

---

a cura di  
**Michele Munafò e Marco Marchetti**

# **RECUPERIAMO TERRENO**

ANALISI E PROSPETTIVE PER LA GESTIONE SOSTENIBILE  
DELLA RISORSA SUOLO

**FrancoAngeli**



## Informazioni per il lettore

Questo file PDF è una versione gratuita di sole 20 pagine ed è leggibile con



La versione completa dell'e-book (a pagamento) è leggibile con Adobe Digital Editions. Per tutte le informazioni sulle condizioni dei nostri e-book (con quali dispositivi leggerli e quali funzioni sono consentite) consulta [cliccando qui](#) le nostre F.A.Q.



*CURSA – Studi, piani, progetti*

*Serie diretta da Piermaria Corona*

*Comitato scientifico:* Stefano Banini, Silvio Franco, Gianfranco Franz, Marco Gonnella, Antonio Leone, Marco Marchetti, Davide Marino, Paolo Mauriello, Giuseppe Scarascia Mugnozza, Stefania Scippa, Franca Siena, Umberto Simeoni.

La crescente domanda di sostenibilità ambientale nelle scelte relative all'assetto del territorio esige sempre più un'impostazione integrata e una coerenza complessiva delle proposte di governo, pianificazione e gestione delle risorse ambientali. Di fatto, la gestione sostenibile delle risorse ambientali implica la pianificazione di azioni che, tenendo presente la necessaria interazione tra economia, esigenze sociali e tutela dell'ambiente, consente, in ogni decisione, di adeguare le modalità di uso delle stesse alla salvaguardia della loro integrità ecologica e culturale, a differenti scale spaziali. Ciò può tuttavia non essere sufficiente a garantirne la tutela: le politiche di sviluppo prefigurano spesso trasformazioni territoriali talmente rilevanti (es. reti di trasporti e comunicazione, infrastrutture turistiche/commerciali, impianti industriali) da incidere negativamente sulla qualità ambientale delle aree e dei patrimoni naturali e culturali in esse presenti. Di qui, l'esigenza di guidare, attraverso adeguate azioni di governo, questi processi di trasformazione.

In questo quadro, nella prospettiva sopra delineata, la Serie CURSA della Collana Uomo Ambiente e Sviluppo è dedicata ad un approccio integrato, sotto il profilo ecologico e socio-economico, orientato a evidenziare, nelle varie fasi del processo di piano e di progetto, le opportunità e i limiti da considerare in un'ottica di sostenibilità e riproducibilità delle risorse naturali e a discutere il ruolo degli strumenti di pianificazione e di gestione nell'ambito delle strategie e norme per il governo del territorio, intessuto dai piani di matrice urbanistico-territoriale e ambientale e dagli strumenti di valutazione socio-economica e di valutazione ambientale integrata.

In particolare, in questa Serie vengono pubblicati risultati di ricerche, approfondimenti scientifico/didattici e atti e interventi a convegni promossi e realizzati dal Consorzio Universitario per la Ricerca Socio-economica e Ambientale (CURSA), di cui fanno parte gli Atenei di Ferrara, del Molise, della Tuscia (Viterbo) e l'Associazione no profit IDRA.

Tutti i lavori pubblicati in questa Serie sono sottoposti a revisione con garanzia di terzietà (peer-review), secondo i criteri identificanti il carattere scientifico delle pubblicazioni definiti dal Ministero dell'Istruzione Universitaria, dell'Università e della Ricerca.

*Convegno nazionale “Recuperiamo terreno. Politiche, azioni e misure per un uso sostenibile del suolo”*

*Comitato Scientifico:*

Andrea Arcidiacono (INU-CRCS), Francesca Assennato (ISPRA), Filiberto Altobelli (INEA), Dario Bellingeri (ARPA Lombardia), Paolo Berdini (Forum SiP), Lorenzo Ciccarese (ISPRA), Sergio Conti (UniTO & Soc. Geografica Ital.), Alessandra Ferrara (ISTAT), Daria Ferrari (Forum SiP), Fiorenzo Fumanti (ISPRA), Davide Geneletti (UniTrento), Paolo Giandon (ARPAV), Francesca Giordano (ISPRA), Giuseppe Gisotti (SIGEA), Anna Luise (ISPRA), Silvia Macchi (UniRoma1), Marco Marchetti (UniMol), Michele Munafò (ISPRA), Paolo Pileri (PoliMI-CRCS), Livio Rossi (SIN-AGEA), Roberto Rudari (Fond. CIMA), Luca Salvati (CRA), Stefano Salvi (INGV-Forum SiP), Riccardo Santolini (SIEP-UNIURB), Fabio Terribile (UniNA), Alessandro Trigila (ISPRA).

