

# BDC

Università degli Studi di Napoli Federico II

# 23

numero 2 | anno 2023



# BDC

Università degli Studi di Napoli Federico II

## 23

numero 2 | anno 2023

**Integrating Nature  
in the City to Face  
Climate Change**



# BDC

Università degli Studi di Napoli Federico II

Via Toledo, 402  
80 134 Napoli  
tel. + 39 081 2538659  
fax + 39 081 2538649  
e-mail [info.bdc@unina.it](mailto:info.bdc@unina.it)  
[www.bdc.unina.it](http://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, Italy

#### Co-editors in chief

**Maria Cerreta**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

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

#### Associate editors

**Francesca Nocca**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**Giuliano Poli**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

#### Editorial board

**Antonio Acierno**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**Luigi Biggiero**, Department of Civil, Building and Environmental Engineering, University of Naples Federico II, Italy

**Mario Coletta**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**Teresa Colletta**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**Grazia Concilio**, Department of Architecture and Urban Studies, Politecnico di Milano, Italy

**Ileana Corbi**, Department of Civil, Building and Environmental Engineering, University of Naples Federico II, Italy

**Angela D'Agostino**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**Gianluigi de Martino**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**Stefania De Medici**, Department of Civil Engineering and Architecture, University of Catania, Italy

**Gabriella Esposito De Vita**, Institute for Research on Innovation and Services for Development, CNR, Naples, Italy

**Antonella Falotico**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**Francesco Forte**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**Rosa Anna Genovese**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**Eleonora Giovane di Girasole**, Institute for Research on Innovation and Services for Development, CNR, Naples, Italy

**Fabrizio Mangoni di Santo Stefano**, Department of Architecture, University of Naples, Federico II, Italy

**Lilia Pagano**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**Luca Pagano**, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of Naples Federico II, Italy

**Salvatore Sessa**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**Carmelo Maria Torre**, Department of Civil, Environmental, Land, Building Engineering and Chemistry, Politecnico di Bari, Italy

#### Editorial staff

**Mariarosaria Angrisano, Martina Bosone, Francesca Buglione, Paola Galante, Antonia Gravagnuolo, Silvia Iodice, Chiara Mazzarella,**

**Ludovica La Rocca, Stefania Regalbuto**  
Interdepartmental Research Centre in Urban Planning  
Alberto Calza Bini, University of Naples Federico II, Italy

#### Scientific committee

**Massimo Clemente**, Institute for Research on Innovation and Services for Development, CNR, Naples, Italy

**Robert Costanza**, Faculty of the Built Environment, Institute for Global Prosperity, UCL, London, United Kingdom

**Rocco Curto**, Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino, Italy

**Sasa Dobricic**, University of Nova Gorica, Slovenia

**Anna Domaradzka**, University of Warsaw, Poland

**Adriano Giannola**, Department of Economics, Management and Institutions, University of Naples Federico II, Italy

**Xavier Greffe**, École d'économie de la Sorbonne, Paris, France

**Christer Gustafsson**, Department of Art History, Conservation, Uppsala University, Visby, Sweden

**Karima Kourtit**, Department of Spatial Economics, Free University Amsterdam, The Netherlands

**Mario Losasso**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**Enrico Marone**, Research Centre for Appraisal and Land Economics (Ce.S.E.T.), Florence, Italy

**Giuseppe Munda**, European Commission, Joint Research Centre, Ispra, Varese, Italy

**Peter Nijkamp**, Department of Spatial Economics, Free University Amsterdam, The Netherlands

**Christian Ost**, ICHEC Brussels Management School, Belgium

**Ana Pereira Roders**, Department of Architectural Engineering and Technology, Delft University of Technology, The Netherlands

**Joe Ravetz**, School of Environment, Education and Development, University of Manchester, United Kingdom

**Hilde Remoy**, Department of Management in the Built Environment, Delft University of Technology, The Netherlands

**Michelangelo Russo**, Department of Architecture, University of Naples Federico II, Italy

**David Throsby**, Department of Economics, Macquarie University, Sydney, Australia

**Marilena Vecco**, Burgundy School of Business, Université Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France

**Joanna Williams**, Faculty of the Built Environment, The Bartlett School of Planning, UCL, London, United Kingdom

**Milan Zeleny**, Fordham University, New York City, United States of America



---

## Indice/Index

- 225 **Editorial**  
*Editoriale*  
Luigi Fusco Girard
- 231 **Rigenerazioni circolari per un metabolismo urbano sostenibile: estensione del ciclo di vita dei rifiuti da costruzione e demolizione**  
*Circular regenerations for a sustainable urban metabolism: extending the lifespan of Construction and Demolition Waste*  
Federica Paragliola
- 245 **Ripensare gli spazi pubblici attraverso la rigenerazione del waterfront**  
*Rethinking public spaces through waterfront regeneration*  
Laura Casanova, Francesco Rotondo
- 265 **The reuse of urban voids as the infrastructure of collective use spaces**  
*Il riuso dei vuoti urbani come infrastruttura degli spazi di uso collettivo*  
Francesca Ciampa
- 283 **Abitare frontiere urbane: una nuova strategia urbana per Napoli Porta Est**  
*Inhabiting urban boundaries: a new urban strategy for Napoli Porta Est*  
Marianna Ascolese, Alberto Calderoni
- 301 **Dall'emergenza alla transizione. Strategie e progetti per riabitare i "luoghi comuni"**  
*From emergency to transition. Strategies and designs to re-inhabit 'common places'*  
Anna Attademo, Maria Gabriella Errico, Orfina Fatigato
- 317 **Tangible and intangible multiple risks: achieving resilience by enhancing cultural heritage**  
*Rischi multipli tangibili ed intangibili: ottenere la resilienza valorizzando il patrimonio culturale*  
Marichela Sepe
- 331 **Green blue Youth Vision 2030: nuove comunità culturali creative e sostenibili**  
*Green blue Youth Vision 2030: new cultural creative and sustainable communities*  
Gaia Daldanise, Martina Bosone, Domenico Vito
- 351 **Architettura delle infrastrutture e identità portuali. Il caso studio della nuova stazione marittima di levante a Napoli**  
*The architecture of infrastructures and maritime identities. The case-study of the new eastern maritime station in Naples*  
Lilia Pagano, Paola Galante
- 371 **Implementazione di un framework metodologico con strumenti ICT per la gestione sostenibile degli spazi aperti urbani in risposta alle ondate di calore**  
*Implementation of a methodological framework with ICT tools for the sustainable management of urban open spaces in response to heat waves*  
Eduardo Bassolino, Sara Verde

- 
- 399 **Climate adaptation and Water Sensitive Urban Design: the case study of a university campus in the city of L'Aquila**  
*Adattamento climatico e Water Sensitive Urban Design: il caso studio di un polo universitario nella città di L'Aquila*  
Camilla Sette
- 421 **Esperimenti per la governance climatica locale. Il Laboratorio Azione Clima di Napoli**  
*Experiments for local climate governance. The Climate Action Lab of Naples*  
Maria Federica Palestino, Cristina Visconti, Marilena Prisco
- 439 **Un'infrastruttura verde nel contesto regionale della Sardegna: uno studio sul miglioramento delle funzioni territoriali e della connettività**  
*A green infrastructure in the Sardinian regional context: a study on the enhancement of spatial functions and connectivity*  
Federica Isola, Sabrina Lai, Federica Leone, Corrado Zoppi



fedOAPress

## Integrating Nature in the City to Face Climate Change

Journal home page [www.bdc.unina.it](http://www.bdc.unina.it)



### Un'infrastruttura verde nel contesto regionale della Sardegna: uno studio sul miglioramento delle funzioni territoriali e della connettività

*A green infrastructure in the Sardinian regional context: a study on the enhancement of spatial functions and connectivity*

Federica Isola<sup>a</sup>, Sabrina Lai<sup>a,\*</sup>, Federica Leone<sup>a</sup>, Corrado Zoppi<sup>a</sup>

#### AUTHORS & ARTICLE INFO

<sup>a</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, and Architecture, University of Cagliari, Italy

\* Corresponding author  
email: [sabrinalai@unica.it](mailto:sabrinalai@unica.it)

#### ABSTRACT AND KEYWORDS

##### **A green infrastructure in the Sardinian regional context**

Several studies available in the current literature identify green infrastructures as suppliers of a wide body of ecosystem services, mainly with reference to city environments, and connectivity-related functions as the most effective features of ecological corridors as regards reduction of landscape fragmentation and mitigation of negative impacts thereof. In this theoretical and technical context, a limited number of research works relate green infrastructure and ecological corridors to the definition and implementation of spatial policies and planning measures. The objective of this study, that takes Sardinia as a case study, is to provide a methodology to ground this relation by combining the appraisal of a set of ecosystem services with the identification of an ecological corridor network based on the concept of resistance to spatial flows of species. A regression is estimated to analyze such connections whose results target three ecosystem services as the most effective in driving spatial flows of species, which planning policies should be focused on. These are climate regulation at the local scale, forest and woodland services, and assets related to culture, social identity and historical heritage.

**Keywords:** ecological corridors, ecosystem services, environmental planning, green infrastructure, Sardinia, spatial planning

##### **Un'infrastruttura verde nel contesto regionale della Sardegna**

Molti studi recenti sono incentrati sulle infrastrutture verdi come generatrici dell'offerta di una vasta gamma di servizi ecosistemici, soprattutto con riferimento agli ambienti urbani, e sui corridoi ecologici quali strutture di connessione che limitano la frammentazione del paesaggio. Tuttavia, non sono molti i lavori di ricerca che hanno preso in esame l'integrazione delle due categorie concettuali nella prospettiva della definizione e dell'attuazione di politiche ed operazioni di piano su di esse fondate. Utilizzando il territorio della Sardegna come caso di studio, si propone un approccio metodologico che combina le due categorie concettuali, basato sul riconoscimento di un'infrastruttura verde regionale legata all'offerta di molteplici servizi ecosistemici e su una rete di corridoi ecologici, identificata in relazione alla mappatura della resistenza al movimento delle specie. La stima di una regressione multipla dà modo di identificare queste correlazioni, che si evidenziano, in particolare, con riferimento a tre servizi ecosistemici su cui devono focalizzarsi le politiche e le operazioni della pianificazione spaziale: la regolazione del microclima nei contesti locali, i benefici offerti da foreste ed aree boscate ed i servizi legati all'identità culturale ed al patrimonio storico e naturalistico.

**Parole chiave:** corridoi ecologici, infrastrutture verdi, pianificazione ambientale, pianificazione del territorio, Sardegna, servizi ecosistemici

Copyright (c) 2023 BDC



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

## 1. Introduzione

Multifunzionalità e connettività sono due temi comuni e ricorrenti nelle diverse definizioni di infrastruttura verde (IV) (Lennon & Scott, 2014; Lique et al., 2015). La Commissione europea (2013), da una decina d'anni, promuove le IV come reti di aree verdi che, nel contempo, si configurano come multifunzionali, in quanto espletano diverse funzioni che si traducono nella produzione di beni e servizi, e si caratterizzano per un'elevata connettività, poiché i loro elementi, la cui dimensione varia in un'ampia gamma dimensionale, sono legati come parti di un unico sistema, che come tale può essere pianificato e gestito, costituito da aree verdi naturali, seminaturali e artificiali.

Nel contesto scientifico e tecnico della pianificazione spaziale, e nella relativa letteratura (Benedict & McMahon, 2002; Maes et al., 2015; Tzoulas et al., 2007), le infrastrutture verdi sono considerate come strumenti per perseguire, in maniera contestuale ed integrata, molteplici obiettivi concernenti le politiche del territorio. Questo comporta che i processi di piano si focalizzino su un ampio spettro di finalità, soprattutto in relazione agli insediamenti urbani (Madureira & Andresen, 2014), in cui la salvaguardia ambientale è spesso in contrasto con gli obiettivi di natura economica e sociale concernenti lo sviluppo locale. Le finalità di protezione dell'ambiente sono indirizzate dalle IV attraverso molteplici funzioni, che consistono nell'offerta di numerosi servizi ecosistemici (SE) (Selman, 2009), ancorché l'ambiguità semantica del termine "funzione", che assume diversi significati nei lessici dei SE e delle IV, conduca ad una certa confusione teorica e tecnica (Hansen et al., 2019).

Una caratteristica tipica delle IV è, dunque, la multifunzionalità, che qui si considera come la capacità di un contesto spaziale di offrire, tramite il funzionamento efficace degli ecosistemi che lo connotano, un sistema di effetti positivi sulla qualità della vita il cui impatto è percepito dalle comunità locali, effetti che vengono identificati come servizi ecosistemici (Hansen & Pauleit, 2014; Wang et al., 2021a). Questa caratterizzazione delle IV in senso multifunzionale contrasta con l'approccio monofunzionale alla pianificazione ed alla progettazione delle IV che si riscontra, spesso, nei contesti locali e, soprattutto, nei microambiti urbani (Meerow, 2020; Meerow & Newell, 2017): sono significativi, in quest'ottica, le opere per la regolazione degli eventi di piena o delle isole di calore. In questi casi, l'efficacia delle IV in termini di miglioramento della sostenibilità, della resilienza e della qualità della vita degli ambiti territoriali in cui vengono realizzate, dipende, in maniera decisiva, da quanto il riconoscimento delle molteplici funzioni da esse offerte sia integrato, quale riferimento fondamentale, nella pianificazione, nella progettazione e nella gestione. Questo comporta la necessità che l'approccio ecosistemico sia applicato operativamente nella pianificazione spaziale, sovente caratterizzata da processi basati su metodologie tradizionali orientate alla monofunzionalità, i cui esiti portano, ad esempio, alla classificazione del territorio urbano in zone territoriali omogenee ed alla rigida separazione degli usi dei suoli (Lennon & Scott, 2014; Selman, 2009).

La seconda caratteristica rilevante delle IV, la connettività, è legata alla categoria concettuale di corridoio ecologico (CE). Le IV, infatti, si possono considerare come sistemi spaziali di aree di riferimento, o nodi (ad esempio, le aree più rilevanti per l'offerta di servizi ecosistemici), interconnessi da elementi lineari, o rami, i CE, attraverso i quali avvengono i movimenti delle specie e gli scambi biologici spontanei tra le aree di riferimento. L'efficacia dei CE nell'accrescere la capacità operativa delle IV è basata sulla diminuzione degli effetti sui flussi biologici e delle specie generati dalle attività produttive forestali ed agricole, dall'urbanizzazione e

dalle infrastrutture ad essa connesse, dalle emissioni inquinanti in atmosfera e nelle acque, che tendono a neutralizzare la funzionalità dei CE e, quindi, delle IV (D'Ambrogi et al., 2015).

