

Proposta per una metodologia di stima dell'impermeabilizzazione del suolo in Italia¹

Michele Munafò,² Gianluigi Salvucci,³ Marco Zitti⁴ e Luca Salvati⁵

Sommario

L'impermeabilizzazione del suolo (meglio conosciuta con il termine inglese di soil sealing) deve essere intesa come un costo ambientale, risultato di una diffusione indiscriminata delle tipologie artificiali di uso del suolo che porta alla perdita dell'equilibrio ecosistemico. Questo lavoro propone una procedura di monitoraggio permanente della cementificazione attraverso una metodologia campionaria basata sulla foto-interpretazione di ortofoto e carte topografiche storiche. La stima diacronica della percentuale di suolo impermeabilizzato in Italia evidenzia una dinamica complessa, legata sia alla crescita urbana compatta propria del secondo dopoguerra, sia alla diffusione pervasiva tipica degli anni più recenti.

Parole chiave: Impermeabilizzazione del suolo, consumo di suolo, crescita urbana, sprawl, indicatori ambientali, Italia.

Abstract

Soil sealing may be considered as a negative externality of the economic growth, because the sealed soil loses several of its ecological functions. The analysis of land cover changes carried out by traditional data sources, allows only a relatively rough estimation of soil sealing, since it is a process associated, although with different rates, to both urban and semi-natural land use categories. The aim of this paper is to illustrate a sampling procedure quantifying the soil sealing rate over time in Italy. The procedure was based on the visual interpretation of 12,000 plots from aerial photographs and land cover maps at different times (1956, 1994, 1999, 2006). Results indicate that soil sealing was continuously increasing in Italy throughout the investigated period. The highest rate was found in northern Italy. The implications such dynamics have on planning strategies aimed at containing urban sprawl are finally discussed.

Parole chiave: Soil sealing, land consumption, urban sprawl, indicators, Italy.

¹ Gli autori ringraziano C. Abbate, e P. Napolitano (Istat) per la revisione critica del manoscritto. Il supporto tecnico di A. Strollo, C. Norero, C. Santilli (Università di Roma 'La Sapienza') si è rivelato prezioso nella redazione del lavoro. Grazie anche a S. Tersigni (Istat), R. Gemmiti (Università di Roma 'La Sapienza') e L. Perini (Cra-Cma) per aver discusso con gli autori sugli aspetti di ricerca più innovativi del *soil sealing* e dell' *urban sprawl*.

Sebbene il lavoro sia frutto dell'opera di tutti gli autori, sono da attribuire: i paragrafi 1, 2 e 4 a Michele Munafò e Luca Salvati, mentre il paragrafo 3 a Gianluigi Salvucci. L'apparato tabellare e grafico è opera di Marco Zitti.

² Ricercatore (Ispra), e-mail: michele.munafò@isprambiente.it

³ Collaboratore Tecnico (Istat), e-mail: gianluigi.salvucci@istat.it

⁴ Assegnista di ricerca (Cra-Cma), e-mail: mzitti@ucea.it

⁵ Ricercatore (Cra-Rps), e-mail: lsalvati@entecra.it

1. Introduzione

Il suolo è una preziosa risorsa naturale. Seppure apparentemente inerte, esso deve essere considerato un elemento da preservare, al pari degli esseri viventi, come componente essenziale per l'equilibrio della biosfera. La componente edafica dell'ecosistema, infatti, regola i cicli nutrizionali indispensabili per la vegetazione, che è posta alla base della catena alimentare. La formazione del suolo è legata al lento processo di decomposizione fisica ed organica delle rocce superficiali della crosta terrestre. Ciò suggerisce che tale supporto deve essere considerato come una risorsa naturale finita: il tempo di distruzione di questa delicata componente è, infatti, brevissimo (Barberis, 2005).

Il suolo è visto sovente come spazio astratto, da occupare con processi di urbanizzazione, privi troppo spesso di una visione ecosistemica. Sebbene la distruzione o la degradazione del suolo avvenga sovente tramite altri processi, quali varie forme di inquinamento, dispersione di rifiuti tossici, concentrazione di liquami, salinizzazione, erosione e compattazione, l'impermeabilizzazione rappresenta una forma di degrado silente, spesso non percepita come tale. Un terreno impermeabilizzato influenza negativamente il clima urbano, aumenta la quantità e la velocità delle acque di scorrimento superficiale e i conseguenti fenomeni erosivi (Johnson, 2001; Hough, 2004). Diventa perciò necessario prendere atto dell'incremento del suolo impermeabilizzato quale misura di un processo di potenziale degrado ambientale.

Il suolo è storicamente inteso dalle discipline economico-territoriali come un tradizionale fattore produttivo. Al pari degli altri fattori, quando il suo valore, in questo caso i vantaggi derivanti dalle economie di urbanizzazione, diventa rilevante, ne deriva un aumento di domanda. Inoltre, la ricerca di una maggior qualità abitativa in termini di tipologie edilizie a bassa densità, la necessità di spazi da destinare a nuove infrastrutture di trasporto e la forte crescita dei valori immobiliari hanno contribuito allo sviluppo delle città riducendo la concentrazione e incrementando le aree con livelli di urbanizzazione a minore densità abitativa a distanze progressivamente maggiori dai centri urbani. Si può sostenere, quindi, che una parte consistente dell'attività edilizia e della crescita suburbana sia fortemente legata alla valorizzazione della rendita fondiaria e alla necessità di capitalizzare risorse economiche attraverso l'attività immobiliare (Insolera, 1993; Gibelli e Salzano, 2006; Berdini, 2010). In questo processo il suolo diventa fattore produttivo di nuove economie di urbanizzazione, viene occupato (consumato) e distrutto (impermeabilizzato) nel processo dello *sprawl* (Bruegmann, 2005).

