

BDC

Università degli Studi di Napoli Federico II

20

numero 2 anno 2020



BDC

Università degli Studi di Napoli Federico II

20

numero 2 anno 2020

**Public Spaces,
Nature-based
Infrastructures
and Common Goods**



BDC

Università degli Studi di Napoli Federico II

Via Toledo, 402
80134 Napoli
tel. + 39 081 2538659
fax + 39 081 2538649
e-mail info.bdc@unina.it
www.bdc.unina.it

Direttore responsabile: Luigi Fusco Girard
BDC - Bollettino del Centro Calza Bini - Università degli Studi di Napoli Federico II
Registrazione: Cancelleria del Tribunale di Napoli, n. 5144, 06.09.2000
BDC è pubblicato da FedOAPress (Federico II Open Access Press) e realizzato con Open Journal System

Print ISSN 1121-2918, electronic ISSN 2284-4732

Editor in chief

Luigi Fusco Girard, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy

Co-editors in chief

Maria Cerreta, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Pasquale De Toro, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy

Associate editor

Francesca Ferretti, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy

Editorial board

Antonio Acierno, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Luigi Biggiero, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Francesco Bruno, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Vito Cappiello, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Mario Coletta, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Teresa Colletta, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Ileana Corbi, Department of Structures for Engineering and Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Livia D'Apuzzo, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Gianluigi de Martino, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Stefania De Medici, Department of Civil Engineering and Architecture, University of Catania, Catania, Italy
Francesco Forte, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Rosa Anna Genovese, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Fabrizio Mangoni di Santo Stefano, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Luca Pagano, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Stefania Palmentieri, Department of Political Sciences, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Luigi Picone, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Michelangelo Russo, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Salvatore Sessa, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy

Editorial staff

Mariarosaria Angrisano, **Martina Bosone**,
Antonia Gravagnuolo, **Silvia Iodice**,
Francesca Nocca, **Stefania Regalbutto**,
Interdepartmental Research Center in Urban Planning
Alberto Calza Bini, University of Naples Federico II,
Naples, Italy

Scientific committee

Roberto Banchini, Ministry of Cultural Heritage and Activities (MiBACT), Rome, Italy
Alfonso Barbarisi, School of Medicine, Second University of Naples (SUN), Naples, Italy
Eugenie L. Birch, School of Design, University of Pennsylvania, Philadelphia, United States of America
Roberto Camagni, Department of Building Environment Science and Technology (BEST), Polytechnic of Milan, Milan, Italy
Leonardo Casini, Research Centre for Appraisal and Land Economics (Ce.S.E.T.), Florence, Italy
Rocco Curto, Department of Architecture and Design, Polytechnic of Turin, Turin, Italy
Sasa Dobricic, University of Nova Gorica, Nova Gorica, Slovenia
Maja Fredotovic, Faculty of Economics, University of Split, Split, Croatia
Adriano Giannola, Department of Economics, Management and Institutions, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Christer Gustafsson, Department of Art History, Conservation, Uppsala University, Visby, Sweden
Emiko Kakiuchi, National Graduate Institute for Policy Studies, Tokyo, Japan
Karima Kourtit, Department of Spatial Economics, Free University, Amsterdam, The Netherlands
Mario Losasso, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy
Jean-Louis Luxen, Catholic University of Louvain, Belgium
Andrea Masullo, Greenaccord Onlus, Rome, Italy
Alfonso Morvillo, Institute for Service Industry Research (IRAT) - National Research Council of Italy (CNR), Naples, Italy
Giuseppe Munda, Department of Economics and Economic History, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Spain
Peter Nijkamp, Department of Spatial Economics, Free University, Amsterdam, The Netherlands
Christian Ost, ICHEC Brussels Management School, Ecaussinnes, Belgium
Donovan Rypkema, Heritage Strategies International, Washington D.C., United States of America
Ana Pereira Roders, Department of the Built Environment, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands
Joe Ravetz, School of Environment, Education and Development, University of Manchester, Manchester, United Kingdom
Paolo Stampacchia, Department of Economics, Management, Institutions, University of Naples Federico II, Naples, Italy
David Throsby, Department of Economics, Macquarie University, Sydney, Australia



Indice/Index

- 225 Editoriale
Luigi Fusco Girard
- 231 Assessing the balance between urban development and densification: consolidated practices and new challenges
Elisa Conticelli, Claudia De Luca, Simona Tondelli
- 241 Città e pandemie. Densità urbana e densificazione dopo il COVID-19
Alessandro Sgobbo
- 261 Reinventing wastescapes in port cities. A resilient and regenerative approach to plan Naples at the time of logistics
Marica Castigliano, Paolo De Martino, Libera Amenta, Michelangelo Russo
- 277 ValoreNapoli: la valutazione dei servizi ecosistemici culturali per un modello di città circolare
Maria Cerreta, Eugenio Muccio, Giuliano Poli
- 297 Strategie operative per la valorizzazione e la resilienza delle aree interne: il Progetto R.I.P.R.O.VA.RE
Adriana Galderisi, Pierfrancesco Fiore, Piergiuseppe Pontrandolfi
- 317 Riabitare il patrimonio urbano ed edilizio dei territori interni: spazio digitale per servizi sanitari efficienti
Antonella Mami, Elvira Nicolini

- 337 Il riuso delle emergenze architettoniche dei centri minori come strategia di recupero per le aree interne
Francesca Ciampa, Patrizio De Rosa
- 357 Consumo di suolo e sequestro di carbonio nella Regione Sardegna: uno studio basato sull'utilizzo del *Normalized difference vegetation index*
Maddalena Floris, Corrado Zoppi
- 375 Un approccio *Sentinel 2a based* a supporto della pianificazione ed il monitoraggio delle infrastrutture verdi
Michele Grimaldi, Emanuela Coppola
- 393 Processi di *Parametric e Computational Design* per la definizione di strategie di *regenerative climate adaptive design* per il distretto di Secondigliano
Eduardo Bassolino, Francesco Palma Iannotti

CONSUMO DI SUOLO E SEQUESTRO DI CARBONIO NELLA REGIONE SARDEGNA: UNO STUDIO BASATO SULL'UTILIZZO DEL NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX

Maddalena Floris, Corrado Zoppi

Sommario

Questo studio si riferisce al tema del consumo di suolo in termini di offerta del servizio ecosistemico di sequestro e stoccaggio di carbonio, assumendo, quale riferimento esemplificativo, la Regione Sardegna. A questo fine, si propone l'analisi della variazione delle coperture dei suoli basata sulla classificazione della Corine Land Cover (CLC) e l'analisi del servizio ecosistemico di sequestro e stoccaggio di carbonio delle aree naturali e semi-naturali. Attraverso il *Normalized difference vegetation index* (NDVI), si analizzano la distribuzione spaziale del sequestro e stoccaggio di carbonio e le sue connessioni con i processi del consumo di suolo. I risultati implicano rilevanti conseguenze concernenti le politiche di piano finalizzate alla mitigazione del consumo di suolo ed alla protezione ed all'accrescimento della capacità di sequestro e stoccaggio di carbonio. In particolare, la relazione di diretta proporzionalità tra sequestro di carbonio e consumo di suolo individua nelle politiche di protezione dell'ambiente fondate sulla Rete Natura 2000 un riferimento fondamentale per l'efficacia delle politiche di piano finalizzate all'utilizzo dei servizi ecosistemici offerti dal suolo in rapporto alla mitigazione degli impatti negativi dei cambiamenti climatici.