Si individuano, inoltre, alcuni elementi del contesto paesaggistico in grado di impedire la funzione di sostegno dei CE in relazione a movimenti di specie e scambi biologici attraverso le IV. I più rilevanti, in questo senso, sono gli ostacoli di natura fisica, come muri di recinzione, strade, ferrovie ed infrastrutture lineari in genere. Sono, inoltre, da segnalare come fattori di ostacolo al buon funzionamento dei CE l'assenza o la sottodotazione di aree in cui le specie in movimento trovino nutrimento e habitat idonei (Battisti, 2004; D'Ambrogi et al., 2015; D'Ambrogi & Nazzini, 2013). L'assenza di ostacoli fisici di varia natura è, pertanto, un requisito fondamentale perché una IV funzioni in maniera efficace, e di conseguenza, assicuri un'adeguata connettività tra le aree di riferimento, attraverso i CE, in termini di flussi di specie e di scambi biologici (Baudry & Merriam, 1988).

Secondo la Commissione europea, una IV si identifica come una rete spaziale che offre un insieme di SE, in quanto una IV è “[U]na rete di aree naturali e seminaturali pianificata a livello strategico con altri elementi ambientali, progettata e gestita in maniera da fornire un ampio spettro di servizi ecosistemici. Ne fanno parte gli spazi verdi (o blu, nel caso degli ecosistemi acquatici) e altri elementi fisici in aree sulla terraferma (incluse le aree costiere) e marine. Sulla terraferma, le infrastrutture verdi sono presenti in un contesto rurale e urbano” (Commissione europea, 2013, p. 3), e, “Grazie all'operato degli ultimi 25 anni nell'istituzione e consolidamento della rete, la struttura portante delle infrastrutture verdi dell'UE è già una realtà. La rete comprende una riserva di biodiversità da cui si può attingere per ripopolare e rivitalizzare ambienti che versano in condizioni di degrado e che può catalizzare lo sviluppo delle infrastrutture verdi. Ciò contribuirà, inoltre, a ridurre la frammentazione dell'ecosistema, potenziando la connettività tra siti nella rete di Natura 2000 e raggiungendo così gli obiettivi dell'articolo 10 della direttiva Habitat” (Commissione europea, 2013, p. 8). Tutto ciò implica che le politiche di piano finalizzate all'accrescimento ed al miglioramento dei servizi forniti dalla natura e dalle risorse naturali dovrebbero dare priorità all'obiettivo generale di rafforzare il sistema spaziale delle IV, quali serbatoi di un'ampia e differenziata offerta di SE, e, quindi, salvaguardarne le caratteristiche ambientali (Liquete et al., 2015).

La definizione della Commissione europea comporta, in termini operativi, che le IV debbano essere considerate, e, di conseguenza, trattate, come dispositivi spaziali efficaci per la protezione e l'accrescimento della biodiversità, il miglioramento delle condizioni di continuità degli ecosistemi, e l'aumento dell'offerta di SE (Directorate - General Environment, 2012). La definizione implica, inoltre, che l'aumento dell'offerta di SE e la protezione e l'accrescimento della biodiversità devono essere identificati quali obiettivi prioritari con riferimento alla gestione ambientale per lo sviluppo delle IV (Commissione europea, 2013; European Environment Agency, 2014).

In questo studio, si considerano le IV come sistemi spaziali che offrono SE e come reti di aree di riferimento interconnesse dai CE, e si propone un contributo al dibattito accademico in corso sulle relazioni tra l'offerta di SE e la connettività delle reti delle IV (Correa Ayram et al., 2016; Mitchell et al., 2013), non solo attraverso l'analisi quantitativa di queste relazioni, ma, anche, mediante l'identificazione di raccomandazioni per la definizione di politiche di piano basate su quanto si evince dai risultati di quest'analisi, e, quindi, tali da rafforzarne l'efficacia operativa. La seconda sezione contiene alcune informazioni essenziali sull'area di studio, e presenta gli approcci metodologici utilizzati per mappare l'IV regionale (IVR),

basati sull'idoneità degli elementi areali, rappresentati nelle mappature come poligoni elementari, del territorio regionale ad offrire molteplici SE e, allo stesso tempo, a far parte dei CE dell'IVR. La sezione successiva riporta i risultati dei modelli applicati all'area di studio: la sovrapposizione della configurazione spaziale dei CE alla mappa dell'offerta di SE viene interpretata, tramite la stima di una regressione lineare multipla, in termini di correlazioni tra l'idoneità degli elementi areali a far parte dei CE e la loro capacità di offrire SE. La sezione successiva discute, nel contesto della letteratura corrente, alcuni esiti della stima della regressione, che si riferiscono specificamente all'idoneità degli elementi areali a far parte dei CE dell'IVR. La quinta sezione propone alcune raccomandazioni, rivolte a professionisti e tecnici delle pubbliche amministrazioni, ed ai decisori politici, concernenti il miglioramento delle caratteristiche ambientali delle IVR in relazione all'accrescimento dell'offerta di SE. Nella sezione conclusiva, vengono discusse l'esportabilità delle metodologie definite ed applicate nel caso sardo ad altri contesti regionali italiani ed europei, ed alcuni possibili e promettenti prospettive per lo sviluppo futuro della ricerca.

## 2. Materiali e metodologie

### 2.1 Area di studio

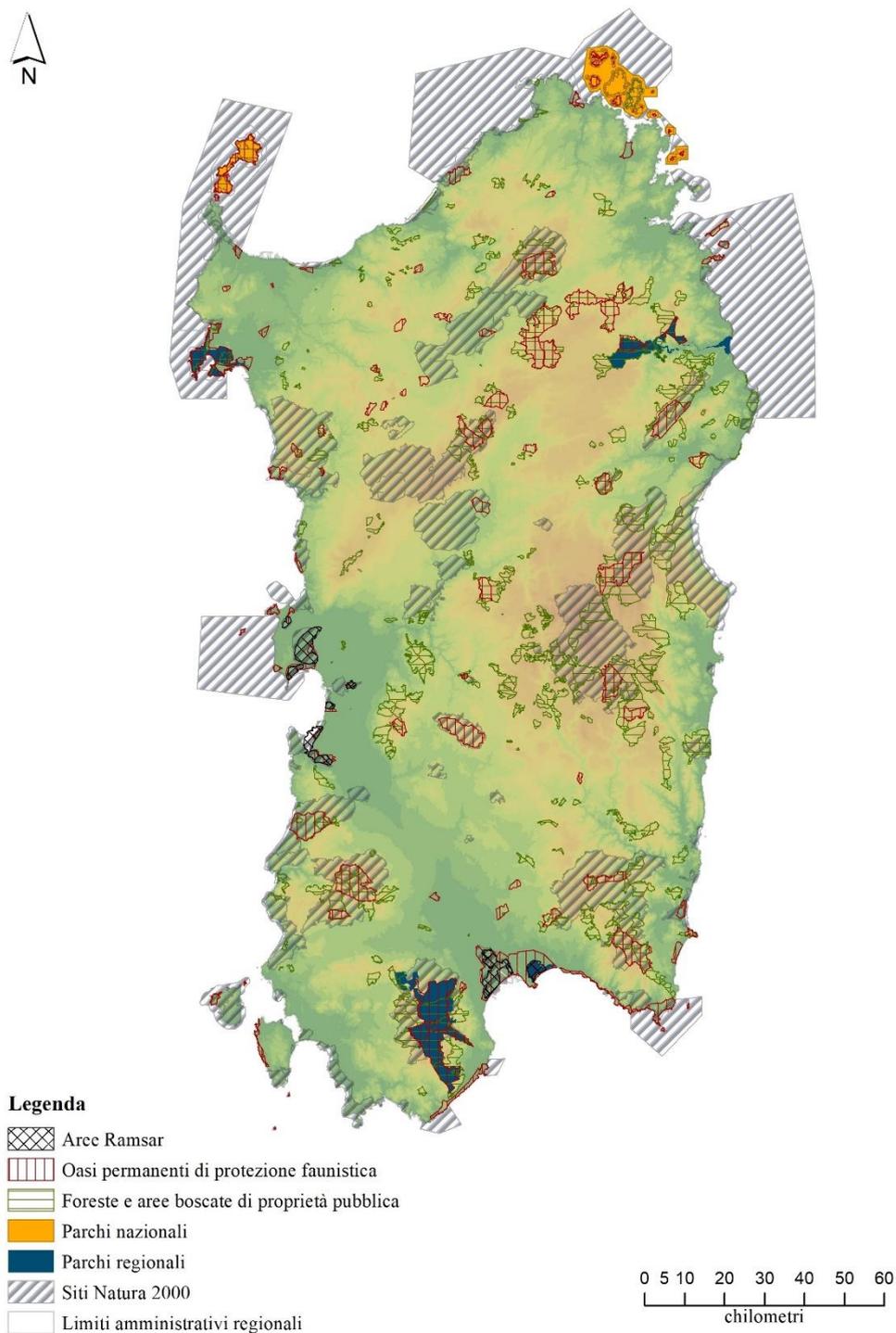
La Sardegna è una grande isola localizzata nel Mediterraneo centro-occidentale, e presenta una superficie di circa 24.000 chilometri quadrati, una lunghezza della linea di costa di circa 1.850 chilometri ed una popolazione di circa 1,6 milioni di abitanti; dal punto di vista amministrativo, è una Regione autonoma a statuto speciale, nell'ambito dello Stato italiano. Il suo carattere insulare fa sì che le metodologie proposte in questo studio siano utilizzabili in maniera agevole e diretta in quanto consente di evitare le problematiche legate alla stima degli effetti di bordo. Si tratta, quindi, di un contesto spaziale ideale per l'identificazione della IVR e l'analisi delle sue caratteristiche, in relazione sia all'offerta di SE, sia al riconoscimento dei CE.

La struttura spaziale della IVR è costituita da una rete strutturata da nodi, quali aree di riferimento caratterizzate da una significativa e differenziata offerta di SE, e da rami, cioè i CE, quali elementi lineari che favoriscono, in maniera efficace, i movimenti delle specie e gli scambi biologici spontanei tra le aree di riferimento. I nodi della rete sono identificati con il sistema delle aree naturali protette (ANP), riconosciute come tali in base a provvedimenti di legge nazionali o regionali, con riferimento alle caratteristiche naturalistiche che le connotano. Le tipologie di ANP sono individuate nelle seguenti (Lai et al., 2017), e mappate nella Figura 1:

- i quattro parchi naturali regionali istituiti in attuazione della Legge regionale n. 31/1989;
- le aree forestali gestite dall'Agenzia Forestale Regionale per lo Sviluppo del Territorio e dell'Ambiente della Sardegna (FoReSTAS) e le "oasi permanenti di protezione faunistica", istituite dalla legge regionale n. 23/1998, le cui mappe sono disponibili sul geoportale della Regione Autonoma della Sardegna<sup>1</sup>;
- le zone umide d'importanza internazionale ai sensi e per gli effetti della "Convenzione relativa alle zone umide d'importanza internazionale, soprattutto come habitat degli uccelli acquatici", firmata a Ramsar il 2 febbraio 1971; questi siti sono stati istituiti a partire dal 1977;
- i siti della Rete Natura 2000, classificati in due categorie: i "Siti di interesse comunitario" (SIC) e le "Zone speciali di conservazione" (ZSC), la cui designazione è in attuazione della Direttiva Habitat<sup>2</sup>; le "Zone di protezione

speciale” (ZPS), designate in attuazione della Direttiva Uccelli<sup>3</sup>; in Sardegna sono istituiti 97 SIC, 31 ZPS e 10 siti designati sia come SIC che come ZPS; dei 97 SIC, 84 hanno assunto lo status di ZSC<sup>4</sup>.

**Figura 1. Mappa delle tipologie delle aree naturali protette**



Fonte: Elaborazione degli autori, 2023.

## 2.2 Dati

Sono stati selezionati sette SE per analizzare, in termini spaziali, la multifunzionalità della IVR, cioè la capacità di rendere disponibili simultaneamente una molteplicità di SE. La scelta dei SE, per ciascuno dei quali la Tabella 1 fornisce sinteticamente

le informazioni sui relativi modelli e dati di ingresso utilizzati per la valutazione, si è basata sul criterio di prendere in considerazione almeno un SE per ognuna delle tre sezioni della Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)<sup>5</sup>, come segue:

1. sezione “SE per la regolazione e la conservazione”, divisione “Regolazione delle condizioni fisiche, chimiche e biologiche”:
  - preservare i livelli della qualità degli habitat idonei a sostenere i cicli vitali delle piante e degli animali selvatici utili agli esseri umani (HAB\_Q), nell’ambito della classe “Conservazione delle popolazioni in fase di crescita e degli habitat (compresa la protezione del patrimonio genetico)”, gruppo “Conservazione dei cicli di vita, protezione degli habitat e del patrimonio genetico”;
  - regolazione del microclima e del clima in ambito regionale attraverso la mitigazione della temperatura al suolo (LAND\_ST), nell’ambito della classe “Regolazione della temperatura e dell’umidità dell’aria, compresa la ventilazione e la traspirazione”, gruppo “Composizione e condizioni atmosferiche”;
  - cattura e stoccaggio di carbonio nel suolo e nella vegetazione (CO2\_SS), nell’ambito della classe “regolazione della composizione chimica dell’atmosfera e degli oceani”, gruppo “Composizione e condizioni atmosferiche”;
2. sezione “SE per la produzione”, divisione “Biomassa”:
  - valore delle aree agricole e forestali, preso come riferimento indicativo della produzione agricola e forestale (AGFO\_W), nell’ambito delle classi “Piante terrestri (inclusi funghi ed alghe) coltivate per scopi di produzione di cibo”, “Fibre ed altri materiali ottenuti da piante coltivate, funghi, alghe e batteri per uso diretto o utilizzati in processi produttivi (esclusi i materiali genetici)”, “Piante (inclusi funghi ed alghe) coltivate per produrre energia”, gruppo “Piante coltivate terrestri per scopi di produzione di cibo, materiali o energia”;
3. sezione “SE culturali”:
  - specie o habitat minacciati ed aree rilevanti in termini di conservazione (CONS\_V), nell’ambito della classe “Caratteristiche o proprietà dei sistemi viventi che hanno valore di esistenza, di opzione o di fruizione per le generazioni future”, gruppo “Altre caratteristiche biotiche che hanno un valore di non-uso”, divisione “Interazioni con i sistemi viventi di tipo indiretto, remoto, spesso privo di contatto, che non comportano la presenza dei fruitori nel contesto ambientale in cui questi SE si trovano”;
  - capacità degli ecosistemi di dare sostegno alle attività ricreative a contatto con la natura (EB\_RECR), nell’ambito della classe “Caratteristiche dei sistemi viventi che favoriscono le attività orientate a promuovere il benessere, il recupero fisico o il divertimento attraverso interazioni attive o di pieno contatto”, gruppo “Interazioni fisiche ed esperienziali con l’ambiente naturale”, divisione “Interazioni con i sistemi viventi dirette, in situ e negli spazi aperti, legate alla presenza fisica nel contesto ambientale”;
  - caratteristiche paesaggistiche che si configurano quali elementi fondanti dell’identità locale, del patrimonio culturale e del turismo (LAND\_V), nell’ambito della classe “Caratteristiche dei sistemi viventi di particolare rilievo in termini di cultura e di patrimonio storico”, gruppo “Interazioni intellettuali e significative con l’ambiente naturale”, divisione “Interazioni con i sistemi viventi dirette, in situ e negli spazi aperti, legate alla presenza fisica nel contesto ambientale”.