Parallelamente alle prassi di pianificazione consolidata, si riproducono tutt'ora meccanismi di consumo non completamente controllabile del suolo attraverso abusi edilizi e, soprattutto, la deregolazione della pianificazione stessa. La situazione appare potenzialmente grave in Italia, dove un importante quesito da sciogliere è relativo al tasso di consumo sostenibile di suolo. Poiché appare inevitabile che ogni attività umana occupi spazio, quale soluzione può essere adottata nel medio e lungo termine per conciliare la protezione dell'ambiente con lo sviluppo economico e sociale del territorio? Legambiente, in collaborazione con il Politecnico di Milano, ha avanzato una proposta di legge con due obiettivi essenziali (Pileri, Lanzani, 2007): (i) limitare l'uso edificatorio del suolo evitando che esso diventi un deposito (confuso) di manufatti spesso sottoutilizzati e abbandonati e che i livelli di urbanizzazione in alcune porzioni del territorio raggiungano livelli insostenibili; (ii) legare ogni attività di urbanizzazione ad una contestuale attività di valorizzazione dell'ambiente negli spazi aperti limitrofi. L'ottica è, dunque, quella di bilanciare le attività umane che portano alla distruzione del suolo con attività esogene di riqualificazione, che accelerino e/o fortifichino i processi di riequilibrio naturale anche attraverso meccanismi di compensazione preventiva (Pileri, 2007).

L'impermeabilizzazione del suolo (meglio conosciuta con il termine inglese di *soil sealing*) deve essere quindi intesa come un costo ambientale, risultato di una diffusione indiscriminata delle tipologie artificiali di uso del suolo che porta al degrado delle funzioni ecosistemiche e, in definitiva, all'alterazione dell'equilibrio ecologico. In tale contesto, e nell'ottica di una valutazione del fenomeno finalizzata al riequilibrio delle attività di sviluppo a livello territoriale, si ritiene necessaria una misurazione attendibile del consumo di suolo e della contemporanea sua progressiva impermeabilizzazione.

L'analisi delle tipologie di copertura del suolo, attraverso mezzi divenuti ormai tradizionali, non consente tuttavia di cogliere appieno il fenomeno dell'impermeabilizzazione che risulta invece trasversale alle diverse classi. Infatti, se la probabilità di trovare suoli impermeabilizzati in un tessuto urbano compatto è elevata, non si può non considerare l'impatto generato da piccole porzioni di suolo impermeabilizzato nelle altre classi di copertura la cui estensione è spesso inferiore alla minima unità rilevabile dalla cartografia. Da questa esigenza nasce l'interesse verso l'applicazione di una metodologia campionaria attraverso cui stimare, diacronicamente e per aree vaste, la percentuale di suolo impermeabilizzato, svincolandosi dalla scarsa disponibilità di carte di copertura del suolo sufficientemente dettagliate, frequentemente aggiornate e con caratteristiche omogenee sull'intero territorio nazionale.

Questo lavoro propone, a livello esplorativo, una procedura di monitoraggio permanente dell'impermeabilizzazione attraverso una metodologia campionaria basata sulla foto-interpretazione di ortofoto e carte topografiche storiche. La stima dell'impermeabilizzazione del suolo e la sua evoluzione nel tempo supporta la presa di coscienza del problema e consente di tracciare linee di intervento nelle politiche territoriali di sviluppo: essa è stata condotta in questo studio per ripartizione geografica e consente di evidenziare dinamiche complesse di occupazione del suolo. Completa l'analisi una valutazione dei principali determinanti della distribuzione geografica del *soil sealing* in Italia, quali la distanza dal mare, l'altimetria, e la distanza dai centri urbani più importanti (e.g. Hasse e Lathrop, 2003, Frenkel e Ashkenazi, 2007, Schneider e Woodcock, 2008).

2. Materiali e metodi

La metodologia proposta prevede la verifica diacronica dello status di sigillamento attraverso una variabile dicotomica (0: non sigillato; 1: impermeabilizzato) ottenuta mediante foto-interpretazione di un campione particolarmente ampio di siti distribuiti omogeneamente sul territorio Italiano.⁶ A questo scopo si è resa necessaria la foto-interpretazione a diverse epoche (1956, 1994, 1999, 2006) di numerose ortofoto e altro materiale cartografico raffigurante, secondo formati omogenei, la situazione dei singoli punti di rilievo nelle varie epoche di indagine (Figure 1 e 2). Il materiale cartografico ed orto-fotografico a disposizione è dato dalla cartografia dell'Istituto Geografico Militare (Firenze), a scala 1:25.000 (serie 25/V), con copertura nazionale e databile fra il 1949 ed il 1962 (a riguardo, nell'analisi si è assegnata a tale cartografia una datazione media corrispondente all'anno 1956), nonché da

⁶ I codici ai punti sono stati assegnati sulla base del seguente criterio: (0) suolo permeabile per boschi, prati e altre aree naturali, aree agricole, aree aperte, giardini privati, parchi, aiuole cittadine, corpi idrici (escluso il mare), etc.; (1) suolo impermeabile per edifici, capannoni, cortili e aree pavimentate, piazzali, parcheggi, strade, ferrovie, campi da calcio, cave, cantieri, discariche, serre, etc; (n.v.) non valutabile per i punti non fotointerpretabili a causa, ad esempio, della obliterazione delle ortofoto in alcune aree militari o sensibili, o per i punti ricadenti in mare e in aree lagunari.

