

ARTICLE INFO

Received	21 March 2023
Revised	27 April 2023
Accepted	05 May 2023
Published	30 June 2023

INNOVAZIONE RURALE, SERVIZI ECO-SISTEMICI E PROCESSI DI URBANIZZAZIONE IN LIGURIA, TRA COSTA ED ENTROTERRA

RURAL INNOVATION, ECOSYSTEM SERVICES AND URBANISATION PROCESSES IN LIGURIA, BETWEEN COASTAL AND INNER AREAS

Giampiero Lombardini, Angela Pilogallo, Giorgia Tucci

ABSTRACT

Lo sfruttamento delle risorse ambientali e i processi di urbanizzazione hanno alterato in modo significativo gli ecosistemi naturali, trasformandoli nel tempo in sistemi socio-ecologici fortemente influenzati dalla presenza degli insediamenti antropici. La pianificazione territoriale deve dunque puntare a nuovi modelli di sviluppo in grado di coniugare le esigenze di conservazione delle componenti ambientali e quelle di riduzione delle disuguaglianze socio-economiche, spesso legate all'inequiva accessibilità ai servizi ecosistemici. Si presenta il caso studio della Liguria, caratterizzata da una forte polarizzazione tra conurbazione lineare costiera ed entroterra, tra le aree che forniscono la maggior parte dei servizi ecosistemici e quelle a più alta densità di popolazione e di urbanizzazione, che invece si configurano come grandi poli di domanda. Il presente lavoro analizza la relazione tra i valori ambientali, in termini di multifunzionalità ecosistemica, e le forme di innovazione rurale che contribuiscono a sostenere la competitività territoriale. L'obiettivo è esplorare come un approccio sistemico possa favorire le opportunità di integrazione tra aree interne e costiere, qualificando i sistemi vallivi come nuove componenti della struttura antropico-ambientale della regione.

Exploiting environmental resources and urbanisation processes has significantly altered the natural ecosystems over time, turning them into socio-ecological systems strongly affected by anthropic settlements. Spatial planning must therefore aim at new development models able to harmonise the need to preserve the environmental components with the need to reduce the socio-economic inequalities, often linked to inequitable access to ecosystem services. The case study of the Liguria Region is presented, with its marked polarisation between the linear coastal conurbation and inner areas, the areas providing the most significant number of ecosystem services and those with greater population and urbanisation density, which are instead organised as large demand poles. The paper analyses the relationship between environmental values, in terms of ecosystem multifunctionality, and rural innovation forms that support territorial competitiveness. The aim is to explore how a systemic approach can integrate opportunities between the inner and coastal areas, qualifying the valley systems as new elements of the anthropic-environmental structure of the region.

KEYWORDS

servizi ecosistemici, urbanizzazione costiera, innovazione rurale, morfologia spaziale, multifunzionalità ecosistemica

ecosystem services, coastal urbanisation, rural innovation, spatial morphology, ecosystem multifunctionality

Giampiero Lombardini, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture and Design, University of Genova (Italy). His research is centred on studying physical-morphological and socio-economic aspects urban, as well as the Italian territorial and environmental planning models. E-mail: giampiero.lombardini@unige.it

Angela Pilogallo is an Environmental Engineer and a PhD in Engineering for Innovation and Sustainable Development (University of Basilicata, Italy). Her research is centred on the methodological framework of Ecosystem Services. E-mail: an.pilogallo@gmail.com

Giorgia Tucci, Architect and PhD, is a Postdoctoral Research Fellow at the Department of Architecture and Design, University of Genova (Italy). She focuses her research on the development of sustainable operational strategies in the agricultural-coastal territory of the Mediterranean region. E-mail: giorgia.tucci@unige.it



Lo sfruttamento delle risorse ambientali e l'aumento dei fenomeni di urbanizzazione nelle sue varie forme hanno modificato in modo significativo e irreversibile l'ecosistema naturale, trasformandolo nel tempo in un sistema socio-ecologico (Alberti, 2018) organizzato da regioni urbane. I processi di sfruttamento sono ancora ampiamente caratterizzati da una profonda dispersione di entropia; allo stesso modo l'accesso a sistemi antropici circolari (Lacy, Long and Spindler, 2020) rappresenta un'esigenza sempre più urgente. Le strutture spaziali e gli ecosistemi (compresi i neo-ecosistemi creati dall'uomo) devono affrontare una simbiosi con l'ambiente e le risorse ambientali non più rinviabile, in modo da coniugare le esigenze di conservazione delle risorse naturali con la riduzione delle disuguaglianze socioeconomiche, sempre più legate, tra le altre cause, all'accesso differenziato ai servizi ecosistemici (Ronchi, 2018).

