

## **Rete monitoraggio permanente uso del suolo: nuovi metodi d'indagine per lo studio delle dinamiche del territorio modellato artificialmente**

Lorenzo Bottai (\*), Nicola Sabatini, David Pellegrini, Antonietta del Piccolo (\*\*),  
Umberto Sassoli (\*\*\*), Chiara Agnoletti (\*\*\*\*), Remo Bertani (\*\*\*\*\*)

(\*) IBIMET-CNR, Via Caproni 8 50144 Firenze, 0554483035, bottai@lamma.rete.toscana.it

(\*\*) Consorzio LaMMA, Via Madonna del Piano, edificio D, 50019 Sesto Fiorentino, Firenze

(\*\*\*) Regione Toscana, (SITA) Via di Novoli 26, 50127 Firenze

(\*\*\*\*) IRPET Via La Farina 27 I - 50132 Firenze

(\*\*\*\*\*) RDM srl. Via Maragliano 31/a 50100, Firenze

### **Riassunto**

Il Consorzio LaMMA (Laboratorio di Meteorologia e Modellistica Ambientale per lo sviluppo sostenibile), su incarico e in stretta collaborazione con il Settore Sistema Informativo per il Governo del Territorio e dell'Ambiente (SITA) della Regione Toscana, ha messo a punto una nuova metodologia di indagine per determinare i cambiamenti dell'uso e della copertura del suolo del territorio attraverso un'analisi storica effettuata su immagini satellitari e foto aeree ad alta risoluzione. In particolare, nella presente sperimentazione sono state utilizzate le ortofoto digitali del territorio toscano relative agli anni 1978, 1996 e 2007, conservate presso il SITA della Regione. Tale analisi permette di determinare in maniera speditiva le variazioni storiche del tessuto urbano e di altre classi di copertura del suolo, avvenute in Toscana a partire dalla fine degli anni 70.

Lo studio si basa su un campionamento sistematico non allineato di punti disposti secondo una griglia casuale; ad ogni punto della griglia è associato una classe di uso del suolo secondo le specifiche del Corine Land Cover - III livello.

Mediante una procedura semiautomatica, è possibile quindi analizzare le variazioni storiche della copertura del suolo di ciascun punto avvenute negli anni presi in considerazione.

### **Abstract**

The consortium LaMMA (Laboratory for Meteorology and Environmental Modelling for the sustainable development) in collaboration with the "Cartographic department" of Regione Toscana, has developed a new methodology to determine the land use and land cover changes of Tuscany through historical analysis performed on satellite images and high-resolution aerial photos.

This analysis allows to determine in an operational and fast way the historical changes in the classes of urban fabric, took place in Tuscany since the late 70s. In particular, digital images were used belonging to the Tuscan regional photo archives, 1978, 1996 and 2007.

The study is based on a non-aligned systematic sampling points arranged in a random grid, each grid point is associated with a class of land use according to the specifications of the Corine Land Cover - III level. Using a semiautomatic procedure, you can then analyze the historical changes of land cover for each point occurred during the years considered.

### **Introduzione**

Il territorio può assumere diverse accezioni ma è in prima istanza il luogo fisico, lo spazio dove si svolgono tutte le azioni antropiche produttive e non. In questa prospettiva, il suolo rappresenta una delle risorse primarie e la sua importanza è data sia dalla relativa scarsità sia dalle proprie specificità.

Ne deriva che le informazioni riguardanti la copertura del suolo sono fondamentali per una corretta pianificazione del suo utilizzo e per la sua tutela e conservazione. I dati relativi all'uso e alla copertura del suolo sono infatti utilizzati in molteplici ambiti della pubblica amministrazione e della ricerca scientifica: possono essere impiegati come input per modelli matematici relativi alla protezione ambientale o ai cambiamenti climatici, allo studio della biodiversità, alle problematiche della degradazione dei suoli e alla desertificazione, all'impiego per fini inventariali, ma anche a supporto della programmazione economica e della pianificazione territoriale.