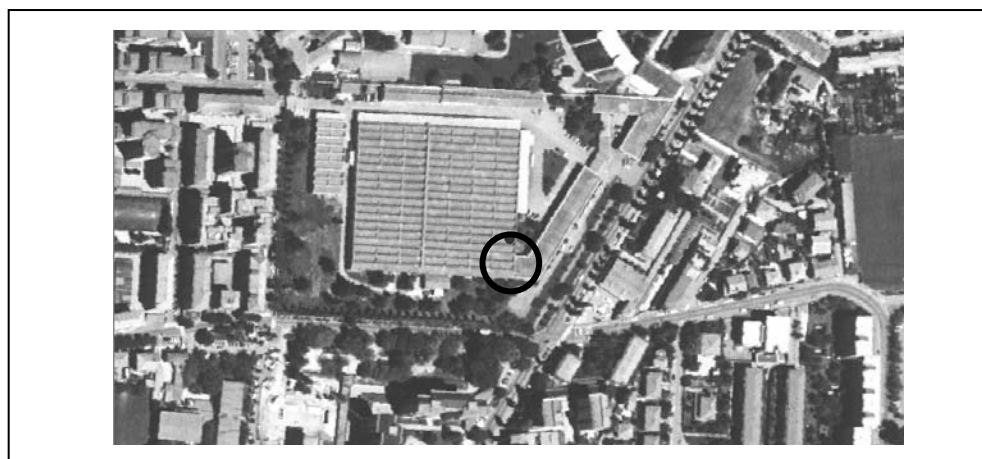
fotografie aeree policromatiche ad alta risoluzione spaziale (1994: ortofoto AIMA; 1999: volo IT2000 - Compagnia Generale Ripresearee, acquisito negli anni 1998 e 1999; 2006: Ministero dell'Ambiente, foto acquisite nel periodo 2005-2007).

Figura 1 - Esempio di foto-interpretazione della cartografia IGM (1956), il punto evidenziato viene classificato come impermeabile



Fonte: Elaborazione su mappe IGM

Figura 2 - Esempio di foto-interpretazione dell'ortofoto del 1994, il punto evidenziato viene classificato come impermeabile



Fonte: Elaborazione su ortofoto AIMA

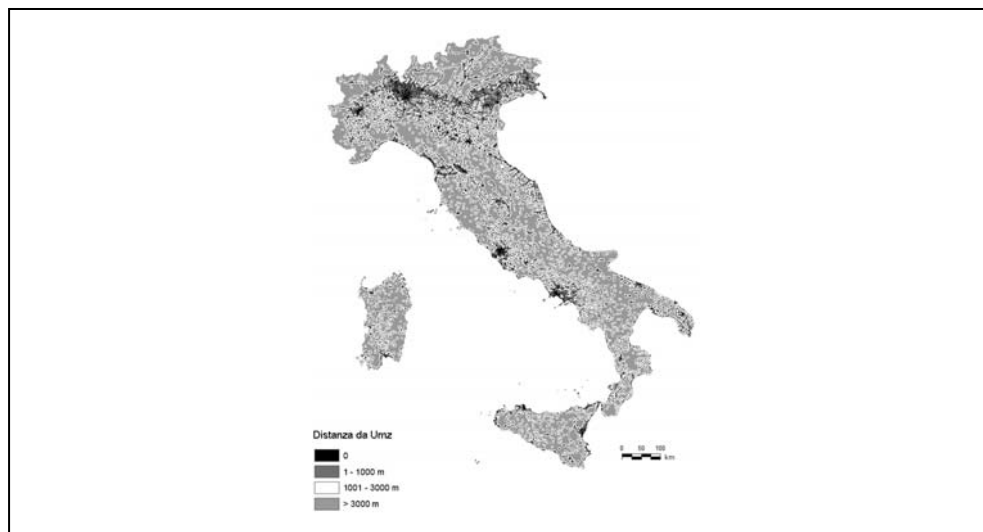
Il campione, formato da 12.000 punti scelti in modo casuale all'interno di celle generate con un reticolo sistematico di passo di 5 km, garantisce una copertura omogenea e rappresentativa dell'intero territorio nazionale e coincide con la rete di punti di validazione a terra predisposta da ISPRA per il monitoraggio dell'uso del suolo nazionale e per la verifica dei dati del progetto Corine Land Cover (Maricchiolo et al., 2005).