L'obiettivo che può essere perseguito sia attraverso l'innovazione tecnologica (innovatività), compresa l'innovazione digitale, sia attraverso processi di retro-innovazione (Bauman, 2020), sull'esempio dei processi di esaptazione naturale (Gould and Vrba, 2008), è lo sviluppo sostenibile, promuovendo azioni in grado di fornire nuovo benessere ambientale, sociale ed economico, portando verso una nuova ecologia globale. Il contributo intende esplorare come l'innovazione nelle aree rurali possa contribuire non solo a conservare piuttosto ad arricchire l'insieme dei servizi ecosistemici nelle aree interne della Liguria. Parallelamente si ritiene importante analizzare la mancata corrispondenza (non solo spaziale, ma anche economica) tra i luoghi in cui i servizi ecosistemici vengono prodotti e quelli in cui vengono prevalentemente consumati, ovvero nelle aree ad alta e densa urbanizzazione, che in Liguria coincidono con i maggiori centri urbani e la conurbazione lineare costiera.

Il presente contributo si articola essenzialmente in tre sezioni principali. La prima illustra gli obiettivi del lavoro inquadrando il caso studio nel più ampio dibattito disciplinare relativo alla sostenibilità delle trasformazioni territoriali e dei processi di urbanizzazione. Viene inoltre descritta la metodologia utilizzata e, in particolare, la sequenza logica che a partire dai concetti di multifunzionalità ecosistemica e innovazione rurale si declina in una serie di indicatori spazialmente espliciti e successivamente messi in relazione reciproca.

La seconda sezione riguarda i metodi per il calcolo degli indicatori. Per quanto riguarda i servizi ecosistemici, essa illustra i criteri che hanno portato alla loro selezione, i modelli utilizzati per la valutazione e il calcolo dell'indice sintetico MESLI. Per quanto concerne invece il grado di innovazione in ambito rurale si descrive il metodo che dalla raccolta di dati alla scala regionale ha portato alla rappresentazione in mappa del grado di innovatività. La terza sezione illustra i risultati del confronto tra le distribuzioni spaziali della multifunzionalità e del grado di innovazione; nelle conclusioni infine si evidenziano i caratteri di originalità dello studio proposto e delle potenzialità della metodologia formulata per perseguire un approccio maggiormente olistico alla pianificazione del territorio, capace di coniugare sviluppo e conservazione delle risorse naturali.

Obiettivi e metodologia | L'obiettivo dello studio

è esplorare come una visione sistemica (in particolare bioregionale; Fanfani and Matarán Ruiz, 2021) possa contribuire a promuovere diverse opportunità di integrazione tra le aree interne e la fascia costiera, assumendo un diverso orientamento della struttura antropico-ambientale della regione, facendo leva sui sistemi vallivi anziché solo sull'asse urbano costiero est-ovest: nello specifico la ricerca si articola in due parti.

Una prima parte è finalizzata all'analisi dell'offerta complessiva di servizi ecosistemici, assunti come misura della performance ambientale territoriale, attraverso la produzione di una mappa del territorio regionale che rappresenta i principali servizi ecosistemici erogati. L'approccio della multifunzionalità, finalizzato a esprimere in modo sintetico (ad esempio mediante indici quali il MESLI) la capacità da parte degli ecosistemi di erogare molteplici benefici in favore dell'uomo (Garland et alii 2021), sta trovando un crescente interesse all'interno della produzione scientifica nei settori disciplinari afferenti alla pianificazione urbana (Salata and Grillenzoni, 2021; Cortinovis and Geneletti, 2020) e territoriale (Isola et alii, 2022; Mitchell and Devisscher, 2022). Il motivo è da ricondurre alla possibilità, nell'ambito di tale approccio, di mettere in relazione le performance ambientali di una data unità territoriale con grandezze rappresentative della pressione antropica (Pilogallo et alii, 2022), dei processi di urbanizzazione (Bomans et alii, 2010; Li et alii, 2023) e più in generale dei cambiamenti di uso del suolo (Stürck and Verburg, 2017; Mastrangelo et alii, 2014).

In una seconda fase si cerca una correlazione spaziale e funzionale tra i siti di produzione del capitale naturale, le forme di innovazione rurale che possono garantire forme innovative di sostegno e tutela antropica del territorio (anche attraverso il fondamentale contributo delle tecnologie digitali), infine si analizza la struttura territoriale in termini di poli di erogazione dei servizi ecosistemici, coincidenti con le aree a più alto valore della multifunzionalità, e poli di domanda corrispondenti alle aree maggiormente antropizzate.

La ricerca si concentra sulla valutazione di un insieme selezionato di servizi ecosistemici presenti nei contesti di analisi e sulla successiva combinazione degli stessi in un indice sintetico rappresentativo dei valori ambientali complessivi (cioè della multifunzionalità): il Multiple Ecosystem Services Landscape Index – MESLI (Rodríguez-Loínez, Alday and Onaindia, 2015). Sulla base dell'intensità di questo indice vengono poi messi in relazione con esso diversi indicatori sintetici (geografici, morfologici, socio-economici e territoriali) descrittivi dei processi di urbanizzazione.

Le restituzioni grafico-analitiche attese individueranno prevedibilmente come le aree più intensamente urbanizzate siano generalmente caratterizzate da performance ambientali inferiori, come la variabilità delle relazioni di correlazione sulla qualità dell'insediamento (forma e densità) giochi un ruolo importante nell'impoverire o proteggere l'offerta complessiva di servizi ecosistemici e come sia possibile individuare scenari bioregionali di integrazione tra aree urbane e aree interne, potendo contare su una serie di poli urbani di secondo livello a valle che possano fungere da cerniera tra le due aree.