Per "Copertura del suolo" si intende la copertura bio-fisica osservata sulla superficie terrestre, il tipo di strato superficiale di una specifica area di territorio; questa categoria include la vegetazione, il suolo nudo, i corpi idrici e le superfici artificiali che possono essere osservate in campo e registrate da fotografie aeree e satellitari. Mentre per "uso del suolo" si intende la funzione per cui una specifica area di suolo è utilizzata dall'uomo; in questo caso quindi il termine esprime la funzione socio-economica di una area specifica (UN-ECE FAO 1997).

### Metodologia utilizzata

E' stato sperimentato il sistema inventariale rispetto a quello cartografico che ha consentito il raggiungimento degli obiettivi prefissati, perseguiti in tempi e costi molto contenuti.

In letteratura sono presenti molti lavori che mostrano come i sistemi a campionamento puntuale consentano di ridurre gli errori relativi alla misura degli elementi da campionare (Gallego 2004).

La sperimentazione è stata condotta sull'intero territorio della Toscana, attraverso la classificazione multitemporale di punti di sondaggio permanenti basandosi su foto aeree ortocorrette che ha consentito una stima oggettiva del tasso medio di espansione delle aree urbane dal 1978 al 2007 con un controllo intermedio al 1996.

Lo schema di campionamento per la realizzazione di questa indagine, ha previsto la suddivisione del territorio della Toscana in quadrati di 200 metri di lato per una superficie unitaria pari a 40.000 metri quadrati (4 ettari). All'interno di ciascun quadrato è stato individuato casualmente un punto di sondaggio secondo lo schema di campionamento sistematico non allineato (Unaligned Systematic Sampling). La superiorità di questo schema di campionamento rispetto ad altri schemi sistematici usualmente impiegati negli inventari forestali è provata in Fattorini (2003) e Fattorini et al. (2003).

Il sistema di nomenclatura adottato si articola in tre livelli con approfondimento crescente per un totale di 13 classi al terzo livello ed 1 classe al quarto livello (Corine Land Cover Technical Guide 2000).

CODICE	DESCRIZIONE
111	Zone residenziali a tessuto continuo
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado
113	Tessuto residenziale rado -case sparse-
121	Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati
122	Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche
123	Aree portuali
124	Aeroporti
131	Aree estrattive
132	Discariche
133	Cantieri
141	Aree verdi urbane
1411	Aree verdi in abbandono
142	Aree ricreative e sportive

Tabella 1 – Legenda CORINE LAND COVER LIVELLO III della classe "Superfici artificiali" adottata per l'indagine.

In base agli standard adottati a livello nazionale e regionale per la realizzazione di banche dati georeferenziate dell'uso del suolo, la classe a cui attribuire il punto è stata definita sulla base di due parametri oggettivi:

- una superficie minima di 5.000 metri quadrati;
- una larghezza minima in corrispondenza del punto di campionamento di 50 metri ( 6 metri per la classe 1.2.2. "Reti stradali, ferrovie e infrastrutture tecniche").

Per la realizzazione dell'archivio è stata sviluppata una apposita estensione in linguaggio *avenue* per il *software arcview* che ha facilitato la fase di fotointerpretazione. Infatti, partendo dal file dei punti da interpretare, l'interfaccia realizzata ha consentito di automatizzare e velocizzare tutte le fasi di caricamento della foto e della navigazione in scala opportuna. In pratica l'operatore doveva analizzare il punto in scala 1:3000 e stabilire se la classe di uso suolo fosse o meno in area urbana. In considerazione della percentuale delle classi urbane (circa il 6 %) nel 94% dei casi quindi, esso doveva scartare il punto e passare al successivo. Una volta individuato un punto "Urbano" sempre attraverso l'interfaccia grafica l'operatore selezionava da una lista predefinita il nome della classe da assegnare al punto.

Al termine della ricognizione puntuale, per ogni classe è stato possibile calcolare la varianza e stimare l'errore standard, utilizzando le indicazioni tratte dal lavoro di Corona (Corona et al. 2005).