Tale scelta, congrua con gli obiettivi di parsimonia e flessibilità dell'applicazione esplorativa qui presentata, è finalizzata a garantire la massima integrabilità spaziale e temporale con altre rilevazioni ed informazioni raccolte nell'ambito delle iniziative Corine consentendo, inoltre, di disporre di informazioni e di immagini rilevate direttamente *in situ*. La dimensione campionaria è idonea a produrre risultati a scala nazionale e ripartizionale.

Per evitare l'errore di stima dovuto alla scelta di un'unità minima cartografata, particolarmente evidente nell'analisi delle dinamiche di cambiamento di coperture del suolo molto frammentate come quelle in questione, si è optato per una foto-interpretazione multitemporale su base puntuale e non areale, distinguendo tra terreni permeabili ed impermeabili in corrispondenza del punto e utilizzando scale di lavoro comprese tra 1:1.000 e 1:4.000. Il controllo di qualità finale è consistito in sessioni di foto-interpretazione separate, a scale di ulteriore dettaglio (1:1.000 o superiori) sui punti che risultavano con codifica cambiata, oltre che su un sottoinsieme casuale dei punti stabili, per un totale di circa il 10% dei punti. I limiti fiduciali del campione sono stati calcolati e presentati con un livello di probabilità del 99%. Gli indicatori stimati dai dati elementari includono la percentuale di sigillamento, la stima intervallare di tale variabile (intesa come ampiezza percentuale dell'intervallo di confidenza al 99%), i tassi di incremento annuo dei punti impermeabilizzati nonché dell'impermeabilizzazione pro-capite, in base alla popolazione residente rilevata ad ogni tempo t di rilevazione.

La distribuzione spaziale dei punti impermeabili è stata, inoltre, studiata rispetto ad alcune variabili fisiografiche, quali l'altimetria, la distanza dal mare e dalle aree urbane (valutate attraverso il confine degli Agglomerati morfologici urbani (Amu), cfr. Istat 2009, indipendentemente dalla loro dimensione demografica) mediante specifica applicazione GIS. La suddivisione in Amu ha l'obiettivo di individuare porzioni di territorio con caratteristiche urbane così come sono state definite dalle direttive Unece/Eurostat (1998). Un esempio di tale analisi, relativo alla distanza dalle aree urbane, è riportato nella figura 3.

Figura 3 - Classificazione del territorio italiano in base alla distanza dagli Amu.



Fonte: elaborazione su dati European Environment Agency (2007)

3. Risultati e discussione

L'analisi dei dati ottenuti dalla foto-interpretazione evidenzia un aumento dell'impermeabilizzazione in Italia durante tutto il periodo di studio, sintomo della presenza di fenomeni di consumo del suolo piuttosto costanti nel tempo (Tabella 1). Il tasso di impermeabilizzazione, pari al 2,4% dei punti campionati nel 1956, si attesta al 6,3% nel 2006. Il primo periodo (1956-1994) è legato alla crescita urbana propria del secondo dopoguerra. Il periodo successivo (1994-2006) è caratterizzato, invece, da uno sviluppo urbano diffuso, tipico delle aree peri-urbane costiere e pianeggianti. Le variazioni annue maggiori si registrano proprio nell'ultimo intervallo temporale considerato, quello compreso fra il 1999 ed il 2006 (Tabella 2).

Tabella 1 - Statistiche sui punti-campione per la rilevazione dell'impermeabilizzazione dei suoli in Italia per ripartizione geografica – Anni 1956-2006

Ripartizioni geografiche	Superficie [ha]	Punti valutati	Punti impermeabilizzati			
			1956	1994	1999	2006
Italia nord-occidentale	5.792.023	2.291	73	147	154	168
Italia nord-orientale	6.200.906	2.469	63	138	150	165
Italia centrale	5.840.863	2.320	51	121	122	145
Italia meridionale	7.379.536	2.899	59	139	141	174
Italia insulare	4.991.924	1.936	37	86	88	104
Italia nel complesso	30.205.252	11.915⁷	283	631	655	756

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresearee e Ministero dell'Ambiente

L'incremento di suolo impermeabilizzato risulta, inoltre, sproporzionato a quello della popolazione: ciò suggerisce che, nei periodi più recenti, lo sviluppo peri-urbano si è realizzato attraverso insediamenti a bassa densità abitativa e ad alta intensità infrastrutturale, con un effetto netto sul consumo di suolo ancora più marcato rispetto a quello esercitato dalla crescita urbana compatta e ad alta densità tipica dei primi decenni del secondo dopoguerra.

Tabella 2 - Indicatori di impermeabilizzazione dei suoli in Italia – Anni 1956-2006

Indicatore	1956	1994	1999	2006
Percentuale di punti-campione impermeabili	2,37	5,29	5,49	6,34
Incremento percentuale annuo di punti impermeabili	-	0,08	0,04	0,11
Incremento % annuo di punti impermeabili <i>pro-capite</i>	-	0,11	0,43	0,89

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresearee e Ministero dell'Ambiente

Il trend rilevato a livello nazionale può essere approfondito attraverso un'analisi condotta per ripartizione geografica (Tabelle 3 e 4). I dati a livello ripartizionale rilevano, come atteso, una maggiore intensità dell'uso del suolo impermeabilizzato nel nord Italia (Tabella 5). Tuttavia, normalizzando i tassi rispetto alla variazione della popolazione residente, i tassi di crescita risultano più elevati nelle aree meridionali del paese, soprattutto nell'ultimo periodo considerato (Tabella 6). Tale fenomeno appare significativo perché

⁷ Dai 12.000 punti del campione sono stati eliminati quelli ricadenti in mare.

osservato in aree caratterizzate da insediamenti rurali a bassa densità e da insediamenti urbani compatti, in grado di esercitare, almeno in origine, un limitato consumo di suolo.