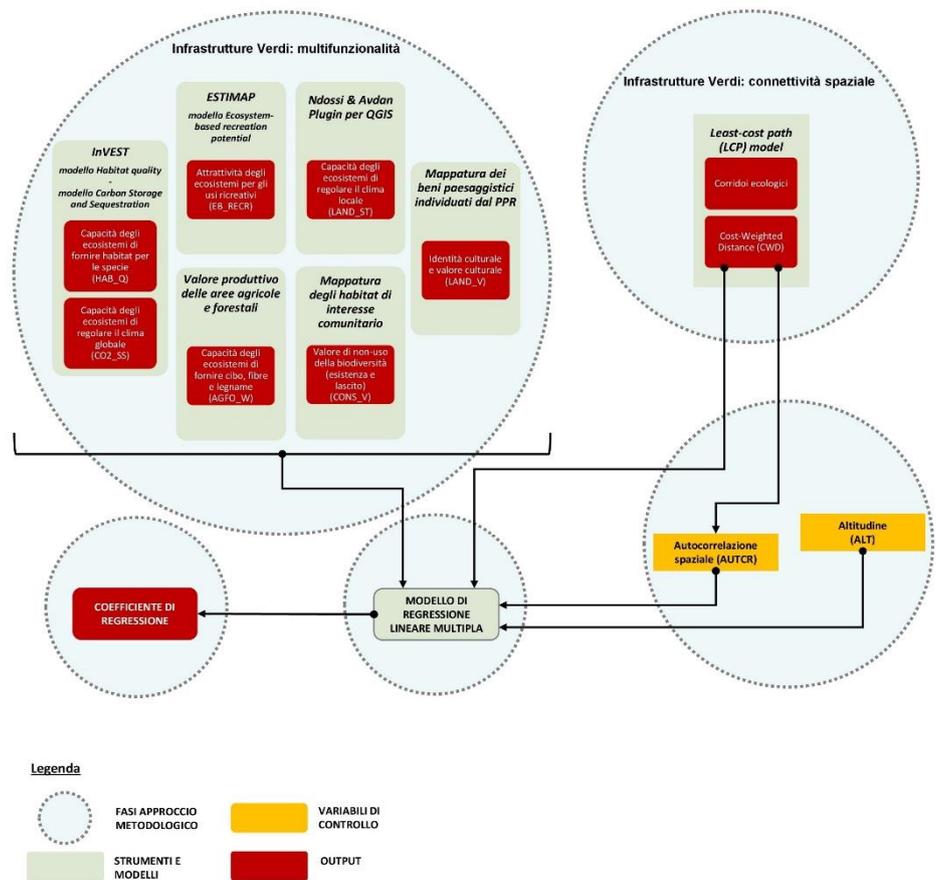
**Tabella 1. Dataset spaziali sviluppati per valutare la multifunzionalità**

<b>Servizi ecosistemici (SE)</b>	<b>Variabili</b>	<b>Dati in ingresso</b>	<b>Fonti dei dati</b>	<b>Applicativi/modelli utilizzati</b>
Valore di non-uso della biodiversità (esistenza e lascito)	CONS_V	Mappatura degli habitat di interesse comunitario (scala nominale: 1:10.000) Monitoraggio regionale degli habitat Formulari standard Natura 2000	Amministrazione regionale  Sito del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica	
Capacità degli ecosistemi di fornire habitat per le specie	HAB_Q	Carta regionale dell'uso del suolo (scala nominale: 1:25.000) Aree protette (scala nominale: 1:10.000) Minacce alla biodiversità (dati geospaziali) (scale varie) Valutazioni di esperti	Geoportale della Regione Sardegna  Questionari	InVEST (modello Habitat quality)
Attrattività degli ecosistemi per gli usi ricreativi	EB_RECR	Corine Land Cover, edizione 2018 (minimum mapping unit: 25 ettari) Vegetazione forestale e serie di vegetazione (scala nominale: 1:350.000) Fertilizzanti distribuiti per uso in agricoltura - azoto Densità di capi da allevamento  Aree protette (scala nominale: 1:10.000) Beni paesaggistici dell'assetto ambientale (scala nominale: 1:10.000) Distanza dalla linea di costa Geomorfologia costiera	Servizio di monitoraggio del territorio Copernicus  Studio sulle serie di vegetazione della Sardegna, di Bacchetta et al. (2009) ISTAT  Sistema Informativo Veterinario – Anagrafe Nazionale Zootecnica Geoportale della Regione Sardegna  Sito dell'Agenzia Europea dell'Ambiente, progetto EUROSION	ESTIMAP (modello Ecosystem-based recreation potential)
Identità culturale, valore culturale	LAND_V	Qualità delle acque di balneazione Beni paesaggistici dell'assetto ambientale e dell'assetto storico-culturale individuati dal Piano Paesaggistico Regionale (PPR) (scala nominale: 1:10.000)	Sito dell'Agenzia Europea dell'Ambiente Geoportale della Regione Sardegna	
Capacità degli ecosistemi di fornire cibo, fibre, legname	AGFO_W	Corine Land Cover, edizione 2018 (minimum mapping unit: 25 ettari) Valori dei suoli (aree agricole)	Servizio di monitoraggio del territorio Copernicus  Sito del Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA)	
Capacità degli ecosistemi di regolare il clima locale	LAND_ST	Valori dei suoli (aree forestali) Immagini satellitari Landsat 8 TIRS e OLI (risoluzione pixel: 30 metri)	Sito dell'Agenzia del Demanio Sito dell'Istituto Geologico degli Stati Uniti (USGS)	Plugin per QGIS 2.x, (di Ndossi & Avdan, 2016)
Capacità degli ecosistemi di regolare il clima globale	CO2_SS	Carta regionale dell'uso del suolo (scala nominale: 1:25.000) Dati sui serbatoi di carbonio	Geoportale della Regione Sardegna Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di carbonio Progetto regionale per lo studio dei suoli della Sardegna in quattro aree pilota	InVEST (modello Carbon Storage and Sequestration)

2.3 Approccio metodologico

In questa sezione, suddivisa in tre sottosezioni, si presentano altrettante fasi dell'approccio metodologico utilizzato e schematizzato in Figura 2. La prima sottosezione è dedicata all'analisi e mappatura dei sette SE selezionati e utilizzati come dato di base per l'identificazione dell'IVR. La seconda presenta un approccio all'identificazione della configurazione spaziale dei corridoi ecologici (CE) fondato sulla mappatura della resistenza al movimento. Si rimanda ai capitoli 2 e 3 del volume di Isola et al. (2022) per una descrizione più dettagliata delle metodologie utilizzate nelle due sottosezioni per mappare i SE e i CE. Infine, la terza sottosezione illustra l'applicazione del modello di regressione per l'individuazione delle correlazioni tra l'IVR e i CE.

Figura 2. Diagramma di flusso dell'approccio metodologico



Fonte: Elaborazione degli autori, 2023.

2.3.1 Valutare la multifunzionalità delle infrastrutture verdi

Per ciascuno dei sette SE selezionati, la Tabella 1 indica la sigla della variabile e fornisce una panoramica relativa ai dati di ingresso necessari per la valutazione, alla fonte dei dati, ad eventuali modelli concettuali o strumenti disponibili per la mappatura. Tra questi ultimi, si segnala InVEST<sup>6</sup>, un insieme di modelli sviluppati dal *Natural Capital Project* dell'Università di Stanford, utilizzato per la mappatura di HAB\_Q e di CO2\_SS attraverso, rispettivamente, i due modelli *Habitat quality* e

*Carbon storage and sequestration.* Un altro strumento liberamente disponibile, utilizzato per valutare LAND\_ST, è un plugin di QGIS sviluppato da Ndossi e Avdan (2016) che consente di mappare la temperatura superficiale al suolo utilizzando, come unico dato di ingresso, le immagini satellitari LANDSAT. Per valutare EB\_RECR, qui considerata come la potenziale idoneità delle diverse aree ad attrarre attività ricreative basate sulla natura, si è, invece, utilizzato ESTIMAP (Zulian et al., 2013; Vallecillo et al., 2018), un modello concettuale che necessita di essere adattato allo scopo della valutazione e alla scala di applicazione. Per ciò che riguarda i tre rimanenti SE, per valutare sia CONS\_V, sia LAND\_V è stato applicato l'approccio sviluppato da Lai e Leone (2017). Per il primo (CONS\_V), la mappatura è basata su dati quantitativi e qualitativi relativi ai siti della Rete Natura 2000 e contenuti nei formulari standard degli stessi, ovvero in schede informative standardizzate e comuni a tutti gli Stati dell'Unione Europea, e in uno studio relativo al monitoraggio dello stato di conservazione di habitat e specie commissionato dalla Regione Autonoma della Sardegna. Per il secondo (LAND\_V), la mappatura è basata sull'analisi della distribuzione spaziale dei beni paesaggistici tutelati dal Piano Paesaggistico Regionale (PPR), con l'introduzione di un peso che, per ogni categoria di bene tutelato, esprime il grado di protezione introdotto dal PPR, nell'ipotesi che a livelli di erogazione più elevati del servizio ecosistemico corrispondano normative di tutela paesaggistica più restrittiva. Infine, a causa dell'assenza di dati biofisici o monetari dettagliati su entità o valore dei raccolti agricoli e della produzione di legname, la valutazione di AGFO\_W ha utilizzato come proxy il valore monetario dei suoli agricoli o forestali, sotto l'ipotesi di base che i valori fondiari siano correlati alla produttività (Lai et al., 2021).

Per ciascuno dei sette SE selezionati si è costruita una mappatura in formato raster di risoluzione pari a 300 metri, generalizzando le mappature originariamente prodotte con livelli di risoluzione spaziale di maggior dettaglio, per ottenere dataset di attributi di dimensioni gestibili nella fase dell'applicazione del modello di regressione. Ogni SE ha una propria unità di misura e un proprio intervallo di valori; si è, pertanto, eseguita una riclassificazione di tutti i SE tramite normalizzazione nell'intervallo 0-1, dove il valore nullo corrisponde all'assenza di fornitura di un determinato SE, mentre il valore pari ad uno corrisponde al livello massimo di erogazione del SE in esame nel territorio regionale, al fine di assicurare omogeneità e comparabilità tra i sette SE. Per questo motivo, nel caso di LAND\_ST è stato necessario introdurre anche un'inversione, in modo da far corrispondere il valore nullo alla temperatura massima e il valore pari ad uno alla temperatura minima.

### 2.3.2 La configurazione spaziale dei corridoi ecologici

Un gruppo di modelli largamente utilizzato, tra quanti consentono di effettuare una valutazione spazialmente esplicita della connettività tra porzioni di territorio, si basa sulla mappatura della resistenza, che rappresenta “la volontà di un organismo di attraversare un determinato ambiente, il costo fisiologico del movimento attraverso un determinato ambiente, la riduzione della sopravvivenza dell'organismo che si muove in un determinato ambiente, o una combinazione di tutti questi fattori” (Zeller et al., 2012, p. 778). All'interno del gruppo di modelli che fanno riferimento al concetto di resistenza, quelli basati sulla teoria dei circuiti (McRae et al., 2008) o sul comportamento individuale (Palmer et al., 2011) sono i più complessi a causa della quantità e dell'accuratezza dei dati ecologici e spaziali necessari per la loro applicazione (Balbi et al., 2019). Di conseguenza, i modelli “*least cost path*” (LCP, percorso di minimo costo) sono spesso utilizzati per analizzare la connettività spaziale e mappare i CE (Guo et al., 2020; Wu et al., 2021) come collegamenti lineari

di particelle areali caratterizzate da una bassa resistenza al movimento delle specie. L'assioma generale degli approcci LCP è che gli animali possiedono una percezione innata e completa dell'ambiente in cui vivono, tale da consentire loro di scegliere il modo migliore di spostarsi (Balbi et al., 2019).

La metodologia utilizzata in questo studio per produrre una mappa di connettività si fonda sull'approccio applicato da Cannas e Zoppi (2017a, 2017b) e Cannas et al., (2018a, 2018b), e si sviluppa nelle seguenti fasi:

- mappatura della tassonomia regionale dell'idoneità degli habitat ad ospitare specie animali selvatiche;
- mappatura della tassonomia regionale dell'integrità ecologica;
- mappatura della tassonomia regionale della resistenza al movimento;
- identificazione dei CE che connettono le ANP.