Parole chiave: stoccaggio di carbonio, consumo di suolo, regressione lineare

LAND-TAKING AND CARBON SEQUESTRATION PROCESSES IN THE SARDINIAN REGION: A STUDY BASED ON THE USE OF THE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX**Abstract**

This article studies the interaction between land-taking processes and carbon sequestration, which is considered a service generated by natural ecosystems, and tentatively defines an interpretation of such interdependence, which is applied to the environmental context of Sardinia, one of the two Italian major islands. Through CORINE Land Cover the land cover features are identified and characterized. Data are made available by the Environment Agency of the European Union in terms of land cover themes and time series. Through the Normalized difference vegetation index (NDVI), carbon capture and storage spatial distribution and its relations with land take are investigated. The results entail important implications concerning planning policies aimed at mitigating land-taking processes and protection and enhancement of carbon sequestration. In particular, the direct proportionality between carbon sequestration and land take identifies the environmental protection policies based on the Natura 2000 Network as leading tools to implement effective planning approaches focused on the use of ecosystem services provided by the soil to mitigate the negative impacts of climate changes.

Keywords: carbon capture and storage, land-taking process, linear regression

1. Introduzione

La perdita di naturalità indotta dai processi di antropizzazione è la causa principale del degrado del suolo e della perdita delle sue funzioni ecosistemiche. Suolo ed atmosfera sono strettamente correlati alle trasformazioni del territorio e influiscono in maniera determinante sui cambiamenti climatici (Jobbagy e Jackson, 2000). Il suolo e il clima sono legati da una duplice relazione in quanto, da un lato, i cambiamenti climatici hanno un impatto sui processi geofisici e sui servizi ecosistemici resi dal suolo, e, dall'altro, le mutevoli condizioni del suolo hanno un impatto sul clima (European Environment Agency, 2012).

In generale, la quantità di carbonio stoccato nel suolo è significativamente superiore a quella immagazzinata nella biomassa vegetale (European Environment Agency, 2012), e, pertanto, anche piccole variazioni delle condizioni del suolo generano un impatto rilevante sulla concentrazione di CO₂ in atmosfera (Muñoz-Rojas *et al.*, 2013) e contribuiscono ad un aumento della temperatura (Arrhenius, 1896).

L'Agenzia Europea dell'Ambiente definisce il consumo di suolo come "Change of the amount of agriculture, forest and other semi-natural and natural land taken by urban and other artificial land development" (Variazione dell'estensione dei suoli che passano da agricoli, forestali, e da altre tipologie naturali e semi-naturali, alla tipologia urbana o ad altre tipologie artificiali) (European Environment Agency, 2013a). Secondo quanto proposto dalla Commissione Europea nel 2011, gli Stati membri dovrebbero raggiungere, entro il 2050, l'obiettivo del consumo netto di suolo pari a zero e, con riferimento alla Politica di coesione 2014-2020, valutare e monitorare gli impatti, diretti e indiretti, delle politiche di copertura del suolo (Comunicazione della Commissione Europea al Parlamento Europeo COM, n. 571 del 20 settembre 2011). Negli ultimi decenni, il consumo di suolo è aumentato più rapidamente rispetto all'aumento della popolazione. Questa tendenza, insostenibile a lungo termine (European Commission, 2012), fonda l'esigenza dell'individuazione di metodologie per la valutazione della capacità di stoccaggio di carbonio nel suolo. Queste dovrebbero costituire la base per la definizione di politiche territoriali per l'adattamento ai cambiamenti climatici e per la mitigazione degli impatti negativi ad essi legati (Yigini e Panagos, 2016). L'indirizzo comunitario *no net land take by 2050* implica che l'urbanizzazione dei suoli non artificiali si attui solamente con il concomitante recupero di suoli artificiali, in misura almeno pari a quella dei suoli artificializzati. Appare evidente come, per il raggiungimento dell'indirizzo comunitario, sia necessario superare l'attuale prassi pianificatoria, in cui la dimensione ecologica è seconda rispetto alle problematiche regolative relative alla rendita fondiaria. La pianificazione territoriale, disciplina che ha, tra i suoi riferimenti più importanti, la definizione degli usi dei suoli, dovrebbe assumere, quindi, quale questione centrale, in termini scientifici e tecnici, la limitazione del consumo di suolo.

Secondo il Report di sistema n. 15 del 2020 del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), la situazione italiana evidenzia significative differenze tra le diverse aree del Paese. La Sardegna si colloca tra le Regioni più virtuose, con un consumo di suolo al 2019 pari a circa il 3,3%, più alto soltanto di quello della Valle d'Aosta (2,2%) e della Basilicata (3,2%) (Munafò, 2020).

A riguardo dello stoccaggio di carbonio, ancorché non siano disponibili, attualmente, dati basati su una rilevazione diretta e puntuale, la condizione della Sardegna risulta particolarmente significativa, nel quadro nazionale, in quanto, come riportato nel Report n.

248 del 2016 del SNPA, gli ambienti forestali naturali e seminaturali sono quelli che generano questo fenomeno in maniera più rilevante (Marucci *et al.*, 2016), e di questi ambienti la Sardegna è molto ricca, in quanto le aree forestali gestite dall’Agenzia forestale regionale per lo sviluppo del territorio e l’ambiente della Sardegna (FO.RE.S.T.A.S.) costituiscono oltre il 17% del territorio regionale (Lai *et al.*, 2017).

Con riferimento a queste questioni, si propone un approccio metodologico per analizzare e stimare, sotto il profilo quantitativo, la relazione che intercorre tra il servizio ecosistemico di sequestro e stoccaggio di carbonio e il consumo di suolo, in rapporto al contesto territoriale della Sardegna. La Regione è particolarmente interessante, nel quadro delle pianificazioni regionali, in quanto si caratterizza per una tradizione di rigoroso regime di regolamentazione degli usi del suolo, basato sui Piani territoriali paesistici del 1993 e sul più recente Piano paesaggistico regionale del 2006. La pianificazione paesaggistica individua, soprattutto nella fascia costiera, ampie porzioni di territorio nelle quali le trasformazioni sono strettamente limitate o completamente escluse. Inoltre, in attuazione del dispositivo normativo delle Direttive n. 92/43/CEE (“Direttiva Habitat”) e n. 2009/147/EC (“Direttiva “Uccelli”), è istituito, su tutto il territorio regionale, un sistema diffuso di aree protette, che costituisce la Rete Natura 2000 (N2K) della Sardegna.

La valutazione e la mappatura del servizio ecosistemico di sequestro e stoccaggio di carbonio definiscono una prospettiva di adattamento ai cambiamenti climatici e di mitigazione dei loro impatti. Il consumo di suolo si caratterizza come base produttiva di questo servizio ecosistemico. Gli aspetti metodologici relativi alla definizione delle tassonomie del *Normalized difference vegetation index* (NDVI), del sequestro di carbonio e del consumo di suolo, sono discussi nella seconda sezione. Nella terza sezione vengono presentati i risultati mentre, nella quarta, viene proposta una discussione relativa alle implicazioni riguardanti la pianificazione territoriale e gli sviluppi futuri della ricerca.