*Progetto grafico, impaginazione e assistenza editoriale:*

Margherita Palmieri (CURSA)

Lorenzo Sallustio (UniMol)

a cura di  
**Michele Munafò e Marco Marchetti**

# **RECUPERIAMO TERRENO**

ANALISI E PROSPETTIVE PER LA GESTIONE SOSTENIBILE  
DELLA RISORSA SUOLO

**FrancoAngeli**

Il presente lavoro riporta parte degli atti del Convegno nazionale “Recuperiamo terreno. Politiche, azioni e misure per un uso sostenibile del suoli” organizzato dall’ISPRA, da *Slow Food* e dal Forum Salviamo il Paesaggio, tenutosi a Milano il 6 Maggio 2015. Lo scopo principale del Convegno è quello di riunire le varie comunità (scientifiche, istituzionali, professionali e sociali) che a vario titolo si occupano dell’uso e del consumo di suolo, per avviare un percorso che consenta di affrontare la materia con approccio multidisciplinare. L’elemento innovativo del Convegno è la partecipazione congiunta di comunità diverse, fondata sull’idea che per affrontare in modo efficace il problema dell’eccessivo consumo di suolo sia necessario fornire una informazione completa e dettagliata a tutti gli attori coinvolti.

*In copertina:* Cambiamenti di uso del suolo e trasformazioni del paesaggio.

In senso orario:

1. espansione urbana a Roma Est (*foto di Paolo Orlandi e Franco Iozzoli*);
2. recente forte espansione delle coste sarde, litorale di Olbia (*foto di Marco Marchetti*);
3. il mosaico agro-forestale dell’Agro Romano (*foto di Marco Marchetti*);
4. l’innalzamento del limite superiore del bosco, Pale di San Lucano (BL) (*foto di Marco Marchetti*).

*Comitato organizzativo:*



Copyright © 2015 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

*L’opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d’autore. L’Utente nel momento in cui effettua il download dell’opera accetta tutte le condizioni della licenza d’uso dell’opera previste e comunicate sul sito [www.francoangeli.it](http://www.francoangeli.it).*

# Indice

<b>Presentazione</b> , di <i>Bernardo De Bernardinis</i>	pag.	9
<b>Introduzione</b> , di <i>Michele Munafò e Marco Marchetti</i>	»	11
<b>Parte Prima</b> <b>Approcci, strumenti e metodi di monitoraggio del consumo di suolo</b>		
<b>Utilizzo di dati radar satellitari per il controllo del consumo del suolo</b> , di <i>Alessandro Ferretti, Alfio Fumagalli, Danilo Molinaro, Fabrizio Novali e Alessio Rucci</i>	»	17
<b>Indici spaziali per l'analisi dei pattern del consumo di suolo</b> , di <i>Elisabetta Peccol</i>	»	25
<b>Distruzione, occupazione del suolo e trasformazioni climatiche. Il contributo dell'archeologia</b> , di <i>Pierfrancesco Rescio</i>	»	38
<b>Il consumo di suolo nella montagna veneta: dalla percezione del fenomeno al suo monitoraggio</b> , di <i>Claudio Ametrano, Maurizio Dissegna, Caterina Palombo, Lorenzo Sallustio, Giulia Satin, Daniele Savio, Roberto Tognetti e Marco Marchetti</i>	»	47
<b>Monitoraggio speditivo del consumo di suolo in Lombardia tramite dati satellitari Landsat8: aggiornamento dei risultati al 2014</b> , di <i>Dario Bellingeri, Enrico Zini e Dante Fasolini</i>	»	61
<b>Una misura dello <i>sprawl</i> urbano nelle aree interne della Campania: i casi di Benevento, Avellino e Battipaglia</b> , di <i>Massimiliano Bencardino e Luigi Valanzano</i>	»	73

<b>Studio del cambiamento di uso del suolo nella valle del fiume Sacco</b> , di <i>Gina Galante, Michele Munafò, Ilaria Strafella e Fausto Manes</i>	pag.	89
--	------	----