La componente morfologica delle fasce costiere sarà quindi di notevole importanza, influen-

zando sia la struttura degli insediamenti sia la distribuzione e la qualità dei servizi ecosistemici. In questo senso, quindi, la ricerca si propone, da un lato, di individuare le correlazioni tra il tasso di urbanizzazione dei diversi contesti costieri e l'offerta di servizi ecosistemici prodotti, dall'altro, di definire un modello o matrice in grado di esprimere una generale reciprocità tra l'indicatore MESLI e le variabili che maggiormente influenzano l'ecosistema costiero, al fine di ottenere una variabile dipendente da studiare attraverso l'analisi di correlazione con i fattori geografici, morfologici, socio-economici e territoriali descrittivi dei processi di urbanizzazione (Figg. 1-3).

Il presente lavoro si inserisce dunque nell'ampio corpo di letteratura scientifica (Liu et alii, 2021; Lapointe, Gurney and Cumming, 2021; Balzan, Caruana and Zammit, 2018) che approfondisce il legame tra fornitura di servizi ecosistemici e processi di urbanizzazione al fine di supportare la pianificazione territoriale nell'individuare metodologie innovative per formulare modelli di sviluppo sostenibile delle aree costiere.

Servizi ecosistemici e innovazione in Liguria

Per far fronte alla complessa situazione globale le sfide comunitarie hanno posto gli obiettivi per uno sviluppo sostenibile promuovendo azioni multifunzionali e innovative in grado di fornire benefici multipli sia sotto il profilo socio-economico che ambientale. L'approccio della multifunzionalità, da intendersi come la capacità di fornire congiuntamente molteplici servizi, si sta consolidando nella pratica della pianificazione urbana e territoriale in quanto è in grado di esprimere una misura complessiva delle prestazioni fornite da un'area territoriale (Pilogallo and Scorza, 2022). In questo senso, infatti, il territorio non rappresenta solo un mero spazio fisico-geografico, ma un ambito relazionale socialmente costruito nel quale hanno luogo i processi di sviluppo territoriale, dove per sviluppo territoriale si intende anche sviluppo economico nel senso di crescita economica (reddito, occupazione, etc.) e sviluppo umano e sociale (istruzione, qualità della vita, etc.) nonché sviluppo ambientale (tutela, biodiversità, etc.).

È quindi lecito interrogarsi in che modo le politiche di innovazione possono sostenere lo sviluppo territoriale in termini di competitività economica, migliore qualità di vita, promozione dell'uguaglianza sociale e tutela dell'ambiente. A questo proposito è necessario in primo luogo definire e circoscrivere le politiche, le azioni e i caratteri di innovazione a livello territoriale. Date le molteplici definizioni del termine 'innovazione', questo presenta un carattere multidimensionale che lo rende di difficile espressione. Il Consiglio Europeo di Lisbona (23-24 marzo 2000) ha definito l'innovazione come «[...] the renewal and enlargement of the range of products and services and the associated markets; the establishment of new methods of production, supply and distribution; the introduction of changes in management, work organization, and the working conditions and skills of the workforce» (European Commission, 2003, p. 5). In questo senso il carattere di innovazione viene definito in termini di gestione di tutte le attività che concorrono a dar vita all'innovazione, in tutte le dimensioni dell'economia e della società.

Tuttavia se nel campo socio-economico appare piuttosto chiaro il concetto di innovazione,