2. Approccio metodologico

Attraverso un modello di regressione lineare multipla, le cui variabili e le relative statistiche descrittive sono presentate nella Tab. 1, si stima la relazione che intercorre tra la capacità di stoccaggio di carbonio ed il processo di consumo di suolo nelle aree amministrative dei 377 comuni della Sardegna. Lo stoccaggio di carbonio è assunto come variabile dipendente, mentre il consumo di suolo e la variazione del consumo di suolo sono utilizzati come variabili esplicative. I dati considerati si riferiscono al 1990 e al 2018. Il numero di residenti e la superficie territoriale comunale sono inseriti nel modello come variabili di controllo per verificare, rispettivamente: la presenza di un indice di concentrazione per il quale, minore è il numero di residenti, maggiore è la capacità di sequestrare e stoccare carbonio (Zoppi e Lai, 2015, Sklenicka *et al.*, 2013); l’influenza dell’estensione del comune sulla capacità di stoccaggio di carbonio. La regressione stimata è la seguente:

Tab. 1 – Statistiche descrittive del modello di regressione

Variabile	Definizione	Unità	Media	Deviazione standard
C_SEQ	Capacità di stoccaggio di carbonio, stimata attraverso il NDVI, vedere sottosezione 2.1	Biossido di carbonio immagazzinato per ha di superficie comunale, Mg/ha	89,39	21,99
C_SUOLO	Misura del consumo di suolo (European Commission, 2018)	Rapporto percentuale del suolo consumato per km ² di superficie comunale, km ² /km ² , %	3,39	5,30
ΔC_SUOLO	Variazione del consumo di suolo (European Commission, 2018)	Rapporto percentuale della variazione del consumo di suolo nel periodo 2018-1990 per km ² di superficie comunale, km ² /km ² , %	1,01	1,30
RESID	Popolazione residente al 2016; Sito Internet “Comuni Italiani” (Comuni-Italiani.it, 2019)	Numero dei residenti	4.384,99	12.200,00
ML_AREA	Area amministrativa comunale (Regione Autonoma della Sardegna, 2020)	km ²	63,91	61,77

$$C_SEQ = \beta_0 + \beta_1 C_SUOLO + \beta_2 \Delta C_SUOLO + \beta_3 RESID + \beta_4 ML_AREA \quad (1)$$

dove:

C_SEQ è la capacità di stoccaggio di carbonio misurata in tonnellate di biossido di carbonio stoccato al 2018 per ettaro di superficie comunale;

C_SUOLO è il rapporto percentuale del suolo artificiale per km² di superficie comunale;

ΔC_SUOLO è il rapporto percentuale del consumo di suolo nel periodo 1990-2018 per km² di superficie comunale;

RESID è la popolazione residente nel comune al 2016;

ML_AREA, è l'estensione dell'area del comune al 2018.

La regressione lineare multipla è frequentemente utilizzata negli studi che coinvolgono numerose variabili legate alla ricerca spaziale, nel caso in cui non siano disponibili ipotesi a priori per quanto riguarda le relazioni tra queste variabili (Zoppi *et al.*, 2015; Sklenicka *et al.*, 2013; Stewart e Libby, 1998; Cheshire e Sheppard, 1995). Al fine di approssimare l'equazione incognita dell'iper-superficie che rappresenta, in uno spazio a n dimensioni, l'andamento di un fenomeno caratterizzato da n variabili corrispondenti alle n dimensioni dello spazio, si utilizza, punto per punto, l'equazione dell'iper-piano tangente alla iper-superficie che definisce, in un intorno di ogni punto della iper-superficie, una relazione lineare tra le variabili, quale approssimazione dell'equazione incognita della iper-superficie. In questo intorno, la relazione tra le n variabili è lineare e può essere stimata tramite una

regressione lineare multipla. Il modello (1) stima, dunque, l'equazione dell'iper-piano di cui cinque dimensioni sono le variabili del modello stesso (Wolman e Couper, 2003; Bera e Byron, 1983).

L'equazione incognita della iper-superficie indicata con C_SEQ nella formula seguente è espressa dalla funzione f:

$$C_SEQ = f(C_SUOLO, RESID, ML_AREA),$$

nello spazio a 4 dimensioni definito da C_SEQ, C_SUOLO, RESID e ML_AREA.

In ogni punto della superficie C_SEQ, identificato dalla quadrupla di valori C_SEQ*, C_SUOLO*, RESID* e ML_AREA*, esiste un iper-piano tangente avente equazione espressa dalla formula (1), che approssima la superficie C_SEQ in un intorno del punto C_SEQ*, C_SUOLO*, RESID* e ML_AREA*.

2.1 Sequestro e stoccaggio di carbonio

Diversi studi propongono la combinazione di dati relativi al biossido di carbonio e al NDVI per la caratterizzazione spaziale degli stock di carbonio (Sun *et al.*, 2019, Lee *et al.*, 2016; Rao *et al.*, 2013; Raciti *et al.*, 2014).

La fotosintesi netta è direttamente correlata alla quantità di radiazione, fotosinteticamente attiva, assorbita dalla vegetazione. Il NDVI è definito come il principale indicatore spaziale, ottenuto attraverso il telerilevamento satellitare, in grado di classificare la vegetazione in relazione al suo spettro di riflettanza. L'indice è calcolato attraverso la seguente relazione

$$NDVI = (NR - RD)/(NR + RD) \quad (2)$$

dove NR e RD sono, rispettivamente, la misura della riflettanza spettrale acquisita nel vicino infrarosso e nella regione visibile (rosso).

Con riferimento alla Sardegna, le immagini satellitari, riferite al luglio 2018, fanno rilevare valori dell'indicatore NDVI compresi nell'intervallo -0,60 – 0,96. In particolare: all'intervallo compreso tra -0,60 e -0,27 corrispondono suoli privi di vegetazione, rocce nude, aree costruite, corpi idrici; a quello tra -0,27 e 0,49 corrispondono suoli con vegetazione rada o con vegetazione poco densa; a quello tra 0,49 e 0,96 corrispondono suoli con vegetazione densa o foreste.

La definizione della distribuzione spaziale della capacità di stoccaggio di carbonio in ognuno dei tre intervalli di NDVI si basa sull'uso del modello "Carbon Storage and Sequestration" del software "InVEST". InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) è un programma ad accesso libero (BSD open source licence) sviluppato dal Natural Capital Project (NCP), i cui partner sono: il Woods Institute for the Environment ed il Department of Biology della Stanford University; l'Institute on the Environment della Minnesota University; il Nature Conservancy; il World Wildlife Fund (WWF). La documentazione relativa ad InVEST è disponibile online all'indirizzo <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/investusers-guide/html/index.html>.

La mappa raster della copertura del suolo è elaborata associando ai tre intervalli di NDVI tipi di copertura del suolo con caratteristiche simili; l'associazione si basa sulle conoscenze tecniche e sull'osservazione diretta del territorio.

Infine, la capacità di stoccaggio di carbonio di ciascun tipo di copertura del suolo, relativa alla necromassa ed al suolo, è identificata sulla base della banca-dati spaziale resa

disponibile nell'ambito del Progetto "Carta delle unità delle terre e di capacità d'uso dei suoli" (Regione Autonoma della Sardegna, 2014). I dati derivano, inoltre, dagli archivi storici degli enti che hanno curato il Progetto. Per la biomassa epigea si è fatto riferimento ai dati contenuti nell' "Inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi forestali di carbonio" (Comando unità per la tutela forestale, ambientale ed agroalimentare dell'Arma dei Carabinieri e Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA), 2017).

La Tab. 2 mostra le classi della copertura del suolo e la capacità di stoccaggio di carbonio considerando tre intervalli del NDVI.