**Parte Seconda**  
**Impatti del consumo di suolo su agricoltura**  
**e servizi ecosistemici**

<b>Consumo di suolo e sicurezza alimentare: dai processi locali agli impatti globali</b> , di <i>Ciro Gardi e Nicola Dall'Olio</i>	»	103
<b>Consumo di suolo, crisi, paesaggi agro-forestali: verso un ritorno alla terra?</b> , di <i>Rosanna Di Bartolomei, Anastasios Mavrakis, Valerio Quatrini, Luca Salvati, Pere Serra e Antonio Tomao</i>	»	114
<b>Un dialogo spezzato: il cibo e il rapporto città-campagna alla prova del consumo di suolo</b> , di <i>Rossano Pazzagli e Marco Marchetti</i>	»	124
<b>La valutazione dei servizi ecosistemici forniti dal suolo per la pianificazione del territorio</b> , di <i>Costanza Calzolari, Fabrizio Ungaro, Anna Maria Campeol, Nicola Filippi, Marina Guermandi, Francesco Malucelli, Nazaria Marchi, Francesca Staffilani e Paola Tarocco</i>	»	138
<b>Il potenziale delle aree non urbanizzate per la fornitura di servizi ecosistemici in contesti periurbani</b> , di <i>Daniele La Rosa</i>	»	151
<b>Consumo di suolo e gestione del rischio idraulico: test per l'invarianza idraulica nella pianificazione territoriale</b> , di <i>Gianfranco Pozzer</i>	»	165
<b>Importanza della manutenzione del territorio in ambito collinare e montano in relazione ai cambiamenti dell'uso del suolo: "disuso" del suolo e dissesto idrogeologico</b> , di <i>Manuela Corongiu, Lorenzo Bottai, Massimo Perna, Bernardo Zanchi e Guido Lavorini</i>	»	178
<b>La compromissione del valore ambientale nelle aree naturali protette derivante dai processi di consumo di suolo: un'analisi dell'Ecosystem Services Capacity (ESC)</b> , di <i>Silvia Ronchi e Stefano Salata</i>	»	189
<b>La metrica del biodiversity offsetting: uno strumento innovativo per la compensazione del consumo netto del suolo e una</b>		

**proposta di schema per la compensazione ambientale dei progetti di infrastruttura**, di *Ariadna Chavarria, Paola Gatto e Luca Saccone* pag. 208

**Un modello per la valutazione degli effetti delle trasformazioni dell'uso del suolo sulla configurazione delle reti ecologiche**, di *Leonardo Filesi e Andrea Fiduccia* » 220

### **Parte Terza**

#### **Dalla conoscenza alle politiche di governo del territorio e di rigenerazione urbana**

**Dall'abusivismo edilizio al recupero del territorio e dei tessuti urbani: politiche, strumenti e metodi**, di *Patrizia Colletta* » 237

**Proposte per una riforma degli spazi periurbani: il trasferimento dei diritti edificatori e la rigenerazione dei suoli dopo la crescita**, di *Emanuele Garda* » 248

**La rigenerazione degli spazi agricoli urbani contro lo spreco del suolo**, di *Patrizia Carnazzo e Giovanni Spagnolello* » 262

**Risparmio di suolo nei paesaggi industriali: quali direzioni?**, di *Alessandro Bonifazi e Pasquale Balena* » 274



## *Presentazione*

Il 2015 è stato proclamato dall'Assemblea generale delle Nazioni Unite «Anno internazionale dei suoli», una proclamazione che ricorda come il suolo rappresenti l'essenza della vita, fornendo da sempre la “base” per la produzione agricola e zootecnica, per lo sviluppo urbano e degli insediamenti produttivi, per la mobilità di merci e persone. Non solo, il suolo è anche la dimora e il rifugio di una moltitudine di altre forme viventi, le cui caratteristiche e funzioni sono fondamentali anche per la sopravvivenza dell'uomo sul pianeta.