La prima fase consiste nella produzione di una mappa vettoriale dell'idoneità degli habitat sulla base della probabilità che gli organismi utilizzino determinati habitat nelle porzioni di territorio in cui vivono e si spostano. Questa mappa utilizza come dati di ingresso la mappa regionale delle coperture dei suoli<sup>7</sup> unitamente ad una matrice nella quale ad ogni tipo di copertura dei suoli corrisponde, per ciascuna delle specie animali considerate, un punteggio variabile tra zero e tre, che rappresenta l'idoneità della copertura in esame a fornire un habitat adatto alla specie. Tali punteggi sono stati ottenuti da uno studio (AGRISTUDIO et al., 2011) parte di un più ampio progetto regionale di monitoraggio dello stato di conservazione di habitat e specie tutelati dalla Direttiva Habitat (92/43/CEE) all'interno dei siti della Rete Natura 2000 della Sardegna. I punteggi dell'idoneità degli habitat, che nello studio citato sono assegnati alle categorie di coperture dei suoli ricomprese all'interno dei siti della Rete Natura 2000, sono stati estesi alle medesime categorie all'esterno dei siti, il che consente di identificare una tassonomia spaziale vettoriale dell'idoneità degli habitat a ospitare le specie estesa a tutto il territorio regionale.

Nella seconda fase si utilizza il metodo sviluppato da Burkhard et al. (2009, 2012), che valuta la capacità degli habitat di fornire SE attraverso giudizi qualitativi di esperti, per sviluppare una mappatura vettoriale dell'integrità ecologica. L'integrità ecologica è, infatti, positivamente correlata alla possibilità di movimento da parte degli organismi, e su questa base si fonda il collegamento tra integrità ecologica e connettività spaziale.

Nella terza fase si produce una mappatura della resistenza, seguendo il metodo proposto da LaRue e Nielsen (2008), che consiste di quattro fasi: 1) le due mappe vettoriali che rappresentano l'idoneità degli habitat e l'integrità ecologica sono rasterizzate; 2) sono definite due nuove mappe raster, invertendo i valori dell'idoneità degli habitat e dell'integrità ecologica in quanto ad una maggiore resistenza al movimento corrisponde una minore idoneità degli habitat e una minore integrità ecologica; 3) le due mappe con i valori invertiti sono riclassificate nell'intervallo (0-100), sulla base dell'approccio proposto dalla European Environment Agency (2014), secondo il quale a valori più elevati corrispondono resistenze più elevate; 4) le due mappature raster invertite e riclassificate sono tra loro sommate per produrre una mappa della resistenza totale al movimento.

La mappatura della resistenza totale, unitamente alla mappa vettoriale delle ANP, costituisce il dato di ingresso per l'identificazione dei CE attraverso l'applicativo *Linkage Pathways*, parte del pacchetto di ArcMap ESRI *Linkage Mapper*<sup>8</sup> (McRae & Kavanagh, 2017) che sviluppa un modello LCP che consente di mappare la distanza pesata sul costo (DPC). La DPC tra due ANP è calcolata come segue: i., si calcolano i valori medi delle resistenze di coppie di particelle adiacenti lungo i percorsi di collegamento; ii., tali valori vengono moltiplicati per la distanza euclidea

tra i centri dei due poligoni; iii., i risultati vengono sommati lungo il percorso. L'applicativo *Linkage Pathways* fornisce, come risultato finale, una mappatura raster della DPC e la configurazione spaziale, lineare, dei CE.

### 2.3.3 Una regressione lineare multipla per valutare la relazione tra corridoi ecologici e servizi ecosistemici erogati dall'infrastruttura verde regionale

Si effettua, anzitutto, una sovrapposizione tra i CE individuati attraverso l'applicativo *Linkage Pathways* e la mappatura dei sette SE sopra definiti, che esprimono la multifunzionalità dell'IVR. In tale sovrapposizione, i CE includono particelle il cui valore della DPC è inferiore al secondo decile; in particolare, la DPC di una generica particella  $j$  inclusa in un CE che collega due ANP identificate come  $M$  e  $N$  è pari a:

$$DPC_j = DPC_{jM} + DPC_{jN}, \quad (1)$$

dove  $DPC_{jM}$  e  $DPC_{jN}$  sono le DPC della particella  $j$  dalle due ANP  $M$  e  $N$ , rispettivamente.

Ciò consente di applicare un modello di regressione che stima gli effetti marginali delle variabili che rappresentano la potenziale erogazione di SE sulla DPC delle particelle caratterizzate da valori di DPC inferiori al secondo decile, ovvero le unità spaziali sovrapposte ai CE di collegamento tra ANP; tali particelle costituiscono le zone centrali (*core areas*) dell'IVR. Il modello assume la forma seguente:

$$DPC = \beta_0 + \beta_1 \text{CONS\_V} + \beta_2 \text{HAB\_Q} + \beta_3 \text{EB\_RECR} + \beta_4 \text{LAND\_V} + \\ + \beta_5 \text{AGFO\_W} + \beta_6 \text{LAND\_ST} + \beta_7 \text{CO2\_SS} + \beta_8 \text{ALTIM} + \beta_9 \text{AUTCR}, \quad (2)$$

dove la variabile dipendente e le variabili indipendenti sono ottenute tramite intersezione spaziale delle mappature dei sette SE e dei CE, che restituisce una tabella di attributi contenente i campi di seguito elencati.

- DPC rappresenta la distanza pesata sul costo di una particella appartenente ai CE;
- CONS\_V, HAB\_Q, EB\_RECR, LAND\_V, AGFO\_W, LAND\_ST, CO2\_SS sono variabili adimensionali che variano ciascuna nell'intervallo (0-1) e che rappresentano la potenziale erogazione dei sette SE selezionati;
- ALTIM è una variabile utilizzata per controllare l'effetto della quota, i cui valori sono ottenuti da un modello digitale del terreno liberamente disponibile sul geoportale regionale<sup>9</sup>;
- AUTCR è una variabile utilizzata per controllare l'effetto dell'autocorrelazione spaziale.

Il modello fornisce la stima degli impatti marginali delle variabili esplicative sulla DPC delle unità spaziali sovrapposte ai CE. L'utilizzo del modello di regressione è motivato dal fatto che non sussistono ipotesi a priori circa l'effetto marginale sulla DPC da parte delle covariate che rappresentano i SE caratterizzanti l'IVR (Cheshire & Sheppard, 1995; Sklenicka et al., 2013; Stewart & Libby, 1998; Zoppi et al., 2015). Di conseguenza, l'iperpiano a  $n$  dimensioni che rappresenta il fenomeno in esame può essere rappresentato localmente dalla sua approssimazione lineare descritta dall'equazione (2) (Byron & Bera, 1983; Wolman & Couper, 2003).

La variabile esplicativa ALTIM consente di identificare differenze sistematiche per ciò che riguarda gli effetti marginali associati alla quota. Il *p-value* relativo alla quota altimetrica consente di valutare se la sua stima è significativa; se questo accade, la quota è un fattore importante per valutare se, e in che misura, i SE erogati dalle particelle della IVR contribuiscono all'identificazione dei CE.

La variabile *spatially lagged* AUTCR è usata per controllare l'autocorrelazione spaziale. La sua identificazione è stata effettuata utilizzando il metodo proposto da

(Anselin, 1988, 2003), come applicato in precedenza da (Zoppi & Lai, 2014) e calcolato tramite GeoDa<sup>10</sup>.

Infine, i *p-value* associati ai coefficienti  $\beta$  stimati per ogni variabile esplicativa consentono di verificare se le stime siano significative, ad esempio al 5%.

### 3. Risultati

Questa sezione presenta i risultati dello studio, articolati in tre sottosezioni. La prima descrive le tassonomie spaziali della fornitura dei sette SE come base per l'identificazione dell'IVR in Sardegna e ne evidenzia alcune caratteristiche. La seconda dà conto dell'identificazione dei CE come elementi di collegamento tra le ANP della Sardegna. Infine, nella terza si forniscono i risultati delle stime del modello di cui all'equazione (2); essi identificano una gerarchia dei diversi SE esaminati in termini di maggiore o minore importanza rispetto al contributo che essi apportano all'inclusione di una data unità areale nel sistema spaziale dei CE.

#### 3.1 La valutazione spaziale della potenziale erogazione di servizi ecosistemici

La Figura 3 mostra l'assetto spaziale dei sette SE elencati alla sottosezione 2.2 (ovvero, CONS\_V, HAB\_Q, EB\_RECR, LAND\_V, AGFO\_W, LAND\_ST, CO2\_SS) e valutati come descritto nella sottosezione 2.3.1. Un'ulteriore ottava mappa rappresenta la somma dei sette valori normalizzati.

CONS\_V è nullo in quasi i due terzi del territorio regionale, mentre i suoi valori più elevati sono concentrati principalmente all'interno dei siti della Rete Natura 2000 e nelle loro immediate prossimità. Ciò è coerente con quanto ci si attendeva, dal momento che CONS\_V tiene conto della presenza di habitat minacciati e di aree di interesse dal punto conservazionistico, che includono, rispettivamente, gli habitat di interesse comunitario e i siti della Rete Natura 2000. Per quanto concerne le aree con valore non nullo, solo una trascurabile porzione (0,9%) del territorio isolano è caratterizzata da valori elevati, ovvero superiori a 0,75, mentre una piccola parte (4,95%) mostra valori compresi tra 0,5 e 0,75 e la maggior parte (27,80%) presenta valori inferiori a 0,5.

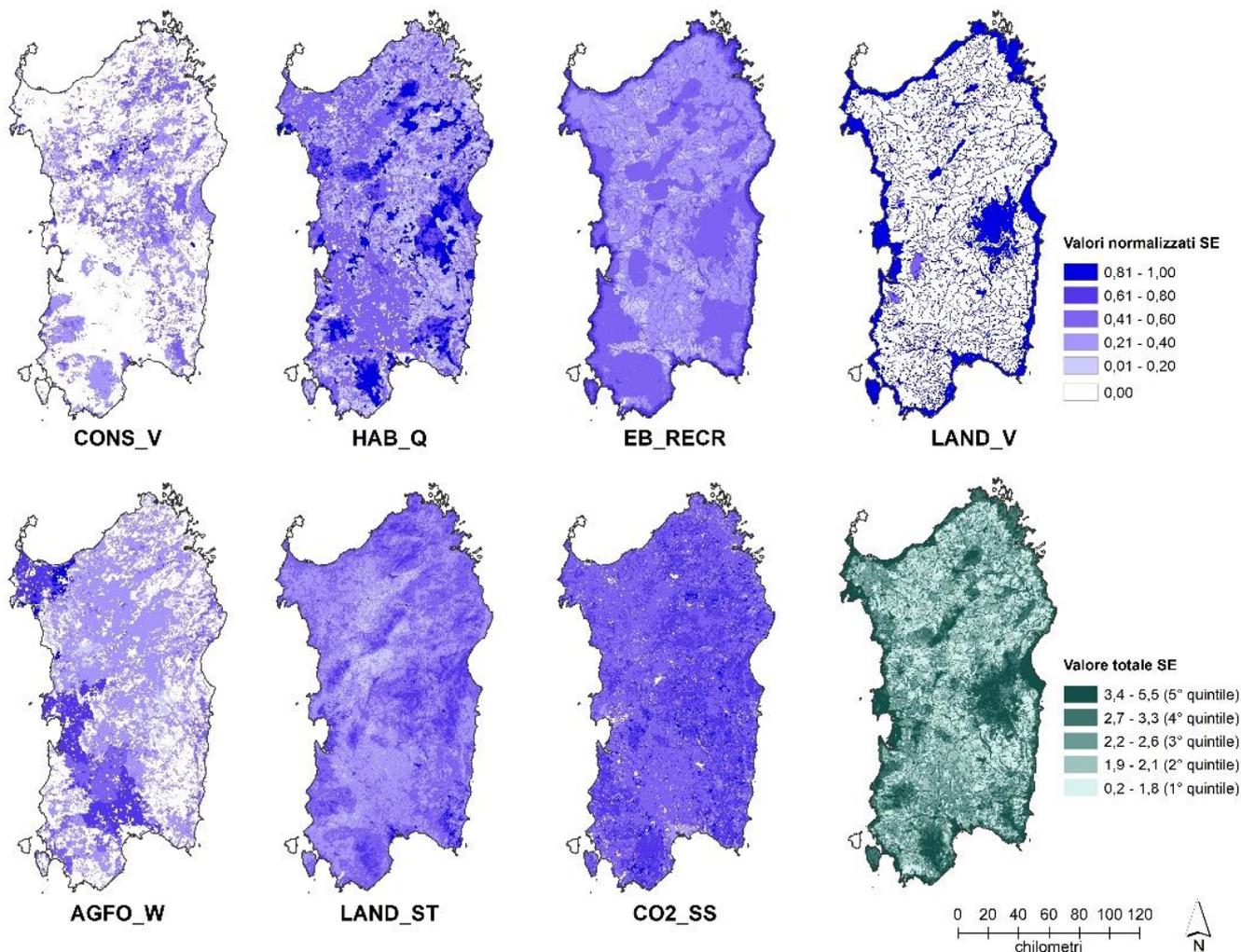
HAB\_Q assume valori nulli in appena il 3,44% dell'isola; 35,51% ospita habitat di bassa qualità ( $HAB\_Q \leq 0,33$ ), e 62,45% habitat di qualità media ( $0,33 < HAB\_Q \leq 0,66$ ), mentre appena il 13,8% del territorio è caratterizzato da habitat di qualità alta ( $0,66 < HAB\_Q \leq 1$ ). I valori più elevati si ritrovano all'interno di ANP di livello regionale o nazionale, oppure in aree con presenza di foreste e macchia mediterranea evoluta.

Per ciò che riguarda EB\_RECR, quasi la metà dell'isola (49,5%) assume valori bassi ( $EB\_RECR \leq 0,33$ ), e poco meno della metà (44,75%) valori intermedi ( $0,33 < EB\_RECR \leq 0,66$ ), mentre solo il 5,75% è caratterizzato da valori elevati ( $0,66 < EB\_RECR \leq 1$ ) e una trascurabile porzione di territorio assume valori nulli. La distribuzione spaziale di EB\_RECR presenta alcuni aspetti simili a quella di HAB\_Q, ma, contrariamente a quest'ultima, è caratterizzata dalla concentrazione di valori elevati lungo le aree costiere.

LAND\_V assume valori nulli in circa il 60% del territorio isolano. I valori più elevati sono, in genere, associati a tre tipi di beni paesaggistici tutelati dal PPR: i., la fascia costiera (ben visibile nella Figura 3); ii., i territori contermini ai laghi compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia; iii., i fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, con le relative sponde o piedi degli argini per una

fascia di 150 metri ciascuna; queste ultime due categorie (anch'esse ben visibili in Figura 3) sono ricomprese tra le tipologie di beni tutelati dal PPR sulla base dell'art. 143 del D.Lgs. 42/2004, recante "Codice dei beni culturali e del paesaggio".