Tab. 2 – Classe di copertura del suolo e capacità di stoccaggio di carbonio per ogni intervallo di NDVI

Intervallo NDVI	Classe di copertura del suolo	Capacità di stoccaggio di carbonio (Mg/ha)
-0,5979 – -0,2660	Suoli privi di vegetazione, rocce nude, aree costruite, corpi idrici	0,00
-0,2660 – 0,4885	Suoli con vegetazione rada, erba o con vegetazione poco densa	104,48
0,4885 – 0,9594	Suoli con vegetazione densa; foreste	117,45

2.2 Consumo di suolo

La tassonomia spaziale del consumo di suolo si basa sulla classificazione della copertura del suolo della CLC dell'European Environment Agency (European Environment Agency, 2013b; Zoppi e Lai, 2014). Le superfici non artificiali (primo livello della CLC) sono classificate in quattro classi: superfici agricole; territori boscati ed altri ambienti seminaturali; zone umide; corpi idrici. Il consumo di suolo è assunto come il passaggio da una copertura di suolo non artificiale, relativa ai dati del 1990, ad una copertura artificiale, in relazione ai dati del 2018.

3. Risultati

Gli esiti dell'applicazione della metodologia discussa nella precedente sezione sono presentati, nel seguito, con riferimento alla distribuzione spaziale del consumo di suolo e dello stoccaggio di carbonio, ed in relazione al modello di regressione.

Fig. 1 – Distribuzione spaziale del consumo di suolo

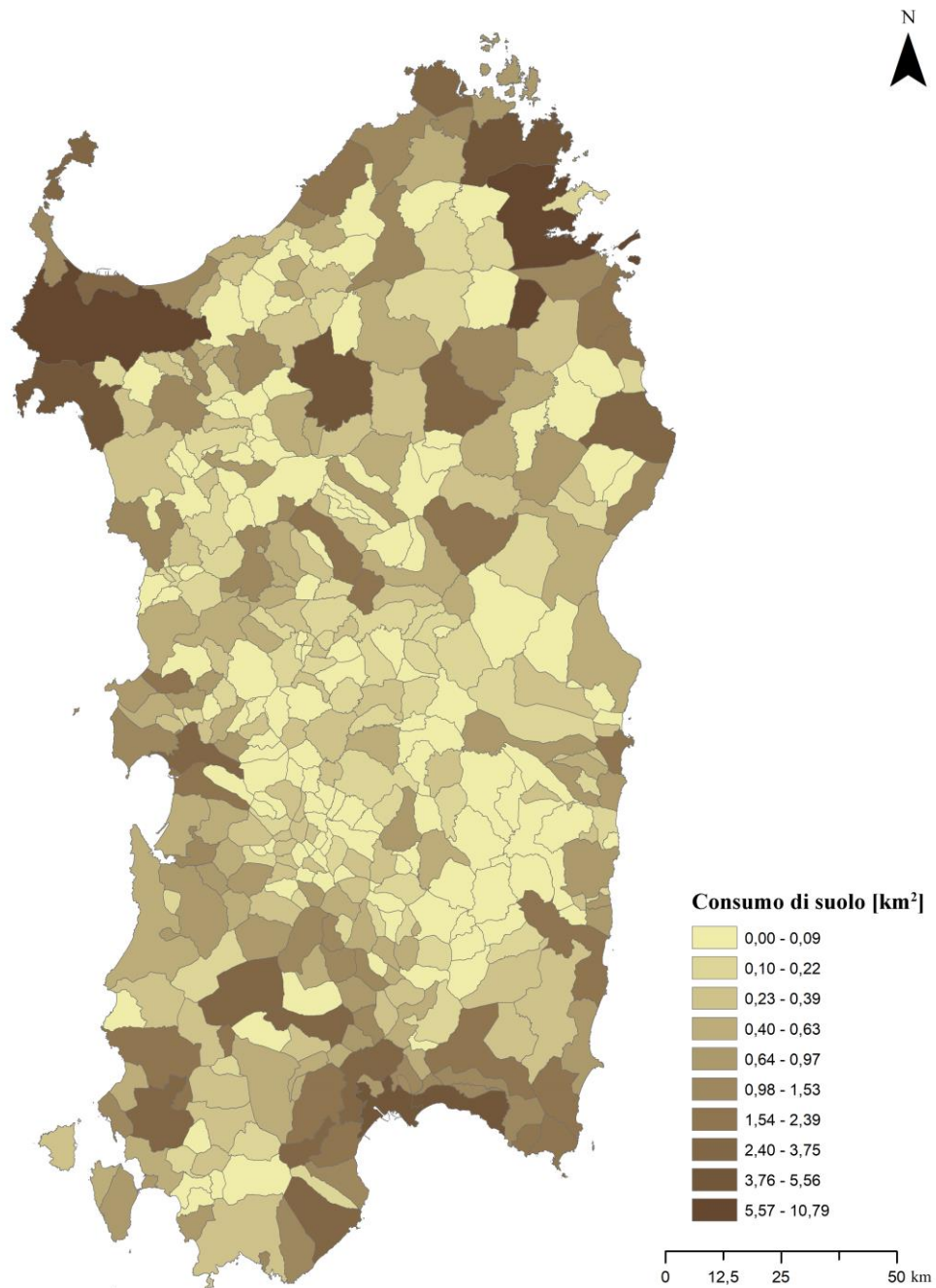
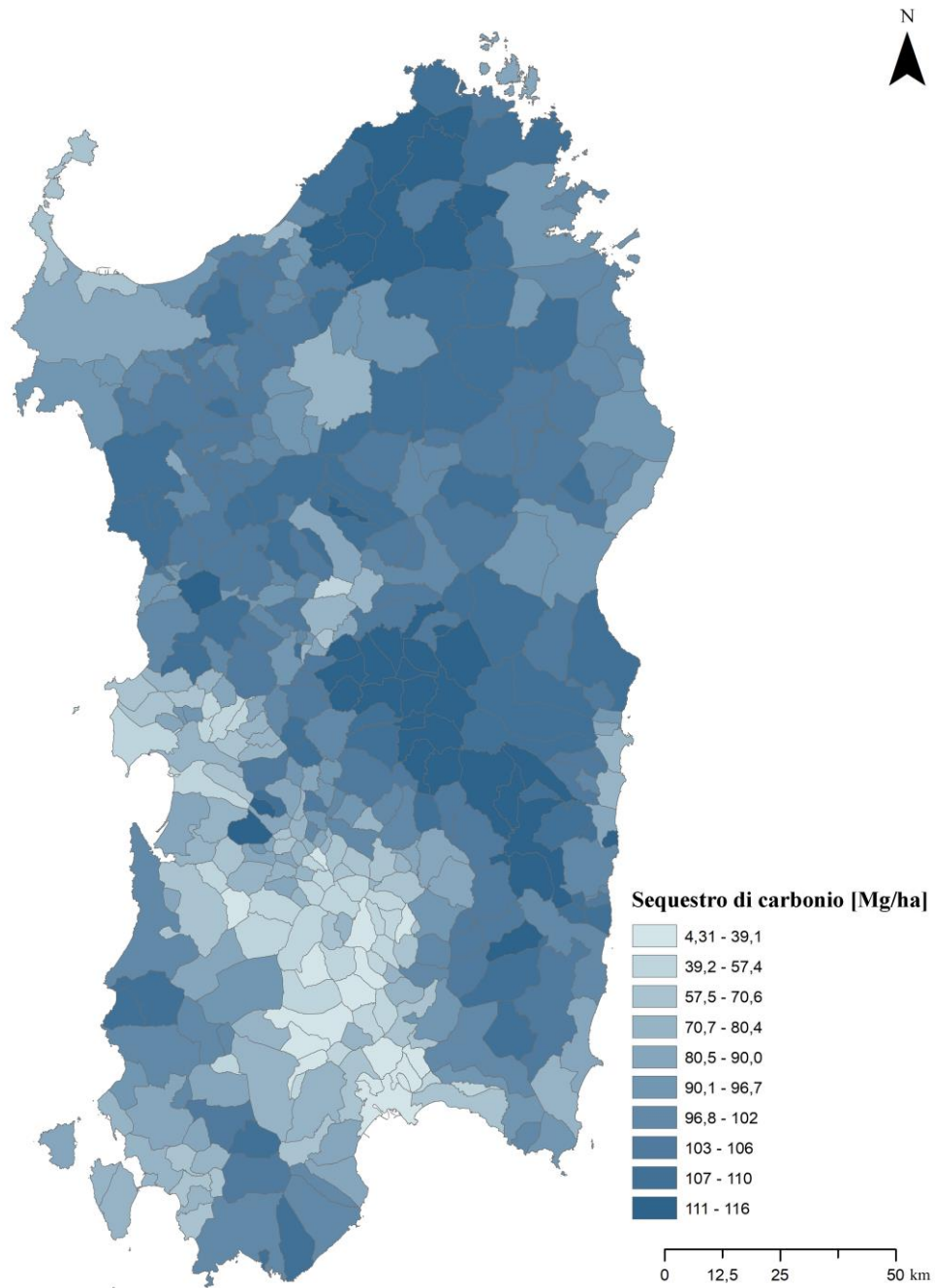