Non si può prescindere, quindi, dall'evidenziare l'importanza di questa risorsa che svolge un ruolo strategico per il mantenimento dell'equilibrio dell'intero ecosistema e per la conservazione del patrimonio naturale: dalla tutela delle acque alla salvaguardia della biodiversità, dagli effetti sul microclima e dalle dinamiche climatiche di larga scala, alla resilienza e al manifestarsi degli eventi franosi ed alluvionali, dalla perdita di fertilità alla disponibilità di sedimenti per le dinamiche fluviali e costiere. È diventata, dunque, necessaria ed urgente una regolamentazione più stringente del consumo di suolo, da realizzare attraverso politiche sia dirette (di interdizione e di indirizzo) che indirette per la riqualificazione dei centri urbani e il riuso del patrimonio edilizio esistente. Visti i tempi estremamente lunghi di formazione del suolo, si può ritenere che esso sia una risorsa sostanzialmente non rinnovabile. Il suo degrado, in forma pianificata o abusiva, può anche incidere sulla salute dei cittadini e mettere in pericolo la sicurezza dei prodotti destinati all'alimentazione umana e animale.

In questo contesto, forse più che in molti altri, i processi naturali si legano profondamente e indissolubilmente alle dinamiche abitative e produttive delle popolazioni, la cui conoscenza consente la definizione di un quadro d'insieme, ottenuto attraverso una corretta acquisizione e fruizione delle informazioni e, soprattutto, grazie alla loro organizzazione, integrazione e valutazione congiunta. Sono questi gli elementi prioritari per l'analisi, la rappresentazione e il governo delle trasformazioni territoriali e per raggiungere quella comune visione delle questioni ambientali, indispensabile per valutare, sulla base di elementi chiari e trasparenti, anche grazie all'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili e alla sempre più elevata accuratezza e diffusione delle rilevazioni satellitari (si pensi al programma Copernicus), la qua-

lità delle scelte politiche proposte o già adottate. ISPRA e il Forum Salviamo il Paesaggio, con il supporto di *Slow Food* Italia, hanno organizzato un convegno scientifico, con la partecipazione congiunta di comunità diverse, fondato sull'idea che, per iniziare a "Recuperare terreno" in modo concreto, sia necessario fornire un'informazione completa e dettagliata a tutti gli attori coinvolti. L'iniziativa, che si inserisce in quelle legate all'Anno internazionale dei suoli, ha lo scopo di riunire le varie comunità (scientifiche, istituzionali, professionali e sociali) che a vario titolo si occupano dell'uso e del consumo di suolo, per avviare un percorso che affronti la materia con approccio multidisciplinare.

Questo volume rappresenta una prima selezione dei diversi contributi che le comunità hanno proposto e presentato in occasione del convegno, fornendo un lavoro prezioso sul quale iniziare ad impostare quella conoscenza condivisa e scientificamente riconosciuta indispensabile per la tutela e della risorsa suolo e la salvaguardia della nostra stessa vita.

Prof. Bernardo De Bernardinis  
Presidente ISPRA

# Introduzione

di Michele Munafò e Marco Marchetti

Questo volume presenta i risultati del convegno nazionale organizzato dall'ISPRA e dal Forum Salviamo il Paesaggio, con il supporto di *Slow Food* Italia, tenutosi a Milano nel mese di maggio 2015 dal titolo "Recuperiamo terreno. Politiche, azioni e misure per un uso sostenibile del suolo", a cui hanno partecipato con contributi di elevato valore scientifico, rappresentanti di Università, centri di ricerca, istituzioni e associazioni e, più in generale, esperti che si occupano delle problematiche legate all'utilizzo della risorsa suolo. L'iniziativa si colloca nel contesto delle iniziative dell'Anno internazionale dei suoli e degli eventi satelliti della *Green Week* europea, nel mese di avvio dell'Esposizione Universale che l'Italia ospita dal primo maggio al 31 ottobre 2015 ed identificabile come il più grande evento mai realizzato sull'alimentazione e la nutrizione, come dimostrato dal *focus* tematico su cui esso è basato "Nutrire il Pianeta, Energia per la Vita". Oggi più che mai si sente l'esigenza di riportare il suolo al centro del dibattito scientifico, politico e culturale in generale. Affermazione non banale in un'epoca storica che sembra spesso accettare che il progresso sia inevitabilmente ed indissolubilmente legato alla distruzione di questa risorsa, nel nome dell'urbanizzazione incontrollata e di progetti infrastrutturali spesso slegati dalle reali esigenze dei territori. L'attuale conflitto deriva quindi dal contrasto tra il suolo quale fattore della produzione agricola e sede di fondamentali funzioni ecosistemiche, e la rendita, legata invece a logiche speculative o a visioni di sviluppo dimostratesi ormai insostenibili perché basate sul depauperamento delle risorse e sulla negazione dei diritti di molte persone a cui la terra viene tutt'ora portata via, come ampiamente dimostrato dal fenomeno del *land grabbing*.