**Figura 3. Distribuzione spaziale dei sette servizi ecosistemici e del valore totale**



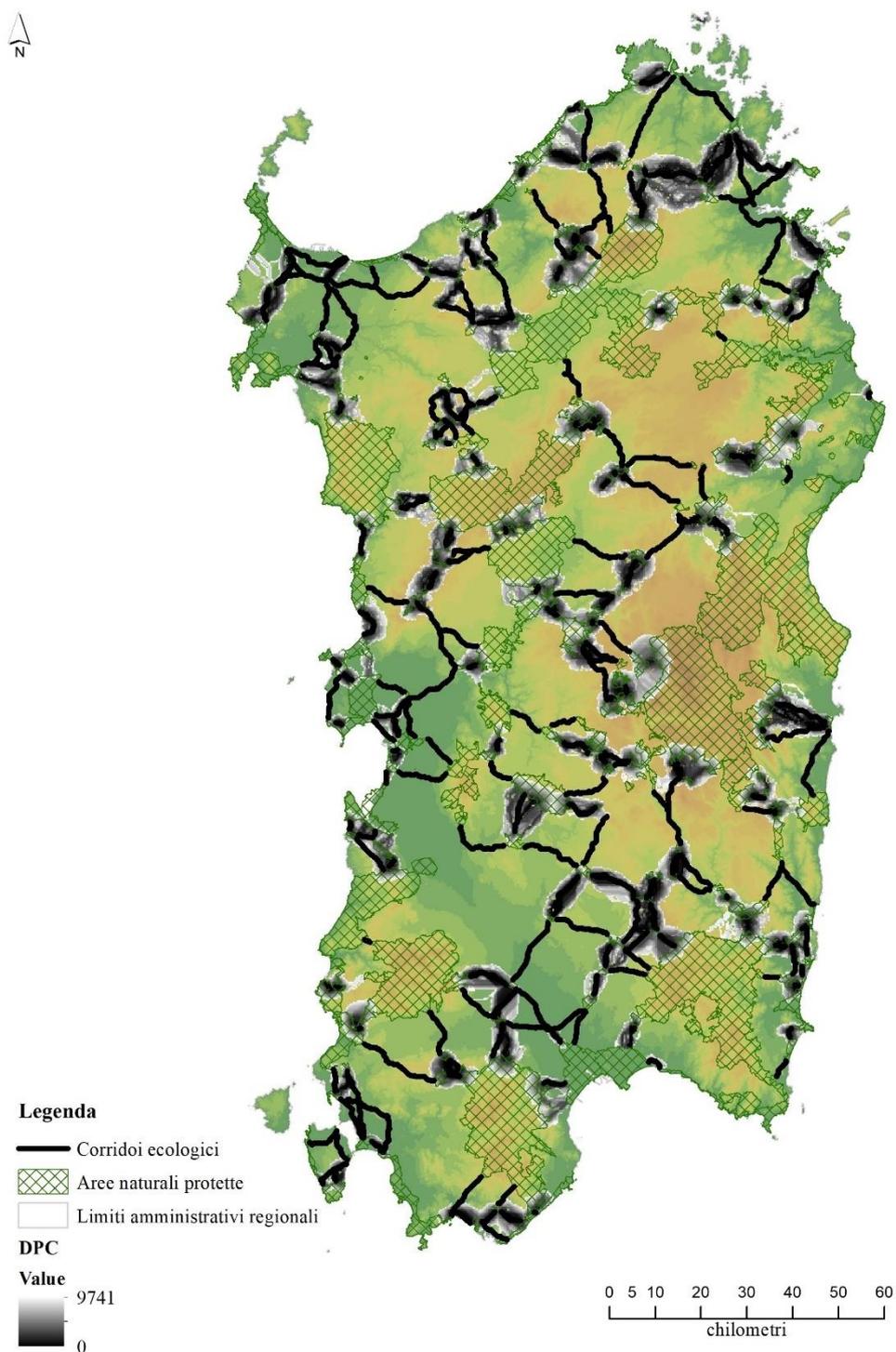
Fonte: Elaborazione degli autori, 2023.

### 3.2 La distribuzione spaziale dei corridoi ecologici

L'applicazione della metodologia, definita nella sezione 2.3.2, al caso della Regione Sardegna ha permesso di ottenere una mappa raster dei valori della DPC e una mappa vettoriale della configurazione spaziale dei corridoi ecologici. Sono stati definiti 240 corridoi, con lunghezza compresa tra 0,07 e 27,34 km (Figura 4). I corridoi così definiti sono elementi lineari; per tale motivo, la bidimensionalità è stata definita considerando tutte le particelle la cui DPC fosse inferiore al secondo decile.

### 3.3 I risultati della regressione lineare multipla

I risultati del modello di regressione mostrano gli impatti marginali della fornitura dei sette SE analizzati sulla DPC sulle particelle incluse nel secondo decile (tabella 2), definendo, quindi, una gerarchizzazione dei SE in base alla loro capacità di far sì che una particella possa far parte dei CE dell'IVR.

**Figura 4. Rappresentazione dei corridoi ecologici**

Fonte: Elaborazione degli autori, 2023.

La stima del coefficiente della variabile di controllo ALTIM è significativa in termini di *p-value* e mostra un effetto marginale positivo, il che significa che maggiore è l'altitudine, maggiore è il valore della DPC delle particelle facenti parte dei CE. In media, un aumento di 100 m di altitudine comporta un aumento dell'1% della DPC. La stima della variabile AUTCR, che controlla il fenomeno dell'autocorrelazione, è anch'essa significativa in termini di *p-value* e mostra un segno positivo; questo indica che la DPC è influenzata positivamente dall'autocorrelazione, ovvero che

l'autocorrelazione ha un impatto negativo sull'idoneità di una particella a far parte dei CE. Riassumendo, la stima dei coefficienti delle due variabili di controllo (ALTIM e AUTCR) è significativa in entrambi i casi e mostra effetti negativi sul comportamento delle particelle in relazione alla loro idoneità a far parte dei CE.

**Tabella 2. Risultati della regressione**

Variabile esplicativa	Coefficienti	Deviazione standard	<i>t-statistic</i>	<i>p-value</i>	Media della variabile esplicativa
CONS_V	378,9043	46,0212	8,233	0,000	0,1357
HAB_Q	844,6393	35,8077	23,588	0,000	0,4134
EB_RECR	345,0859	67,1934	5,136	0,031	0,4210
LAND_V	-180,8370	22,4312	-8,062	0,000	0,3078
AGFO_W	-157,3472	45,2657	-3,476	0,000	0,2128
LAND_ST	-773,2409	74,6302	-10,361	0,000	0,4485
CO2_SS	516,6964	57,6843	8,957	0,000	0,5606
ALTIM	0,9055	0,0361	25,059	0,000	356,8034
AUTCR	0,5340	0,0022	241,749	0,000	5597,6660

Variabile dipendente: DPC; media: 4.925,448 km; deviazione standard: 2.866,052 km; Coefficiente di determinazione ( $R^2$ ) corretto: 0,523.

In riferimento alle altre variabili, la stima dei coefficienti è sempre significativa al 5% in termini di *p-value*, il che supporta la fondatezza del modello e, quindi, delle valutazioni condotte. Tre tipologie di SE (LAND\_ST, AGFO\_W and LAND\_V) mostrano effetti negativi, ossia il loro incremento è associato ad una diminuzione della DPC e, quindi, ad una maggiore idoneità di una particella a far parte dei CE. L'impatto maggiore è legato alla variabile LAND\_ST; difatti, a fronte di un aumento del 10% delle tre variabili (LAND\_ST, AGFO\_W and LAND\_V), la DPC mostra una diminuzione pari a 7,7‰ nel caso di LAND\_ST, a 1,6‰, nel caso di AGFO\_W, e a 1,8‰, nel caso di LAND\_V.

Le altre quattro variabili, ovvero CONS\_V, HAB\_Q, EB\_RECR e CO2\_SS, mostrano un impatto positivo; difatti, un aumento del 10% comporta un aumento della DPC pari a 3,8‰, nel caso di CONS\_V, a 8,4‰, nel caso di HAB\_Q, a 3,5‰, nel caso di EB\_RECR, e a 5,2‰, nel caso di CO2\_SS.

In conclusione, i SE relativi al valore di non-uso della biodiversità (CONS\_V), alla capacità degli ecosistemi di fornire habitat per le specie (HAB\_Q), all'attrattività degli ecosistemi per gli usi ricreativi (EB\_RECR) e alla capacità degli ecosistemi di regolare il clima globale (CO2\_SS) sono i più problematici nell'individuazione dei CE nel contesto regionale sardo, in quanto un loro aumento comporta una minore idoneità di una particella a far parte dei CE. Al contrario, i SE relativi all'identità e al valore culturale (LAND\_V), alla capacità degli ecosistemi di fornire cibo, fibre e legname (AGRO\_W) e alla capacità degli ecosistemi di regolare il clima locale (LAND\_ST) rappresentano gli aspetti trainanti, in quanto esercitano un impatto negativo sulla DPC e, quindi, accrescono l'idoneità di una particella a far parte di un CE.

#### 4. Discussione

I risultati dell'analisi di regressione mostrano come tre dei sette SE analizzati (LAND\_V, AGRO\_W e LAND\_ST) rappresentino i fattori che maggiormente influenzano l'idoneità di una particella a far parte di un CE.

Innanzitutto, in riferimento alla capacità degli ecosistemi di regolare il clima locale (LAND\_ST), una diminuzione dei valori associati a tale variabile comporta una riduzione della DPC. Tale comportamento può essere spiegato a partire dalla presenza delle aree agricole, le quali possono ostacolare il movimento delle specie lungo i CE, riducendo, quindi, la connettività (Gregory et al., 2021). Tale impedimento è principalmente dovuto alla presenza di barriere fisiche, quali muri, recinzioni e siepi (Hilty et al., 2020), ma è anche parzialmente imputabile alle tecniche agricole utilizzate, quali, per esempio attività di aratura che non tengono conto delle caratteristiche del suolo e che possono alterarne le caratteristiche fisiche (McLaughlin & Mineau, 1995), all'uso del fuoco per la manutenzione e pulizia dei campi (Peirce & van Daele, 2006), all'uso improprio di sostanze chimiche come biocidi e fertilizzanti (Gregory et al., 2021; Robbins et al., 1986). Inoltre, secondo quanto riportato nello studio condotto da Lai et al. (2021), il SE legato alla capacità di regolare il clima locale può essere influenzato negativamente dalle attività agricole, generalmente caratterizzate da vegetazione bassa e fitta che impedisce l'effetto di raffrescamento generato dalla circolazione dell'aria e dall'evapotraspirazione.

Anche i valori della variabile AGFO\_W sono influenzati dagli usi e dalle attività agricole, che, a loro volta, possono ostacolare il movimento delle specie. La connettività diminuisce quando aumenta la produzione agricola potenziale, che dipende sia dalle caratteristiche locali, in primis l'altitudine e la tipologia del suolo, sia dal tipo di coltura, per le stesse ragioni che regolano il rapporto tra DPC e la variabile LAND\_ST. Al contrario, la connettività è influenzata positivamente dalla presenza di foreste e boschi, come risulta evidente dai bassi valori della DPC nelle aree forestali. Secondo quanto riportato da uno studio di Santos et al. (2018), i cambiamenti delle coperture dei suoli nelle aree forestali sono un indicatore importante della perdita di habitat per un certo numero di specie. Difatti, la riduzione delle dimensioni delle particelle e il conseguente aumento della frammentazione del paesaggio si traducono in una minore varietà e numero di specie che riescono a sopravvivere (Hidalgo et al., 2021). Sebbene la presenza di piccole particelle caratterizzate da una copertura forestale potrebbe sembrare non degna di nota in termini di connettività, in realtà queste giocano un ruolo chiave nella connessione tra particelle lontane e isolate (Wang et al., 2021a). Per esempio, possono svolgere la funzione di *stepping stones* per favorire il movimento delle specie lungo gli archi della rete (Fischer & Lindenmayer, 2007) o possono rappresentare degli habitat prioritari per alcune specie (Wang et al., 2021b). Nel caso del Parco Nazionale dei Monti Stołowe in Polonia, il 40% delle briofite epifite è ospitato da particelle caratterizzate dalla presenza di foreste di latifoglie, sebbene queste rappresentino meno del 5% dell'area (Wierzcholska et al., 2018).

I risultati della regressione mostrano che maggiore è il valore di LAND\_V, minore è il valore della DPC. LAND\_V è valutato in relazione ai tre assetti individuati e normati dal PPR della Regione Sardegna e i valori delle corrispondenti covariate sono definiti proporzionalmente alla severità delle norme: più le prescrizioni sono restrittive, più alto è il valore di LAND\_V. Il Codice dei beni culturali e del paesaggio (D.Lgs. n. 42/2004) individua come beni paesaggistici gli elementi che sono espressione dei valori storici, culturali, naturali, morfologici ed estetici di un contesto territoriale. Per quanto riguarda i beni ambientali, che costituiscono una tipologia di beni paesaggistici, i valori più elevati della variabile LAND\_V sono associati alla presenza di corsi d'acqua e delle associate fasce di rispetto di 150 m, nonché di laghi naturali, bacini artificiali e zone umide con le loro fasce di rispetto di 300 m. Ai sensi dell'articolo 20 delle Norme tecniche di attuazione (NTA) del

PPR, nella fascia costiera, nelle aree non urbanizzate, è generalmente preclusa qualsiasi trasformazione. Ai sensi dell'articolo 25 delle NTA del PPR, all'interno dei sistemi fluviali e delle fasce latitanti sono vietate le seguenti operazioni: i. interventi di artificializzazione degli alvei e delle sponde fluviali, compresa la rimozione della vegetazione ripariale; ii. rimboschimento con specie alloctone; e, iii. prelievo di sabbia in assenza di progetti specifici che dimostrino la compatibilità con i principi di rigenerazione della risorsa. La funzione di connettività svolta dai corsi d'acqua, uno dei beni paesaggistici più diffusi in tutta l'isola, rappresenta un'argomentazione ben consolidata in letteratura. Difatti, è opinione comune che la vegetazione ripariale, termine generico per indicare diverse tipologie di specie vegetali che crescono lungo le sponde fluviali, offra, a molte specie, riparo e habitat adatti alla riproduzione (Sánchez-Montoya et al., 2016), oltre che nutrimento e acqua (Allen & Singh, 2016). La vegetazione ripariale rappresenta, quindi, di per sé, un CE adatto ad ospitare molte specie, tra cui non solo pesci, ma anche uccelli, anfibi e rettili (Sánchez-Montoya et al., 2016). Tuttavia, il ruolo svolto dalle formazioni ripariali nel favorire il movimento delle specie può essere ostacolato dalle attività antropiche e dalle condizioni geomorfologiche (Sabo et al., 2005).