	1978 ha	% sull'urbano 1978	1996 ha	% sull'urbano 1996	2007 ha	% sull'urbano 2007
Zone urbanizzate di tipo residenziale a tessuto continuo	3916	<b>3.13</b>	4328	<b>2.81</b>	4456	<b>2.62</b>
Zone residenziali a tessuto discontinuo	34384	<b>27.51</b>	43856	<b>28.51</b>	47456	<b>27.86</b>
Tessuto residenziale rado (case sparse)	32708	<b>26.17</b>	33936	<b>22.07</b>	37088	<b>21.77</b>
Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati	12384	<b>9.91</b>	19428	<b>12.63</b>	23868	<b>14.01</b>
Reti stradali, ferrovie e infrastrutture tecniche	29608	<b>23.69</b>	33480	<b>21.77</b>	35280	<b>20.71</b>
Aree portuali	452	0.36	484	0.31	508	0.30
Aeroporti	976	0.78	984	0.64	1016	0.60
Aree estrattive	2384	1.91	3556	2.31	4552	2.67
Discariche	80	0.06	260	0.17	316	0.19
Cantieri- edifici in costruzione	1760	1.41	2560	1.66	3128	1.84
Aree verdi urbane	2800	2.24	4944	3.21	5376	3.16
Aree ricreative e sportive	2820	2.26	5264	3.42	6492	3.81
Aree verdi in abbandono	732	0.59	720	0.47	804	0.47
<b>Totale Urbano</b>	<b>125004</b>	<b>100.00</b>	<b>153800</b>	<b>100.00</b>	<b>170340</b>	<b>100.00</b>
Percentuale sul totale regionale	5.44		6.69		7.41	

Tabella 2 – Estensione in ettari delle classi di uso del suolo e loro percentuale.

	Incremento % (1978 - 1996)	Incr. Annuo (1978-1996)	Incremento % (1996 - 2007)	Incr. Annuo (1996-2007)
Zone urbanizzate di tipo residenziale a tessuto continuo	10.52	0.58	2.96	0.27
Zone residenziali a tessuto discontinuo	27.55	1.53	8.21	0.75
Tessuto residenziale rado (case sparse)	3.75	0.21	9.29	0.84
Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati	56.88	3.16	22.85	2.08
Reti stradali, ferrovie e infrastrutture tecniche	13.08	0.73	5.38	0.49
Aree portuali	7.08	0.39	4.96	0.45
Aeroporti	0.82	0.05	3.25	0.30
Aree estrattive	49.16	2.73	28.01	2.55
Discariche	225.00	12.50	21.54	1.96
Cantieri- edifici in costruzione	45.45	2.53	22.19	2.02
Aree verdi urbane	76.57	4.25	8.74	0.79
Aree ricreative e sportive	86.67	4.81	23.33	2.12
Aree verdi in abbandono	-1.64	-0.09	11.67	1.06
<b>Totale Urbano</b>	<b>23.04</b>	<b>1.28</b>	<b>10.75</b>	<b>0.98</b>

Tabella 3 – Per ogni classe di uso del suolo è riportato il valore dell'incremento percentuale e il tasso di incremento annuo.

## Risultati

La metodologia utilizzata consente di analizzare le tendenze evolutive e in atto in Toscana per quanto concerne l'uso del suolo urbanizzato. Dal database realizzato è stato possibile effettuare delle elaborazioni volte ad individuare le principali dinamiche territoriali alle diverse scale (regionale, provinciale ma anche comunale). Le superfici artificiali ricadenti sul territorio della Toscana occupano, all'anno 2007, una superficie complessiva di 170.340 ettari corrispondente a circa il 7,41 % della superficie totale. La dinamica evolutiva 1978-1996-2007 evidenzia un incremento dei territori artificiali pari al 36,26 %, che corrisponde ad un incremento di superficie antropizzata pari a 45.336 ettari.