All'interno di questo contesto è facilmente comprensibile il collegamento esistente tra il tema dell'alimentazione e quello della tutela del suolo quale risorsa limitata e non rigenerabile, elemento fondamentale ed insostituibile su cui si basa il sostentamento del genere umano e dell'ecosistema Terra nel suo complesso. Il suolo però non soltanto come fattore della produzione, ma anche come substrato in grado di fornire beni e servizi ecosistemici non sostituibili, avente quindi non solo un ruolo cruciale nella produzione di biomassa, ma anche nella filtrazione delle acque, nella

cattura ed immagazzinamento di enormi quantità di anidride carbonica ed in tantissimi altri processi biogeochimici più o meno visibili e percepiti dall'uomo, ma senza i quali l'equilibrio ecosistemico risulterebbe notevolmente compromesso.

I cambiamenti d'uso del suolo, ed in particolar modo il consumo di suolo, unico per la sua connotazione irreversibile, si caratterizzano per l'aver un impatto che va al di là del contesto biologico ed ecologico o, più in generale, di ciò che riguarda la sfera del Capitale Naturale. Esso è infatti ormai largamente riconosciuto anche a scala globale come elemento in grado di alterare e trasformare profondamente la storia e la cultura insita nei territori minando quindi anche tutto ciò che riguarda il Capitale Culturale. Tali constatazioni sono perorate da diversi studi scientifici che riconoscono nel processo di urbanizzazione uno dei principali fattori scatenanti conflitti politici e sociali.

I dati sul consumo di suolo, presentati durante i lavori del convegno, non lasciano adito a dubbi: è un fenomeno che continua ad avanzare dal secondo dopoguerra ai giorni nostri, intaccando spesso aree fertili di elevata capacità d'uso, compromettendo le funzioni del suolo attraverso la sua impermeabilizzazione o alterazione biofisica, frammentando gli habitat naturali e il paesaggio con la dispersione insediativa e la diffusione sul territorio di edifici, capannoni e infrastrutture<sup>1</sup>.

Il presente volume, si prefigge lo scopo di fornire una chiave di lettura attuale e quanto più esaustiva possibile sul fenomeno del consumo di suolo attraverso l'utilizzo di un approccio fortemente inter e transdisciplinare, in cui la fusione di diversi saperi, sensibilità e prospettive di osservazione, giocano un ruolo fondamentale nella costruzione di una nuova presa di coscienza dell'importanza di un uso attento e morigerato della risorsa suolo, in grado di soddisfare le diverse sfaccettature sottese al concetto di sostenibilità. Sostenibilità intragenerazionale, dove la terra è un bene comune, dei cui benefici giova e si arricchisce l'intera collettività. Sostenibilità intergenerazionale, in quanto ciò che oggi viene spesso consumato in maniera poco attenta, avrà un ruolo cruciale per il sostentamento alla vita delle future generazioni. Sostenibilità economica, sociale ed ambientale, dove questi tre elementi non siano visti come alternativi o in rapporto conflittuale, ma la cui coesistenza guidi e tracci il sentiero migliore per l'utilizzo razionale della risorsa suolo.

L'importanza di una buona gestione del territorio e, in particolare, dei suoli è stata ribadita dalla Commissione Europea nel 2011, con la Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse, nella quale si propone il traguardo di un incremento dell'occupazione netta di terreno pari a zero da raggiungere, in Europa, entro il 2050. Obiettivo rafforzato recentemente dal legislatore europeo con l'approvazione del Settimo Programma di Azione Ambientale, denominato "Vivere bene entro i limiti del nostro pianeta", che ripropone l'obiettivo precedente, richiedendo inoltre che, entro il 2020, le politiche dell'Unione debbano tenere conto dei loro impatti diretti e indiretti sull'uso del territorio.

Studi recenti hanno dimostrato come l'espansione delle aree urbane non sia di fatto giustificata dall'incremento demografico, tanto da osservare negli ultimi decenni un notevole incremento della superficie urbanizzata pro capite. Tale tendenza

<sup>1</sup>ISPRA (2015), Il consumo di suolo in Italia. Edizione 2015, Rapporti ISPRA 218/2015.