Questo studio intende fornire il proprio contributo ai recenti dibattiti accademici che si occupano della relazione tra i concetti di connettività e multifunzionalità applicati alla tematica delle IV, investigando, in maniera inedita, come la fornitura potenziale di alcuni SE influisca sull'idoneità di una particella a far parte di un CE inteso come arco di una IV. Finora il rapporto tra connettività e multifunzionalità è stato affrontato secondo due principali approcci. Il primo considera la connettività come un fattore che impatta, direttamente o indirettamente, la fornitura di SE e analizza principalmente come la frammentazione e la perdita di connettività possano comportare un degrado del capitale naturale e, quindi, influenzare la fornitura stessa di SE (Correa Ayram et al., 2016; Mitchell et al., 2013, 2015). Questo primo approccio ipotizza che la fornitura di SE sia influenzata dall'interazione spaziale tra le particelle (Ng et al., 2013) e che tale dipendenza sia più complessa quando si studiano SE multipli, non soltanto per la presenza di sinergie e *trade-off* tra i SE stessi, ma, contro intuitivamente, per l'influenza positiva che la frammentazione delle particelle, rendendo la natura maggiormente accessibile agli esseri umani (Mitchell et al., 2015), esercita su alcuni SE, quali i servizi ricreativi e di approvvigionamento. Il secondo approccio intende integrare il concetto di multifunzionalità all'interno dei modelli circuitali o dei modelli LCP secondo due interpretazioni. La prima considera le particelle che forniscono simultaneamente SE multipli come nodi di una rete (Peng et al., 2018; Shi et al., 2021); la seconda considera le aree particolarmente adatte ad ospitare la fauna selvatica come nodi da cui partono i corridoi ecologici, gli archi della rete, identificati come aggregazioni lineari delle particelle che forniscono simultaneamente SE multipli (Field & Parrott, 2022; Fňukalová et al., 2021; Lee et al., 2014). L'approccio metodologico adottato in questo studio, sebbene, in linea con il primo approccio, assuma l'esistenza di una relazione causale tra connettività e multifunzionalità, va oltre, studiando la connettività come funzione di più variabili, espressione della multifunzionalità, per poter spiegare questa relazione causale. Inoltre, diversamente dal secondo approccio, l'identificazione dei corridoi ecologici e la valutazione spaziale dei SE selezionati sono state condotte indipendentemente l'una dall'altra, in quanto tale condizione rappresenta un prerequisito per poter studiare le relazioni causali attraverso il modello di regressione.

## 5. Implicazioni per le politiche del territorio

In questa sezione vengono proposte alcune raccomandazioni, rivolte a professionisti, tecnici delle pubbliche amministrazioni e decisori politici, riguardanti il miglioramento delle caratteristiche ambientali delle IVR in relazione all'accrescimento dell'offerta di SE. In particolare, l'argomentazione si focalizza sui tre misure, che trovano fondamento nelle questioni discusse nella sezione precedente e che si sono rivelate fondamentali per aumentare l'idoneità di una particella a far parte di un CE, ossia la mitigazione della temperatura superficiale del terreno, l'aumento della copertura forestale e il miglioramento del regime di protezione dei beni paesaggistici.

In accordo con quanto proposto da Lai et al. (2020a), politiche regionali orientate al rimboschimento potrebbero far diminuire la temperatura superficiale del suolo e, quindi, aumentare i valori della variabile LAND\_LST utilizzata in questo studio. Inoltre, poiché le ondate e le isole di calore caratterizzano le aree urbanizzate e, in particolar modo, i tessuti consolidati dei centri abitati, le politiche volte a ridurre la temperatura dell'aria dovrebbero focalizzarsi su contesti urbani mirati e a livello di microscala. Le misure di inverdimento urbano, volte ad aumentare la dotazione di aree verdi attraverso la messa a dimora di filari di alberi e la realizzazione di boschi urbani, sono le più efficaci per mitigare gli impatti dei cambiamenti climatici legati alla temperatura superficiale del suolo nelle aree (Geneletti et al., 2020; Lai et al., 2020b; Ustaoglu & Aydinoglu, 2019). Da questo punto di vista, la *London Green Grid* rappresenta un esempio significativo dell'attuazione di tali politiche. Tale progetto permette di contrastare un aumento di 3° C della temperatura media nell'area di Londra (Mayor of London, 2006). Tale aumento di temperatura determina diversi problemi associati ad una minore qualità della vita urbana e ad un peggioramento delle condizioni di salute delle popolazioni, una diminuzione della fornitura d'acqua, un aumento di focolai di infezioni dovute a insetti e parassiti e problemi legati alla siccità negli spazi aperti e nei parchi urbani. Griglie verdi, facciate e pareti verdi rappresentano le misure progettuali più efficaci che caratterizzano l'approccio concettuale della *London Green Grid* nella *East London Green Grid*. In questo progetto, percorsi blu e verdi sono pianificati e progettati per intrecciarsi con aree densamente edificate, terreni impermeabilizzati e centri hub utilizzati dai pendolari (Pötz et al., 2016).

L'aumento della fornitura dei SE che mitigano gli effetti del fenomeno delle ondate e delle isole di calore permette, anche, di migliorare la qualità della vita urbana (Gómez-Baggethun & Barton, 2013). Misure orientate verso un aumento della fornitura di SE possono probabilmente favorire approcci virtuosi tra comunità urbane, gruppi organizzati di cittadini, società private e amministrazioni pubbliche (Mazzeo et al., 2019). Tuttavia, una questione critica riguarda la correlazione tra il prezzo dei terreni urbani e la volumetria edificabile, sia nel caso di realizzazione di residenze, sia nel caso di realizzazione di nuovi servizi. In tal senso, misure orientate verso l'inverdimento delle aree urbane, sia in termini di ampliamento delle aree verdi esistenti, sia nell'individuazione di nuove, comportano un significativo decremento del valore immobiliare di suddette aree. A tal fine, tali politiche dovrebbero essere affiancate da misure compensative a favore dei proprietari dei terreni interessati, per compensare la perdita di valore del proprio possesso a seguito dell'attuazione di azioni intraprese dall'amministrazione locale per perseguire obiettivi orientati a contrastare le ondate di caldo e a mitigare gli effetti delle isole di calore in ambito urbano. Inoltre, le norme dei piani urbanistici comunali dovrebbero prevedere che sia i nuovi insediamenti, sia quelli esistenti siano provvisti di un'adeguata dotazione di spazi verdi. Tale dotazione può essere attuata con misure puntuali ed

eventualmente integrabili negli elementi edilizi degli edifici, quali facciate e tetti, o con misure sistemiche attraverso l'individuazione di percorsi blu e verdi in linea con l'impostazione concettuale della *Green Grid of East London* (Jennings et al., 2016; Mathey et al., 2011). Tuttavia, l'attuazione di tali misure necessita di una certa disponibilità finanziaria, per la quale sarebbe opportuno definire un sistema di incentivi e detrazioni, capace di attirare anche il settore privato (Bramley & Watkins, 2014; Webster, 2005). Tali incentivi potrebbero riguardare, da un alto, sconti sulle tasse di costruzione, sulle tasse di proprietà, e sull'IVA, e dall'altro lato, detrazioni concesse a quegli imprenditori edili che migliorino la qualità dell'ambiente locale (Buijs et al., 2019; Slätmo et al., 2019). Bisogna, poi, considerare l'impatto che tali misure verdi avrebbero sulle comunità locali, in termini di maggiore consenso e fiducia sull'operato delle amministrazioni locali orientate verso un approccio ecosistemico alla pianificazione (Fors et al., 2015; Pérez-Urrestarazu et al., 2015). In Sardegna, le politiche di rimboschimento non dovrebbero focalizzarsi esclusivamente sulle aree urbane, ma dovrebbero tener conto anche delle aree non artificiali, come le aree rurali, le quali mostrano i valori più elevati della temperatura superficiale del suolo tra tutte le aree non urbanizzate. Inoltre, come si evince dai risultati dell'analisi di regressione, l'attuazione di politiche di rimboschimento nelle aree rurali potrebbe comportare un beneficio anche in riferimento alla variabile AGRO\_W. Tali politiche comporterebbero, quindi, un duplice beneficio: migliorare la regolazione del microclima alla scala urbana e alla scala regionale e fornire legname e altri materiali dalla gestione sostenibile delle foreste.

Nelle aree rurali tali politiche sosterranno i processi di transizione della copertura del suolo da agricola a forestale, come proposto nello studio di Ryan e O'Donoghue (2016), i quali hanno analizzato i fattori sociali ed economici che caratterizzano tali processi. In essi, un ruolo fondamentale ricopre il legame tra agricoltori e terra, caratterizzato da aspetti sociali e culturali (Howley et al., 2015), che trovano fondamento nella familiarità degli agricoltori verso pratiche agricole flessibili e non intensive (Duesberg et al., 2014) e nelle competenze storicamente consolidate che spesso creano delle resistenze nei confronti del cambiamento verso coperture forestali, nonostante l'aumento di reddito che tali transizioni potrebbero comportare (Ryan & O'Donoghue, 2016). Inoltre, i cambiamenti della copertura del suolo da agricola a forestale sono fattibili solo nel caso di terreni caratterizzati da coltivazioni estensive e a basso reddito (Kumm & Hessle, 2020) e, anche in questi casi, le politiche di rimboschimento dovrebbero essere accompagnate da incentivi per coprire i costi derivanti da tali transizioni (Hyytiainen et al., 2008).

Un altro aspetto da prendere in considerazione quando si parla di politiche di rimboschimento in aree agricole riguarda il potenziale degrado sociale e culturale degli ambienti rurali conseguente al progressivo abbandono di tali aree da parte degli agricoltori (Behan et al., 2006). Inoltre, l'economicità degli investimenti pubblici per l'attuazione delle politiche di rimboschimento e l'ottimale entità dei terreni da convertire verso pratiche forestale rappresentano delle questioni che devono essere attentamente valutate (Zavalloni et al., 2021).

Sebbene non così determinante come la diminuzione delle temperature superficiali del suolo e l'aumento della copertura forestale, la presenza di beni paesaggistici e beni identitari rappresenta un terzo fattore capace di migliorare l'IVR rafforzando i CE che uniscono le aree protette. Nel caso sardo, tali beni possono essere elementi naturali (come, ad esempio, la fascia costiera o la rete fluviale) o artificiali (come, ad esempio, i siti archeologici). In entrambi i casi, il PPR impone che le trasformazioni siano limitate, se non totalmente vietate. Pertanto, i decisori hanno a disposizione due principali strumenti per aumentare il valore di LAND\_V: innalzare

i livelli di protezione e conservazione, per gli elementi già considerati come beni paesaggistici e identitari dal PPR, o sottoporre a regime di protezione ulteriori categorie di elementi, paesaggisticamente rilevanti ma non ancora tutelati dalle disposizioni del PPR. La seconda opzione sarebbe, in linea di principio, molto significativa se gli elementi lineari del paesaggio che possono svolgere la funzione di corridoi ecologici fossero inclusi in queste nuove categorie di beni paesaggistici da tutelare. Un esempio è costituito dalle fasce vegetate lungo i confini dei lotti agricoli e dai filari di alberi lungo le infrastrutture viarie. Tali elementi possono favorire la connettività (Kollányi & Máté, n.d.), l'eterogeneità del paesaggio e, allo stesso tempo, supportare una maggiore varietà di specie (Ernoul & Alard, 2011; Lenoir et al., 2021; Penko Seidl & Golobič, 2020) e facilitare il movimento soprattutto delle specie più piccole (Lai et al., 2019). Tali componenti del paesaggio, ampiamente considerate dalla letteratura esistente come elementi culturali e identitari (Busck, 2003; Oreszczyń & Lane, 2000), dovrebbero essere considerati come beni paesaggistici da proteggere e da individuare, nel caso di nuove trasformazioni del territorio.

## 6. Conclusioni

L'approccio metodologico definito in questo studio presenta un certo grado di flessibilità, che ne permette l'esportabilità in altri contesti locali. Difatti, diversi sono gli aspetti e gli elementi che possono essere modificati per rendere l'approccio metodologico applicabile in altri contesti, caratterizzati dalla disponibilità di determinati dati o da quadri normativi diversi da quelli alla base dello studio qui proposto. Alcuni esempi in tal senso sono rappresentati dalla definizione dei punteggi attribuiti per costruire la mappa della resistenza, dalla tassonomia delle aree scelte come nodi della rete, dalla scelta dei SE da includere per valutare la multifunzionalità e dai modelli che sono stati utilizzati per mappare i SE selezionati. L'approccio metodologico proposto presenta delle limitazioni che riguardano la validazione dei dati in riferimento alle variabili LAND\_ST e EB\_RECR. Rispetto alla variabile LAND\_ST, i valori delle temperature superficiali del suolo, determinati secondo la metodologia proposta in questo studio, dovrebbero essere confrontati con misurazioni dirette e in situ per convalidare la base di dati. Tuttavia, è bene evidenziare che un continuo ed efficace monitoraggio dei valori della temperatura superficiale del suolo è inattuabile a causa della disomogeneità della distribuzione spaziale dei siti di misurazione e a causa delle imprecisioni delle simulazioni del modello utilizzato (Cheng et al., 2021). Inoltre, i modelli di telerilevamento devono fare i conti con una significativa incertezza dovuta agli effetti atmosferici, in termini di attenuazione ed emissioni, e alla disomogeneità dell'emissività della superficie terrestre (Li et al., 2020). La mancanza di una base di dati validata potrebbe pregiudicare la possibilità di attuare politiche pianificatorie mirate ad influenzare i valori della temperatura superficiale del suolo. In riferimento alla variabile EB\_RECR, il modello utilizzato stima l'offerta potenziale di servizi ricreativi naturali e, pertanto, come nel caso della variabile LAND\_ST, sarebbe opportuno validare la base di dati con osservazioni dirette che valutino l'effettivo utilizzo di tali servizi.

