{\mathbf{p}}) & \hat{C}_{12}(\hat{\mathbf{p}}, \mathbf{q}) \\ \hat{C}_{12}(\hat{\mathbf{p}}, \mathbf{q})^T & \hat{V}_1(\mathbf{q}) \end{bmatrix} \quad (28)$$

è uno stimatore conservativo di $V_{12}(\hat{\mathbf{t}})$, nel senso che

$$E_{12} \{ \hat{V}_{12}(\hat{\mathbf{t}}) \} - V_{12}(\hat{\mathbf{t}}) \geq \mathbf{0} \quad (29)$$

6.3.5. Stimatori di seconda fase nel campionamento network

Si noti che i risultati del paragrafo 6.3.4. sono del tutto generali e valgono per qualunque schema di campionamento di seconda fase con probabilità di inclusione del primo ordine α_i e probabilità di inclusione del secondo ordine α_{ih} tutte positive ($h > i = 1, 2, \dots, N$).

Nel caso in questione, la verità a terra al 1954 è costituita dalle foto aeree del volo IGM 1954. Più precisamente la Regione Abruzzo risulta suddivisa in $M = 1.030$ foto ciascuna contenente un insieme U_j ($j = 1, \dots, M$) di punti, da cui

$$U = \bigcup_{j=1}^M U_j \quad (30)$$

Tuttavia, dal momento che tali foto sono tra loro parzialmente sovrapposte per qualche $k \neq j = 1, \dots, M$ può risultare che

$$U_j \cap U_k \neq \emptyset \quad (31)$$

ovvero qualche punto di U può appartenere a più di una foto.

In tale situazione il campionamento a rete stratificato (*stratified network sampling*) sembra costituire uno schema di campionamento opportuno. Si indichi allora con H la popolazione delle $M = 1.030$ foto, ripartita in $L = 4$ strati territoriali H_l ($l = 1, 2, 3, 4$) approssimativamente corrispondenti alle quattro Province, ciascuno di numerosità M_l . Si estragga poi da ogni strato un campione G_l costituito da m_l foto tramite un campionamento casuale semplice senza rimpiazzo e si considerino tutti i punti appartenenti a tali foto. Il campione di punti selezionato da ogni strato risulta allora essere

$$S_l = \bigcup_{j \in G_l} U_j \quad (32)$$

in modo che il campione finale di punti risulta

$$S = \bigcup_{l=1}^L S_l \quad (33)$$

Evidentemente la probabilità di inclusione di ogni punto è una funzione crescente del numero di foto a cui tale punto appartiene. In particolare Thompson (1992) ha provato che

$$\alpha_i = 1 - \prod_{l=1}^L \frac{\binom{M_l - M_{il}}{m_l}}{\binom{M_l}{m_l}} \quad (34)$$

e

$$\alpha_{ih} = \alpha_i + \alpha_h - 1 + \prod_{l=1}^L \frac{\binom{M_l - M_{il} - M_{hl} + M_{ihl}}{m_l}}{\binom{M_l}{m_l}} \quad (35)$$

dove M_{il} rappresenta il numero di foto dello strato l che contengono il punto i mentre M_{ihl} rappresenta il numero di foto dello strato l che contengono la coppia di punti i ed h .

Inserendo dunque tali probabilità di inclusione nelle espressioni (19), (26) e (27) si ottiene uno stimatore corretto di θ e uno stimatore conservativo della sua matrice di varianza-covarianza.

6.3.6. Alcune considerazioni di natura computazionale

Si deve tenere presente inoltre che per il calcolo di $\hat{\mathbf{t}} = [\hat{\mathbf{p}}, \mathbf{q}]^T$ e $\hat{V}_{12}(\hat{\mathbf{t}})$ occorre conoscere:

- il numero dei punti classificati in ciascuna delle 6 classi di uso del suolo sulla base delle ortofoto aeree AGEA 2002 e il numero dei punti caduti oltre i confini della Regione Abruzzo;
- gli indici di identificazione di ciascuno dei 593 punti estratti nella seconda fase, la loro classificazione sulla base delle foto aeree del volo IGM 1954 e sulla base delle ortofoto aeree AGEA 2002 e gli indici di identificazione delle foto e del rispettivo strato che contengono tali punti.

6.3.7. Calibrazione delle stime

Risulta evidente dalle formule del paragrafo 6.3.4. che la somma delle stime delle coperture sia al 1954 che al 2002 è in generale diversa da 1. In particolare la somma delle stime di prima fase delle coperture al 2002 risulta sempre minore di 1 e rappresenta una stima di A/R , ovvero della proporzione dell'ampiezza dell'area di studio rapportata all'area totale degli N quadrati ad essa sovrapposta, mentre la somma delle stime di seconda fase delle coperture al 1954 può essere maggiore o minore di 1 e non ha nessuna interpretazione. Da ciò segue inoltre che la somma delle stime delle

superfici, ottenute moltiplicando le stime delle coperture per R risulta sempre diversa da A . Al fine di ottenere degli stimatori calibrati in modo che la somma delle stime delle coperture sia pari a 1 e la somma delle stime delle superfici sia pari ad A si considerino i vettori delle coperture rispetto alla superficie dell'area di studio e non alla superficie dell'area artificiale ad essa sovrapposta. In altri termini si considerino i vettori $\pi^* = \mathbf{A} / A$ e $\psi^* = \mathbf{B} / A$, in modo che una volta ottenute le stime di π^* e ψ^* , le stime di $\mathbf{A}$ e $\mathbf{B}$ si ottengono semplicemente dalle relazioni $\mathbf{A} = A\pi^*$ e $\mathbf{B} = A\psi^*$.

Dal momento che i vettori π^* e ψ^* possono essere espressi in termini dei vettori π e ψ tramite le relazioni

$$\pi^* = \pi / (\mathbf{1}^T \pi) \quad (36)$$

e

$$\psi^* = \psi / (\mathbf{1}^T \psi) \quad (37)$$

risulta allora naturale stimare il vettore di parametri $\theta^* = [\pi^*, \psi^*]^T$ tramite lo stimatore $\hat{\mathbf{t}}^* = [\hat{\mathbf{p}}^*, \mathbf{q}^*]^T$ dove

$$\hat{\mathbf{p}}^* = \hat{\mathbf{p}} / (\mathbf{1}^T \hat{\mathbf{p}}) \quad (38)$$

e

$$\mathbf{q}^* = \mathbf{q} / (\mathbf{1}^T \mathbf{q}) \quad (39)$$

In questo caso infatti $\hat{\mathbf{t}}^*$ costituisce uno stimatore calibrato in quanto la somma delle stime delle coperture somma evidentemente ad 1 e quindi la somma delle stime delle superfici ottenute moltiplicando le stime delle coperture per A somma ad A stesso.

Per quanto riguarda le proprietà di $\hat{\mathbf{t}}^*$, approssimando lo stimatore in serie di Taylor fino al primo termine si ottiene che

$$E_{12}(\hat{\mathbf{t}}^*) \cong \boldsymbol{\theta} \quad (40)$$

ovvero $\hat{\mathbf{t}}^*$ è approssimativamente corretto con matrice di varianza-covarianza

$$\begin{aligned} V_{12}(\hat{t}^*) &= \begin{bmatrix} V_{12}(\hat{\mathbf{p}}^*) & C_{12}(\hat{\mathbf{p}}^*, \mathbf{q}^*) \\ C_{12}(\hat{\mathbf{p}}^*, \mathbf{q}^*)^T & V_{12}(\mathbf{q}^*) \end{bmatrix} \cong \\ &\cong \left(\frac{R}{A}\right)^2 \begin{bmatrix} \mathbf{I} - \boldsymbol{\pi}^* \mathbf{1}^T & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} - \boldsymbol{\psi}^* \mathbf{1}^T \end{bmatrix} V_{12}(\hat{t}) \begin{bmatrix} \mathbf{I} - \mathbf{1} \boldsymbol{\pi}^{*T} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} - \mathbf{1} \boldsymbol{\psi}^{*T} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (41)$$

che può essere stimata tramite la matrice

$$\begin{aligned} \hat{V}_{12}(\hat{t}^*) &= \begin{bmatrix} \hat{V}_{12}(\hat{\mathbf{p}}^*) & \hat{C}_{12}(\hat{\mathbf{p}}^*, \mathbf{q}^*) \\ \hat{C}_{12}(\hat{\mathbf{p}}^*, \mathbf{q}^*)^T & \hat{V}_{12}(\mathbf{q}^*) \end{bmatrix} = \\ &= \left(\frac{R}{A}\right)^2 \begin{bmatrix} \mathbf{I} - \hat{\mathbf{p}}^* \mathbf{1}^T & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} - \mathbf{q}^* \mathbf{1}^T \end{bmatrix} \hat{V}_{12}(\hat{t}) \begin{bmatrix} \mathbf{I} - \mathbf{1} \hat{\mathbf{p}}^{*T} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} - \mathbf{1} \mathbf{q}^{*T} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (42)$$

6.3.8. Verifica delle differenze di copertura tra l'anno 1954 e l'anno 2002

Si indichi con $\hat{p}_j^*$ la j -esima componente del vettore $\hat{\mathbf{p}}^*$ e si indichi con q_j^* la j -esima componente del vettore $\mathbf{q}^*$. Tali valori rappresentano rispettivamente la stima della copertura della classe j all'anno 1954 e all'anno 2002. Si indichi inoltre con $\hat{v}_{jj}^*$ l'elemento di posto (j, j) della matrice $\hat{V}_{12}(\hat{\mathbf{p}}^*)$, con v_{jj}^* l'elemento di posto (j, j) della matrice $\hat{V}_1(\mathbf{q}^*)$ e con $\hat{c}_{jj}^*$ l'elemento di posto (j, j) della matrice $\hat{C}_{12}(\hat{\mathbf{p}}^*, \mathbf{q}^*)$. Dalla (29) e dalla (42) risulta immediato che $\hat{v}_{jj}^* + v_{jj}^* - 2\hat{c}_{jj}^*$ costituisce uno stimatore

approssimativamente conservativa della varianza della differenza $q_j^* - \hat{p}_j^*$. La verifica della significatività della differenza può essere pertanto effettuata tramite la statistica

$$d_j = \frac{q_j^* - \hat{p}_j^*}{\sqrt{\hat{v}_{jj}^* + v_{jj}^* - 2\hat{c}_{jj}^*}} \quad (43)$$

la quale, sotto ipotesi base, ovvero se $\pi_j^* = \psi_j^*$, e se le due stime $\hat{p}_j^*$ e q_j^* si distribuiscono normalmente, si distribuisce a sua volta come una normale standard. La significatività di tale statistica risulta allora determinata dalla quantità

$$\phi_j = 2 - 2\Phi(d_j) \quad (44)$$

dove Φ rappresenta la funzione di ripartizione della normale standard. Alternativamente si può rifiutare l'ipotesi di uguaglianza delle coperture ad un prefissato livello α qualora il valore assoluto di d_j superi il valore del quantile di ordine $1 - \alpha/2$ della distribuzione normale standard. Per esempio volendo verificare l'ipotesi ad un livello $\alpha = 0,05$ tale ipotesi viene respinta se il valore assoluto di d_j è maggiore di 1,96 mentre l'ipotesi viene respinta ad un livello $\alpha = 0,10$. Se il valore assoluto di d_j è maggiore di 1,64.

Si tenga comunque presente che, almeno allo stato attuale delle nostre conoscenze, non esiste nessun risultato che provi la normalità degli stimatori di copertura per campionamenti in più fasi. L'utilizzo della distribuzione normale nella verifica dell'ipotesi di uguaglianza deve essere quindi considerato come un procedimento approssimato. Tuttavia, dato che nell'espressione (43) la differenza tra le stime è stata standardizzata con una stima conservativa della sua varianza, la procedura di verifica utilizzata dovrebbe risultare anch'essa conservativa, ovvero l'errore di prima specie effettivo (probabilità di rifiuto dell'ipotesi base quando è vera) dovrebbe risultare inferiore del suo livello nominale α .

6.4. Risultati e discussione

Il confronto della cartografia del 1954 con quella del 2002 porta a dei risultati che mostrano un notevole cambiamento dell'uso del suolo nella Regione Abruzzo. Questo appare chiaro e palese e, in alcuni casi, come ad esempio in quello riportato nella Fig. 6.8, anche su larga scala.

La Tab. 6.3 contiene i valori delle stime calibrate delle coperture al 1954 e al 2002 con le relative stime degli errori standard percentuali e con la variazione nel tempo delle varie classi. L'ultima colonna della tabella contiene poi le statistiche test per evidenziare eventuali differenze significative tra le coperture al 1954 e quelle al 2002. Sulla base di tali risultati si può concludere che tutte le differenze risultano significative ad un livello nominale del 5% ad eccezione della classe 2 (superfici agricole) e della classe 5 (prati, pascoli e incolti).

Nonostante la notevole riduzione delle stime delle superfici agricole che passano da una copertura del 47% al 1954 ad una copertura del 37% al 2002, la variabilità della stima al 1954 (28%) permette di attribuire tale riduzione alla casualità indotta dal campionamento piuttosto che a diversità effettive tra le coperture delle superfici agricole al 1954 e al 2002.