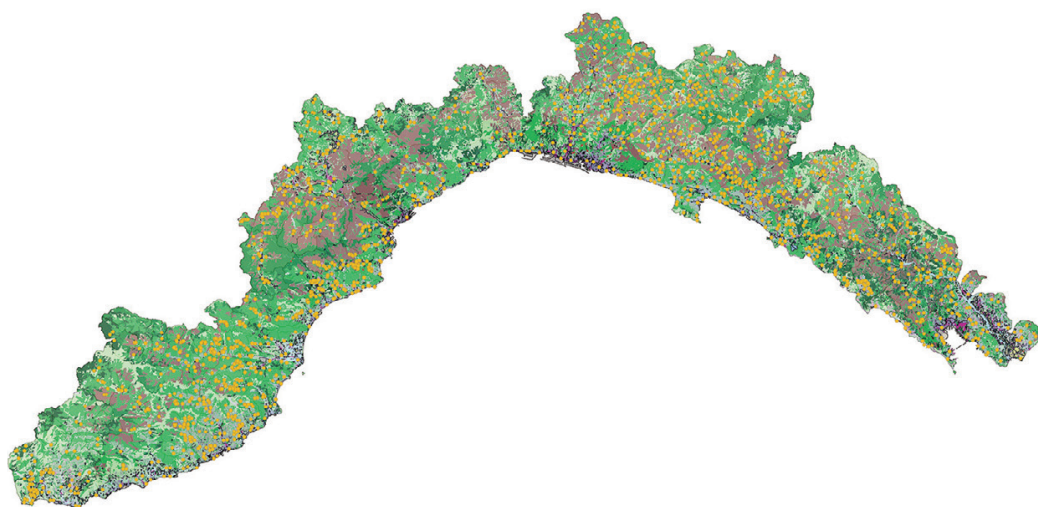
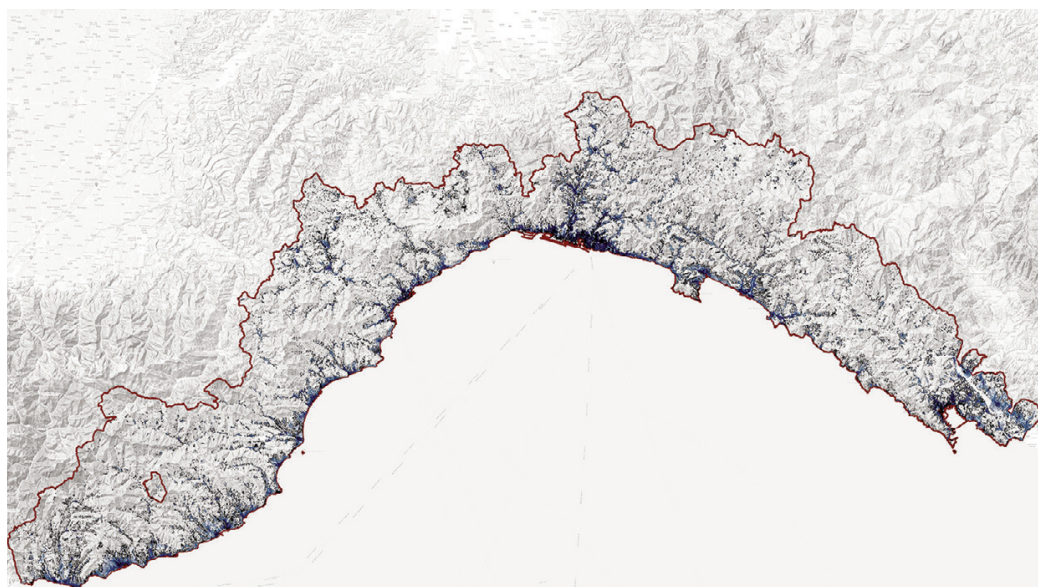
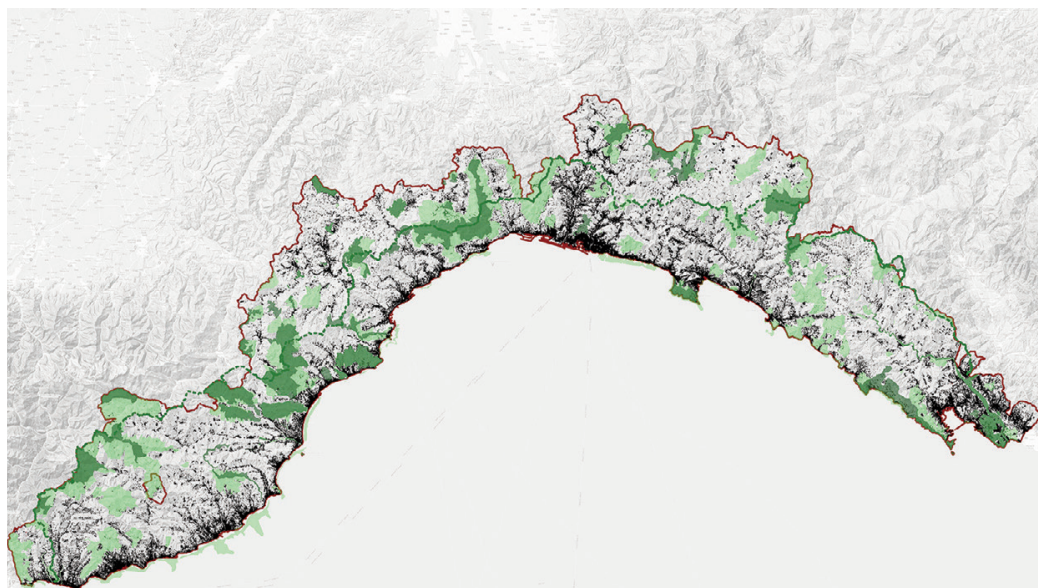


Fig. 1 | Protected areas in Liguria, park areas and SCIs (credit: G. Lombardini, 2023).

Fig. 2 | Settlement pattern in Liguria (credit: G. Lombardini, 2023).

Fig. 3 | Land use and localisation of historical villages (credit: A. Pilogallo and G. Tucci, 2023).

nell'ambito del contesto urbano territoriale non risulta banale declinare concretamente questa definizione. Fu il sociologo urbano Louis Wirth (1938) che nei suoi studi sull'Urbanesimo come modo di vita individuò il concetto di innovazione urbana sostenendo che essa è tale se concorre direttamente alla costituzione di un vantaggio competitivo durevole per la città e / o consente la creazione di un valore che sia condiviso dai cittadini.