	1978 ha	%	1996 ha	%	2007 ha	%	Stima Errore %
Zone urbanizzate di tipo residenziale a tessuto continuo	3916	1.70	4328	1.88	4456	1.94	2.99
Zone residenziali a tessuto discontinuo	34384	14.96	43856	19.08	47456	20.65	0.91
Tessuto residenziale rado (case sparse)	32708	14.23	33936	14.76	37088	16.13	1.03
Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati	12384	5.39	19428	8.45	23868	10.38	1.29
Reti stradali, ferrovie e infrastrutture tecniche	29608	12.88	33480	14.57	35280	15.35	1.06
Aree portuali	452	0.20	484	0.21	508	0.22	8.87
Aeroporti	976	0.42	984	0.43	1016	0.44	6.27
Aree estrattive	2384	1.04	3556	1.55	4552	1.98	2.96
Discariche	80	0.03	260	0.11	316	0.14	11.25
Cantieri- edifici in costruzione	1760	0.77	2560	1.11	3128	1.36	3.57
Aree verdi urbane	2800	1.22	4944	2.15	5376	2.34	2.72
Aree ricreative e sportive	2820	1.23	5264	2.29	6492	2.82	2.48
Aree verdi in abbandono	732	0.32	720	0.31	804	0.35	7.05
<b>Totale Urbano</b>	<b>125004</b>	<b>54.38</b>	<b>153800</b>	<b>66.91</b>	<b>170340</b>	<b>74.10</b>	<b>0.47</b>
Altri usi del suolo	2 173 652		2144856		2128316		<b>0.04</b>

Tabella 4 – Per ogni classe di uso del suolo viene riportato l'estensione in ettari, la percentuale sul territorio regionale e la stima dell'errore.

Provincia	Superficie territoriale (ha)	Numero di punti totali (1 punto per 4 ha)	Numero di punti classificati Aree Urbane	Stima estensione aree urbane (ha)	P	Stima errore standard
AR	323.318,30	80.812	5 175	20.705	0.06	1.3
FI	351.330,23	87.846	8 552	34.203	0.10	1.0
GR	450.363,65	112.580	4 064	16.258	0.04	1.5
LI	121.221,46	30.299	4 009	16.039	0.13	1.5
LU	177.320,89	44.339	4 997	19.984	0.11	1.3
MS	115.551,34	28.867	2 464	9.863	0.09	1.9
PI	244.589,55	61.178	4 509	18.027	0.07	1.4
PT	96.460,25	24.094	2 664	10 665	0.11	1.8
PO	36.553,08	9.143	1 740	6.956	0.19	2.2
SI	382.160,49	95.506	4 424	17.702	0.05	1.5
Totale	2.298.869,24	574.664	42 598	170.402	0.07	0.5

Tabella 5 – Esempio di utilizzo dei dati rilevati: distribuzione della classe Territori Artificiali al 2007, sui territori Provinciali e stima dell'errore.

È interessante osservare che l'incremento più consistente in valori assoluti ha riguardato la classe 121 "Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati", nonostante sia soltanto la quarta classe in termini di rappresentatività del territorio regionale. Le classi maggiormente rappresentate, in tutte e tre le annate prese a confronto, sono: la classe 112 "Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado" (**20.65 %**), la classe 113 "Tessuto residenziale rado (case sparse)" (**16.13 %**), e la classe 122 "Reti stradali, ferrovie e infrastrutture tecniche" (**15.35 %**).