Alla luce anche dei risultati presentati nel capitolo precedente, dove l'uso del suolo della Regione Abruzzo nel periodo anni '80-2002 è stato effettuato mediante lo studio multitemporale dell'intera popolazione dei punti INFC e non su un suo campione, come nel caso della ricerca 1954-2002, si può comunque affermare che il cambiamento osservato in questo ultimo studio relativo alle superfici agricole, diminuite del 9,5%, può essere ritenuto abbastanza verosimile anche senza il supporto del test statistico sopra citato. Infatti se come evidenziato nel capitolo precedente le superfici agricole sono diminuite di 720 ha all'anno nel periodo anni '80 – 2002 (con una variazione di ± 124 ettari), si può pensare che i 423.700 ha di superfici agricole stimati dall'INFC del 2004 possano essere il risultato di una diminuzione costante che dal 1954 è stata complessivamente dell'ordine del 9,5% ($423.700 \cdot 1,095 = 463.951,5$ che vuol dire 41.251,5 ha diminuiti in 50 anni, ad un ritmo di 805,03 ha l'anno, pienamente entro la stima di 720 ha ± 124 sopra riportata).

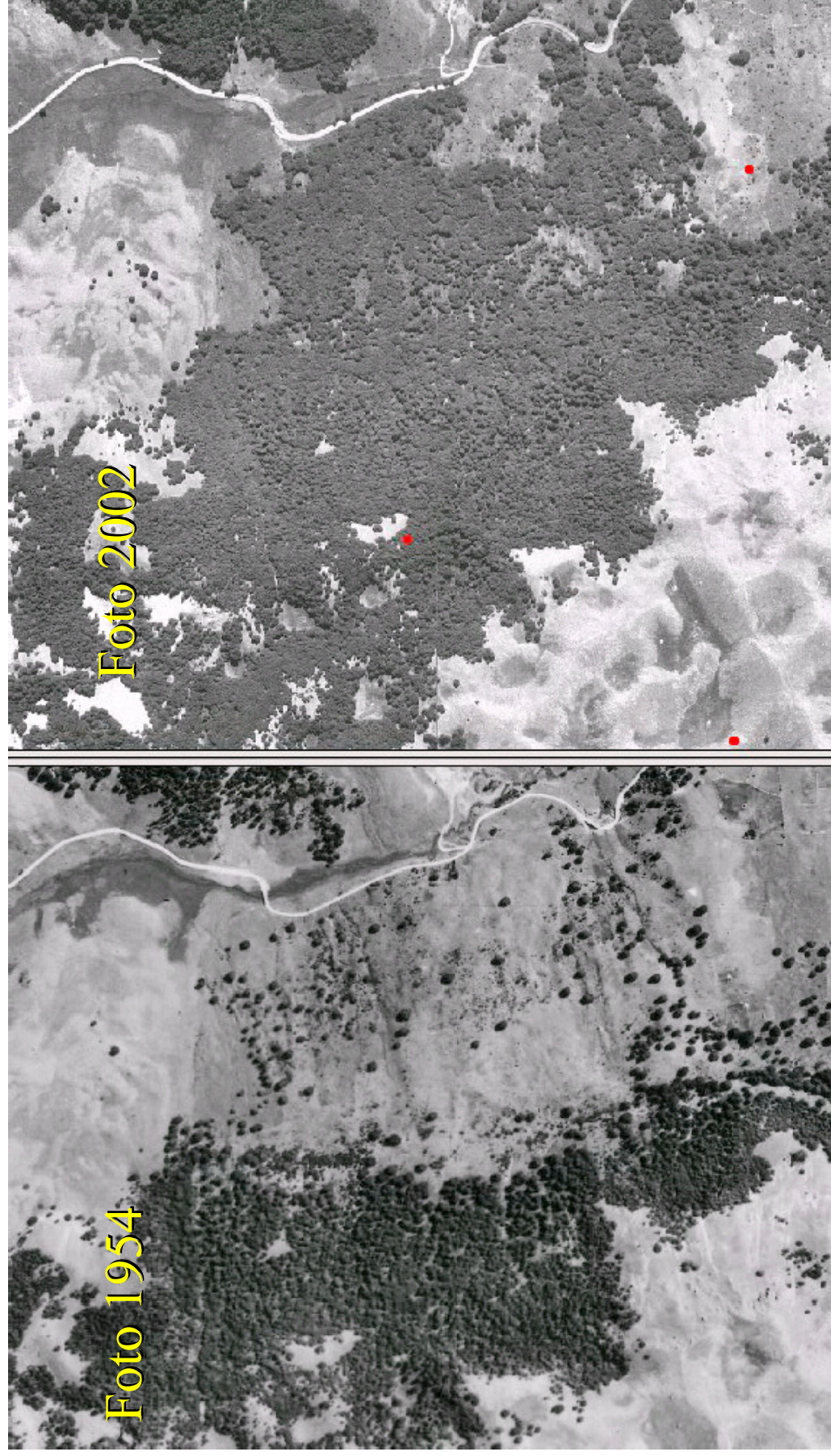
L'aumento del territorio classificato come superfici forestali (+17,9%) appare davvero notevole. Questa espansione è in gran parte attribuibile alla diminuzione delle superfici agricole (-9,5%), delle superfici forestali rade (-6,5%) e dei prati pascoli ed incolti (-6,9%), mentre le superfici artificiali aumentano del 2,7%, in gran parte a carico della superfici agricole.

Di particolare interesse è il dato relativo alla variazione media annua: la superficie forestale aumenta dello 0,37% annuo, dello 0,24% se consideriamo incluse anche le superfici forestali rade. Confrontate con i dati del precedente capitolo, relativo al tasso di espansione annuale degli ultimi 12 anni (+ 0,46%) si può osservare come nell'ultimo periodo del secolo ci sia stata una forte accelerazione nel tasso di cambiamento a favore della superficie forestale, conseguente al repentino mutamento delle condizioni sociali ed economiche della Regione Abruzzo.

Tab. 6.3: stime delle coperture relative alle 6 classi di uso del suolo.

<i>Classe</i>	<i>A: stima della copertura al 1954 in %</i>	<i>Errore standard di A in %</i>	<i>B: stima della copertura al 2002 in %</i>	<i>Errore standard di B in %</i>	<i>Variazione 1954-2002</i>	<i>Tasso annuo di variazione (1954-2002)</i>	<i>Statistica test</i>
1 (Superfici artificiali)	0,8	80	3,5	6	+ 2,7	+ 0,06	4,038*
2 (Superfici agricole)	46,9	28	37,4	2	- 9,5	- 0,20	-0,735
3 (Formazioni forestali)	21,9	31	39,8	2	+ 17,9	+ 0,37	2,640*
4 (Formazioni for. rade)	8,9	24	2,4	7	- 6,5	- 0,14	-3,042*
5 (Prati, pascoli e incolti)	20,6	29	13,7	3	- 6,9	- 0,14	-1,165
6 (Altro)	0,9	0,77	3,2	6	+ 2,3	+ 0,05	3,301*
totale	100		100		0	0	

Fig. 6.8: esempio di area soggetta a forte espansione del bosco. A sinistra foto del 1954, a destra del 2002.



CAP. 7: ELABORAZIONE DI UN MODELLO DI ESPANSIONE SPONTANEA DELLA SUPERFICIE FORESTALE DELLA REGIONE ABRUZZO MEDIANTE REGRESSIONE LOGISTICA MULTINOMIALE

7.1. Introduzione

Lo scopo di questo lavoro è di presentare, in un caso studio, un'analisi dei fattori che portano all'espansione boschiva su terreni agricoli nell'Italia centrale (Corona et al, 2006a). In particolare la domanda chiave è: “quale è la probabilità che una determinata zona utilizzata come terreno agricolo, con determinate caratteristiche, si trasformi, in un determinato periodo, in superficie forestale o superficie forestale rada?”. Un quadro delle probabili risposte su scala territoriale richiede l'analisi delle condizioni ambientali e socioeconomiche. In questo caso studio si è ottenuto una risposta mediante il metodo della regressione logistica multinomiale applicata alla classificazione dell'utilizzo del territorio ripetuta sullo stesso punto di campionamento in due occasioni successive nell'arco di vent'anni.

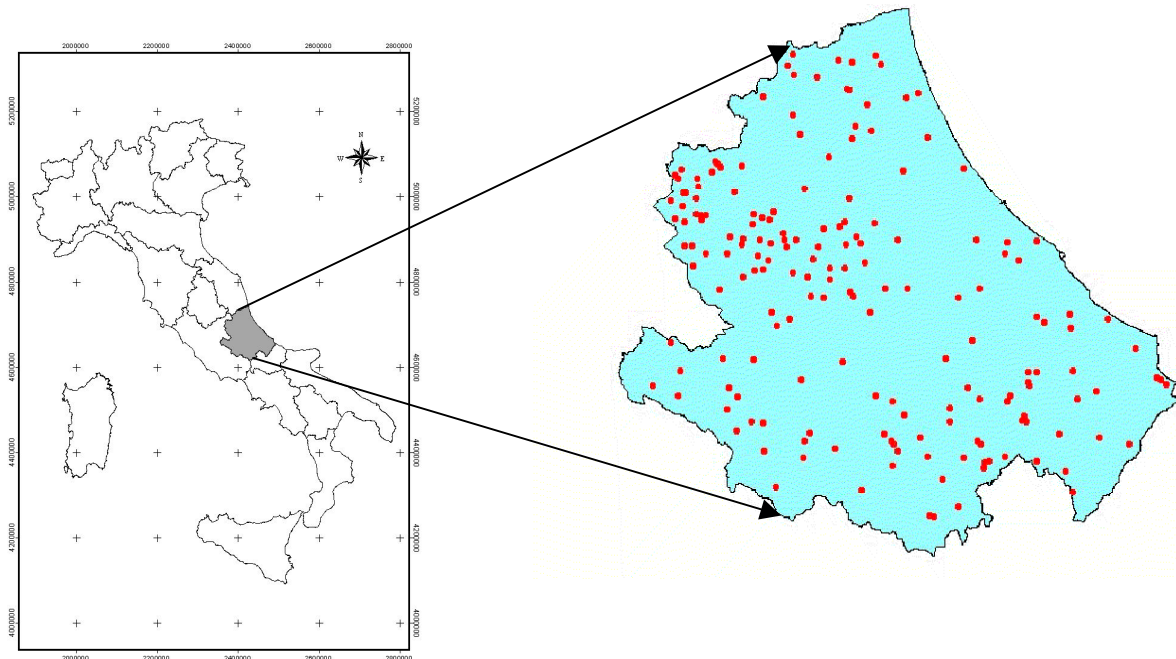
7.2. Materiali e metodi

Per la sua realizzazione dello studio sono stati utilizzati il lavoro ed i risultati riportati nel Cap. 5.

Dei 10.811 punti di campionamento INFC sono stati selezionati casualmente 180 tra quelli classificati come “superfici agricole” e “prati, pascoli e incolti” sulle ortofoto degli anni '80 (Fig. 7.1) secondo il seguente criterio:

- 60 punti tra quelli il cui uso del territorio è rimasto invariato nel ventennio successivo,
- 60 punti tra quelli il cui uso del territorio è cambiato in “superfici forestali rade”,
- 60 punti tra quelli il cui uso del territorio è cambiato in “superfici forestali”.

Fig. 7.1: l'area di studio e la localizzazione dei punti di campionamento casualmente selezionati.



Per ciascun punto di sondaggio sono stati registrati i valori di diversi fattori sia ecologico-stazionali che socio-economici. Tali fattori sono stati selezionati tra quelli più facilmente reperibili: oltre ai dati ottenuti dall'analisi delle ortofoto, le informazioni topografiche relative all'altitudine sono state ottenute dallo studio del modello digitale del terreno (75 m di risoluzione spaziale), mentre i dati di tipo socio-economico sono stati forniti dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT). Le Tabb. 7.1 e 7.2 riportano rispettivamente le variabili continue e categoriali, registrate per ciascun punto di monitoraggio.

Sono state analizzate le relazioni tra le variabili di cambiamento categoriali ed i vari fattori stazionali (0 per i punti di sondaggio siti su territorio il cui uso è rimasto invariato, 1 per i siti su territorio il cui uso è cambiato in "superfici forestali rade", 2 per quelli il cui uso del suolo è cambiato in "superfici forestali").

Tab. 7.1: descrizione e statistiche riassuntive dei fattori stazionali continui.