Il contesto, sia esso urbano o extraurbano, diviene un fattore cruciale dal momento che l'innovazione viene fondamentalmente intesa come un processo di apprendimento socialmente e territorialmente incorporato e culturalmente e istituzionalmente contestualizzato (Asheim and Coenen, 2005), influenzato dall'intensità delle interazioni che si creano fra i soggetti che creano conoscenza ed il territorio in cui operano. Nel territorio, dove i processi urbani si confrontano con numerosi fattori (governance e Amministrazione Pubblica, politica, istruzione, cultura, religione, ricerca scientifica e tecnologica, sanità, trasporti, commercio, industria, turismo, sicurezza, commercio, comunicazioni, etc.), l'analisi dell'innovazione consente di profilare le caratteristiche interne in termini di rapporti tra individui, Enti, imprese, Istituzioni, così come l'analisi innovativa dei processi urbani delle città nel loro insieme consente di tracciare le interconnessioni a livello mondiale (De Falco, 2017).

L'innovazione diviene perciò uno strumento importante per sostenere la competitività territoriale in una visione condivisa di sviluppo volta a migliorare la qualità della vita delle persone e come tale risponde a una strategia condivisa dagli attori locali all'interno di azioni di dimensione nazionale e internazionale in grado di produrre conoscenza, esperienza e nuove politiche per migliorare la condizione umana (Canzanelli and Lofredo, 2008). Per poter leggere i caratteri di innovazione di un territorio risulta innanzitutto necessario comprendere che questi si diffondono nello spazio e nel tempo in relazione a una serie di fattori intrinseci nel contesto di studio come precondizioni, risorse, variabili situazionali, capacità di accettare il rischio e il cambiamento, valori e interessi socio-culturali, capacità di assorbimento, ecc. Sotto il profilo ambientale l'insieme di questi fattori può essere sintetizzato nell'offerta complessiva dei servizi ecosistemici (di approvvigionamento, di mitigazione e culturali) assunti come misura della performance ambientale del territorio.

L'innovazione rappresenta, quindi, un fattore chiave nel processo di transizione a una maggiore sostenibilità ambientale, il motore per un nuovo paradigma di sviluppo, nonché un nuovo meccanismo evolutivo basato sulla sperimentazione nei processi di progettazione (Tucci and Ratti, 2022). Data la storica convergenza bilaterale fra mondo naturale e mondo artificiale (Ratti and Belleri, 2020) risulta pertanto interessante approfondire il legame che si crea tra l'insieme dei valori ambientali espressi da un'unità territoriale e i fattori d'innovazione che agiscono sulla stessa, nonché la correlazione spaziale e funzionale tra i siti di produzione del capitale naturale e le forme di innovazione rurale che possono garantire forme innovative di sostegno e tutela antropica del territorio.

Definizione degli indicatori | Alla luce delle precedenti considerazioni, in una prima fase dello stu-

dio sono stati individuati due set di indicatori: uno relativo ai servizi ecosistemici che compongono il Multiple Ecosystem Services Landscape Index (indice MESLI) e uno relativo agli elementi che costituiscono il carattere di innovazione del territorio.

L'indice MESLI è un indice sintetico rappresentativo della fornitura congiunta di più servizi ecosistemici (Rodríguez-Loinaz, Alday and Onaindia, 2015), sia in termini di numero sia quale misura dell'intensità complessivamente fornita (Shen et alii, 2020). Il MESLI, calcolato sulla base delle serie storiche di ciascun servizio ecosistemico considerato, viene quindi assunto come significativo delle prestazioni ambientali dei diversi ecosistemi (Pilogallo and Scorza, 2021): il suo valore aumenta sia in risposta al numero crescente di servizi ecosistemici erogati sia come conseguenza della maggiore intensità di erogazione di uno o più servizi ecosistemici (Huang et alii, 2023).

Il MESLI si configura quindi come un indicatore di sintesi non adatto a rappresentare a pieno la complessità sottesa allo svolgimento delle diverse funzioni ecosistemiche, soprattutto nei casi in cui risulta un'evidente non linearità tra i servizi ecosistemici erogati e gli schemi di uso del suolo (Botzas-Coluni et alii, 2021). Esso esprime invece le sue potenzialità nel sintetizzare le caratteristiche di multifunzionalità intese quali erogazione simultanea e congiunta di diversi beni e servizi (Wang et alii, 2023), soprattutto nella prospettiva di ricercare una relazione spaziale tra la multifunzionalità così sintetizzata e gli indicatori rappresentativi dei processi di urbanizzazione (Liu et alii, 2022).