Tabella 3 - Percentuale di punti impermeabili in Italia per ripartizione geografica – Anni 1956-2006

Ripartizioni geografiche	1956	1994	1999	2006
Italia nord-occidentale	3,2	6,4	6,7	7,3
Italia nord-orientale	2,6	5,6	6,1	6,7
Italia centrale	2,2	5,2	5,3	6,3
Italia meridionale	2,0	4,8	4,9	6,0
Italia insulare	1,9	4,4	4,5	5,4
Italia nel complesso	2,4	5,3	5,5	6,3

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripreseaeree e Ministero dell'Ambiente

Tabella 4 - Ampiezza percentuale dell'intervallo di confidenza al 99% associato alla stima percentuale dei punti impermeabilizzati in Italia per ripartizione geografica – Anni 1956-2006

Ripartizioni geografiche	1956	1994	1999	2006
Italia nord-occidentale	2,2	3,1	3,1	3,3
Italia nord-orientale	1,9	2,8	2,9	3,0
Italia centrale	1,8	2,8	2,8	3,0
Italia meridionale	1,6	2,4	2,4	2,6
Italia insulare	1,9	2,8	2,8	3,1
Italia nel complesso	0,8	1,2	1,3	1,3

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripreseaeree e Ministero dell'Ambiente

Tabella 5 - Incremento percentuale annuo dei punti impermeabilizzati in Italia per ripartizione geografica – Anni 1956-2006

Ripartizioni geografiche	1956 - 1994	1994 - 1999	1999 - 2006	1956 - 2006
Italia nord-occidentale	0,08	0,06	0,09	0,08
Italia nord-orientale	0,08	0,10	0,09	0,08
Italia centrale	0,08	0,02	0,14	0,08
Italia meridionale	0,07	0,02	0,16	0,08
Italia insulare	0,07	0,02	0,13	0,07
Italia nel complesso	0,08	0,04	0,11	0,08

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripreseaeree e Ministero dell'Ambiente

Tabella 6 - Incremento percentuale annuo dei punti impermeabili *pro-capite* in Italia per ripartizione geografica – Anni 1956-2006

Ripartizioni geografiche	1956 - 1994	1994 - 1999	1999 - 2006	1956 - 2006
Italia nord-occidentale	0,09	0,48	0,47	0,35
Italia nord-orientale	0,13	1,14	0,69	0,65
Italia centrale	0,11	0,10	1,04	0,42
Italia meridionale	0,10	0,14	1,21	0,48
Italia insulare	0,13	0,32	1,26	0,57
Italia nel complesso	0,11	0,42	0,89	0,47

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripreseaeree e Ministero dell'Ambiente

La distribuzione del suolo impermeabilizzato è stata successivamente qualificata rispetto a tre gradienti: la distanza dalle aree urbane, dalla linea di costa e l'altimetria. L'analisi dei punti ricadenti negli Amu (cfr. Figura 3) ha permesso di individuare l'andamento diacronico dell'impermeabilizzazione del suolo in funzione della distanza dai centri urbani. Come atteso, tale processo assume nel tempo un andamento decrescente basato sulla distanza dalle città (Tabella 7).

Tabella 7 - Statistiche sui punti-campione per la rilevazione dell'impermeabilizzazione dei suoli in Italia in base alla distanza dagli Amu – Anni 1956-2006

Distanza (km)	Superficie (ha)	Punti valutati	Punti impermeabilizzati			
			1956	1994	1999	2006
< 1	7.847.793	3.026	175	431	449	503
1 – 3	10.866.324	4.351	72	138	144	176
> 3	11.474.758	4.538	36	62	62	77

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresearee e Ministero dell'Ambiente

Questo andamento viene pienamente confermato dall'analisi diacronica (Tabelle 8 e 9). Si debbono rilevare due andamenti, come già rilevato precedentemente. Da una parte l'intensificazione urbana, che porta ad oltre il 16% di suolo impermeabilizzato nel 2006 (a partire dal 6% osservato nel 1956). Dall'altra, un massiccio fenomeno di sigillamento nella fascia limitrofa alle aree urbane (fascia 1 – 3 km), con un aumento dei punti impermeabilizzati dal 1% del 1956 al 4% nel 2006.

Tabella 8 - Percentuale dei punti impermeabili in Italia per distanza dagli Amu – Anni 1956-2006

Distanza (km)	1956	1994	1999	2006
< 1	5,8	14,2	14,8	16,6
1 – 3	1,7	3,2	3,3	4,0
> 3	0,8	1,4	1,4	1,7

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresearee e Ministero dell'Ambiente

Tabella 9 - Ampiezza percentuale dell'intervallo di confidenza al 99% per la stima della percentuale dell'impermeabilizzazione in Italia per distanza dagli Amu – Anni 1956-2006

Distanza (km)	1956	1994	1999	2006
< 1	2,5	3,8	3,9	4,1
1 – 3	1,2	1,6	1,6	1,8
> 3	0,8	1,0	1,0	1,1

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresearee e Ministero dell'Ambiente

Tali risultati evidenziano la dinamica di edificazione compatta tipica del primo dopoguerra soprattutto nell'Italia settentrionale e centrale nonché l'espansione urbana diffusa propria degli ultimi due decenni, con un tasso annuo di crescita tornato a livelli elevati dopo una fase di relativo rallentamento (Tabella 10).