<i>Fattore stazionale</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Media</i>	<i>Std. Dev.</i>
Altitudine (m slm)	m	863,1	454,7
Pendenza	°	10,9	7,3
Esposizione (sin)	sin (°)	-0,120	0,63
Esposizione (cos)	cos (°)	-0,007	0,76
Distanza orizzontale dal centro abitato più vicino	km	3,1	2,2
Lunghezza del perimetro forestale entro 500 m intorno al punto di campionamento	km	5,6	4,4
Indice di Shannon per l'uso del suolo entro 500 m intorno al punto di campionamento		0,9	0,4
Densità di popolazione del Comune dove è situato il punto di campionamento	abitanti km ⁻²	90,3	133,2
Reddito medio annuo per residente nel Comune dove è situato il punto di campionamento	keuro anno ⁻¹	9,2	1,3
Percentuale di impiegati nel settore agricolo rispetto al totale dei lavoratori nel Comune dove è situato il punto di campionamento	%	11,1	8,0

Tab. 7.2: descrizione e statistiche riassuntive delle categorie stazionali considerate

<i>Categoria</i>	<i>Classe</i>	<i>N. casi</i>
Uso del suolo prevalente entro 500 m intorno al punto di campionamento	Superfici artificiali	2
	Superfici forestali	37
	Prati, pascoli e incolti	62
	Superfici agricole	79
Uso del suolo del punto di campionamento	Prati, pascoli e incolti	109
	Superfici agricole	71

Molte diverse tecniche di statistica multivariate possono essere usate per esaminare le relazioni tra una variabile dipendente ed un determinato gruppo di variabili predittive. Le assunzioni necessarie per testare le ipotesi di una analisi mediante regressione sono necessariamente disattese nel caso in cui la variabile dipendente rivesta valore categoriale, come nel nostro studio; un'altra difficoltà legata alla analisi

mediante regressione multipla è che i valori *predicted* non possono essere interpretati come probabilità. D'altro canto, l'analisi discriminante lineare non permette la diretta previsione dei singoli appartenenti ad un gruppo di variabili, ma l'assunzione della normalità multivariata delle variabili indipendenti, così come la corrispondente matrice di varianza-covarianza, è richiesta dalle regole di predizione per essere ottimale. In questo studio è stata utilizzata un'estensione del modello di regressione logistica, chiamato modello di regressione logistica multinomiale o polinomiale, richiedente molte meno assunzioni rispetto all'analisi di regressione lineare multipla o discriminante (Kleinbaum 1994, Agresti 1996).

Il modello adottato è chiamato multinomiale poiché per ogni combinazione dei valori delle variabili indipendenti, il calcolo della variabile dipendente presenta una distribuzione multinomiale. Come noto, quando la variabile dipendente assume solo due valori (per esempio, 0-1), così come nell'ambito della regressione binaria logistica, solo un *logit* (valore che assume la funzione logaritmica) non ridondante può essere determinato:

$$\ln\left(\frac{P(event)}{1-P(event)}\right) = B_0 + B_1X_1 + \dots + B_zX_z$$

dove: P = probabilità; B_0 = intercetta; $B_0 \dots B_p$ = coefficienti di regressione logistica; $X_1 \dots X_z$ = variabili indipendenti; z = numero delle variabili indipendenti.

Se la variabile dipendente ha K valori possibili, il numero dei *logit* non ridondanti è $K-1$: per esempio, nel caso studio considerato, il numero dei *logit* non ridondanti è pari a 2. Il più semplice tipo di *logit* per questa situazione è chiamato *baseline category logit*, che confronta ogni categoria con la categoria base. In questo caso studio l'assunzione della categoria "*no change*" (nessun cambiamento) come categoria base fa seguire che

$$\ln\left(\frac{P(change - to - forest)}{P(no - change)}\right) = B_{01} + B_{11}X_1 + \dots + B_{z1}X_z = g_1 \quad [1a]$$

$$\ln\left(\frac{P(change-to-OWL)}{P(no-change)}\right) = B_{02} + B_{12}X_1 + \dots + B_{z2}X_z = g_2 \quad [1b]$$

Chiaramente, per la categoria di base i coefficienti sono tutti 0, per esempio $g_3 = 0$.

Una volta stimati i valori dei *logit*, il calcolo delle probabilità previste per ogni k-esima categoria di variabili dipendenti è il seguente:

$$P(category_k) = \frac{e^{g_k}}{\sum_{k=1}^3 e^{g_k}} \quad [2]$$

In questo studio la stima dei coefficienti del modello è stata calcolata mediante l'adozione delle procedure standard di base del metodo della massima verosimiglianza (Hosmer e Lemeshow, 1989).

7.3. Analisi logistica e risultati

7.3.1. Analisi di associazione

L'associazione tra la variabile dipendente (*change*) e le variabili indipendenti considerate (*site factors – fattori stazionali*) è stata valutata attraverso un distinto modello di calcolo per ognuna delle variabili. Va detto che i modelli di regressione logistici non forniscono la misura della forza, del peso della relazione tra le variabili indipendenti e la variabile dipendente; in ogni modo, diverse misurazioni sono state proposte al fine di tentare di quantificare la proporzione di varianza spiegata dal modello. La più facilmente interpretabile ed efficace è quella denominata statistica R^2 di Nagelkerke (Nagelkerke, 1991), che è simile negli intenti all' R^2 in un modello di regressione lineare. Allo stesso tempo i coefficienti di regressione logistica (vedi le equazioni [1a]-[1b]) descrivono il tipo (ad esempio il segno) dell'associazione tra i *logit* e le variabili indipendenti. I risultati ottenuti in questo caso considerato sono riportati nelle Tabb. 7.3 e 7.4.

Tab. 7.3: indice R^2 di Nagelkerke, significatività dell'effetto dei fattori stazionali e coefficienti di regressione del modello calcolato tra la variabile multinomiale di cambiamento ed i vari fattori stazionali continui.

<i>Fattori stazionali</i>	R^2	<i>Significatività</i>	<i>Coefficiente di regressione</i>	
			<i>Cambiamento in Superfici forestali rade</i>	<i>Cambiamento in Superfici forestali</i>
Altitudine (m slm)	0,230	<0,001	+0,003	+0,002
Pendenza	0,172	<0,001	+0,083	+0,160
Esposizione (sin)	0,002	n.s.		
Esposizione (cos)	0,017	n.s.		
Distanza orizzontale dal centro abitato più vicino	0,056	0,01	+0,265	+0,139
Lunghezza del perimetro forestale entro 500 m intorno al punto di campionamento	0,820	<0,001	+9,621	+9,823
Indice di Shannon per l'uso del suolo entro 500 m intorno al punto di campionamento	0,074	0,002	+0,783	+1,829
Densità di popolazione del Comune dove è situato il punto di campionamento	0,121	<0,001	-0,009	-0,005
Reddito medio annuo per residente nel Comune dove è situato il punto di campionamento	0,039	0,04	+0,362	+0,256
Percentuale di impiegato nel settore agricolo rispetto al totale dei lavoratori nel Comune dove è situato il punto di campionamento	0,019	n.s.		

Tab. 7.4: indice R^2 di Nagelkerke, significatività dell'effetto dei fattori stazionali e coefficienti di regressione del modello calcolato tra la variabile multinomiale di cambiamento ed i vari fattori stazionali categoriali.

<i>Fattore stazionale</i>	<i>Classi</i>	R^2	<i>Significatività</i>	<i>Coefficiente di Regressione</i>	
				<i>Cambiamento in Superfici forestali rade</i>	<i>Cambiamento in Superfici forestali</i>
Uso del suolo prevalente entro 500 m intorno al punto di campionamento	Superfici artificiali (=1,0)	0,269	<0,001	0,000	-18,669
	Superfici forestali (=1,0)			1,099	1,658
	Prati, pascoli ed incolti (=1,0)			1,157	0,375
	Superfici agricole (=1,0)			-1,299	-0,649
Uso del suolo del punto di campionamento	Prati, pascoli ed incolti (=1); Superf. agricole (=0)	0,408	<0,001	+4,331	+2,079

7.3.2. Sviluppo del modello di predizione

I punti di campionamento esaminati dallo studio sono stati suddivisi in due parti, una per la calibrazione ed una per la validazione. Questi ultimi sono stati determinati estraendone casualmente 30: 10 tra quelli che non hanno subito alcun cambiamento, 10 tra quelli cambiati in “superfici forestali rade” e 10 tra quelli cambiati in “superfici forestali”. Lo sviluppo e la predizione del modello è stato realizzato sul *set* di calibrazione, includendo tutti i fattori stazionali che messi insieme hanno avuto un effettivo significato nella predizione della variabile dipendente multinomiale. La significatività degli effetti di ogni fattore è stata valutata mediante il test basato sul rapporto di verosimiglianza della statistica “chi-quadrato”, come differenza in $-2 \log\text{-likelihoods}$ ($-2LL$) tra il modello finale e un modello ridotto che è stato costruito omettendo un effetto dal modello finale. L’ipotesi nulla considerata è stata che tutti i parametri di tutti gli effetti sono stati considerati pari a 0 (per i dettagli, vedi Hosmer e Lemeshow, 1989. Section 2.4). Il modello di predizione ottenuto è stato (Tab. 7.5):

$$\ln\left(\frac{P(\text{change} - \text{to} - \text{forest})}{P(\text{no} - \text{change})}\right) = 0,209SLOPE + 9,179FOR_EDG - 42,545PREV_LU_S - 19,508PREV_LU_F - 26,356PREV_LU_R - 30,521PREV_LU_C + 2,063SITE_LU$$

[3a]

$$\ln\left(\frac{P(\text{change} - \text{to} - \text{OWL})}{P(\text{no} - \text{change})}\right) = 0,038SLOPE + 9,156FOR_EDG - 24,176PREV_LU_S - 19,682PREV_LU_F - 25,120PREV_LU_R - 31,592PREV_LU_C + 4,603SITE_LU$$

[3b]

dove: $SLOPE$ = pendenza (in gradi); FOR_EDG = lunghezza del perimetro forestale all’interno di un’area di 500 m di raggio intorno al punto di campionamento (km); $PREV_LU_S = 1$, se le “superfici artificiali” sono l’uso prevalente del suolo all’interno di un’area di 500 m di raggio intorno al punto di campionamento, altrimenti = 0; $PREV_LU_F = 1$, se le “superfici forestali” sono l’uso prevalente del suolo all’interno di un’area di 500 m di raggio intorno al punto di campionamento, altrimenti = 0; $PREV_LU_R = 1$, se i “prati pascoli e incolti” sono l’uso prevalente del suolo all’interno

di un'area di 500 m di raggio intorno al punto di campionamento, altrimenti = 0;
 $PREV_LU_C = 1$, se le “superfici agricole” sono l'uso prevalente del suolo all'interno di
 un'area di 500 m di raggio intorno al punto di campionamento, altrimenti = 0;
 $SITE_LU = 1$, se l'uso del suolo del punto di campionamento è “prati pascoli e incolti”,
 altrimenti = 0.

Tab. 7.5: test di Rapporti di verosimiglianza per i fattori inclusi nei modelli sviluppati (per le spiegazioni vedi paragrafo 7.3.).

<i>Fattore</i>	<i>-2 log likelihood del modello ridotto</i>	<i>Chi-quadrato</i>	<i>Df</i>	<i>Sig.</i>
Modello [3]				
PENDENZA	112,7	17,2	2	0,000
FOR_EDG	232,6	137,0	2	0,000
PREV_LU _j	110,2	14,7	6	0,022
SITE_LU	109,5	14,0	2	0,001
Modello [4]				
PENDENZA	251,3	20,2	2	0,000
PREV_LU _j	252,4	21,3	6	0,002
SITE_LU	272,7	41,5	2	0,000

Introducendo altri fattori il modello non ha mostrato significativi effetti. Circa l'89% (statistica R^2 di Nagelkerke) della variazione della variabile dipendente è espressa dal modello. Quando viene applicata al *data set* di validazione indipendente il 77% dei casi è stato correttamente classificato (Tab. 7.6).

In molte situazioni pratiche il fattore *FOR_EDG* può risultare di misurazione alquanto complicata. A questo proposito, per facilitarne l'applicazione operativa, è stata elaborata anche una versione ridotta del modello:

$$\ln\left(\frac{P(change - to - forest)}{P(no - change)}\right) = 0,062SLOPE - 20,482PREV_LU_S + 0,261PREV_LU_F - 1,603PREV_LU_R - 1,500PREV_LU_C + 1,351SITE_LU$$

[4a]

$$\ln\left(\frac{P(change - to - OWL)}{P(no - change)}\right) = -0,099SLOPE - 3,116PREV_LU_S - 0,312PREV_LU_F - 0,805PREV_LU_R - 2,547PREV_LU_C + 3,851SITE_LU$$

[4b]

Introducendo ogni altro fattore nel modello ridotto (escluso *FOR_EDG*) non si è ottenuto nessun risultato significativo. La variazione della variabile dipendente espressa da questo modello si riduce al 54% (statistica R^2 di Nagelkerke). Quando viene applicata al data set di validazione indipendente il 67% dei casi è stato correttamente classificato (Tab. 7.6).

Tab. 7.6: matrice di classificazione della validazione dei dati. In ogni cella la proporzione dei casi.