Ai fini della sua quantificazione è stato analizzato un set di sette servizi ecosistemici che, secondo la Classificazione Internazionale Comune (CICES v5.1; Haines-Young and Potschin, 2018), rientrano in sette classi afferenti alle due sezioni dei servizi ecosistemici di Fornitura e di Mantenimento e Regolazione:

1) Coltivazioni (Fornitura) – È stato utilizzato il modello di InVEST Crop Production per determinare la produttività agricola, espressa in termini di quintali ad ettaro, in riferimento alle principali tipologie di coltivazioni (produzione cerealicola e ortiva, frutteti, oliveti e vigneti);

2) Acqua potabile (Fornitura) – Mediante l'equazione sperimentale di Budyko (Budyko and Miller, 1975), a partire dai layer di piovosità media annua, è stato calcolato il servizio di raccolta delle acque di pioggia espresso in termini di millimetri annui per unità di superficie;

3) Regolazione della composizione chimica dell'atmosfera (Mantenimento e Regolazione) – Tale servizio ecosistemico è stato valutato sulla base di due diversi indicatori: lo stoccaggio di carbonio tramite il modello di InVEST Carbon, espresso in tonnellate per ettaro, e il flusso di rimozione della CO₂ atmosferica, espresso in grammi annui di anidride carbonica rimossa per unità di superficie (Chapin et alii 2006);

4) Impollinazione (Mantenimento e Regolazione) – Il servizio di impollinazione è stato calcolato tramite il modello InVEST Pollination che valuta la disponibilità di siti di nidificazione degli insetti impollinatori, di risorse floreali e le distanze di volo per ricavare un indice dell'abbondanza di impollinatori; 5) Mantenimento di habitat e popolazioni (Mantenimento e Regolazione) – Il servizio è stato valutato mediante il modello InVEST Habitat Quality and Degradation considerando quali minacce alla

funzionalità degli ecosistemi diverse componenti rappresentative delle attività antropiche (superfici urbanizzate, infrastrutture di trasporto, aree industriali, attività estrattive e discariche, superfici agricole);

6) Controllo dei tassi erosivi (Mantenimento e Regolazione) – L'equazione di Rusle è stata computata tramite il modello InVEST Sediment Delivery Ratio (SDR) al fine di ottenere la distribuzione spaziale relativa alla produzione di sedimenti e quindi alla valutazione dei tassi erosivi espressa in termini di tonnellate annue per unità di superficie;

7) Purificazione delle acque superficiali (Mantenimento e Regolazione): Il servizio ecosistemico di ritenzione dei nutrienti è stato valutato mediante il modulo Nutrient Delivery Ratio (NDR) di InVEST che, a partire dalle sorgenti distribuite di immissione di azoto, fosforo e potassio, valuta la capacità di filtrazione dell'acqua da parte delle coperture vegetali.

Base comune per la valutazione di tutti i servizi ecosistemici è la Corine Land Cover, disponibile con una risoluzione di 100 m, relativamente agli

anni 2000, 2006, 2012 e 2018. I suddetti servizi ecosistemici sono stati calcolati in modo spazialmente esplicito per tutte le date e successivamente normalizzati sulla base dei minimi e dei massimi della serie storica valutati pixel per pixel (Pilogallo, Scorza and Murgante, 2021). Il valore che si ottiene varia dunque tra 0 e il numero di servizi ecosistemici considerati (nel caso specifico 7, uno per ogni classe) e rappresenta una distribuzione spaziale continua della multifunzionalità ecosistemica (Manning et alii, 2018) che conserva la risoluzione della CLC (100 m). La selezione dei suddetti servizi ecosistemici è avvenuta sulla base della rilevanza che essi rivestono in riferimento all'area di studio e alla disponibilità dei dati di input per l'intera serie storica considerata (2000-2018).

Il secondo set di indicatori è l'Indice di Innovazione che prende spunto dagli obiettivi strategici riportati da Europa 2020 (European Commission, 2020) – economia della conoscenza, approccio integrato territoriale, valorizzazione di risorse naturali, paesaggio e biodiversità, agricoltura multifunzionale, turismo sostenibile – per ana-

Sector	Type	Indicators
Productive Systems	PS1. Multifunctional Agriculture	Innovative farms Organic and biodynamic farms Agricultural and social farms Educational farms
	PS2) Agro-productive Circuits	Biodistricts Agricultural consortia Food and wine circuits (slow food, farm networks) Quality certifications (mountain product, SQNPI, DOC, PDO IGT)
Society	SO1. Territorial Identity	Historic Villages awards Most Beautiful Villages in Italy awards Orange Flag awards
	SO2. Socio-cultural Actions	Ecomuseums of biodiversity (ecology) Community homes (health) Community hospitals (health)
Sustainable Tourism	ST1. Innovative Hospitality Facilities	AgriBio Tourism EcoBnB AgriCamping Widespread hotel
	ST2. Outdoor Tourism	High Way of the Ligurian Mountains hiking routes Ligurian Hiking Network hiking routes Ligurian Cycling Network cycling routes
	ST3. Experiential Tourism	The Wine Roads food and wine routes The Oil Roads food and wine routes
Governance	GO1. Renovation and Regeneration	PINQuA projects (National Innovative Plan for Quality Living)
	GO2. Management and Protection	Park Areas (Park Plans) SCI and SPA areas (Management Plans) River Contracts
Ecological Transition	ET1. Ecology and Energy Sustainability	Renewable Energy Communities Ecological Transition Projects
Digital Transition	DT1. Digitalisation	Digital connectivity network Innovative start-ups

Tab. 1 | Territorial innovation indicators (credit: G. Tucci, 2023).