è ancor più visibile in Regioni e in molte aree metropolitane, dove il tasso di urbanizzazione risulta elevato a dispetto del saldo demografico vicino allo zero o addirittura negativo. Questi dati rafforzano l'idea che il fenomeno del consumo di suolo è in realtà completamente scollegato dalle reali esigenze e necessità abitative ed infrastrutturali del territorio, anche in considerazione dello svuotamento delle parti centrali delle città e della presenza di edifici non utilizzati e di aree dismesse in aree già urbanizzate, aprendo interessanti prospettive sotto il profilo politico e strategico.

Il quadro conoscitivo di tale sistema è quindi elemento essenziale degli strumenti di pianificazione ambientale, territoriale e paesistica e ausilio indispensabile per disciplinare l'uso e le trasformazioni in chiave gestionale e programmatica. In questo volume si è però voluto andar oltre la quantificazione e il monitoraggio del consumo di suolo, affrontando l'ampio e complesso tema del suo impatto a carico dei servizi ecosistemici e della biodiversità che, seppur a volte poco tangibili, concorrono al mantenimento e al miglioramento del benessere umano. Nella seconda parte del volume, sono infatti riportati una serie di contributi che vogliono fornire una nuova chiave di lettura del fenomeno in chiave ecologica, fornendo dunque spunti di riflessione per un cambio di strategie e di politiche che tengano conto della dimensione ecologica oltre che degli aspetti economici e finanziari. La valutazione delle conseguenze biofisiche ed economiche di piani, progetti ed opere a carico dei servizi ecosistemici si propone, in prospettiva, come un elemento di supporto irrinunciabile nel tentativo di bilanciare i fabbisogni umani e la reale capacità degli ecosistemi di fornire supporto senza lederne la funzionalità futura. In tale ottica, soprattutto la valutazione economica dei servizi ecosistemici forniti dal suolo permette di inserire all'interno delle analisi costi-benefici le esternalità positive che, finora ignorate nel computo del beneficio o tornaconto privato, rivestono un ruolo assolutamente primario per la valutazione del beneficio sociale e collettivo. L'utilizzo di metodi di contabilizzazione che permettano in prospettiva di ridurre il gap accumulato nei decenni tra Uomo e Natura, è, quindi, da porre alla base di scelte e strategie volte alla sostenibilità, come da anni sostenuto dal *Millenium Ecosystem Assessment*.

L'attuale dibattito si spinge però oltre il problema dei nuovi suoli consumati. Se da un lato infatti, l'avanzata della città a scapito del territorio rurale presenta elementi di rischio e criticità non trascurabili, dall'altra parte, a fronte di un saldo demografico che per il nostro Paese risulta essere inferiore di diversi punti percentuali rispetto alla proliferazione di nuovi insediamenti, pone l'accento sul fenomeno del non uso e della disponibilità di spazi progressivamente abbandonati all'interno delle città. Questo fenomeno, conosciuto come *urban shrinkage*, implica al momento stesso sia criticità che nuove sfide ed opportunità per la pianificazione territoriale. Queste ultime sono legate alla possibilità di ricreare e ripensare la funzionalità degli spazi non più utilizzati all'interno della città sotto una nuova veste ecologica di supporto e miglioramento dei servizi ecosistemici che tali aree sono in grado di fornire per il miglioramento della qualità della vita degli abitanti delle città in primis, basti pensare ad esempio alla possibilità di sviluppare e progettare nuovi spazi per il verde pubblico.

Al centro di tutta la discussione, è, e resta salda, la volontà degli autori di fornire una chiave di lettura innovativa, che per quanto necessariamente parziale, tenda a

favorire il confronto e quindi l'aumento della consapevolezza e della presa di coscienza da parte dei *decision makers* del fenomeno del consumo di suolo, ponendo particolare enfasi a tutta una serie di aspetti che seppur di primaria importanza, sono tutt'ora considerati in maniera marginale nei processi di pianificazione.

In occasione di uno dei tavoli tematici per EXPO il Presidente della Repubblica Sergio Mattarella ha nel suo intervento voluto evidenziare due aspetti fondamentali che caratterizzano il nostro Paese sintetizzabili nelle parole chiave: paesaggio e innovazione. Il paesaggio italiano, che per molti aspetti pare quasi imitare l'arte ed è espressione della coevoluzione e del secolare modellamento della natura da parte dell'uomo. Il gusto dell'innovazione ed il coraggio della discontinuità che hanno caratterizzato soprattutto il panorama artistico italiano rendendolo unico e all'avanguardia perché in grado di superare limiti e concetti predefiniti. Proprio in questi concetti si trova il più grande stimolo a non ritrarsi di fronte a innovazioni anche radicali, bensì a pensare ad esse come necessità per guardare al futuro con criteri nuovi, senza nostalgia di esperienze ormai usurate. L'ambizione alla quale è legittimo aspirare è quindi quella che le esperienze riportate anche in questo volume possano rappresentare un modello di buone pratiche ed un nuovo modo di affrontare le nuove sfide della pianificazione territoriale consapevoli delle problematiche e delle criticità, ma ottimisti e fiduciosi verso nuove prospettive ed orizzonti di sviluppo.