<i>Cambiamento di uso del suolo osservato</i>	<i>Cambiamento di uso del suolo previsto</i>		
	Non cambiato	Cambiato in superfici forestali rade	Cambiato in superfici Forestali
Model [3]			
Non cambiato	0,33	0,00	0,00
Cambiato in superfici forestali rade	0,00	0,20	0,13
Cambiato in superfici forestali	0,00	0,10	0,23
Model [4]			
Non cambiato	0,30	0,00	0,03
Cambiato in superfici forestali rade	0,00	0,20	0,13
Cambiato in superfici forestali	0,00	0,17	0,17

7.3.3. Applicazione del modello di predizione

La probabilità che un punto di campionamento classificato come “superfici agricole” possa cambiare in “superfici forestali” o in “superfici forestali rade”, può

essere direttamente predetta mediante i coefficienti del modello logistico sopra descritto. Ad esempio, una volta stimati i valori di ognuna delle tre *logit* per un sito con una pendenza di 7° e dove l'uso del suolo è “prati, pascoli e incolti” e intorno al punto l'uso del suolo prevalente è “superfici forestali”, allora (vedi le Equazioni [4a]-[4b] del modello ridotto)

$$g_1 = 0,434 + 0,261 + 1,351 = 2,046,$$

$$g_2 = -0,693 - 0,312 + 3,851 = 2,846, \text{ e}$$

$$g_3 = 0,$$

dall'Equazione [2] discende che:

$$P(\text{change} - \text{to} - \text{forest}) = \frac{e^{2,046}}{(e^{2,046} + e^{2,846} + e^0)} = 0,30$$

$$P(\text{change} - \text{to} - \text{OWL}) = \frac{e^{2,846}}{(e^{2,046} + e^{2,846} + e^0)} = 0,66$$

$$P(\text{no} - \text{change}) = \frac{e^0}{(e^{2,046} + e^{2,846} + e^0)} = 0,04$$

Da quanto sopra consegue che il punto di campionamento considerato ha il 30% di probabilità di cambiare in “superfici forestali”, il 66% di diventare “superfici forestali rade”, e il 4% di rimanere immutato (durante un periodo di 20 anni).

A tale proposito va detto che i coefficienti delle Equazioni [1a]-[1b] descrivono le relazioni tra le variabili dipendenti selezionate e le due *logit*, con “punto di campionamento non cambiato” come categoria di riferimento. In ogni caso, esistono ulteriori indici che possono essere calcolati, quali ad esempio il rapporto della probabilità di cambiamento in “superfici forestali” rispetto alla probabilità di cambiare in “superfici forestali rade”, il quale può essere ottenuto come differenza dei due set di coefficienti precedentemente stimati:

$$\ln\left(\frac{P(\text{change} - \text{to} - \text{forest})}{P(\text{change} - \text{to} - \text{OWL})}\right) = \ln\left(\frac{P(\text{change} - \text{to} - \text{forest})}{P(\text{no} - \text{change})}\right) - \ln\left(\frac{P(\text{change} - \text{to} - \text{OWL})}{P(\text{no} - \text{change})}\right)$$

Nell'esempio sopra riportato, il valore della funzione logaritmica (*logit*), dato da $g_1 - g_2$, è uguale a $-0,8$, da cui il rapporto della probabilità tra cambiamento in “superfici forestali” e “superfici forestali rade” è $0,45 (= e^{-0,8})$.

7.4. Discussione

Come previsto molte variabili indipendenti appaiono correlate con il cambiamento dell'uso del suolo. La concordanza di ogni fattore predittivo, il segno dei coefficienti calcolati (correlazione positiva o negativa), e l'aspettativa delle interpretazioni di cambiamento di uso del suolo proposte dall'approccio fornito dalla regressione logistica sono riportate nelle tabelle 7.3 e 7.4.

La lunghezza del perimetro forestale entro 500 m intorno al punto di campionamento è il fattore maggiormente correlato con la probabilità di un cambiamento da “superfici agricole” a “superfici forestali rade” o a “superfici forestali”. Anche molti altri fattori mostrano un'importante relazione con questo tipo di cambiamenti. L'altitudine è correlata positivamente con la probabilità di cambiamento, come anche la pendenza: più ripida (maggiore) la pendenza più è probabile il cambiamento a “superfici forestali” piuttosto che a “superfici forestali rade”. I terreni agricoli più lontani dai paesi e dalle città hanno una probabilità maggiore di diventare “superfici forestali” o “superfici forestali rade”. Anche i terreni in aree dove l'uso del suolo è più diversificato hanno probabilità maggiori di diventare “superfici forestali” o “superfici forestali rade”. La densità di popolazione è correlata negativamente: le aree che si trovano in zone a bassa densità di popolazione hanno maggiore probabilità di cambiare in “superfici forestali” o “superfici forestali rade”. Inoltre i punti di campionamento che si trovano in zone economicamente più ricche hanno maggiore probabilità di cambiare in “superfici forestali” o “superfici forestali rade”. Un altro importante fattore è l'utilizzo attuale del territorio: “prati, pascoli e incolti” hanno una maggiore probabilità di cambiare rispetto alle superfici agricole e, a parità di tutti gli altri fattori, è più probabile il cambiamento in “superfici forestali rade” che in “superfici forestali”. Infine è anche importante l'utilizzo prevalente del territorio intorno alla zona considerata dal punto di campionamento: la probabilità di cambiamento in “superfici forestali rade” è maggiore prima di tutto quando prevalgono aree classificate come

“prati, pascoli e incolti”, poi quando prevalgono territori boschivi; la probabilità di cambiamento in “superfici forestali” è maggiore innanzitutto quando prevale superficie boschiva, poi quando prevalgono prati e pascoli. La predominanza di superfici artificiali ha un’associazione negativa con il cambiamento in “superfici forestali”.

Tra tutti i fattori analizzati in ciascun punto di campionamento, i fattori stazionali (per esempio un fattore fisico stazionale come la PENDENZA o come altri fattori legati alla configurazione del territorio come *FOR_EDG*, *PREV_LU_j*, *SITE_LU*) sono stati identificati come base sufficiente per una previsione quantitativa della probabilità di cambiamento a “superficie forestale rada” o a “superficie forestale”. La corretta classificazione di 77% e 67% di validazione indipendente, fornite rispettivamente dal modello completo [3] e dal modello ridotto [4] risulta abbastanza soddisfacente.

Tuttavia, anche nel modello completo qualche variazione della variabile dipendente multinomiale resta inspiegata: oltre agli inevitabili errori di analisi e misurazione, le principali cause di questa variazione potrebbero essere la mancata misurazione delle vere cause di probabilità di cambiamento (variabili mancanti, descrittori inconsistenti, ecc.) e la complessità ecologica ed economica della zona analizzata (vista l’eterogeneità ambientale della regione considerata e le interazioni sinergiche connesse, altamente variabili, tra i fattori fisici e socio-economici relativi). Va anche sottolineato che i modelli sono stati elaborati nelle condizioni socio-economiche degli ultimi due decenni e che se ci fossero dei cambiamenti importanti in tali condizioni, i modelli andrebbero rielaborati.

Il territorio è ben lontano dall’essere statico. L’espansione forestale spontanea è una delle più importanti forze che portano ad una modifica del territorio in molti paesi a clima temperato (Holmgren, 2001). E’ necessario un enorme impegno, sia dal punto di vista ecologico, selvicolturale e gestionale, per affrontare tali dinamiche del territorio e per cercare di rendere questo tipo di cambiamento dell’utilizzo del suolo economicamente ed ecologicamente sostenibile.

Alla luce di questo, la valutazione delle maggiori interazioni tra i fattori determinanti il cambiamento è essenziale per progettare le necessarie strategie di pianificazione (ad esempio vedi Torta, 2004), includendo la gestione forestale nella pianificazione territoriale e nello sviluppo rurale a livello regionale. A questo fine, in questo studio si è voluto identificare, interpretare e quantificare i modelli significativi e

le relazioni legate all'abbandono del territorio e all'espansione della foresta nell'Italia centrale, con l'aiuto di una imponente base di dati e di un moderno ed avanzato modello logistico.

Questo approccio basato sull'uso di un modello è esplicitamente empirico e *planning-oriented*: lo scopo era di predire la probabilità di cambiamento del territorio di una determinata area utilizzata come superficie agricola in base all'analisi di fattori facilmente rilevabili rispetto alle tecniche *process-oriented*. I risultati sono sufficientemente corretti, sia alla luce degli studi fino ad oggi svolti in questo campo, sia sotto il punto di vista statistico e possono essere facilmente estensibili ad altre situazioni locali aventi simili condizioni. Dal punto di vista quantitativo la precisione del modello sviluppato dà soltanto un'indicazione per la valutazione della probabilità di cambiamento di uso del suolo di osservazioni singole, mentre è molto più appropriata per la predizione di probabilità di cambiamento a livello di territorio, laddove è possibile analizzare un determinato numero di punti di campionamento.

Le relazioni quantitative evidenziate possono essere utilizzate per aumentare efficacemente la comprensione e la conoscenza del territorio di chi si occupa, a tutti i livelli, della sua pianificazione e della sua gestione.

I cambiamenti di utilizzo del suolo sottolineati hanno implicazioni su numerose questioni come lo stoccaggio del carbonio, la produzione di legname e della biomassa legnosa, la biodiversità, la conservazione del suolo, che possono essere ricondotte anche ad altre situazioni territoriali con condizioni simili a quelle della zona analizzata dallo studio realizzato in questa sede. Nell'evidenziare le cause dell'espansione boschiva, i risultati ottenuti contribuiscono a migliorare le basi per un'efficiente politica gestionale nel controllo del cambiamento del territorio.

CAP. 8: ANALISI DELLA STRUTTURA VEGETAZIONALE DI UN PUNTO FORESTALE DI NUOVA FORMAZIONE: IL CASO STUDIO DELLA PIANA DI AMPLERO (COLLELONGO - AQ)

8.1. Introduzione

I capitoli precedenti hanno messo in evidenza come lo studio realizzato sia stato finalizzato alla quantificazione ed alla localizzazione dei cambiamenti di uso del suolo della superficie regionale abruzzese avvenuti negli ultimi 50 anni (con uno spazio dedicato anche alla previsione per i cambiamenti futuri). Questo capitolo vuole invece descrivere la parte del lavoro svolto in campo al fine di determinare, mediante l'analisi di un caso studio, la conformazione e la struttura di un bosco di neoformazione generatosi negli ultimi venti anni.

Per la scelta del sito da studiare sono stati analizzati i principali fattori stazionali e categoriali (vedi Cap. 7) dei punti che hanno cambiato destinazione di uso del suolo negli ultimi venti anni. Il sito che alla fine è stato scelto, avente origine dal punto 180957 dell'INFC, classificato come "prati pascoli e incolti" sulla cartografia degli anni '80 e come "superfici forestali" nel 2002, rappresenta un bosco di neoformazione originatosi dall'abbandono di terreni in passato ad uso agricolo o pastorale che riprende le principali caratteristiche medie dei punti a maggior frequenza di cambiamento (Tab. 8.1).

L'analisi della struttura vegetale che insiste nell'intorno del punto di campionamento esaminato non vuole essere certo rappresentativa dell'intero insieme dei punti che hanno cambiato classe di uso del suolo negli ultimi 20 anni nella Regione Abruzzo, ma vuole soltanto mostrare un esempio di cambiamento tra i tanti che sono stati quantificati mediante gli studi presentati nei capitoli precedenti al fine di stimolare ulteriori studi ed approfondimenti.

8.2. Descrizione del sito di studio

8.2.1. *Caratteristiche generali*

L'area di studio in cui si sono effettuati i rilievi per la stesura di questo elaborato, è situata nei pressi della Piana di Amplero, nel comune di Collelongo, Provincia de L'Aquila, in Abruzzo.

Il sito si trova a circa 3 km ed in direzione nord-est dal centro abitato di Collelongo. La scelta di questa area per lo studio della struttura di boschi di neoformazione è derivata dalla presenza di un punto dell'Inventario Nazionale Forestale (INFC), classificato come “superfici forestali” in sede di valutazione di prima fase e classificato come “prati pascoli e incolti” nella cartografia degli anni '80 (vedi Cap. 5).

Per lo svolgimento della ricerca relativa all'analisi della struttura forestale di un bosco di neoformazione è stata scelta, come detto, l'area limitrofa al punto INFC n. 180957, nella Piana di Amplero (Collelongo, AQ).

L'assetto geologico della zona è caratterizzato in massima parte da affioramenti calcarei del Cretaceo, accompagnati da alluvioni sul fondovalle e da terre rosse sul fondo delle depressioni carsiche (tipica quella di Amplero).

Numerose sono le linee di faglia, con andamento generalmente parallelo alla valle principale (Petriccione, 1993)

Il clima dell'area interessata dallo studio risulta di tipo mediterraneo montano, con assenza di periodi aridi. La precipitazioni media annue variano da 1.000 mm a 1.250 mm, mentre le temperature medie annue si aggirano intorno ai 10°C.