Un ulteriore limite dell'approccio metodologico proposto e, quindi, un'ulteriore prospettiva per lo sviluppo futuro della ricerca, riguarda la metodologia utilizzata per identificare i CE, la quale non prende in considerazione le barriere fisiche, sia artificiali sia naturali, che possono ostacolare il movimento delle specie; si tratta di strade, ferrovie e fiumi. Tali elementi dovrebbero essere inclusi e valutati

nell'approccio metodologico utilizzato e un possibile esempio è rappresentato dallo studio proposto da Wu et al. (2021), i quali utilizzano tecniche di telerilevamento per definire il tracciato dei CE, sovrapponendo i potenziali CE con gli elementi di frammentazione quali strade o insediamenti umani.

Infine, una possibile e promettente prospettiva futura si individua nell'analisi della frammentazione indotta dall'attuazione delle politiche del territorio che alterano lo stato dei suoli, interrompendo la funzionalità dei corridoi ecologici. Di particolare rilievo, da questo punto di vista, la progettazione di varchi localizzati in modo tale da consentire, in termini efficaci, il mantenimento dei flussi biotici attraverso le IVR.

### Note

1. SardegnaGeoportale, disponibile online alla pagina: <http://www.sardegnaegeoportale.it> (ultimo accesso: 8 Marzo 2023).
2. Direttiva della Comunità Europea n. 43/92/CEE del 21 Maggio 1992, relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche, disponibile online alla pagina: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:31992L0043> (ultimo accesso: 8 Marzo 2023).
3. Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio n. 147/2009/CE del 20 Novembre 2009, concernente la conservazione degli uccelli selvatici, disponibile online alla pagina: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0147> (ultimo accesso: 8 Marzo 2023).
4. SIC, ZSC e ZPS in Italia, disponibile online alla pagina: <https://www.mite.gov.it/pagina/sic-zsc-e-zps-italia> (ultimo accesso: 8 Marzo 2023).
5. Common International Classification of Ecosystem Services, disponibile online alla pagina: <https://cices.eu/> (ultimo accesso: 8 Marzo 2023).
6. InVEST è liberamente scaricabile dal sito: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest> (ultimo accesso: 8 Marzo 2023).
7. CORINE Land Cover, disponibile online alla pagina <https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover> (ultimo accesso: 8 Marzo 2023).
8. Disponibile online alla pagina: <https://linkagemapper.org> (ultimo accesso: 8 Marzo 2023).
9. Disponibile online alla pagina: <https://www.sardegnaegeoportale.it/areetematiche/modellidigitalidielevazione> (ultimo accesso: 8 Marzo 2023).
10. GeoDa e il suo manuale d'uso sono disponibili online alla pagina: <https://geodacenter.github.io> (ultimo accesso: 8 Marzo 2023).

### Author Contributions

The paper is the result of the joint research of the authors. The first and last sections were jointly drafted. Sabrina Lai wrote sections 2.1, 2.2, 2.3.1 and 3.1, Federica Isola and Federica Leone wrote sections 2.3.2 and 3.2. Corrado Zoppi wrote sections 2.3.3 and 3.3. Federica Isola, Federica Leone and Corrado Zoppi wrote section 4. Sabrina Lai and Corrado Zoppi wrote section 5.

### Funding

This paper is written as part of the Research Project "Paesaggi rurali della Sardegna: pianificazione di infrastrutture verdi e blu e di reti territoriali complesse", funded with reference to the Call of the Autonomous Region of Sardinia for "Progetti di ricerca fondamentale o di base" in implementation of the Regional Law No. 7 /2007, annuality 2017, developed at the Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR) of the University of Cagliari.

### Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

### Originality

The authors declare that this manuscript re-elaborates and supplements the contents of the following paper: Isola F., Lai S., Leone F., Zoppi C. (2022), “Politiche di piano per il consolidamento delle infrastrutture verdi regionali: indicazioni operative dal contesto territoriale della Sardegna”, in Moccia F.D., Sepe M. (a cura di), XIII Giornata Internazionale di Studi INU - 13° Inu International Study Day “Oltre il futuro: emergenze, rischi, sfide, transizioni, opportunità - Beyond the future: emergencies, risks, challenges, transitions, and opportunities” (Napoli, 16 December 2022), *Urbanistica Informazioni*, n. 306s.i., INU Edizioni, Roma, pages 333-339.

The authors also declare that the manuscript is not currently being considered for publication elsewhere, in the present of any other language. The manuscript has been read and approved by all named authors and there are no other persons who satisfied the criteria for authorship but are not listed. The authors also declare to have obtained the permission to reproduce in this manuscript any text, illustrations, charts, tables, photographs, or other material from previously published sources (journals, books, websites, etc).

### References

- AGRISTUDIO, CRITERIA, & TEMI (2011). *Realizzazione del Sistema di Monitoraggio dello Stato di Conservazione degli Habitat e delle Specie di Interesse Comunitario della Regione Autonoma della Sardegna. Relazione Generale, Allegato 1b: Carta dell'Idoneità Faunistica*.
- Allen, A. M., & Singh, N. J. (2016). Linking movement ecology with wildlife management and conservation. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3. <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00155>
- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models* (Vol. 4). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1>
- Anselin, L. (2003). Spatial econometrics. In B. H. Baltagi (Ed.), *A Companion to Theoretical Econometrics* (pp. 310–330). Blackwell Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9780470996249.ch15>
- Bacchetta, G., Bagella, S., Biondi, E., Farris, E., Filigheddu, R., & Mossa L. (2009). Vegetazione forestale e serie di vegetazione della Sardegna. *Fitosociologia*, 46(1), 3–82.
- Balbi, M., Petit, E. J., Croci, S., Nabucet, J., Georges, R., Madec, L., & Ernoult, A. (2019). Ecological relevance of least cost path analysis: An easy implementation method for landscape urban planning. *Journal of Environmental Management*, 244, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.124>
- Battisti, C. (2004). *Frammentazione ambientale, connettività, reti ecologiche: un contributo teorico e metodologico con particolare riferimento alla fauna selvatica*. Provincia di Roma, Assessorato alle Politiche Agricole, Ambientali e Protezione Civile.
- Baudry, J., & Merriam, H. G. (1988). Connectivity and connectedness: Functional versus structural patterns in landscapes. *Proceedings of the 2nd IALE Seminar “Connectivity in Landscape Ecology”, Münster, Germany, 19–24 July 1987*, 23–28.
- Behan, J., McQuinn, K., & Roche, M. J. (2006). Rural land use: Traditional agriculture or forestry? *Land Economics*, 82(1), 112–123. <https://doi.org/10.3368/le.82.1.112>
- Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2002). Green infrastructure: Smart conservation for the 21<sup>st</sup> century. *Renewable Resources Journal*, 20(3), 12–17.
- Bramley, G., & Watkins, D. (2014). ‘Measure twice, cut once’—Revisiting the strength and impact of local planning regulation of Housing Development in England. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41(5), 863–884. <https://doi.org/10.1068/b39131>
- Buijs, A., Hansen, R., Van der Jagt, S., Ambrose-Oji, B., Elands, B., Lorance Rall, E., Mattijssen, T., Pauleit, S., Runhaar, H., Stahl Olafsson, A., & Steen Møller, M. (2019). Mosaic governance for urban green infrastructure: Upscaling active citizenship from a local government perspective. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.011>
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes’ capacities to provide ecosystem services - A concept for land-cover based assessments. *Landscape Online*, 15, 1–22. <https://doi.org/10.3097/LO.200915>
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., & Müller, F. (2012). Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 21, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>
- Busck, A. G. (2003). Hedgerow planting analysed as a social system—interaction between farmers and other actors in Denmark. *Journal of Environmental Management*, 68(2), 161–171. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(03\)00064-1](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(03)00064-1)
- Byron, R. P., & Bera, A. K. (1983). Linearized estimation of nonlinear single equation functions.. *International Economic Review*, 24(1), 237. <https://doi.org/10.2307/2526125>
- Cannas, I., Lai, S., Leone, F., & Zoppi, C. (2018a). Integrating green infrastructure and ecological corridors: A study concerning the metropolitan area of Cagliari (Italy). In R. Papa, R. Fistola, & C. Gargiulo (Eds.), *Smart Planning: Sustainability and*

- Mobility in the Age of Change* (pp. 127–145). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77682-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77682-8_8)
- Cannas, I., Lai, S., Leone, F., & Zoppi, C. (2018b). Green infrastructure and ecological corridors: A regional study concerning Sardinia. *Sustainability*, *10*(4), 1265. <https://doi.org/10.3390/su10041265>
- Cannas, I., & Zoppi, C. (2017a). Ecosystem services and the Natura 2000 Network: A study concerning a green infrastructure based on ecological corridors in the metropolitan City of Cagliari. In O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, G. Borruso, C. Torre, A. M. A. C. Rocha, D. Taniar, B. O. Apduhan, E. Stankova, & A. Cuzzocrea (Eds.), *17th International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2017); Lecture Notes in Computer Sciences Series* (pp. 379–400). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-62407-5\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-319-62407-5_27)
- Cannas, I., & Zoppi, C. (2017b). Un'infrastruttura verde nell'area metropolitana di Cagliari: Corridoi ecologici come connessioni tra i Siti della Rete Natura 2000. *Atti Della XX Conferenza Nazionale SIU. Urbanistica E/È Azione Pubblica*, 1373–1386.
- Cheng, J., Meng, X., Dong, S., & Liang, S. (2021). Generating the 30-m land surface temperature product over continental China and USA from Landsat 5/7/8 data. *Science of Remote Sensing*, *4*, 100032. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2021.100032>
- Cheshire, P., & Sheppard, S. (1995). On the price of land and the value of amenities. *Economica*, *62*(246), 247. <https://doi.org/10.2307/2554906>
- Commissione europea. (2013). *Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni. Infrastrutture verdi - Rafforzare il capitale naturale in Europa.: Vol. SWD (2013) 155 Final*. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0005.03/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0005.03/DOC_1&format=PDF)
- Correa Ayram, C. A., Mendoza, M. E., Etter, A., & Salicrup, D. R. P. (2016). Habitat connectivity in biodiversity conservation. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, *40*(1), 7–37. <https://doi.org/10.1177/0309133315598713>
- D'Ambrogi, S., Gori, M., Guccione, M., & Nazzini, L. (2015). Implementazione della connettività ecologica sul territorio: il monitoraggio ISPRA 2014. *Reticula*, *9*, 1–7.
- D'Ambrogi, S., & Nazzini, L. (2013). Monitoraggio ISPRA 2012: La rete ecologica nella pianificazione territoriale. *Reticula*, *3*, 1–5.
- Directorate - General Environment (2012). *The Multifunctionality of Green Infrastructure, Science for Environment Policy, DG News Alert Service, In-depth Report. 2012*. [https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/Green\\_Infrastructure.pdf](https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/Green_Infrastructure.pdf)
- Duesberg, S., Dhubbáin, Á. N., & O'Connor, D. (2014). Assessing policy tools for encouraging farm afforestation in Ireland. *Land Use Policy*, *38*, 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.11.001>
- Ernault, A., & Alard, D. (2011). Species richness of hedgerow habitats in changing agricultural landscapes: Are  $\alpha$  and  $\gamma$  diversity shaped by the same factors? *Landscape Ecology*, *26*(5), 683–696. <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9593-3>
- European Environment Agency. (2014). *Spatial Analysis of Green Infrastructure in Europe; EEA Technical Report no. 2/2014*. <https://doi.org/10.2800/11170>
- Field, R. D., & Parrott, L. (2022). Mapping the functional connectivity of ecosystem services supply across a regional landscape. *ELife*, *11*. <https://doi.org/10.7554/eLife.69395>
- Fischer, J., & Lindenmayer, D. B. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, *16*(3), 265–280. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x>
- Fňukalová, E., Zýka, V., & Romportl, D. (2021). The network of green infrastructure based on ecosystem services supply in Central Europe. *Land*, *10*(6), 592. <https://doi.org/10.3390/land10060592>
- Fors, H., Molin, J. F., Murphy, M. A., & Konijnendijk van den Bosch, C. (2015). User participation in urban green spaces – For the people or the parks? *Urban Forestry & Urban Greening*, *14*(3), 722–734. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.05.007>
- Geneletti, D., Cortinovis, C., Zardo, L., & Esmail, B. A. (2020). *Planning for Ecosystem Services in Cities*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20024-4>
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, *86*, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
- Gregory, A., Spence, E., Beier, P., & Garding, E. (2021). Toward best management practices for ecological corridors. *Land*, *10*(2), 140. <https://doi.org/10.3390/land10020140>
- Guo, X., Zhang, X., Du, S., Li, C., Siu, Y. L., Rong, Y., & Yang, H. (2020). The impact of onshore wind power projects on ecological corridors and landscape connectivity in Shanxi, China. *Journal of Cleaner Production*, *254*, 120075. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120075>
- Hansen, R., Olafsson, A. S., van der Jagt, A. P. N., Rall, E., & Pauleit, S. (2019). Planning multifunctional green infrastructure for compact cities: What is the state of practice? *Ecological Indicators*, *96*(2), 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.042>
- Hansen, R., & Pauleit, S. (2014). From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *AMBIO*, *43*(4), 516–529. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0510-2>
- Hidalgo, P. J., Hernández, H., Sánchez-Almendro, A. J., López-Tirado, J., Vessella, F., & Porras, R. (2021). Fragmentation and connectivity of island forests in agricultural mediterranean environments: A comparative study between the Guadalquivir Valley (Spain) and the Apulia Region (Italy). *Forests*, *12*(9), 1201. <https://doi.org/10.3390/f12091201>
- Hilty, J., Worboys, G. L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B. J., Locke, H., Carr, M., Pulsford, I., Pittock, J., White, J. W.,