Pur non essendo identificabile in maniera univoca una zona costiera in Italia (Munafò, 2008) la distanza dalla linea di costa è un indicatore della prossimità ad un ecosistema caratterizzato da particolari esigenze di conservazione (Tabella 11). Si è delimitata, pertanto, la zona costiera considerandola ricadente in una distanza massima di 10 Km dalla linea di costa, come suggerito dalle linee guida del Progetto Europeo Lacoast (Perdigao e Christensen 2000), ottenendo così una ripartizione dell'intero territorio in due fasce: da 0 a 10 chilometri di distanza dalla linea di costa e a distanze superiori a 10 chilometri dalla riva (Tabelle 12 e 13).

Tabella 10 - Incremento percentuale annuo dei punti impermeabili in Italia per distanza dagli Amu – Anni 1956-2006

Distanza (km)	1956 - 1994	1994 - 1999	1999 - 2006	1956 - 2006
< 1	0,22	0,12	0,26	0,22
1 - 3	0,04	0,02	0,10	0,05
> 3	0,02	0,00	0,04	0,02

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresearee e Ministero dell'Ambiente

Tabella 11 - Statistiche sui punti-campione per la rilevazione dell'impermeabilizzazione dei suoli in Italia per distanza dalla linea di costa – Anni 1956-2006

Distanza (km)	Superficie (ha)	Punti valutati	Punti impermeabilizzati			
			1956	1994	1999	2006
< 10	4.980.537	1.856	58	140	144	170
> 10	25.208.338	10.059	225	491	511	586

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresearee e Ministero dell'Ambiente

Tabella 12 - Percentuale di punti impermeabili in Italia per distanza dalla linea di costa – Anni 1956-2006

Distanza (km)	1956	1994	1999	2006
< 10	3,1	7,5	7,8	9,2
> 10	2,2	4,9	5,1	5,8

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresearee e Ministero dell'Ambiente

Tabella 13 - Ampiezza percentuale dell'intervallo di confidenza per la stima della percentuale dell'impermeabilizzazione in Italia per distanza dalla linea di costa – Anni 1956-2006

Distanza (km)	1956	1994	1999	2006
< 10	1,6	2,5	2,5	2,7
> 10	0,6	0,9	0,9	0,9

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresearee e Ministero dell'Ambiente

La maggiore superficie impermeabilizzata, come atteso, si registra lungo la fascia costiera, tradizionalmente sottoposta in Italia a fenomeni massivi di littoralizzazione già dal primo dopoguerra, mentre appare più limitata l'espansione delle aree cementificate nella fascia di territorio a maggiore distanza dalla costa (Tabella 14). Il periodo 1999-2006 si conferma, in tutte le aree valutate, come particolarmente critico per la crescita dei punti impermeabilizzati.

Tabella 14 - Incremento annuo percentuale dei punti impermeabili in Italia per distanza dalla linea di costa – Anni 1956-2006

Distanza (km)	1956 - 1994	1994 - 1999	1999 - 2006	1956 - 2006
< 10	0,12	0,06	0,20	0,12
> 10	0,07	0,04	0,10	0,07

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresearee e Ministero dell'Ambiente

Il terzo gradiente analizzato rispetto all'impermeabilizzazione dei suoli riguarda l'altimetria (Tabelle 15 e 16). Come atteso, tale variabile costituisce di fatto un vincolo all'espansione urbana: è quindi ipotizzabile, nel tempo, un maggiore incremento di edificato nella fascia della pianura rispetto a quella collinare e montuosa. L'analisi dei dati conferma

questa ipotesi: il tasso di impermeabilizzazione passa dal 4% al 10% in pianura con un differenziale di 2 punti percentuali con la collina e 3 punti percentuali con la montagna nel 1956, differenziale che si consolida nel 2006 rispettivamente a 5 e 8 punti (Tabelle 17 e 18).

Tabella 15 - Statistiche sui punti-campione per la rilevazione dell'impermeabilizzazione dei suoli in Italia per fascia altimetrica – Anni 1956-2006

Fascia altimetrica	Quota (m)	Superficie (ha)	Punti valutati	Punti impermeabilizzati			
				1956	1994	1999	2006
Pianura	0 – 300	13.919.253	5.425	197	452	474	550
Collina	300 – 600	6.834.659	2.717	54	118	120	135
Montagna	> 600	9.434.962	3.773	32	61	61	71

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresaere e Ministero dell'Ambiente

Tabella 16 - Percentuale di punti impermeabili in Italia per fascia altimetrica – Anni 1956-2006

Fascia altimetrica	1956	1994	1999	2006
Pianura	3,6	8,3	8,7	10,1
Collina	2,0	4,3	4,4	5,0
Montagna	0,8	1,6	1,6	1,9

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresaere e Ministero dell'Ambiente

Tabella 17 - Ampiezza percentuale dell'intervallo di confidenza al 99% per la stima della percentuale dell'impermeabilizzazione in Italia per fascia altimetrica – Anni 1956-2006

Fascia altimetrica	1956	1994	1999	2006
Pianura	1,5	2,2	2,3	2,5
Collina	1,6	2,3	2,4	2,5
Montagna	0,9	1,2	1,2	1,3

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresaere e Ministero dell'Ambiente

Tabella 18 - Incremento percentuale annuo dei punti impermeabili in Italia per fascia altimetrica – Anni 1956-2006.