Il paesaggio è composto nelle parti a quota più elevata da boschi di faggio (nei versanti esposti a nord-est in particolare) e di querce caducifoglie miste ad altre specie (versante sud-ovest). Man mano che si scende di quota, passando da più di 1.000 m delle cime ai 900 m della sponda sinistra (direzione nord) della valle, si incontrano i terreni terrazzati in passato ad uso agricolo. In questi il bosco ha iniziato da tempo un processo di rinaturalizzazione, accelerato dall'accrescimento delle siepi che in passato delimitavano gli appezzamenti agricoli. La sponda destra invece mostra l'avanzamento del bosco su terreni più superficiali e rocciosi, in passato ad esclusivo uso dell'attività

pascoliva, fenomeno presente in tutta la zona in maniera molto intensa per la presenza di bestiame bovino (ma anche equino e ovino) tenuto allo stato brado nella piana di Amplero.

Tab. 8.1: descrizione e statistiche riassuntive dei fattori stazionali continui e delle categorie stazionali del Punto INFC n. 180957 (Piana di Amplero, Collelongo – AQ) confrontate con le medie dei punti cambiati nell'intera Regione Abruzzo (vedi Cap. 7).

Fattore stazionale	Unità di misura	Punto INFC n. 180957	Media	Std. Dev.
Altitudine (m slm)	m	888	863,1	454,7
Pendenza	°	17,48	10,9	7,3
Esposizione (sin)	sin (°)	0,12	-0,120	0,63
Esposizione (cos)	cos (°)	0,992	-0,007	0,76
Distanza orizzontale dal centro abitato più vicino	km	2,5	3,1	2,2
Lunghezza del perimetro forestale entro 500 m intorno al punto di campionamento	km	8,6	5,6	4,4
Indice di Shannon per l'uso del suolo entro 500 m intorno al punto di campionamento		1,56	0,9	0,4
Densità di popolazione del Comune dove è situato il punto di campionamento	abitanti km ⁻²	28,49	90,3	133,2
Reddito medio annuo per residente nel Comune dove è situato il punto di campionamento	keuro anno ⁻¹	16,5	9,2	1,3
Percentuale di impiegati nel settore agricolo rispetto al totale dei lavoratori nel Comune dove è situato il punto di campionamento	%	7,7	11,1	8,0
Uso del suolo prevalente entro 500 m intorno al punto di campionamento	Classe INFC	Superfici forestali		
Uso del suolo del punto di campionamento anni '80	Classe INFC	Prati pascoli e incolti		
Uso del suolo del punto di campionamento 2002	Classe INFC	Superfici forestali		

L'ambiente circostante la Piana di Amplero mostra caratteristiche vegetazionali tipicamente appenniniche ed è caratterizzato da un'alta variabilità ambientale (Petriccione, 1993), mentre se ci si sposta verso la Piana, si notano numerosi indicatori

dello sfruttamento antropico con la presenza di specie erbacee di interesse agrario utilizzate per l'alimentazione del bestiame (bovini ed equini per la maggior parte).

Riguardo l'inquadramento vegetazionale dei boschi presenti nell'area circostante la Piana di Amplero, possiamo dire che come vegetazione primaria seminaturale, troviamo:

Faggete termofile (*Digitali-Fagetum sylvaticae* Feoli e Lagonegro 1982).

Generalmente sviluppate a quote tra 1.000 e 1.300 m, più intensamente sfruttate a scopo produttivo, in quanto situate in posizioni più accessibili e meno distanti dai centri abitati. Si trovano soprattutto in esposizioni e posizioni meno fredde ed umide delle faggete mesofile, sulle pendici della Serra Lunga, sul Monte di Pietrascritta ed in pochi altri lembi. Generalmente presenti nella fascia superiore a quella dei querceti, si rinvencono in singolare posizione extrazonale al di sotto delle cerrete del versante nord del monte Annamunna, a causa del mesoclima freddo-umido dovuto alla favorevole posizione del versante, esposto a settentrione ed influenzato dal clima umido della sottostante piana carsica di Amplero. Questa associazione è diffusa su tutta la catena appenninica, dalla Toscana alla Campania, nella fascia subatlantica (Feoli e Lagonegro, 1982).

Questi boschi sono sempre governati a ceduo; essi presentano uno strato arboreo plurispecifico dominato da *Fagus sylvatica* frammisto ad alberi di *Acer obtusatum*, *Ostrya carpinifolia*, *Quercus cerris* e *Quercus pubescens*; lo strato arbustivo plurispecifico con *Fagus sylvatica*, *Fraxinus ornus*, *Juniperus communis*, *Viburnum lantana*, *Sorbus torminalis*; ed uno strato erbaceo con bassi valori di copertura ma elevata ricchezza floristica, con *Hepatica nobilis*, *Daphne laureola*, plantule delle stesse specie arbustive, ecc. (Petriccione, 1993).

Cerrete (*Lathyro digitali-Quercetum cerris* Bonin et Gamisans, 1976).

I boschi di cerro sono sviluppati su suoli profondi e poco permeabili che, indipendentemente dall'altitudine, determinano condizioni particolari di umidità edafica ed atmosferica più pronunciate in biotopi ortograficamente favoriti (depressioni umide, versanti settentrionali, ecc.). Queste condizioni sono presenti solo sulle pendici settentrionali del Monte Annamunna ed in pochi altri piccoli frammenti (fondovalle

della Vallelonga, Monte Ara dei Merli su piccoli terrazzi naturali subpianeggianti ecc.). Imponenti alberi di cerro presenti diffusamente sulle alluvioni della Vallelonga, testimoniano però una presenza di questo tipo di boschi ben maggiore, prima della colonizzazione di massa della zona da parte dell'uomo e la conseguente messa a coltura di tutte le superfici piane. L'associazione è diffusa nelle aree montane appenniniche (fascia medio-europea) dal Lazio e Abruzzo alla Calabria (Pignatti, 1987). Le cerrete sono generalmente governate a ceduo, con strato arboreo plurispecifico costituito da *Quercus cerris*, *Quercus virgiliana*, *Fraxinus ornus*, *Ostrya carpinifolia*, *Acer obtusatum*, *Acer monspessulanum*, *Acer campestre*; strato arbustivo folto e plurispecifico con *Quercus pubescens*, *Malus sylvestris*, *Corylus avellana*, *Cornus sanguinea*, *Cornus mas*, *Crataegus monogyna*, *Sorbus torminalis*; e ricco strato erbaceo caratterizzato da *Lathyrus venetus*, *Melittis melissophyllum*, *Melica uniflora*, *Fragaria vesca*, *Armonia agrimonoides*, ecc. (Petriccione, 1993).

Boschi termofili a roverella (*Cytisus sessilifoliae-Quercetum pubescentis* Pignatti 1992).

I boschi di roverella sono molto diffusi su tutti i pendii aridi, dal fondovalle a 100 - 1200 m (secondo l'esposizione dei pendii). Si tratta dei boschi più sfruttati dall'uomo, che li ha usati per secoli per ricavarne soprattutto legna da ardere. L'associazione è distribuita nelle valli interne dell'Appennino centrale, nella fascia medio-europea (Pignatti, 1992).

I querceti a roverella sono quasi ovunque fortemente diradati, con strato arboreo discontinuo dominato da *Quercus pubescens*, frammista ad alberi di *Fraxinus ornus*, e *Ostrya carpinifolia*; strato arbustivo fitto e plurispecifico con dominanza di *Cytisus sessilifolius*, accompagnato da *Juniperus communis*, *Rosa canina*, ecc, e strato erbaceo molto sviluppato caratterizzato da molte specie eliofile dei pascoli aridi (*Brachypodium rupestre*, *Cytisus villosus*, *Cruciata laevipes*, *Cerastium arvense*, ecc. (Petriccione, 1993).

8.2.2. Area di studio

L'area dove sono stati effettuati i rilievi per la realizzazione dello studio (Fig. 8.1) è incentrata sul punto INFC n. 180957 (Fig. 8.2). Questo è situato sulla sponda destra

Fig. 8.1: cartografia IGM della zona di studio (scala 1:10.000).

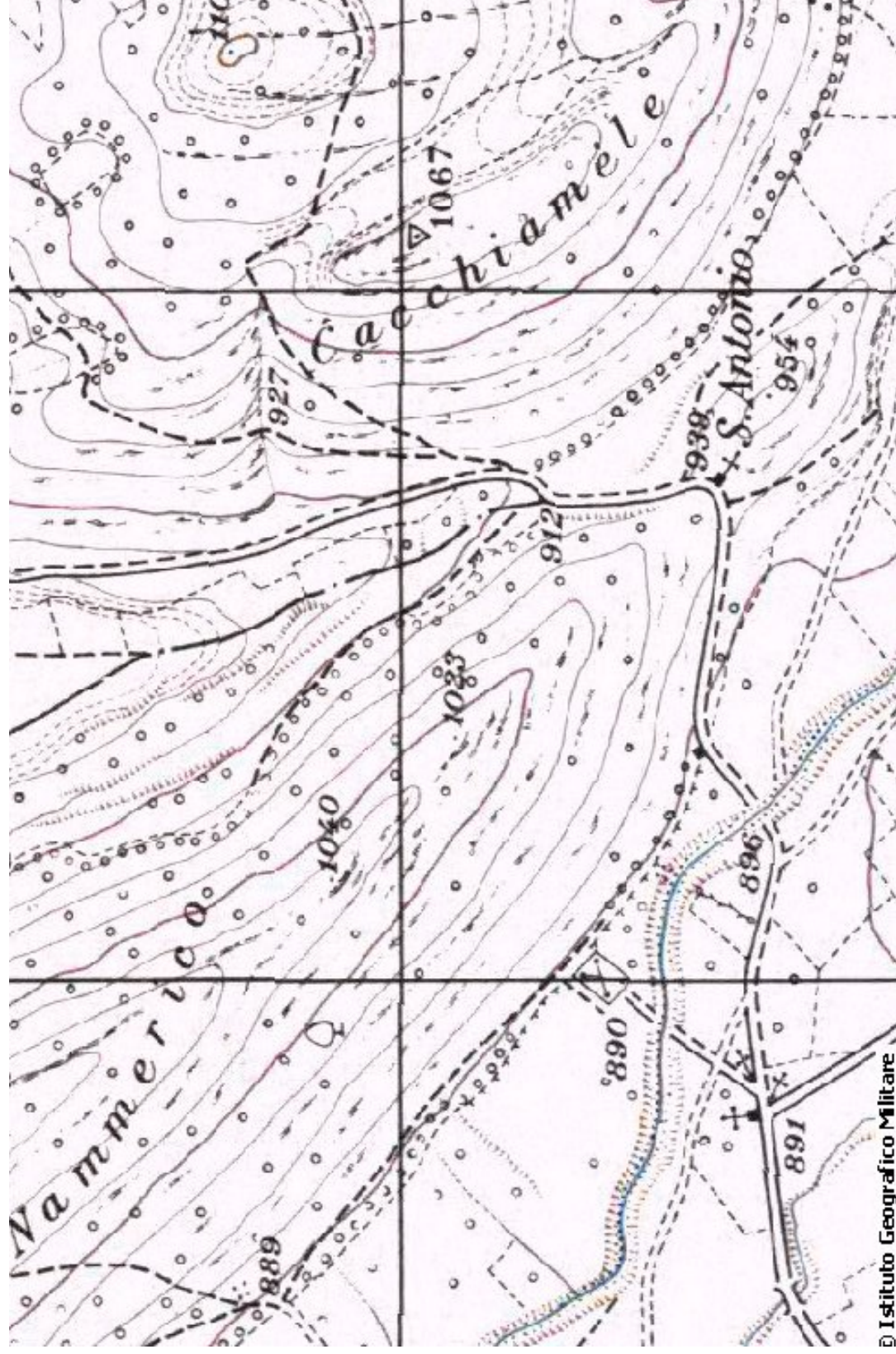


Fig. 8.2: ortofoto (scala 1:5.000) della Valle di Amplero (Collelongo, AQ) con il punto INFC n. 180957 (in giallo) e relativa scheda descrittiva.



del Colle Cacchiamele, lungo la strada che congiunge il cimitero di Collelongo alla Piana di Amplerio, in direzione Nord, a 888 m di quota s.l.m., longitudine +2404585 e latitudine +4639094 (fuso est, coordinate geografiche sistema Gauss-Boaga) ed è riportato nella cartografia digitale AGEA e nelle ortofotocarte regionali al foglio n. 377120.

Dal punto INFC (888 m s.l.m.), esposto a sud-ovest, è stato realizzato un transetto (Fig. 8.3 e 8.4) della lunghezza di 260 m circa e della larghezza di 10 m, avente direzione est-ovest, che raggiunge, attraversando la valle (850 m, s.l.m.), il versante del Colle Nammerico, esposto a nord-est, fino ad un'altezza di circa 900 m s.l.m.

Fig. 8.3: transetto di rilievo principale.



Dal primo transetto, nel punto centrale della valle (vedi foto 8.4) parte un secondo transetto, posto perpendicolarmente al primo, di lunghezza di circa 50 m e di larghezza

Fig. 8.4: foto aerea del Punto INFC n. 180957 (in giallo) con i transetti costruiti per il rilievo della struttura forestale.



10 m, tendenzialmente pianeggianti, che attraversa, in direzione nord-sud tre terrazze in passato utilizzate a fini agricoli.