- Theobald, D. M., Levine, J., Reuling, M., Watson, J. E. M., Ament, R., & Tabor, G. M. (2020). *Guidelines for Conserving Connectivity Through Ecological Networks and Corridors* (C. Groves, Ed.). IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.30.en>
- Howley, P., Buckley, C., O Donoghue, C., & Ryan, M. (2015). Explaining the economic 'irrationality' of farmers' land use behaviour: The role of productivist attitudes and non-pecuniary benefits. *Ecological Economics*, 109, 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.11.015>
- Hyytiäinen, K., Leppänen, J., & Pahkasalo, T. (2008). Economic analysis of field afforestation and forest clearance for cultivation in Finland. *Proceedings of the International Congress of European Association of Agricultural Economists, 26–29 August 2008*.
- Isola, F., Lai, S., Leone, F., & Zoppi, C. (2022). *Green Infrastructure and Regional Planning: An Operational Framework*. FrancoAngeli.
- Jennings, V., Larson, L., & Yun, J. (2016). Advancing sustainability through urban green space: Cultural ecosystem services, equity, and social determinants of health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(2), 196. <https://doi.org/10.3390/ijerph13020196>
- Kollányi, L., & Máté, K. (n.d.). Connectivity analysis for green infrastructure restoration planning on national level. *Proceedings of the Fábos Conference on Landscape and Greenway Planning 2016*, 5(1), 30. Retrieved 22 March 2023, from <https://scholarworks.umass.edu/fabos/vol5/iss1/30>
- Kumm, K.-I., & Hesse, A. (2020). Economic comparison between pasture-based beef production and afforestation of abandoned land in Swedish forest districts. *Land*, 9(2), 42. <https://doi.org/10.3390/land9020042>
- Lai, S., Isola, F., Leone, F., & Zoppi, C. (2021). Assessing the potential of green infrastructure to mitigate hydro-geological hazard. Evidence-based policy suggestions from a Sardinian study area. *TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment 2021, Special Issue, 1/2021*, 109–133.
- Lai, S., & Leone, F. (2017). Bridging biodiversity conservation objectives with landscape planning through green infrastructures: A case study from Sardinia, Italy. In O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, G. Borruso, C. Torre, A. M. A. C. Rocha, D. Taniar, B. O. Apduhan, E. Stankova, & A. Cuzzocrea (Eds.), *17th International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2017); Lecture Notes in Computer Sciences Series* (pp. 456–472). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-62407-5\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-62407-5_32)
- 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*, 67, 126–150. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.05.030>
- Lai, S., Leone, F., & Zoppi, C. (2019). Assessment of municipal masterplans aimed at identifying and fostering green infrastructure: A Study concerning three towns of the metropolitan area of Cagliari, Italy. *Sustainability*, 11(5), 1470. <https://doi.org/10.3390/su11051470>
- Lai, S., Leone, F., & Zoppi, C. (2020b). Spatial distribution of surface temperature and land cover: A study concerning Sardinia, Italy. *Sustainability*, 12(8), 3186. <https://doi.org/10.3390/su12083186>
- LaRue, M. A., & Nielsen, C. K. (2008). Modelling potential dispersal corridors for cougars in midwestern North America using least-cost path methods. *Ecological Modelling*, 212(3–4), 372–381. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.10.036>
- Lee, J. A., Chon, J., & Ahn, C. (2014). Planning landscape corridors in ecological infrastructure using least-cost path methods based on the value of ecosystem services. *Sustainability*, 6(11), 7564–7585. <https://doi.org/10.3390/su6117564>
- Lennon, M., & Scott, M. (2014). Delivering ecosystems services via spatial planning: Reviewing the possibilities and implications of a green infrastructure approach. *Town Planning Review*, 85(5), 563–587. <https://doi.org/10.3828/tpr.2014.35>
- Lenoir, J., Decocq, G., Spicher, F., Gallet-Moron, E., Buridant, J., & Closset-Kopp, D. (2021). Historical continuity and spatial connectivity ensure hedgerows are effective corridors for forest plants: Evidence from the species–time–area relationship. *Journal of Vegetation Science*, 32(1). <https://doi.org/10.1111/jvs.12845>
- Lai, S., Leone, F., & Zoppi, C. (2020a). Land surface temperature and land cover dynamics. A study related to Sardinia, Italy. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 13(3). <https://doi.org/10.6092/1970-9870/7143>
- Li, J., Wu, H., & Li, Z.-L. (2020). An optimal sampling method for multi-temporal land surface temperature validation over heterogeneous surfaces. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 169, 29–43. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.08.024>
- Liquete, C., Kleeschulte, S., Dige, G., Maes, J., Grizzetti, B., Olah, B., & Zulian, G. (2015). Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A Pan-European case study. *Environmental Science & Policy*, 54, 268–280. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.009>
- Madureira, H., & Andresen, T. (2014). Planning for multifunctional urban green infrastructures: Promises and challenges. *Urban Design International*, 19(1), 38–49. <https://doi.org/10.1057/udi.2013.11>
- Maes, J., Barbosa, A., Baranzelli, C., Zulian, G., Batista e Silva, F., Vandecasteele, I., Hiederer, R., Liquete, C., Paracchini, M. L., Mubareka, S., Jacobs-Crisioni, C., Castillo, C. P., & Lavalle, C. (2015). More green infrastructure is required to maintain ecosystem services under current trends in land-use change in Europe. *Landscape Ecology*, 30(3), 517–534. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0083-2>
- Mathey, J., Rößler, S., Lehmann, I., & Bräuer, A. (2011). Urban green spaces: Potentials and constraints for urban adaptation to climate change. In K. Otto-Zimmermann (Ed.), *Resilient Cities* (pp. 479–485). Springer Netherlands.
- Mayor of London. (2006). *London's Urban Heat Island: A Summary for Decision Makers*.
- Mazzeo, G., Zucaro, F., & Morosini, R. (2019). Green is the colour. Standards, equipment and public spaces as paradigm for the

- Italian sustainable city. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 12(1). <https://doi.org/10.6092/1970-9870/5836>
- McLaughlin, A., & Mineau, P. (1995). The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 55(3), 201–212. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(95\)00609-V](https://doi.org/10.1016/0167-8809(95)00609-V)
- McRae, B. H., Dickson, B. G., Keitt, T. H., & Shah, V. B. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 89(10), 2712–2724. <https://doi.org/10.1890/07-1861.1>
- McRae, B. H., & Kavanagh, D. M. (2017). *User Guide: Linkage Pathways Tool of the Linkage Mapper Toolbox. Version 2.0 - Updated October 2017*. [https://github.com/linkagescape/linkage-mapper/files/2204107/Linkage\\_Mapper\\_2\\_0\\_0.zip](https://github.com/linkagescape/linkage-mapper/files/2204107/Linkage_Mapper_2_0_0.zip)
- Meerow, S. (2020). The politics of multifunctional green infrastructure planning in New York City. *Cities*, 100, 102621. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102621>
- Meerow, S., & Newell, J. P. (2017). Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*, 159, 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.10.005>
- Mitchell, M. G. E., Bennett, E. M., & Gonzalez, A. (2013). Linking landscape connectivity and ecosystem service provision: Current knowledge and research gaps. *Ecosystems*, 16(5), 894–908. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9647-2>
- Mitchell, M. G. E., Suarez-Castro, A. F., Martinez-Harms, M., Maron, M., McAlpine, C., Gaston, K. J., Johansen, K., & Rhodes, J. R. (2015). Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(4), 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.01.011>
- Ndossi, M. I., & Avdan, U. (2016). Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: A PyQGIS plugin. *Remote Sensing*, 8(5), 413. <https://doi.org/10.3390/rs8050413>
- Ng, C. N., Xie, Y. J., & Yu, X. J. (2013). Integrating landscape connectivity into the evaluation of ecosystem services for biodiversity conservation and its implications for landscape planning. *Applied Geography*, 42, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.04.015>
- Oreszczyn, S., & Lane, A. (2000). The meaning of hedgerows in the English landscape: Different stakeholder perspectives and the implications for future hedge management. *Journal of Environmental Management*, 60(1), 101–118. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0365>
- Palmer, S. C. F., Coulon, A., & Travis, J. M. J. (2011). Introducing a 'stochastic movement simulator' for estimating habitat connectivity. *Methods in Ecology and Evolution*, 2(3), 258–268. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00073.x>
- Peirce, K., & van Daele, L. (2006). Use of a garbage dump by brown bears in Dillingham, Alaska. *Ursus*, 17(2), 165–177.
- Peng, J., Yang, Y., Liu, Y., Hu, Y., Du, Y., Meersmans, J., & Qiu, S. (2018). Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. *Science of The Total Environment*, 644, 781–790. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.292>
- Penko Seidl, N., & Golobič, M. (2020). Quantitative assessment of agricultural landscape heterogeneity. *Ecological Indicators*, 112, 106115. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106115>
- Pérez-Urrestarazu, L., Fernández-Cañero, R., Franco-Salas, A., & Egea, G. (2015). Vertical greening systems and sustainable cities. *Journal of Urban Technology*, 22(4), 65–85. <https://doi.org/10.1080/10630732.2015.1073900>
- Pötz, H., Bleuzé, P., Sjaaw En Wa-Windhorst, A., & van Someren, H. (2016). *Urban Green-Blue Grids Manual for Resilient Cities*. Atelier Groenblauw.
- Robbins, C. S., Bystrak, D., Geissler, P. H., & Service, U. S. F. and W. (1986). The Breeding Bird Survey: Its first fifteen years, 1965-1979. In *Resource Publication*. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/5230189>
- Ryan, M., & O'Donoghue, C. (2016). Socio-economic drivers of farm afforestation decision-making. *Socio-Economic Drivers of Farm Afforestation Decision-Making*, 73(1–2), 96–121.
- Sabo, J. L., Sponseller, R., Dixon, M., Gade, K., Harms, T., Heffernan, J., Jani, A., Katz, G., Soykan, C., Watts, J., & Welter, J. (2005). Riparian zones increase regional species richness by harboring different, not more, species. *Ecology*, 86(1), 56–62. <https://doi.org/10.1890/04-0668>
- Sánchez-Montoya, M. M., Moleón, M., Sánchez-Zapata, J. A., & Tockner, K. (2016). Dry riverbeds: corridors for terrestrial vertebrates. *Ecosphere*, 7(10). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1508>
- Santos, J. S., Leite, C. C. C., Viana, J. C. C., dos Santos, A. R., Fernandes, M. M., de Souza Abreu, V., do Nascimento, T. P., dos Santos, L. S., de Moura Fernandes, M. R., da Silva, G. F., & de Mendonça, A. R. (2018). Delimitation of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest. *Ecological Indicators*, 88, 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.011>
- Selman, P. (2009). Planning for landscape multifunctionality. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 5(2), 45–52. <https://doi.org/10.1080/15487733.2009.11908035>
- Shi, X., Qin, M., Li, B., & Zhang, D. (2021). A framework for optimizing green infrastructure networks based on landscape connectivity and ecosystem services. *Sustainability*, 13(18), 10053. <https://doi.org/10.3390/su131810053>
- Sklenicka, P., Molnarova, K., Pixova, K. C., & Salek, M. E. (2013). Factors affecting farmland prices in the Czech Republic. *Land Use Policy*, 30(1), 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.03.005>
- Slätmo, E., Nilsson, K., & Turunen, E. (2019). Implementing green infrastructure in spatial planning in Europe. *Land*, 8(4), 62. <https://doi.org/10.3390/land8040062>
- Stewart, P. A., & Libby, L. W. (1998). Determinants of farmland value: The case of DeKalb County, Illinois. *Review of Agricultural Economics*, 20(1), 80–95. <https://doi.org/10.2307/1349535>
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81(3),

- 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
- Ustaoglu, E., & Aydinoglu, A. (2019). Land suitability assessment of green infrastructure development: A case study of Pendik district (Turkey). *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 12, 165–178. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/6118>
- Vallecillo, S., La Notte, A., Polce, C., Zulian, G., Alexandris, N., Ferrini, S., & Maes, J. (2018). *Ecosystem Services Accounting: Part I - Outdoor Recreation and Crop Pollination, EUR 29024 EN*.
- Wang, Y., Chang, Q., & Fan, P. (2021a). A framework to integrate multifunctionality analyses into green infrastructure planning. *Landscape Ecology*, 36(7), 1951–1969. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01058-w>
- Wang, Z., Yang, Z., Shi, H., & Han, L. (2021b). Effect of forest connectivity on the dispersal of species: A case study in the Bogda World Natural Heritage Site, Xinjiang, China. *Ecological Indicators*, 125, 107576. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107576>
- Webster, C. (2005). The New Institutional Economics and the evolution of modern urban planning: Insights, issues and lessons. *Town Planning Review*, 76(4), 455–502. <https://doi.org/10.3828/tpr.76.4.5>
- Wierzcholska, S., Dyderski, M. K., Pielech, R., Gazda, A., Smoczyk, M., Malicki, M., Horodecki, P., Kamczyc, J., Skorupski, M., Hachułka, M., Kałucka, I., & Jagodziński, A. M. (2018). Natural forest remnants as refugia for bryophyte diversity in a transformed mountain river valley landscape. *Science of The Total Environment*, 640–641, 954–964. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.340>
- Wolman, A., & Couper, E. (2003). Potential consequences of linear approximation in economics. *Economic Quarterly*, 51–67.
- Wu, J., Delang, C. O., Li, Y., Ye, Q., Zhou, J., Liu, H., He, H., & He, W. (2021). Application of a combined model simulation to determine ecological corridors for western black-crested gibbons in the Hengduan Mountains, China. *Ecological Indicators*, 128, 107826. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107826>
- Zavalloni, M., D'Alberto, R., Raggi, M., & Viaggi, D. (2021). Farmland abandonment, public goods and the CAP in a marginal area of Italy. *Land Use Policy*, 107, 104365. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104365>
- Zeller, K. A., McGarigal, K., & Whiteley, A. R. (2012). Estimating landscape resistance to movement: A review. *Landscape Ecology*, 27(6), 777–797. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9737-0>
- Zoppi, C., Argiolas, M., & Lai, S. (2015). Factors influencing the value of houses: Estimates for the city of Cagliari, Italy. *Land Use Policy*, 42, 367–380. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.08.012>
- Zoppi, C., & Lai, S. (2014). Land-taking processes: An interpretive study concerning an Italian region. *Land Use Policy*, 36, 369–380. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.09.011>
- Zulian, G., Paracchini, M. L., Maes, J., & Liqueste, C. (2013). *ESTIMAP: Ecosystem Services Mapping at European Scale. JRC Technical Report EUR 26474 ENG*.