*Parte Prima*  
*Approcci, strumenti e metodi di monitoraggio*  
*del consumo di suolo*



# *Utilizzo di dati radar satellitari per il controllo del consumo del suolo*

*di Alessandro Ferretti\*, Alfio Fumagalli\*, Danilo Molinaro\*, Fabrizio Novali\* e Alessio Rucci\**

## **Riassunto**

Negli ultimi anni, si è assistito ad un notevole incremento di applicazioni di osservazione della Terra basate su dati satellitari. I dati acquisiti da sensori radar, in particolare, sono ormai utilizzati ampiamente in diversi ambiti come nella definizione delle aree colpite da esondazioni o nella stima dei fenomeni di spostamento (frane, subsidenze, sismi ecc.). Operando in modo indipendente dalle condizioni meteo e di illuminazione solare, il radar garantisce grande continuità nel monitoraggio e nel controllo delle aree d'interesse, sebbene ad una risoluzione solitamente più bassa rispetto ai sensori ottici. Questo contributo mette in evidenza come, anche nella definizione delle aree antropizzate e nel monitoraggio del consumo di suolo, i dati radar satellitari possano fornire uno strumento determinante, capace di analizzare migliaia di km<sup>2</sup> in tempi estremamente ridotti ed in modo completamente automatizzato.

**Parole chiave:** consumo del suolo, SAR, *change detection*, satellite.

## **Summary**

In the last years there has been a remarkable increase in the use of satellite data for earth observation tasks. In particular, data collected by space borne radar sensor, has become more and more an operative information in several application such as flooded area detection or surface deformation monitoring (landslide, subsidence, ecc.). Operating independently with respect to weather condition or solar illumination, radar systems guarantee an excellent continuity in monitoring the investigated areas, even if typically at a lower resolution respect to the optical system. In the

\*Tele-Rilevamento Europa T.R.E. srl, [alessandro.ferretti@treuropa.com](mailto:alessandro.ferretti@treuropa.com), [alfio.fumagalli@treuropa.com](mailto:alfio.fumagalli@treuropa.com), [danilo.molinari@treuropa.com](mailto:danilo.molinari@treuropa.com), [fabrizio.novali@treuropa.com](mailto:fabrizio.novali@treuropa.com), [alessio.rucci@treuropa.com](mailto:alessio.rucci@treuropa.com).

present work the authors will present an algorithm for urban growth monitoring introducing the theoretical knowledge for the definition of the problem and the technique used for the urbanization mapping, highlighting how, also for this kind of applications where are usually exploited optical images, this family of sensors can provide a valuable information allowing to analyze thousands of square kilometers in a fully automated approach.

**Key words:** urbanized area mapping, SAR, change detection, satellite.

## 1. Descrizione del segnale radar

Il dato fornito da sistemi radar ad apertura sintetica (SAR) consiste in immagini digitali dove ad ogni *pixel* è associato un numero complesso che rappresenta il modulo e la fase relativi alla corrispondente cella di risoluzione a terra. Il segnale radar ricevuto  $\mathbf{V}$  è costituito dalla somma coerente dei segnali riflessi da tutti gli elementi presenti all'interno di tale cella; pertanto, in prima approssimazione, può essere espresso come una sommatoria di termini complessi provenienti da N riflettori indipendenti presenti all'interno della generica cella J.

$$\mathbf{V}_j = \sum_{k=1}^N \mathbf{A}_k e^{i\frac{2\pi}{\lambda}R_k}$$

Ciascuno degli N elementi è caratterizzato da un coefficiente complesso di riflettività  $\mathbf{A} = Ae^{i\phi}$  dipendente dalla geometria e dal materiale dell'oggetto riflettente, mentre il termine esponenziale tiene conto della propagazione del segnale elettromagnetico in spazio aperto sulla distanza  $R_k$  pari al doppio delle distanza presente tra il sensore ed il bersaglio. La fase di ciascun elemento della sommatoria, visti i rapporti tipici tra la variazione di  $R_k$  all'interno della cella e la lunghezza d'onda del segnale, diventa un numero casuale uniformemente distribuito tra 0 e  $2\pi$ . Si può quindi considerare il segnale riflesso da una generica cella J come combinazione casuale di vettori di lunghezza variabile con fasi casuali. Tale meccanismo di combinazione da luogo al rumore di speckle, tipico di tutti i sistemi coerenti.