Fig. 2 – Distribuzione spaziale dello stoccaggio di carbonio



3.1 Distribuzione spaziale del consumo di suolo

Circa 215 km² del territorio regionale, tra il 1990 ed il 2018, sono passati da uno stato non artificiale a uno stato artificiale. Il fenomeno del consumo di suolo ha una distribuzione spaziale non omogenea e mostra valori più alti nelle aree maggiormente urbanizzate quali la Città Metropolitana di Cagliari (5,6 km²), le aree urbane di Olbia (9,4 km²) e Sassari (10,8 km²), e i comuni costieri (0,97 – 10,79 km²). Tuttavia, oltre il 33% dei comuni fa rilevare un aumento del consumo di suolo inferiore a 0,09 km², mentre meno del 18% mostra un aumento del consumo di suolo superiore a 0,98 km².

In particolare, i tessuti consolidati e altamente urbanizzati di Cagliari e Sassari rivelano valori di consumo di suolo rispettivamente del 2,5% e del 5%. Le due città rappresentano due differenti modelli di espansione urbana, uno riferibile al *land-sparing* e l'altro al *land-sharing* (Soga *et al.*, 2014). Cagliari, con una densità di 1.801 residenti/km² e una concentrazione rilevante di spazi verdi nel suo tessuto consolidato, rappresenta un modello di *land-sparing*. Sassari, con una densità di 234 residenti/km² e una bassa concentrazione di spazi verdi nel suo tessuto consolidato, rappresenta un modello di *land-sharing* (Lin e Fuller, 2013).

La densità delle aree verdi all'interno dei tessuti urbani compatti è positivamente correlata alla protezione della biodiversità ed alla fornitura di servizi ecosistemici. I processi pianificatori e decisionali, quindi, dovrebbero concentrarsi sulle politiche basate sulla limitazione del consumo di suolo (Soga *et al.*, 2014).

La questione centrale, nel caso di territori urbanizzati, è la ridotta naturalità indotta dai processi di antropizzazione, depauperamento e impermeabilizzazione dei suoli, causa principale del degrado e della perdita di valore ecologico delle aree urbane. Nonostante questo valore sia significativamente inferiore rispetto alle aree protette, l'elevata concentrazione di fruitori conferisce alle aree verdi urbane un'importanza rilevante (Gómez-Baggethun e Barton, 2013). La frammentazione, tipica di queste aree, genera un mosaico di coperture del suolo, impermeabili o semi-permeabili, che si alternano a coperture naturali o seminaturali, quali parchi urbani, ville storiche, zone di salvaguardia ed orti urbani. Queste coperture del suolo si configurano come costitutive dell'ecosistema urbano, contribuiscono al sequestro di carbonio e forniscono numerosi servizi quali la mitigazione delle isole di calore urbane e la disponibilità di spazi per le attività ricreative all'aperto (Mirabile *et al.*, 2015).

Tutto ciò pone in evidenza l'importanza della definizione e dell'attuazione di misure orientate alla limitazione del consumo di suolo nel quadro complessivo della pianificazione spaziale (Soga *et al.*, 2014). In questa prospettiva, la valorizzazione ed il potenziamento dei servizi ecosistemici rappresentano un'opportunità per la definizione di tassonomie del territorio urbano orientate alla sostenibilità ecologica, soprattutto con riferimento alle zone densamente urbanizzate. Questo orizzonte concettuale e tecnico, che considera il suolo come una risorsa finita e non rinnovabile, si fonda sul riconoscimento della rilevanza dei servizi ecosistemici offerti dal suolo nelle scelte di governo e gestione del territorio.

Nella Tab. 3 si riporta il confronto tra le città di Cagliari e Sassari in termini di *land-sparing* e *land-sharing*. La Fig. 1 mostra la tassonomia spaziale del consumo di suolo regionale.

Tab. 3 – Analisi delle superfici verdi all'interno del tessuto urbano compatto

Città	Superficie verde (km ²)	Tessuto compatto (km ²)	Percentuale della superficie verde all'interno del tessuto urbano compatto
Cagliari	2,8	54,7	4,9%
Sassari	0,5	15,7	2,8%

3.2 Distribuzione spaziale dello stoccaggio di carbonio

La distribuzione spaziale dello stoccaggio di carbonio fa rilevare valori compresi nell'intervallo 4,30-115,70 Mg/ha. Circa il 37% dei comuni analizzati ha una capacità di stoccaggio di carbonio inferiore a 90 Mg/ha. I comuni appartenenti alla Provincia del Sud Sardegna rivelano valori comparativamente inferiori al resto dell'Isola. Le municipalità situate lungo la linea sud ovest-nord est che collega Cagliari a Oristano si caratterizzano per una bassa capacità di stoccaggio di carbonio. Circa il 4% dei comuni, per lo più situati nelle aree centrali e settentrionali dell'Isola, mostrano valori compresi nell'intervallo 109,75-115,70 Mg/ha.

La Città Metropolitana di Cagliari, la cui amministrazione comprende diciassette comuni, mostra una bassa capacità di stoccaggio di carbonio, con una perdita di circa 10.700 Mg/ha rispetto alla condizione ottimale, causata dalla forte espansione urbana.

Questo risultato conferma che la capacità di stoccaggio di carbonio diminuisce con l'aumentare delle trasformazioni urbane (Sun *et al.*, 2019). Ancor più elevata è la perdita del servizio nei comuni costieri (circa il 35,5%) attribuibile ad un aumento del consumo di suolo compreso tra 0,96 e 10,80 km² e conseguenza della pressione turistica, che mette a rischio gli ambienti costieri e marini e l'offerta di servizi ecosistemici da essi generata (Zoppi e Lai, 2010). In particolare, circa il 38% dei comuni costieri mostra una capacità di stoccaggio di carbonio compresa tra 4,3 e 70,6 Mg/ha. Nella Fig. 2 si riporta la distribuzione spaziale dello stoccaggio di carbonio per ognuno dei 377 comuni della Regione Sardegna.

3.3 Modello di regressione

I risultati del modello di regressione sono coerenti con le aspettative sui segni dei coefficienti, le cui stime risultano significative in termini di *p-value*. Si consideri che i *p-value* risultano sempre inferiori al 2%. La Tab. 4 mostra i risultati della regressione.