Fascia altimetrica	1956 - 1994	1994 - 1999	1999 - 2006	1956 - 2006
Pianura	2,2	1,0	2,1	2,1
Collina	2,1	0,3	1,7	1,9
Montagna	1,7	0,0	2,2	1,6

Fonte: Elaborazione su mappe IGM e ortofoto AIMA, Compagnia Generale Ripresaere e Ministero dell'Ambiente

Un confronto tra i dati campionari e la classe 1.1.1 (Zone residenziali a tessuto continuo) della cartografia Corine Land Cover ha permesso di stimarne il grado di impermeabilizzazione e di effettuare una prima validazione dei risultati. Il valore ottenuto (86,5%) è infatti perfettamente congruente con le specifiche tecniche del progetto Corine. Allo stesso tempo, la caratterizzazione di tutte le 44 classi Corine sulla base del grado di impermeabilizzazione ha permesso di dimostrare i limiti, precedentemente esposti, di approcci di valutazione dell'impermeabilizzazione basati esclusivamente sull'uso di dati di copertura del suolo. Si evidenzia, a tal proposito, la presenza significativa di aree artificiali all'interno di classi di copertura normalmente considerate non impermeabilizzate come, ad esempio, le classi 2.2.2 (Frutteti e frutti minori), 2.3.1 (Prati stabili) e 2.4.2 (Sistemi colturali e particellari complessi) dove il *soil sealing* ha addirittura valori intorno al 10%.

4. Conclusioni

Questo lavoro rappresenta un nuovo ed originale contributo allo studio dell'impermeabilizzazione del suolo in Italia, e consente una sua valutazione diacronica di lungo periodo, sia a livello nazionale che ripartizionale. La proposta qui illustrata si basa su una metodologia campionaria che ha presentato una confidenza accettabile alla scala geografica considerata, suggerendo così un suo utilizzo routinario per il monitoraggio su base sia storica che congiunturale del fenomeno, ad esempio tramite una cadenza di rilevazione annuale (Alfsen e Saebo, 1993). Una rilevazione campionaria come quella proposta in questo contributo potrebbe supportare processi di valutazione del consumo di suolo a diverse scale geografiche, in base alla dimensione del campione scelto.

L'attività di foto-interpretazione a vista è stata svolta agevolmente navigando le foto aeree disponibili sul sito del Ministero dell'Ambiente nonché una cartografia storica a copertura nazionale (la cartografia dell'Istituto Geografico Militare di Firenze, realizzata negli anni '50), utilizzando sostanzialmente materiale di ampia disponibilità e nella totalità dei casi gratuito. Visto il limitato costo di realizzazione, tale rilevazione può assicurare una base informativa piuttosto completa, con copertura nazionale e cadenza periodica. Lo sviluppo di una base informativa tramite supporto di geo-database consente un'immediata integrazione con altre fonti-dati (mappe Corine, rete Lucas, basi territoriali dei censimenti generali, etc.) permettendo, in tal modo, l'impiego del campione statistico anche per la validazione e per la valutazione dell'accuratezza di carte a diversi livelli di scala.

I risultati ottenuti rispecchiano il *pattern* spaziale dell'urbanizzazione Italiana nel secondo dopoguerra, da sempre prevalente nelle aree costiere, di pianura e collinari, attribuibile a motivazioni logistiche e fattori socio-economici tradizionali. Tra l'altro, l'evoluzione dell'uso del suolo, se correlata con le caratteristiche ambientali prevalenti alle diverse altitudini, si riflette in un consumo maggiore delle aree agricole rispetto a quelle boschive, le prime maggiormente diffuse nelle aree costiere e di pianura dove si concentrano i fenomeni di impermeabilizzazione (King et al., 1997; Ludlow et al., 2007).

Ciò conferma, indirettamente, i risultati precedentemente resi disponibili dalla cartografia del Progetto Corine Land Cover per quanto riguarda l'evoluzione recente dei principali usi del suolo in Italia (Gibelli, Salzano, 2006). La lettura dei risultati di questo lavoro è, dunque, pienamente in linea con le tendenze già rilevate nell'ambito di studi cartografici pregressi, ma aggiunge nuove informazioni circa un fenomeno trasversale ai diversi usi del suolo. Tutto ciò suggerisce, da una parte, una buona coerenza delle diverse fonti dati disponibili in Italia, dall'altro conferma la necessità e l'utilità di una specifica rilevazione sull'impermeabilizzazione del suolo.

L'indagine ha anche confermato le ipotesi di partenza circa la domanda di impermeabilizzazione del suolo in Italia dal secondo dopoguerra ad oggi. Questa coincide sostanzialmente con lo sviluppo urbano dapprima compatto e successivamente diffuso, trovando maggiore concentrazione, come già accennato, nelle aree pianeggianti e a ridosso delle zone costiere (Couch et al., 2007). Il nord è la zona con la più elevata percentuale di superficie impermeabile, ma è il sud che registra gli incrementi maggiori di consumo del suolo dal 1956 ad oggi (e.g. Agapito et al., 2009).