### 1.1. Caratterizzazione statistica

Il segnale retro diffuso viene influenzato dai diversi elementi presenti nello scenario analizzato. In presenza di aree vegetate quali prati, campi coltivati o zone boschive si può assumere che all'interno di ogni cella di risoluzione siano presenti un numero elevato di elementi riflettenti senza la presenza di un elemento dominante ovvero con un modulo del coefficiente di riflettività  $|\mathbf{A}_k|$  molto maggiore rispetto agli altri elementi presenti. In questi casi si parla di riflessione distribuita e, per il teorema del limite centrale,  $\mathbf{V}$  assume una distribuzione gaussiana bidimensionale a

media nulla ed il suo modulo  $V$  segue una distribuzione di *Rayleigh* la cui funzione di densità di probabilità è  $p(v) = \frac{v}{\sigma^2} e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}}$  dove  $\sigma$  è l'unico parametro che caratterizza la distribuzione. In scenari diversi da quelli sopra descritti, come ad esempio in presenza di edifici o infrastrutture in genere, l'ipotesi di riflessione distribuita non risulta più verosimile in quanto sono contemporaneamente presenti elementi che riflettono il segnale con intensità molto differenti e conseguentemente l'intensità del segnale radar  $V$  non segue la statistica di *Rayleigh*.

Il nuovo modello di riflessione per la generica cella  $J$  prevede quindi un segnale dominante al quale si somma il rumore gaussiano bidimensionale trattato in precedenza. In questi casi, come anticipato, il modulo del segnale non segue più distribuzione di *Rayleigh* bensì di *Rice* ed ha funzione di densità di probabilità pari a  $p(v) = \frac{v}{\sigma^2} e^{-\frac{v^2 + \mu^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{v\mu}{\sigma^2}\right)$  dove  $I_0$  indica la funzione di Bessel di primo tipo modificata. Si noti come a differenza della *Rayleigh* oltre al parametro  $\sigma$  compare anche  $\mu$  legato all'intensità del segnale ricevuto; tale parametro risulterà tanto più intenso quanto maggiore sarà l'intensità del segnale dominante.

## 2. Mappa dell'edificato

Partendo dalla modellizzazione teorica del paragrafo precedente risulta evidente come la stima delle caratteristiche statistiche di un *pixel* permetta di inferire alcune importanti caratteristiche relative allo stato di edificazione. Per potere stimare tali parametri è necessario avere a disposizione una serie di realizzazioni indipendenti per ciascun *pixel*, ovvero una serie di immagini acquisite in tempi diversi sullo scenario investigato. I moderni sistemi SAR satellitari permettono di ottenere lunghe serie di immagini con tempi di rivisita che possono scendere fino a pochi giorni e con risoluzioni, che pur non raggiungendo le prestazioni dei migliori sistemi ottici, offrono la possibilità di identificare manufatti anche con dimensioni nell'ordine del metro.

### 2.1. Stima dei parametri di Rice

Detta  $d(t)$  la serie storica dei moduli del segnale radar per un determinato *pixel* e visto che la distribuzione di *Rayleigh* risulta essere un caso particolare della distribuzione di *Rice* (per  $\mu=0$ ), per ciascun *pixel* dell'immagine vengono stimati i parametri di *Rice* tramite uno stimatore a massima verosimiglianza e quindi, ponendo una soglia sul valore minimo di  $\mu$ , vengono identificati tutti quei *pixel* contenenti al loro interno un elemento dominante associato alla presenza di una costruzione antropica. La scelta della soglia sul parametro rappresenta un compromesso tra sensibilità e probabilità di falsi positivi e va pertanto individuata in funzione dei requisiti desiderati. Il risultato di questo procedimento è una mappa binaria dell'edificato con risoluzione pari a quella nativa del sistema SAR utilizzato.