Tab. 4 – Risultati del modello di regressione

Variabile esplicativa	Coefficiente	Deviazione standard	statistica t	p-value
C_SUOLO	-0,716	0,300	-2,395	0,0180
Δ C_SUOLO	-4,370	1,126	-3,879	0,0002
RESID	-0,0003	0,0001	-2,559	0,0110
ML_AREA	0,092	0,019	4,910	0,0001

Variabile dipendente: C_SEQ - Coefficiente di determinazione corretto: 0,289

La stima del coefficiente C_SUOLO implica che, a parità di condizioni, un aumento dell'1% del consumo di suolo comporta una diminuzione di circa 700 kg/ha di carbonio stoccato. Ciò implica che il consumo di suolo totale relativo a Cagliari, nel 2018, pari a circa il 40% del territorio comunale, ha determinato una perdita di circa tre milioni di tonnellate di carbonio stoccato.

Inoltre, le stime del modello di regressione rivelano che il consumo di suolo (Δ C_SUOLO) tra il 1990 e il 2018 ha un impatto negativo sullo stoccaggio di carbonio. Questo implica che il sequestro di carbonio diminuisce all'aumentare del consumo di suolo. Nel caso di Cagliari, ad un aumento del 6,5% del consumo di suolo corrisponde una perdita di circa 235.000 tonnellate di carbonio stoccato. Le due variabili di controllo, RESID e ML_AREA, rivelano una correlazione positiva e significativa. Si stima che un aumento di 20 residenti comporti una diminuzione di 5,6 kg/ha nello stoccaggio di carbonio. Questo significa che, a parità di condizioni, come conseguenza di un minor numero di residenti, Sassari (127.533 residenti) ha una capacità di circa 399.000 tonnellate maggiore rispetto a Cagliari (154.083 residenti). Infine, la stima positiva del coefficiente riferito all'area della superficie comunale (ML_AREA) rivela una correlazione positiva tra la capacità di stoccaggio di carbonio e l'area: si stima, infatti, che un aumento di 1 km² della superficie comunale è correlato ad un aumento di circa 90 kg/ha nel sequestro di carbonio.

I risultati del modello di regressione evidenziano una correlazione importante e significativa, a livello comunale, tra la capacità di stoccaggio di carbonio ed il consumo di suolo. Il NDVI risulta essere una *proxy* molto efficace per valutare la capacità di stoccaggio di carbonio, in quanto rappresenta un valido strumento per valutare la misura del carbonio sequestrato e immagazzinato, indipendente dal consumo di suolo. Questo consente di stimare il modello di regressione in termini stocastici. Inoltre, i coefficienti delle variabili che rappresentano i fattori assunti, tentativamente, come determinanti del sequestro di carbonio, risultano significativi e la *fitness* del modello è relativamente elevata, in quanto il coefficiente di determinazione corretto è pari a circa il 30%, come mostrato nella Tab. 4. La metodologia risulta, quindi, efficace per spiegare, in termini quantitativi, la relazione tra sequestro e stoccaggio di carbonio e consumo di suolo.

4. Considerazioni conclusive

Il servizio ecosistemico di sequestro e stoccaggio di carbonio è offerto da tutte le coperture naturali del suolo, con profili differenziati a seconda del tipo di copertura. I processi di consumo di suolo, indotti dall'urbanizzazione, generano significative perdite nella produzione di questo servizio ecosistemico ed in relazione agli impatti positivi, in termini di qualità della vita, ad esso connessi.

Lo studio pone in evidenza una serie di importanti implicazioni sulla relazione che intercorre tra la capacità di cattura e stoccaggio di carbonio ed il consumo di suolo. In primo luogo, le stime evidenziano una correlazione negativa e significativa tra la variazione temporale del consumo di suolo e la capacità di sequestro e stoccaggio di carbonio. Questo evidenzia come fenomeni quali lo *sprawl* urbano siano tra le cause più rilevanti dell'aumento del consumo di suolo (Stakura *et al.*, 2015).

In secondo luogo, la riduzione della capacità di sequestro e stoccaggio di carbonio come conseguenza del processo del consumo di suolo è significativa in termini quantitativi. Da questo punto di vista, i risultati fanno rilevare come la presenza e la dimensione delle aree protette, limitando l'espansione urbana e, quindi, il consumo di suolo (Hazeu *et al.*, 2009; Martínez-Fernández *et al.*, 2015), si configurino come importanti fattori per conservare, ed eventualmente migliorare, la capacità di sequestro di carbonio.

Questo risultato implica, altresì, che la capacità di sequestro di carbonio tende ad aumentare, a parità di condizioni, in relazione alla presenza ed alle dimensioni delle aree protette. In relazione a queste, va richiamato come un importante sistema di aree protette sia rappresentato dai siti della Rete Natura 2000 (SN2N), istituiti ai sensi delle Direttive "Habitat" (92/43/CEE) e "Uccelli" (2009/147/CE). Secondo la Direttiva Habitat, per tutti i piani ed i progetti, interni o esterni ai SN2N, per i quali si evidenzia la possibilità di impatti negativi su habitat e specie presenti, è prevista la "valutazione di incidenza". Il comma 3 dell'art. 6 della Direttiva Habitat stabilisce, infatti, che "Qualsiasi piano o progetto non direttamente connesso e necessario alla gestione del sito ma che possa avere incidenze significative su tale sito, singolarmente o congiuntamente ad altri piani e progetti, forma oggetto di una opportuna valutazione dell'incidenza che ha sul sito, tenendo conto degli obiettivi di conservazione del medesimo", e che "le autorità nazionali competenti danno il loro accordo su tale piano o progetto soltanto dopo aver avuto la certezza che esso non pregiudicherà l'integrità del sito in causa e, se del caso, previo parere dell'opinione pubblica". L'espansione, sul territorio regionale, dei SN2N costituirebbe, quindi, uno strumento importante per conservare e migliorare la capacità di sequestro e stoccaggio di carbonio e di mitigazione dei processi di aumento del consumo di suolo. Il fatto che il regime di protezione ambientale della Rete Natura 2000 non sia correlato ad altri regimi di salvaguardia ambientale non rende necessarie ulteriori politiche di restrizione. In effetti, l'istituzione di SN2N non implica che vi siano usi o trasformazioni territoriali proibiti in termini generali. Tuttavia, la semplice presenza di un SN2N comporta, per le pubbliche amministrazioni, i pianificatori e i professionisti, che le proposte pianificatorie e progettuali da questi avanzate siano assoggettate alla procedura amministrativa e tecnica della valutazione di incidenza, al termine della quale l'idoneità delle proposte sia subordinata alla dimostrazione che quanto pianificato o progettato non danneggi o non generi impatti negativi su habitat e specie. La presenza dei SN2N, secondo i risultati dello studio, riduce significativamente i processi di consumo di suolo, e, quindi, ha un impatto importante sulla capacità di sequestro e stoccaggio di carbonio.

Infine, un'importante implicazione riguarda le nuove proposte di sviluppo dei piani urbanistici comunali. Queste, così come avviene per piani e progetti ricadenti all'interno dei SN2N o aventi influenza su di essi, dovrebbero essere sottoposte ad una procedura analoga alla valutazione di incidenza, per verificarne gli impatti sugli usi del suolo e dimostrare come i processi di artificializzazione siano minimi e strettamente necessari, in rapporto al quadro strategico dei piani.