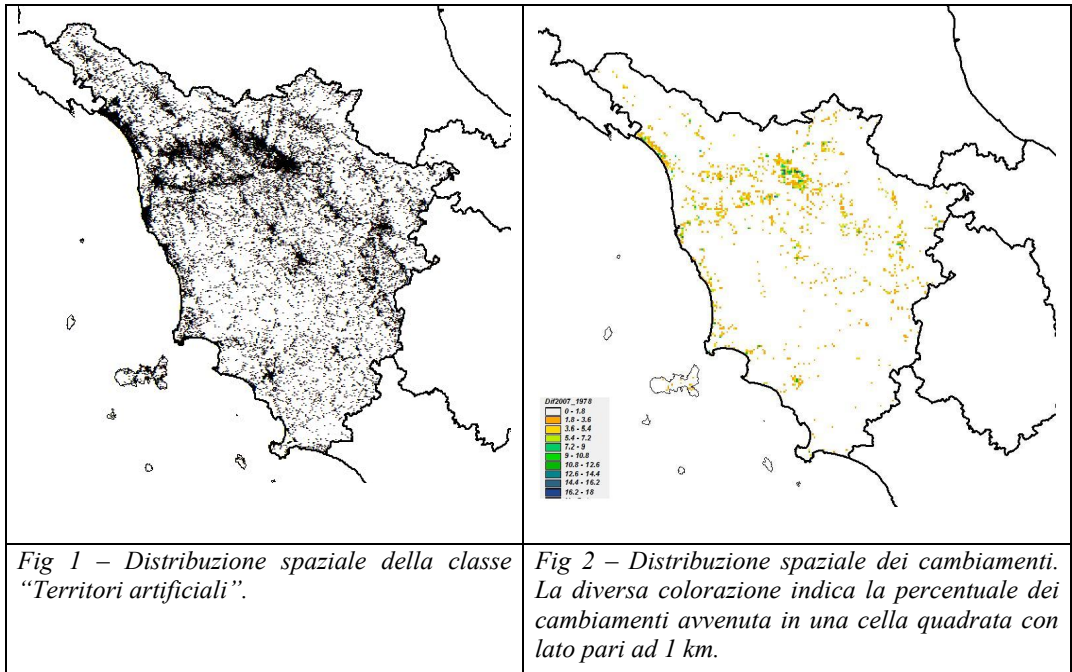
Nel trentennio considerato, la dinamica evidenzia un incremento percentuale più alto (1.28 rispetto a 0.98) nel periodo 1978 – 1996, incremento che generalmente ritroviamo anche per le singole classi. Solo la classe 113 "Tessuto residenziale rado" ha subito un incremento maggiore nel decennio 1996 – 2007, pari al 9.29 %.

## Conclusioni

Le principali evidenze della sperimentazione indicano come l'approccio proposto risulti facilmente applicabile e in grado di fornire risultati precisi ed in minor tempo, anche in relazione alla dimensione campionaria adottata. La stima a scala regionale della superficie artificiale nel periodo di indagine è caratterizzata da un errore standard inferiore al 1% (0.4% sul totale delle classi Territori Artificiali); l'affidabilità del metodo utilizzato quindi, sia nella valutazione della consistenza delle superfici sia in rapporto alla loro dinamica, risulta elevata.

Il metodo risulta inoltre affidabile ed i dati forniti risultano molto più attendibili rispetto ai dati di altri database cartografici che spesso sono utilizzati come basi per analisi di dinamiche e di confronti temporali. Spesso infatti si utilizza il Corine Land Cover in scala 1:100.000 ma le statistiche se paragonate risultano significativamente diverse.

In conclusione, le statistiche sulla estensione delle classi di uso del suolo su vasti territori, e le valutazioni da esse derivabili in termini di espansione delle aree urbanizzate ottenute con un approccio estimativo quale quello proposto (inventario continuo basato sulla classificazione della copertura del suolo su punti campione) appaiono scientificamente più solide di quelle tradizionalmente ottenute dalla mappatura completa della copertura del suolo anche grazie alla loro verificabilità in termini probabilistici.



**Riferimenti bibliografici**

UN-ECE FAO (1997), UN-ECE FAO Temperate and Boreal Forest Resources Assessment 2000. Terms and definitions, United Nations, Geneva.

European Environment Agency (2000), Corine Land Cover Technical Guide. <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

Fattorini L. (2003), A two-phase sampling strategy for forest inventories, in “Advances in forest inventory for sustainable forest management and biodiversity monitoring. Forest Sciences”, vol.76, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 143-156.

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

Gallego (2004), Remote sensing and land cover area estimation, in “International Journal of Remote Sensing”, pp. 3019-3047.

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