La pendenza del transetto maggiore varia dal 48% (26°) nelle parti più acclivi sino a divenire pianeggiante nella parte centrale, dove incontra il transetto minore che, come detto è sostanzialmente pianeggiante.

Dal punto di vista morfologico la parte iniziale del transetto principale è situata su terreno molto acclive, con elevata presenza di rocce affioranti. L'uso passato prevalente è stato quello del pascolo. Nella parte centrale, invece, le rocce sono sensibilmente ridotte e si nota, come precedentemente detto, la presenza di terreni in passato ad uso agricolo, disposti in appezzamenti a terrazze, delimitati da muretti a secco e da siepi che si sono accresciute e che rappresentano oramai lembi di vegetazione forestale che fanno da punto iniziale per la rinaturalizzazione del territorio. Infine il versante opposto a quello di partenza non presenta rocce affioranti, mostra una maggiore copertura arborea con conseguente migliore struttura del terreno e maggiore sostanza organica indecomposta e in via di decomposizione.

Il secondo transetto, come detto perpendicolare a quello principale, interessa la parte pianeggiante della valle, percorrendola lungo la sua direzione principale e attraversando tre terrazze in passato destinate all'uso agricolo.

In tutta la zona, ad eccezione della parte finale del transetto principale, sono molto evidenti i segni del pascolamento e del passaggio del bestiame diretto alla Piana di Amplero sottostante.

La zona prettamente interessata dai rilievi, presenta diverse situazioni: nel primo tratto, intorno al punto INFC, non si notano sfruttamenti da parte dell'uomo, se non per pascolo del bestiame. La parte centrale, come già detto, presenta ex coltivi abbandonati a se stessi ed attualmente in fase di rinaturalizzazione, con l'invasione delle specie pioniere precedentemente presenti solo ai suoi margini. La parte finale invece si addentra in un bosco di faggio, precedentemente governato a ceduo composto, dove appaiono evidenti i tratti di invecchiamento dovuto, anche in questo caso, all'abbandono delle pratiche selvicolturali.

Le specie arbustive ed arboree incontrate durante i rilievi sono state le seguenti:

Lantana (*Viburnum lantana*), Roverella (*Quercus pubescens*), Cerro (*Quercus cerris*), Orniello (*Fraxinus ornus*), Carpino nero (*Ostrya carpinifolia*), Carpino orientale

(*Carpinus orientalis*), Carpino bianco (*Carpinus betulus*), Melo selvatico (*Malus sylvestris*), Perastrò (*Pirus pyrastrer*), Rosa canina (*Rosa canina*), Rovo (*Rubus spp.*), Ribes (*Ribes spp.*), Prugnolo (*Prunus spinosa*), Ginepro comune (*Junipreus communis*), Evonimo (*Evonimus europaeus*), Nocciolo (*Corylus avellana*), Acero minore (*Acer monspessulanum*), Acero campestre (*Acer campestre*), Acero opalo (*Acer opalus*), Acero montano (*Acer pseudoplatanus*), Corniolo (*Cornus mas*), Sanguinello (*Cornus sanguinea*), Biancospino (*Crataegus monogyna*), Citiso (*Cytisus spp.*), Sorbo domestico (*Sorbus aria*), e Faggio (*Fagus sylvatica*).

8.2.3. La metodologia sperimentale per la determinazione della struttura della vegetazione

Il punto INFC è stato, come già detto, il punto di partenza per i rilievi che si sviluppati secondo i due transetti precedentemente descritti.

All'interno di ogni transetto (10 metri di larghezza) sono stati rilevate tutte le specie presenti arbustive ed arboree presenti, la loro posizione, il numero totale dei "polloni" portati dalle ceppaie, i diametri dei singoli polloni (a partire da quelli >0,5cm), l'altezza delle piante (Fig. 8.5) ed infine i 4 raggi, presi a partire dal centro della ceppaia al fine di determinare l'area di insidenza (raggi N-S-E-O) di ogni singola pianta.

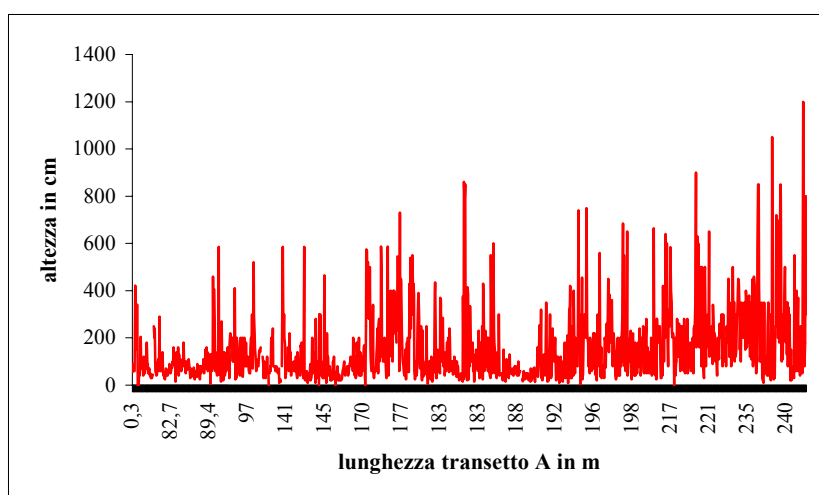


Fig. 8.5: profilo delle altezze delle piante lungo il transetto A. Si può osservare come muovendosi dal bosco rado verso il bosco maturo l'altezza delle piante cresca in modo conseguente.

Utilizzando le coordinate di ogni specie rilevata e i raggi delle aree di insidenza, sono state costruite delle mappe della vegetazione per ognuno dei due transetti. Ogni

SOSTITUIRE CON PLANIMETRIA DELLA VEGETAZIONE

individuo è stato rappresentato con un'ellisse individuante la sua area di insidenza. In questo modo si è potuto rappresentare schematicamente la copertura vegetale del suolo operata da ogni specie arbustiva o arborea considerata (Fig. 8.6).

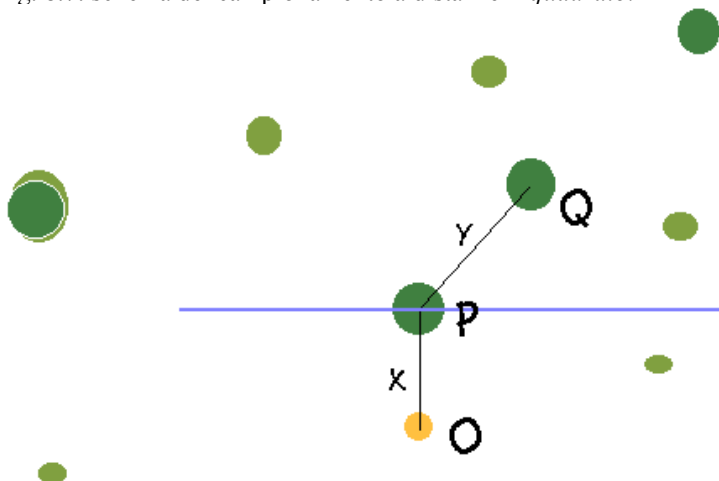
Una volta determinata quindi una struttura “statica” della zona oggetto di studio, ci si è posti l'obiettivo di verificare se esistesse una tipologia ben recisa di distribuzione delle piante.

L'analisi della vegetazione, quindi, ha cercato di definire tipologia di distribuzione presente (casuale, uniforme, raggruppata o *clumped*, vedi Matteucci, 1991) per metterla in relazione poi con eventuali parametri ecologico-stazionali in grado di spiegare questa modalità di distribuzione sul territorio.

Per verificare quindi l'esistenza di eventuali modelli distributivi, è stato utilizzato l'indice di distribuzione spaziale “T-quadrato” (Ludwig & Reynolds, 1988).

Questo indice si avvale di due misurazioni: la distanza dal punto campione all'individuo suo più vicino ($OP=x$, in Fig. 8.7) e quella da questo al suo più vicino più prossimo ($PQ=y$), con l'accortezza di prendere quest'ultima distanza al di sopra del semipiano individuato dal segmento OP e dalla sua perpendicolare in P (in pratica OP e la perpendicolare formano una T , da cui il nome della procedura) (Matteucci, 1991).

Fig. 8.7: schema del campionamento a distanze *T-quadrato*.



Questo campionamento, basato sulle distanze, è preferito a quello “a quadrati” perché quest'ultimo non risulta efficiente in caso di popolazioni disperse. Dalle distanze ottenute, si calcola un indice di distribuzione spaziale “C”, ottenuto dalla sommatoria

dei rapporti fra i quadrati delle distanze punto-individuo (x_i) e i quadrati delle distanze individuo-suo vicino più prossimo (y_i):

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N [x_i^2 / (x_i^2 + 0,5y_i^2)]}{N}$$

dove N è il numero totale dei punti campione.

L'uso dei quadrati delle distanze risulta naturale, in considerazione del fatto che le misure di distanza sono prese su di una superficie bidimensionale. L'indice **C** assume un valore di circa 0,5 per le distribuzioni di tipo casuale, valori sensibilmente minori di 0,5 per le distribuzioni uniformi e significativamente maggiori per le distribuzioni raggruppate (*clumped*).

Per verificare la significatività delle differenze fra valore di C e 0,5 si calcola il valore di z

$$z = \frac{C - 0,5}{[1/(12N)]^{1/2}}$$

la cui significatività statistica si ricava dalla tavola di probabilità per la distribuzione normale standard ($z=1,96$ a $P=0,05$).

Una conferma delle indicazioni fornite dall'indice **C** si può ottenere mediante l'applicazione di un altro indice di distribuzione, basato anch'esso sulle distanze.

Si utilizzando solo le distanze dal punto di campionamento all'individuo ad esso più vicino (OP), per ottenere l'indice di dispersione **I**. Tale indice ci permette di precisare ulteriormente le modalità di distribuzione delle specie nel campione in esame (vedi Ludwig e Reynolds, 1988), inoltre ci fornisce alcune informazioni supplementari circa la distribuzione in gruppi sul terreno.

Utilizzando quindi le distanze x_i , l'indice I è calcolato in base all'equazione:

$$I = (N+1) \frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2)^2}{[\sum_{i=1}^N (x_i^2)]^2}$$

è stato dimostrato che **I** assume il valore i “ per la distribuzione casuale, minore di 2 per la distribuzione uniforme e maggiore di 2 per quella clumped. La significatività degli scarti dal valore 2 può essere calcolata confrontando un valore z con la tavola dei valori critici per la distribuzione normale standard. Il valore di z sarà

$$z = \frac{I-2}{[4(N-1)/(N+2)(N+3)]^{1/2}}$$

in questo caso si avrà significatività statistica per $z > 1,96$ a $P < 0,05$.

L'utilizzo di entrambi gli indici è auspicabile per via della complementarità che presentano nel fornire informazioni. L'indice **C** ci dà informazioni sulla distribuzione di gruppi piccoli e ravvicinati, mentre l'indice **I** ci fornisce elementi sulla distribuzione spaziale di questi gruppi.

L'utilizzo del solo indice **I** inoltre, potrebbe presentare scompensi legati al fatto che tale indice può non distinguere fra individui singoli ed individui posti sul bordo di gruppetti densi. Il fatto che gli indici siano a volte discordi, non è una contraddizione, perché le indicazioni fornite sono collegate ma non strettamente dipendenti.

Per lo studio qui esaminato, sono state generate delle griglie di sovrapposizione per il transetto realizzato in Autocad, i cui vertici rappresentano i punti campione distribuiti in maniera regolare. L'utilizzo di punti regolari è stato scelto poiché punti distribuiti casualmente o regolarmente non è significativamente influente sul calcolo di questi indici (Ludwig e Reynolds, 1988). Si è ottenuto, in base alla griglia, un punto ogni 8 m² circa di superficie di terreno; ottenendo per il transetto A un totale di 320 punti campione e per il transetto B 65 punti.

Per distinguere le differenti situazioni stazionali (diversa esposizione, altitudine, pendenza, ecc.) presenti nel transetto A, questo è stato suddiviso in 6 diverse sezioni, mentre il transetto B, perpendicolare ad A, è stato suddiviso in tre sezioni, vista la minore lunghezza e le maggiori condizioni di uniformità presenti.

8.3. Risultati e discussione

Come già detto in precedenza, le piante presenti in una data area, possono essere distribuite sul territorio in diverse modalità:

- “aggregata” o “*clumps*”, quando un popolamento tende a formare gruppi di piante intervallati da spazi vuoti;
- “casuale”, quando sono distribuiti senza un preciso ordine;
- “uniforme”, quando sono distribuiti in maniera regolare, nel caso di piantagioni artificiali.

La determinazione del tipo di distribuzione di una comunità vegetale è importante, poiché nello studio della sua struttura e dinamica, la distribuzione delle piante può avere motivazioni di carattere ecologico, legate alla risposta del popolamento e delle singole specie alle condizioni sperimentate in una data stazione. Ad esempio una distribuzione raggruppata potrebbe essere causata, per specie vegetali a disseminazione zoofila, dal sotterramento dei semi, finalizzato alla creazione di riserve alimentari, in alcuni punti preferenziali o, ancora, dalla necessità di protezione reciproca (Matteucci, 1991).