I tre punti sopra evidenziati hanno importanti conseguenze sulle politiche di pianificazione, sia a livello locale, che a livello regionale. Una prima conseguenza è che le politiche volte a ridurre il consumo di suolo e a preservare la capacità di sequestro di carbonio dovrebbero comprendere l'istituzione di nuove aree protette, oppure l'ampliamento di quelle esistenti. Entrambi i processi, complessi e lunghi, richiedono l'integrazione di diverse competenze tecniche ed amministrative e necessitano di una cooperazione efficace e continua che coinvolga le amministrazioni regionali e comunali. La cooperazione si rende necessaria poiché le autorità locali identificano gli obiettivi e definiscono le misure di conservazione relative ai SN2N, eventualmente nel contesto di un piano di gestione, e l'amministrazione regionale approva le misure e le porta all'attenzione dell'amministrazione statale.

L'approccio cooperativo e l'integrazione dei processi di pianificazione locale e regionale implicherebbero un importante miglioramento della qualità dell'urbanistica in Sardegna, attualmente caratterizzata da una significativa mancanza di coordinamento (Zoppi, Lai, 2010).

Una seconda conseguenza, in relazione ai processi di pianificazione pubblica, è da riconoscere nella rilevanza e nell'efficacia della cooperazione sistematica tra esperti di conservazione della natura, pianificatori e decisori, nel contesto della definizione e dell'approvazione dei piani territoriali, al fine di promuovere l'identificazione delle zone designate per l'istituzione di aree protette, e di definire politiche volte a limitare il consumo di suolo e a preservare la capacità di sequestro di carbonio (Leone, Zoppi, 2016).

In terzo luogo, si dovrebbe prestare particolare attenzione alla possibilità di proporre nuove aree protette nei processi di valutazione ambientale strategica dei piani urbanistici. Questi processi implicano l'inclusione di obiettivi relativi alla protezione delle risorse ambientali e l'integrazione del paradigma della sostenibilità nella definizione degli strumenti di piano (Zoppi, Lai, 2014).

Inoltre, poiché la presenza e la dimensione delle aree protette sono efficaci per limitare il consumo di suolo e sostengono la capacità di stoccaggio di carbonio, misure di conservazione coerenti con quelle adottate per le aree protette potrebbero essere efficacemente estese su aree situate al di fuori dei loro confini, per aumentare la capacità del territorio di rendere disponibile il servizio ecosistemico del sequestro e stoccaggio di carbonio. Quest'osservazione pone in evidenza quanto sia importante la disponibilità di mappe complete e dettagliate riguardanti la distribuzione spaziale delle risorse naturali.

D'altro canto, le tecniche e le tecnologie di *remote sensing* facilitano la comprensione dei fenomeni che influenzano specifici contesti ambientali, contribuendo in modo efficace all'elaborazione di diagnosi ambientali ed all'efficacia dei processi di pianificazione (Zullo *et al.*, 2016). La conoscenza della distribuzione spaziale del carbonio stoccato nei suoli e il riconoscimento del ruolo rilevante delle aree verdi in relazione alle politiche di adattamento ai cambiamenti climatici rivestono un'importanza strategica per l'elaborazione di strati informativi utili ad indirizzare le politiche della pianificazione territoriale in un'ottica di contenimento del consumo di suolo, quale bene comune e risorsa non rinnovabile.

Un quinto punto riguarda la necessità di un coordinamento complessivo delle misure di conservazione tra i piani delle municipalità confinanti. Da questo punto di vista, un ruolo fondamentale dovrebbe essere svolto dalle direzioni competenti in materia di pianificazione del territorio dell'amministrazione regionale, che coordina i piani locali in base alle disposizioni della normativa sarda in merito all'approvazione dei piani a scala regionale e locale.

Infine, un aspetto di particolare rilievo, riconosciuto e discusso in letteratura, è costituito dalla questione dei conflitti che l'imposizione delle misure di conservazione può generare in relazione agli usi del suolo legati alle culture produttive delle tradizioni locali, ad esempio all'agricoltura ed alle attività pastorali (Leone e Zoppi, 2016; Kovács *et al.*, 2015). Per questo, processi partecipativi inclusivi, orientati all'informazione ed alla costruzione del consenso, dovrebbero essere dettagliatamente definiti ed attuati prima che i piani, e le relative misure di conservazione, fossero discussi e approvati, perché la limitazione del consumo di suolo e la conservazione della capacità di sequestro di carbonio siano efficacemente perseguite.

L'approccio metodologico, proposto ed attuato in questo studio, considera come unità spaziali i comuni della Sardegna. Da questo punto di vista, in termini di futuri sviluppi della ricerca, sarebbe certamente importante indagare su quali sarebbero gli esiti dell'applicazione della metodologia qualora si considerassero unità spaziali diverse dai comuni, e legate a tassonomie territoriali più dettagliate, specialmente con riferimento alle conurbazioni più complesse, quali Cagliari e Sassari. La valutazione comparativa della relazione tra sequestro di carbonio e consumo di suolo, relativa a diverse aree identificate all'interno del tessuto dei principali agglomerati urbani della Sardegna, contribuirebbe a migliorare l'efficacia esplicativa del modello e la qualità delle sue implicazioni in termini di definizione ed attuazione di politiche per preservare e migliorare la capacità di sequestro di carbonio, e per limitare o prevenire i processi di consumo di suolo.

Finanziamenti

Questo articolo è elaborato nell'ambito del Programma di ricerca "Paesaggi rurali della Sardegna: pianificazione di infrastrutture verdi e blu e di reti territoriali complesse", finanziato dalla Regione Autonoma della Sardegna, per il periodo 2019-2021, nell'ambito del Bando per la presentazione di "Progetti di ricerca fondamentale o di base" dell'anno 2017, in corso di attuazione presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR) dell'Università di Cagliari.

Attribuzioni

Il contributo è frutto della ricerca comune dell'autrice e dell'autore, che hanno redatto congiuntamente la sezione introduttiva e quella conclusiva. Maddalena Floris ha curato le sezioni 2.1, 2.2, 3.1 e 3.2. Corrado Zoppi ha curato le sezioni 2. e 3.3.

Riferimenti bibliografici

- Arrhenius S. (1896), "On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground", *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 5th series, vol. 41, pp. 237-276.
- Bera A.K., Byron R.P. (1983), "Linearised estimation of nonlinear single equation functions", *International Economic Review*, vol. 24, pp. 237-248.