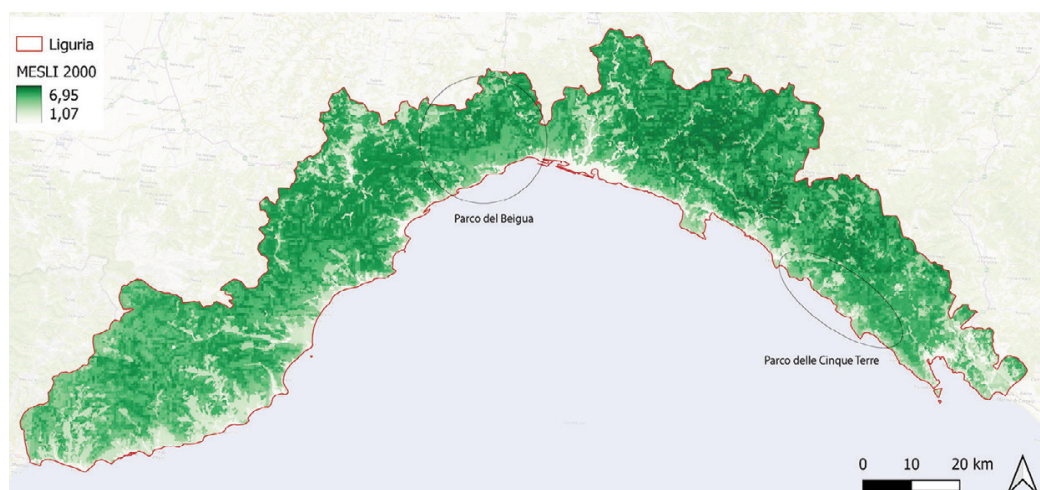
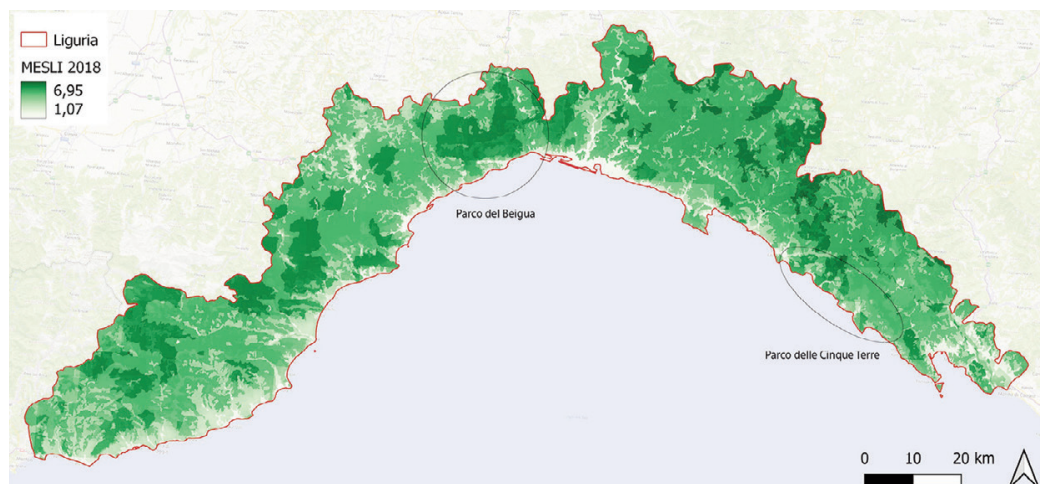


Fig. 4 | MESLI distribution in 2018 on the territory of Liguria (credit: A. Pilogallo and G. Tucci, 2023).

Fig. 5 | MESLI distribution for 2000 on the territory of Liguria (credit: A. Pilogallo and G. Tucci, 2023).

lizzare i processi di innovazione territoriale sostenibili e misurare quantitativamente le caratterizzazioni organizzative delle strutture socio-economiche territoriali. Al fine di individuare e mappare gli elementi in grado di soddisfare il più possibile l'analisi dei caratteri di innovazione territoriale, sono state selezionate sei dimensioni analitiche: Sistemi Produttivi (SP), Società (SO), Turismo Sostenibile (TS), Governance (GO), Transizione Ecologica (TE) e Transizione digitale (TD), sulla base delle quali è stata costruita una matrice con tutte le informazioni reperibili a livello regionale.

Gli indicatori sono suddivisi in due macro-aree tematiche: la prima, composta da 7 indicatori, si relaziona con gli aspetti connessi alla dimensione socio-economica (agricoltura multifunzionale e circuiti agro-produttivi, azioni sociali e culturali, turismo sostenibile); la seconda, composta da 4 indicatori, descrive gli aspetti politico-tecnologici (politiche di governance, sistemi energetici, reti digitali). Gli elementi analizzati e mappati sono riportati nella Tabella 1.