Il calcolo degli indici **C** e **I** ha prodotto i seguenti risultati:

Tab. 8.2: valori di C e di I (e loro significatività) nelle varie sezioni dei due transetti di studio.

Transetto A					
Sezione	Numerosità campionaria	C	Significatività	I	Significatività
1	70	>	***	>	N
2	55	>	***	>	***
3	95	>	***	>	N
4	35	>	**	>	***
5	35	<	**	<	N
6	35	>	N	>	***
1+2	125	>	***	>	***
3+4	130	>	***	>	***
5+6	70	<	N	>	**
1+2+3	220	>	***	>	***
4+5+6	105	≥	N	>	***

Transetto B

Sezione	Numerosità campionaria	C	Significatività	I	Significatività
1	20	<	N	>	***
2	30	>	N	<	*
3	15	>	N	>	N
1+2	50	<	N	>	**
2+3	45	>	N	>	*
1+2+3	65	>	N	>	***

Legenda:

Sezione = sezione in cui è stato diviso il transetto.

Numerosità campionaria = numero dei punti campione ricadenti nella sezione, utilizzati per il calcolo degli indici.

C = valore indice T-quadrato. Valore limite 0,5; > = valori maggiori, tendenza al tipo clumped; < = valori minori, tendenza al tipo “uniforme”.

I = valore dell'indice di dispersione. Valore limite 2. (>e<= come sopra per C).

Significatività = N non significativo; * significativo con $P < 0,20$; ** significativo con $P < 0,10$; *** significativo con $P < 0,05$.

La Tab. 8.2 riporta i risultati dell'analisi dei dati, indicando lo scostamento dei valori degli indici T-quadrato C e l'indice di dispersione I dal valore di riferimento (0,5 per C e 2 per I). Il segno > indica che l'indice ottenuto dai dati è superiore al valore di riferimento, e sta ad indicare che la vegetazione tende a distribuirsi in modo “raggruppato” (*clumped*). Il segno < indica invece la tendenza verso la distribuzione di tipo “uniforme”. La tabella inoltre riporta anche i livelli di significatività statistica dello scostamento del valore di riferimento. Gli indici sono stati calcolati prima tenendo separate le singole sezioni, poi sono stati calcolati anche aggregando le sezioni a gruppi di due per verificare se i tipi di distribuzione fossero limitati per alcune caratteristiche sul soprassuolo, o magari si sviluppavano su dimensioni maggiori.

In prima analisi, i risultati delle singole sezioni presentano valori maggiori di quello di riferimento, quindi tendenzialmente la distribuzione appare di tipo “raggruppata” (*clumped*), anche se i livelli di significatività sono differenti.

Il transetto B presenta dei dati di minore significatività rispetto a quello A: dal punto di vista statistico potrebbe essere dovuto al fatto che, essendo di dimensioni inferiori rispetto ad A, si hanno minori punti di campionamento con conseguente minore affidabilità del calcolo della significatività degli scostamenti dal valore di riferimento. Un'altra causa potrebbe essere anche dovuta alle condizioni stazionali molto più uniformi del transetto A, che attraversa almeno tre situazioni differenti passando da un versante a quello suo opposto. Analizzando invece i dati aggregati, si nota che i valori degli indici tendono ad aumentare di significatività. Ciò si nota specialmente per l'indice di dispersione **I**. Infatti, la maggior affidabilità di questo test si ottiene per punti di campionamento superiori a 100, che si raggiunge in effetti, nel caso dei raggruppamenti delle sezioni (Ludwig e Reynolds, 1988).

I valori dell'indice **C** nel transetto A mostrano come la situazione relativa all'aggregazione della vegetazione cambia passando di sezione in sezione. Infatti, mentre per la sezioni 1, 2 e 3 vi è una chiara indicazione di aggregazione "raggruppata", con significatività elevata ($P < 0,05$), questa diminuisce nelle successive due sezioni (4 e 5) fino a scomparire nella sezione 6. Osservando la posizione, la struttura e la composizione delle sezioni si può ipotizzare che questo cambiamento sia dovuto a vari fattori:

- nelle sezioni 1 e 2, (tratto in pendenza, che parte dal punto INFC e scende fino al fondo della Piana), l'aggregazione "raggruppata" è dovuta principalmente all'azione di pascolamento del bestiame. Le piante riescono a svilupparsi in zone più protette o laddove il bestiame non riesce a spingersi;
- nella sezione 3 (tratto pianeggiante che attraversa la Piana), l'aggregazione "raggruppata" è dovuta principalmente alla diffusione della vegetazione secondo linee ben precise legate alle siepi delimitanti le terrazze in passato utilizzate dall'agricoltura, oltre che da alberi fruttiferi di età elevata, già presenti durante detto periodo;
- nelle sezioni 4, 5, e 6 (tratto in pendenza che arriva fino al bosco di faggio) la significatività dell'indice **C** va via via diminuendo, fino a scomparire

nella sezione 6, poiché la vicinanza con il bosco fa sì che la diffusione delle specie arbustive ed arboree si svincoli dai modelli sopra descritti per andare sempre di più verso un'aggregazione di tipo "uniforme", casuale, legata alle normali dinamiche di diffusione delle specie più che a particolari situazioni stazionali.

Il transetto B mostra la stessa tendenza (l'indice maggiormente significativo è quello I), passando da alta a bassa significatività muovendosi dalla zona a terrazze in via di naturalizzazione a quella dove il bosco ha già completamente colonizzato il territorio. Anche in questo caso le spiegazioni possono essere mutate da quanto sopra scritto per il transetto A.

Analizzando le strutture vegetali di neoformazione dell'area studiata si può notare come la composizione e l'aggregazione delle specie segua tre diversi schemi:

- le zone aperte, oggetto di pascolamento frequente, sono ricolonizzate dagli arbusteti (in particolare costituiti da prugnolo e biancospino, ma anche da ginepro). Come detto (vedi Cap. 3.2.) questi colonizzano in modo molto rapido il suolo, ma ne impediscono poi, per lungo tempo, lo sviluppo evolutivo, impedito della densità a volte elevatissima che raggiungono e che non permette l'insediamento di nessuna altra specie (modello successionale detto di inibizione, Connell e Slayter. in Paci, 2004);
- le zone di confine delle terrazze, delimitate un tempo da muretti e siepi, sviluppano la loro successione sfruttando la protezione dette strutture offrono alla vegetazione esistente che, rapidamente, può evolvere verso formazioni forestali più complesse;
- le zone di mantello, di unione tra il bosco e le aree agricole, vengono riconquistate dal bosco in modo veloce e andante, costituendo formazioni forestali mature in brevissimo tempo.

In conclusione è evidente che nel fenomeno di espansione del bosco molti sono i fattori in gioco: uno di questi è rappresentato dalla struttura della vegetazione che può essere diversa a seconda delle situazioni stazionali, sia ecologiche che legate all'uso del suolo. I rapporti tra le specie forestali cambiano ed in particolare il loro modo di distribuirsi sul territorio. Studi più approfonditi, che prendano, ad esempio, in considerazione la vegetazione erbacea, possono sicuramente contribuire a sviluppare ulteriori temi di indagine, contribuendo ulteriormente alla conoscenza di un fenomeno tanto interessante quanto frequente come quello della rinaturalizzazione del territorio.

Fig. 8.8: area di studio oggetto di rinaturalizzazione (Amplero, Collelongo - AQ).



CAP. 9: CONCLUSIONI

La ricerca, è stata finalizzata alla conoscenza dei cambiamenti d'uso del suolo, ed in particolare della superficie forestale, avvenuti negli ultimi 50 anni nella Regione Abruzzo, in termini sia complessivi che di tasso annuo d'accrescimento. Inoltre lo studio si è anche posto l'obiettivo di quantificare la superficie forestale presente nel 1990, anno base per gli impegni legati al Protocollo di Kyoto. Infine, è stato sviluppato un modello previsionale di cambiamento d'uso del suolo ed è stato realizzato uno studio preliminare della struttura vegetazionale di un bosco di neoformazione.

La metodologia di base per lo studio del cambiamento è stata quella denominata del cosiddetto “inventario continuo”, mediante la classificazione multitemporale di punti di sondaggio permanenti dislocati probabilisticamente sull'intero territorio regionale. Tale metodologia è stata utilizzata nello studio del cambiamento nel periodo “anni '80 – 2002 (vedi Cap.5). Un sistema analogo è stato applicato per lo studio del cambiamento nel periodo 1954 –2002 (vedi Cap. 6). Gli schemi di lavoro proposti sono risultati agevolmente applicabili e in grado di fornire risultati efficienti. Si evidenzia come le statistiche di superficie boschiva su ampi territori ottenute tramite un approccio estimativo quale quello proposto siano scientificamente più difendibili di quelle tradizionalmente ottenute da mappatura completa della copertura del suolo in quanto più facilmente e rigorosamente ripetibili in termini strettamente oggettivi.

La stessa base metodologica di cui al Cap. 5, ha consentito di determinare, il valore della superficie forestale regionale del 1990. L'importanza di acquisire questo dato in modo oggettivo è ampiamente riconosciuta in quanto, come noto, i meccanismi del Protocollo di Kyoto richiedono esplicitamente la conoscenza della superficie forestale di ogni Paese al 1990 (*baseline*). La peculiarità e l'efficienza della procedura probabilistica proposta, in mancanza di dati geograficamente espliciti, accresce il valore dalla presente ricerca.

La realizzazione del modello previsionale di cambiamento della copertura del suolo di cui al Cap. 7, ha fornito un oggettivo riscontro su alcune variabili significativamente determinanti (*driving variables*) i processi di espansione boschiva, permettendo di predire, nell'ipotesi di condizioni all'intorno costanti, dove in futuro il

bosco potrà continuare l'azione di rinaturalizzazione. Eventuali sviluppi del modello potrebbero in futuro delineare in maniera più chiara e dettagliata le dinamiche in atto fornendo un utile supporto nella fase decisionale relativa alla gestione del territorio.

Infine l'analisi della struttura vegetazionale del bosco di neoformazione di "Amplero" (vedi Cap. 8), ha mostrato come l'evoluzione di questi soprassuoli sia direttamente collegata a variabili di tipo stazionale, evidenziando come la vegetazione si sviluppi seguendo linee ben determinate legate alla conformazione del territorio, al suo uso prevalente ed al tipo di strutture vegetali presenti.

Nel complesso gli studi condotti evidenziano che le superfici forestali sono aumentate negli ultimi 50 anni del 17,9% con un tasso di espansione annua dello 0,37% (0,23% se consideriamo la somma delle superfici forestali totali, incluse le superfici forestali rade). In particolare, negli ultimi venti anni il tasso d'espansione è salito a circa lo 0,6% (0,34% con le superfici forestali rade).

Il valore della superficie forestale al 1990 è stato stimato pari a 403.426 ha (442.061 ha includendo le superfici forestali rade).

Sono state evidenziate interessanti correlazioni tra i fattori stazionali e socio-economici e la tendenza all'espansione del bosco. Il principale fattore di cambiamento è risultato la presenza del bosco nell'intorno (500 metri) del punto campionato. Anche altri fattori mostrano un'importante correlazione positiva con il cambiamento: altitudine, pendenza, distanza dai centri abitati, diversificazione di uso del suolo, ricchezza della popolazione. Viceversa, la densità di popolazione mostra una correlazione negativa.

Lo studio della struttura della vegetazione del bosco in località "Amplero" ha consentito di visualizzare e descrivere un ecosistema forestale di neoformazione originatosi su terrazzamenti in passato a destinazione agricola, mostrando come la vegetazione si sviluppi seguendo modelli ben precisi: in modo raggruppato (*clumping*), laddove esistono condizioni di distanza dal bosco e lo sfruttamento del territorio sia ancora elevato (elevata pressione del bestiame), in modo casuale in prossimità del mantello, vera e propria propaggine di diffusione del bosco.

I risultati della ricerca risultano di evidente applicazione in tutti quei settori che utilizzano come base la quantificazione multitemporale dell'uso del suolo. In particolare, l'applicazione del Protocollo di Kyoto e la gestione del territorio secondo

metodi di sostenibilità possono trovare supporto dagli strumenti messi a punto nell'ambito dello studio condotto. Ulteriori approfondimenti potranno essere sviluppati sia nel settore della modellistica, con particolare riferimento all'analisi dei parametri correlati al cambiamento d'uso del suolo, sia con riferimento allo studio della successione vegetazionale a livello fitosociologico.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Ispettorato Generale del Corpo forestale dello Stato, in particolare l'Ufficio SIAT (Sistemi Informativi Automatizzati Territoriali), per aver messo a disposizione il materiale ortofotografico digitale del 2002 unitamente ai dati del nuovo Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi Forestali di Carbonio (INFC, dati prima fase). Si ringrazia altresì l'Isp. For. A. Sebastiani e tutto l'Ufficio Cartografico della Regione Abruzzo per aver gentilmente concesso il materiale ortofotografico regionale relativo agli anni '80.