- Cheshire P., Sheppard S. (1995), "On the price of land and the value of amenities", *Economica*, vol. 62, pp. 247-267.
- Comando unità per la tutela forestale, ambientale ed agroalimentare dell'Arma dei Carabinieri e Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) (2017), *Inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi forestali di carbonio*, <https://www.sian.it/inventarioforestale/index.do>
- Comuni-Italiani.it (2019), *Elenco Comuni Provincia di Cagliari*, <http://www.comuni-italiani.it/092/lista.html>
- European Commission (2018), *Copernicus Database. Europe's Eyes on Earth*, <https://www.copernicus.eu/en/research/project-database>
- European Environment Agency (2012), *Climate change, impacts and vulnerability in europe 2012. Luxembourg: Publications Office of the European Union*, <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012/climate-change-impacts-and-vulnerability/view>
- European Environment Agency (2013a), *Land take*, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/land-take-2/>
- European Environment Agency (2013b), *CORINE Land Cover*, <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>
- Gómez-Baggethun E., Barton D.N. (2013), "Classifying and valuing ecosystem services for urban planning", *Ecological Economics*, vol. 86, pp. 235-245.
- Hazeu G.W., Múcher C.A., Swetnam R., Gerard F., Luque S., Pino J., Halada L. (2009), "Historic land cover changes at Natura 2000 sites and their associated land spaces across Europe", in Maktav D. (a cura di), *Remote Sensing for a Changing Europe - Proceedings of the 28th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories*. IOS Press, Istanbul, Turchia e Amsterdam, Olanda, pp. 226-231.
- Jobby E.G., Jackson R.B. (2000), "The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation", *Ecological Applications*, vol. 10, pp. 423-436.
- Kovács E., Kelemen K., Kalóczkai A., Margóczy K., Pataki G., Gébert J., Málóvics G., Balázs B., Roboz A., Krasznai Kovács E. and Mihók B. (2015), "Understanding the links between ecosystem service trade-offs and conflicts in protected areas", *Ecosystem Services*, vol. 12, pp. 117-127.
- Lee J.H., Ko Y., McPherson E.G. (2016), "The feasibility of remotely sensed data to estimate urban tree dimensions and biomass", *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 16, pp. 208-220.
- Lai S., Leone F., Zoppi C. (2017), "Land cover changes and environmental protection: A study based on transition matrices concerning Sardinia (Italy)", *Land Use Policy*, vol. 67, pp. 126-150.
- Leone F., Zoppi C. (2016), "Conservation measures and loss of ecosystem services: A study concerning the Sardinian Natura 2000 Network", *Sustainability*, vol. 8, articolo n. 1061, 15 pp.
- Martínez-Fernández J.M., Ruiz-Benito P., Zavala M.A. (2015), "Recent land cover changes in Spain across biogeographical regions and protection levels: Implications for conservation policies", *Land Use Policy*, vol. 44, pp. 62-75.
- Marucci A., Strollo A., Di Leginio M., Fumanti F., Marino D., Munafò M., Palmieri M., Sallustio L., Soraci, M., Marchetti M. (2016), "39. Stoccaggio e sequestro di carbonio", in: Munafò M. (a cura di), *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi*

- ecosistemici. Edizione 2016*, Rapporto n. 48/2016. ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale, Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), Roma, <https://www.isprambiente.gov.it/publicazioni/publicazioni-del-sistema-agenziale/resolveuid/bdbd99ea21ac4e8f9b97c9ba6c2df665>
- Mirabile M., Bianco, P.M., Silli V., Brini S., Chiesa A., Vitullo M., Ciccarese L., De Lauretis R., Gaudio D. (2015), *Linee guida di forestazione urbana sostenibile per Roma Capitale*, Manuali e Linee Guida n. 129/2015. ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale, Roma, <https://www.isprambiente.gov.it/publicazioni/manuali-e-linee-guida/resolveuid/46b9fceb06314e9baf197ee1736900e9>
- Munafò M. (a cura di) (2020), *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2020*, Report di Sistema SNPA 15 2020. ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale, Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), Roma, https://www.snambiente.it/wp-content/uploads/2020/07/Rapporto_consumo_di_suolo_2020.pdf
- Muñoz-Rojas M., Jordán A., Zavala L.M., González-Peñaloza F.A., De la Rosa D., Pino-Mejias R., Anaya-Romero M. (2013), "Modelling soil organic carbon stocks in global change scenarios: A CarboSOIL application", *Biogeosciences*, vol. 10, pp. 8253-8268.
- Raciti S.M., Hutyra L.R., Newell J.D. (2014), "Mapping carbon storage in urban trees with multi-source remote sensing data: Relationships between biomass, land use, and demographics in Boston neighborhoods", *Science of the Total Environment*, vol. 500-501, pp. 72-83.
- Rao P., Hutyra L.R., Raciti S.M., Finzi A.C. (2013), "Field and remotely sensed measures of soil and vegetation carbon and nitrogen across an urbanization gradient in the Boston metropolitan area", *Urban Ecosystems*, vol. 16, pp. 593-616.
- Regione Autonoma della Sardegna (2014), *Carta delle unità delle terre e di capacità d'uso dei suoli*, Progetto, finanziato dall'Assessorato Enti locali, Finanze e Urbanistica della Regione Autonoma della Sardegna, rilevamenti originali effettuati da Agris Sardegna per l'area Muravera-Castias, dall'Agenzia Laore Sardegna per l'area Arzana e Nurra sud, dall'Università di Cagliari per l'area Pula-Capoterra e dall'Università di Sassari per l'area Nurra nord e Nurra sud, <http://www.sardegnaoportale.it/index.php?xsl=2420&s=40&v=9&c=14481&es=6603&na=1&n=100&esp=1&tb=14401>
- Regione Autonoma della Sardegna (2020), *SardegnaGeoportale*, <http://www.sardegnaoportale.it/index.html>
- Sklenicka P., Molnarova K., Pixova K.C., Salek M.E. (2013), "Factors affecting farmlands in the Czech Republic", *Land Use Policy*, vol. 30, pp. 130-136.
- Soga M., Yamaura Y., Koike S., Gaston K.J. (2014), "Land sharing vs. land sparing: does the compact city reconcile urban development and biodiversity conservation?", *Journal of Applied Ecology*, vol. 51, pp. 1378-1386.
- Stachura J., Chuman T., Sefrna, L. (2015), "Development of soil consumption driven by urbanization and pattern of built-up areas in Prague periphery since the 19th century", *Soil and Water Resources*, vol. 10, pp. 252-261.
- Stewart P.A., Libby L.W. (1998), "Determinants of farmland value: The case of DeKalb County, Illinois", *Review of Agricultural Economics*, vol. 20, pp. 80-95.

- Sun Y., Xie S., Zhao S. (2019), "Valuing urban green spaces in mitigating climate change: A city-wide estimate of aboveground carbon stored in urban green spaces of China's Capital", *Global Change Biology*, vol. 25, pp. 1717-1732.
- Wolman A.L., Couper E. (2003), "Potential consequences of linear approximation in economics", *Federal Reserve Bank Economic Quarterly*, vol. 11, pp. 51-67.
- Yigini Y., Panagos P. (2016), "Assessment of soil organic carbon stocks under future climate and land cover changes", *Science of The Total Environment*, vol. 557-558, pp. 838-850.
- Zoppi C., Lai S. (2010), "Assessment of the Regional Landscape Plan of Sardinia (Italy): A participatory-action-research case study type", *Land Use Policy*, vol. 27, pp. 690-705.
- Zoppi C., Lai S. (2014), "Land-taking processes: An interpretive study concerning an Italian region", *Land Use Policy*, vol. 36, pp. 369-380.
- Zoppi C., Lai S. (2015), "Determinants of land take at the regional scale: A study concerning Sardinia (Italy)", *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 55, pp. 1-10.
- Zullo, F., Marucci, A., Fiorini, L., Ciabò, S., Romano, B. (2016), "New techniques for land surveying, monitoring and environmental diagnosis: A comparative analysis", Proceedings XIV International Forum of Studies "Le Vie dei Mercanti", *World Heritage and Degradation: Smart Design, Planning and Technologies*. Napoli e Capri, 16-18 Giugno 2016, http://www.leviedeimercanti.it/proceedings/proceedings_2016.pdf

Maddalena Floris

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura, Università di Cagliari
Via Marengo, 2 – I-09123 Cagliari (Italy)
Tel.: +39-070-6755213; fax: +39-070-6755215; email: maddalenafloris@gmail.com

Corrado Zoppi

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura, Università di Cagliari
Via Marengo, 2 – I-09123 Cagliari (Italy)
Tel.: +39-070-6755213; fax: +39-070-6755215; email: zoppi@unica.it