Questo contributo mette dunque in evidenza che, a fronte di un notevole tasso di impermeabilizzazione osservato nei primi anni del dopoguerra, il fenomeno del consumo di

suolo è tutt'altro che attenuato negli ultimi anni. E' necessario implementare, dunque, strumenti di monitoraggio permanente che siano in grado, da una parte, di sensibilizzare l'opinione pubblica sul possibile degrado ambientale derivante da un eccesso di cementificazione soprattutto in alcune aree del paese, dall'altro di fornire una base informativa tempestiva ai decisori, a tutti i livelli di *governance* (Giannakourou, 2005). L'auspicio è che simili strumenti possano stimolare politiche di autocontenimento dello *sprawl* urbano in grado di moderare la frammentazione del paesaggio, pur in un'ottica di sviluppo regionale policentrico (Munafò, 2008).

6. Riferimenti bibliografici

- Agapito A., Alessi E., Battisti C., Benedetto G., Bologna G., Bulgarini F., Ciacci L., Costantini M., Fantilli P., Ferroni F., Ficorilli S., Fioravanti S., Lenzi S., Martinoja D., Meregalli D., Petrella S., Pratesi I., Rocco M., Romano B., Teofili C., Tosatti V., 2009, *2009: l'anno del cemento – Dossier sul consumo di suolo in Italia*, WWF Italia, Roma.
- Alfsen K.H., Saebo H.V., 1993, *Environmental quality indicators: background, principles and examples from Norway*, Environmental and Resource Economics, 3.
- Barberis R., 2005, *Consumo di suolo e qualità dei suoli urbani*, Rapporto ARPA Piemonte, Torino.
- Bruegmann R., 2005, *Sprawl: a compact history*, Chicago: University of Chicago Press.
- Couch C., Petschel-Held G., Leontidou L., 2007, *Urban sprawl in Europe: landscapes, land-use change and policy*, London: Blackwell.
- European Environment Agency, 2007, *Urban Morphological Zones 2000*, EEA, Copenhagen,
- Frenkel A., Ashkenazi M., 2007, *The integrated sprawl index: measuring the urban landscape in Israel*, Annals of Regional Science, 42(1), 99-121.
- Giannakourou G., 2005, *Transforming spatial planning policy in Mediterranean countries: Europeanization and domestic change*, European Planning Studies, 13(2), 319 – 331
- Gibelli M.C., Salzano E., 2006, *No Sprawl. Perché è necessario controllare la dispersione urbana e il consumo di suolo*, Alinea, Firenze.
- Hasse J.E., Lathrop R.G., 2003, *Land resource impact indicators of urban sprawl*, Applied Geography, 23, 159-175.
- Hough M., 2004, *Cities and Natural Process*, Routledge, London.
- Insolera I., 1993, *Roma moderna*, Einaudi, Torino.
- Istat, 2009, *Atlante di geografia statistica e amministrativa*. Istituto Nazionale di Statistica, Roma.
- Johnson M.P., 2001, *Environmental impacts of urban sprawl: a survey of the literature and proposed research agenda*, Environment and Planning A, 33, 717-735.
- King R., Proudfoot L., Smith B., 1997, *The Mediterranean. Environment and society*, Arnold, London.
- Ludlow D., Fons J., Weichselbaum J., Kleeschulte S., Steinnocher K., Guerois M., 2007. *Environmental dimensions of territorial development in Europe, Espon Work Proposal*, European Environment Agency, Copenhagen.
- Maricchiolo C., Sambucini V., Pugliese A., Munafò M., Cecchi G., Rusco E., 2005, *La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2000*, Apat, Rapporti n. 61/2005, Roma.
- Munafò M. 2008, *Valutazione della sostenibilità ambientale ed integrazione di dati ambientali e territoriali*, Ispra, Rapporti n. 82/2008, Roma.
- Perdigao V., Christensen S., 2000, *The Lacoast atlas: Land cover changes in European coastal zones*, Joint Research Centre, Ispra.

- Pileri P., 2007, *Compensazione ecologica preventiva. Principi, strumenti e casi*, Carocci Editore, Roma.
- Pileri P., Lanzani A., 2007, *Appunti per una proposta di legge. Limitare il consumo di suolo, riqualificare i suoli non edificati, dare primato alla formazione di natura e paesaggio, compensazione ecologica preventiva, promuovere un'urbanizzazione sostenibile e responsabile*, a cura di Legambiente e DIAP, Politecnico di Milano.
- Schneider A., Woodcock C.E., 2008, *Compact, dispersed, fragmented, extensive? A comparison of urban growth in twenty-five global cities using remotely sensed data, pattern metrics and census information*, *Urban Studies*, 45(3), 659-692.
- UNECE-Eurostat, 1998. *Recommendations for the 2000 Censuses of Population and Housing in the ECE region*. New York and Geneva: United Nations.
- Berdini P., 2010, *Breve storia dell'abuso edilizio in Italia, dal ventennio fascista al prossimo futuro*, Donzelli editore, Roma.