Un ringraziamento al Prof. L. Fattorini per il contributo in sede di analisi statistica dei dati e per la revisione critica del di parte del lavoro. Grazie al Dr. P. Calvani per la collaborazione nell'elaborazione del modello di previsione dei cambiamenti d'uso del suolo. Grazie alla Dr.ssa C. Fiorini ed al Dr. G. Matteucci per quanto svolto nello studio della struttura della vegetazione di Amplero (AQ). Grazie a mia sorella Maria Grazia per la realizzazione dei grafici della vegetazione.

Grazie al Prof. P. Corona per il continuo interesse e stimolo allo svolgimento del lavoro, nonché per la sua attiva partecipazione nello studio e nella realizzazione della ricerca.

Grazie a tutto il personale del Di.S.A.F.R.I., al Prof. P. De Angelis *in primis* che non ha mai fatto mancare consigli e sostegno, ed infine un grazie davvero speciale al Prof. G. Scarascia Mugnozza che mi ha concesso la sua totale disponibilità nella progettazione e nell'esecuzione dello studio, oltre che la sua sapiente supervisione durante tutti i tre anni del dottorato di ricerca.

BIBLIOGRAFIA

Agnoletti M., Paci M. (1998) Landscape evolution in a farm of central Tuscany between 18th and 20th century. International Conference on Advances in Forest and Woodland History. British Ecological Society, Nottingham, U.K., 2-6 sett. 1996.

Agresti A. (1996) An introduction to categorical data analysis. John Wiley and Sons, New York.

Blasi C. (1993) - Lo studio sindinamico della vegetazione e della pianificazione multifunzionale del bosco. Atti del convegno "Ricerca ed esperienze nella pianificazione multifunzionale del bosco" Centro Ricerche ENEA del Brasimone (BO), 23-24 novembre 1993: 29-38.

Brown D.G. (2003) Land use and forest cover on private parcels in the Upper Midwest USA, 1970 to 1990. *Landscape Ecology* 18: 777-790.

Carfagna E., Gallego F.J. (1999) Thematic maps and statistics. In *Land cover and land use information systems for European Union policy needs*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp. 219-228.

Chirici G., Corona P., Marchetti M., Baiocco F., Visentin R., La Monaca A. (2004) Controllo di qualità e validazione multifase del database Corine Land Cover 2000 in Italia. Atti della 8^o Conferenza Nazionale ASITA – Roma 14-17 Dicembre 2004.

Colletti L. (2005) "La strategia forestale comunitaria per il periodo programmatico 2007-2013". Seminario tenuto il 03/11/2005 presso l'Università degli Studi della Tuscia – Viterbo.

Commissione Europea (1991) CORINE biotopes. The design, compilation and use of an inventory of sites of major importance for nature conservation in the European Community. Luxembourg, 132 pp.

Commissione Europea (1993) CORINE Land Cover guide technique. Offices des publications Officielles des Communautés Européennes. Luxembourg. 144 pp. Corona P (2000) Introduzione al rilevamento campionario delle risorse forestali. Editrice CUSL, Firenze.

Corona P., Fattorini L., Pompei E. (2006) Aerial assessment of landscape change by two-phase network sampling: an application to central Italy. Submitted to *Environmetrics*.

Corona P., Macrì A., Marchetti M. (2004) Boschi e foreste in Italia secondo le più recenti fonti informative. *L'Italia Forestale e Montana* 2 119-136.

Corona P. (2000) Introduzione al rilevamento campionario delle risorse forestali. Edizioni Cusl, Firenze

Corona P., Pompei E., Calvani P., Scarascia Mugnozza G. (2006a) Modelling spontaneous forest expansion by multinomial logistic regression. Submitted to *Forest Ecology and Management*.

Corona P., Pompei E., Scarascia Mugnozza G. (2005) Stima probabilistica del tasso di espansione annua e del valore al 1990 della superficie forestale nella Regione Abruzzo. *Forest@* 2 (2): 178-184. [online] URL: <http://www.sisef.it/>

De Vries P.G. (1986) Sampling theory for forest inventory. Spring-Verlag. Berlin
FAO (2001). FAO Database. [online] URL: <http://faostat.fao.org/faostat/collections?subset=agriculture>

FAO (2003) State of World's forests 2003. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

FAO (2005) Informazioni da sito web www.fao.org/forestry/fra2005

Fattorini L. (2003) A two-phase sampling strategy for forest inventories. In: Advances in forest inventory for sustainable forest management and biodiversity monitoring (Corona P, Koehl M, Marchetti M eds.), Forest Sciences, Volume 76, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 143-156.

Fattorini L., Marcheselli M., Pisani C. (2003) Two-phase estimation of coverages with second-phase corrections. *Environmetrics* 14 1-12.

Feoli E. e Lagonegro M. (1982) Syntaxonomical analysis of beech wood in the Apennines (Italy) using the program package IAHOPA. *Vegetatio*, 50.

Forest resources assessment (1990) Global synthesis. FAO Forestry Paper, 124 – Roma 1995

Fuller, W.A. (1999) Environmental surveys over time. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics* 4: 331-345.

Gallego F.J. (1995) Sampling frames of square segments. EUR 16317, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Glavac V. (1996) *Vegetationsökologie*. Gustav Fischer, Jena, Germany, pp. 358.

Holmgren P. (2001) Forest area and area change. FAO Forestry Paper 140, Rome.

Hosmer D.W., Lemeshow S. (1989) *Applied logistic regression*. John Wiley and Sons, New York.

IFN, Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Direzione Generale delle Risorse Forestali, Montane ed Idriche – Corpo forestale dello Stato. Istituto sperimentale per l'Assestamento e per l'Alpicoltura . IFN Inventario Forestale Nazionale 1985: sintesi metodologica e risultati. pp 462 (Trento, 1988).

INFC (2003) Manuale di fotointerpretazione per la classificazione delle unità di campionamento di prima fase. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Direzione Generale per le Risorse Forestali Montane e Idriche, Corpo Forestale dello Stato. Documento a cura dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura, Trento.

INFC (2003a) Guida alla classificazione della vegetazione forestale. Inventario nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Direzione Generale per le Risorse Forestali, Montane ed Idriche, Corpo forestale dello Stato, ISAFA, Trento.

INFC (2003b) Manuale di fotointerpretazione per la classificazione delle unità di campionamento di prima fase. Inventario nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Direzione Generale per le Risorse Forestali, Montane ed Idriche, Corpo forestale dello Stato, ISAFA, Trento.

INFC (2003c) Procedure di controllo di qualità dei dati di prima fase. Inventario nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Direzione Generale per le Risorse Forestali, Montane ed Idriche, Corpo forestale dello Stato, ISAFA, Trento.

INFC (2003d) Istruzioni per il rilievo degli attributi di seconda fase. Inventario nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Direzione Generale per le Risorse Forestali, Montane ed Idriche, Corpo forestale dello Stato, ISAFA, Trento.

INFC (2003e) Procedure di definizione delle coordinate dei punti di campionamento. Inventario nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Direzione Generale per le Risorse Forestali, Montane ed Idriche, Corpo forestale dello Stato, ISAFA, Trento.

INFC (2003f) Procedure di individuazione, materializzazione e ritrovamento dei punti di campionamento. Inventario nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Direzione Generale per le Risorse Forestali, Montane ed Idriche, Corpo forestale dello Stato, ISAFA, Trento.

INFC (2004) Il disegno di campionamento. Inventario nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Direzione Generale per le Risorse Forestali, Montane ed Idriche, Corpo forestale dello Stato, ISAFA, Trento.

INFC, (2005) – *Risultati della prima fase di campionamento*. Inventario nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Direzione Generale per le Risorse Forestali, Montane ed Idriche, Corpo forestale dello Stato, ISAFA, Trento.

IPCC (2003) Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change, National Greenhouse Gas Inventories Programme. Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan.

ISAFA (2005) Inventario nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio: Linee generali per il progetto per il secondo inventario forestale nazionale italiano.

ISTAT (2005) Statistiche Forestali anno 2002.

ISTAT (1956) Statistica Forestale 1953-54.

ISTAT (1993) Statistiche Forestali anno 1990.

Kleinbaum D. (1994) Logistic regression. A self-learning text. Springer Verlag, New York.

Korotkov A.V. (1994) UN-ECE/FAO Forest Resources Assessment: Retrospective and Look into the Future. In: IRSA-EFI, 1994 – Proceedings of the International Workshop “Designing a System of Nomenclature for European Forest Mapping. Joensuu, Finland, 13 15 June 1994.

Ludwig J.A. & Reynolds J.F. (1988) Statistical Ecology. Wiley International Editions. New York.

Lund H.G. (1998) A comparison of multipurpose resource inventories (MRIs) throughout the world. European Forest Institute, Working Paper, 14. 46 pp.

Margalef R. (1968) Perspectives in ecological theory. University of Chicago Press. Chicago.

Maricchiolo C., Sambucini V., Pugliese A., Blasi C., Marchetti M., Chirici G., Corona P. (2004) La realizzazione in Italia del progetto europeo I&CLC2000: metodologie operative e risultati. Atti della 8° Conferenza Nazionale ASITA – Roma 14-17 Dicembre 2004

Matteucci G. (1991) Struttura, fenologia e fisiologia del Carbonio nelle fasce di vegetazione dunale in Montalto di Castro (VT) – Tesi di Laurea in Scienze Forestali. Anno Accademico 1990-1991.

MCPFE (2003) State of Europe's forests 2003. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Liaison Unit Vienna, Vienna, Austria.

Mollicone D., Federici S. (2005) L'uso delle terre: il Protocollo di Kyoto, la definizione FAO di foresta e l'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. *Forest@* 2 (4): 321-330. [online] URL: <http://www.sisef.it/>

Nagelkerke N.J.D. (1991) A note on general definition of the coefficient of determination. *Biometrika* 78:691-692.

Odum E. P. (1983) *Basic Ecology*. CBS College Publishing.

Paci M. (2004) *Ecologia Forestale. Elementi di conoscenza dei sistemi forestali*. Ed. Edagricole. pp 310. Bologna, 2004.

Petriccione B., Greco S., Tammaro F. (1993) La vegetazione del progettato parco archeologico-naturalistico della Valle di Amplero e della Vallelunga (AQ). *Micologia e vegetazione mediterranea*. Vol.VIII – n. 2, pp. 137-160.

Pignatti S. e Pignatti Wikus E. (1987) Le cenosi a cerro e farnetto della Penisola e della Sicilia. *Not. Fitosoc.*, 23: 107-124.

Pignatti S. (1992) Prodromo della vegetazione boschiva caducifoglie degli Appennini Centrali (classe *Quercio-Fagetea*).

Piussi P (2002) Rimboschimenti spontanei ed evoluzioni post-coltura. *Monti e Boschi* 3-4: 31-37.

Piussi P., Farrel E.P. (2000) Interactions between society and forest ecosystems: challenges for the near future. *Forest Ecology and Management* 132: 21-28.

Rudel T., Coomes O., Moran E., Achard F., Angelsen A., Xu J., Lambin E. (2005) Forest transition: towards a global understanding of land use change. *Global Environmental Change* 15: 23-31.

Rühl J., Pasta S., La Mantia T. (2005) Metodologia per lo studio delle successioni secondarie in ex-coltivi terrazzati: il caso studio di Pantelleria (Canale di Sicilia). *Forest@* 2 (4): 388-398. [online] URL: <http://www.sisef.it/>

Salbitano F. (1987) Vegetazione forestale ed insediamento del bosco in campi abbandonati in un settore delle Prealpi Giulie (Taipana-Udine). Gortania, Atti del Museo Friulano di Storia naturale, 9: 83-143.

Schönig P, (1994) Nomenclature used by Eurostat for land use and structure statistics. In IRSA-EFI, 1994 – Proceedings of the International Workshop “Designing a System of Nomenclature for European Forest Mapping”. Joensuu, Finland, 13-15 June 1994: 11-120.

Schreuder H.T., Gregoire T., Wood G.B. (1993) Sampling methods for multiresources forest inventory. Wiley & Son, New York.

Tomaselli R. (1966) Sul concetto di vegetazione potenziale. Annali Accademia italiana di scienze forestali, XV 297-322.

Torta G. (2004) Consequences of rural abandonment in a Northern Apennines landscape (Tuscany, Italy). In: Recent Dynamics of the Mediterranean Vegetation and Landscape, (Mazzoleni S., Di Pasquale G., Mulligan M., Di Martino P., Rego F., eds.), John Wiley and Sons, Chichester.

UN, United Nation Framework Climate Change Convention, UNFCCC, Rio de Janeiro, 1992.

UN-ECE/FAO (1997) UN-ECE/FAO Temperate and Boreal Forest Resources Assessment 2000. Terms and Definitions. United Nations New York and Geneva, July 1997: 13 pp.

Valentini R. (2004) Le Convenzioni Internazionali per la Protezione dell’Ambiente e la COP9 di Milano. Presentazione orale. Viterbo, 18.03.2004.