Analisi di correlazione | Sulla base della metodologia sopra esposta e partendo dagli strati informativi relativi ai sette servizi ecosistemici selezionati, sono state prodotte due mappe del MESLI, relative rispettivamente al 2000 e al 2018. Come si può notare nelle Figure 4 e 5, i valori di multifunzionalità ecosistemica (MESLI) più elevati sono distribuiti nella parte interna della regione, in

prossimità e all'interno delle zone montuose, caratterizzate da coperture del suolo prevalentemente forestali e altamente vegetate, da una bassa pressione antropica e da fattori geomorfologici che hanno contribuito a limitare lo sviluppo degli insediamenti umani e la diffusione dei processi di urbanizzazione. Particolarmente evidente nella restituzione grafica del 2018 (Fig. 4) rispetto a quella del 2000 (Fig. 5) è l'aumento della qualità ambientale dell'area del Parco Naturale Regionale del Beigua, alle spalle dei comuni di Arenzano e Cogoleto, caratterizzata da un patrimonio naturalistico di foreste, zone umide, canyon, praterie e pinete che ospitano un'enorme biodiversità vegetale e faunistica.

D'altra parte i valori più bassi si collocano lungo la fascia costiera in occasione delle aree più densamente urbanizzate, dove il sistema insediativo e produttivo fortemente frammentato, l'adozione massiccia di pratiche colturali intensive e l'alta densità di infrastrutture viarie contribuiscono con pesi diversi a determinare basse performance ambientali. Questo, tuttavia, non accade sempre, e ciò è indice di come la qualità dell'urbanizzazione e la morfologia del territorio costiero (pianure costiere, colline costiere o montagne) influiscano sia sulle forme dell'insediamento sia sulla distribuzione e sulla qualità dei servizi ecosistemici. Si noti ad esempio la fascia costiera del Parco delle Cinque Terre (Fig. 4), in cui grazie alla conformazione naturale di pendii montuosi a picco sul ma-

re, il paesaggio antropizzato non ha causato un impoverimento della qualità ambientale del territorio (Figg. 6-8).

Il quadro complessivo mostra un'elevata variabilità dei valori MESLI in funzione dell'intensità di urbanizzazione: emergono infatti corrispondenze tra le aree caratterizzate da valori medio-bassi e le principali conurbazioni costiere. Al fine di identificare le aree in cui si registra un miglioramento o un peggioramento delle performance ambientali complessive, è stata elaborata una terza mappa di differenza (Fig. 9) che evidenzia le aree in cui il MESLI è aumentato (in gradazioni di blu), diminuito (in gradazioni di rosso) o è rimasto sostanzialmente invariato (in giallo) tra il 2000 e il 2018.

Successivamente sulla base degli indicatori relativi al carattere di innovazione territoriale (Tab. 1) è stata elaborata una mappa restitutiva della localizzazione degli elementi (puntuali, lineari o spaziali) in grado di apportare innovazione sotto il profilo socio-economico e politico-tecnologico. Al fine di realizzare una mappa sintetica rappresentativa del grado complessivo di innovazione territoriale, gli strati informativi relativi a ciascuno dei criteri descritti sono stati riassunti all'interno di un file vettoriale di tipo griglia con dimensioni di cella di 100 m. Il valore finale del grado di innovazione è dato dal numero di criteri di innovazione soddisfatti, ovvero dal numero di layer ricadenti all'interno della cella. Questo valore complessivo, come si può vedere dalla Fig. 10, varia tra 0 e 7.

Ciò che si evince piuttosto chiaramente è una distribuzione frammentata dei sistemi d'innovazione all'interno del territorio regionale, con una maggiore presenza nelle aree dei nuovi Biodistretti (Biodistretto della Val di Vara e Biodistretto delle Alte Valli), in cui si concentrano una molteplicità di azioni innovative legate al comparto turistico-ricettivo, escursionistico e agro-produttivo. Anche lungo la fascia costiera di levante si rileva un primo livello di innovazione, legato all'avvio di progetti di rigenerazione e alla presenza di biodiversità delle aree parco tutelate.

Al fine di analizzare in modo congiunto le aree caratterizzate da un più elevato grado di innovazione e l'andamento nel tempo dell'indice MESLI, a partire dalla mappa del grado di innovazione è stata ottenuta una rappresentazione della densità di Kernel in riferimento allo stesso indicatore (Fig. 11; Terrell and Scott, 1992). La stima della densità di Kernel consiste in un metodo non parametrico per rappresentare la concentrazione di punti in una porzione di spazio (Danese, Lazzari and Murgante, 2008): tale metodo, utile a valutare la densità nella distribuzione di variabili puntuali, viene impiegato per l'identificazione di pattern spaziali ovvero di aree a maggiore densità di punti (Yan et alii, 2023).

La rappresentazione della densità di Kernel è stata poi ridotta in ambiente GIS a un file di tipo vettoriale contenente le isoipse di densità il quale, sovrapposto alle variazioni dell'indice MESLI nel periodo 2000-2018, consente una valutazione immediata della relazione tra il grado di innovazione territoriale e l'andamento della multifunzionalità ecosistemica. La Figura 12, grazie alla sovrapposizione delle elaborazioni relative alla densità degli indicatori descrittivi dei processi di innovazione territoriale e l'andamento della qualità dell'indicatore MESLI nel periodo di riferimento 2000-2018, permette di dimostrare l'esistenza di

una correlazione tra implementazione di innovazione e miglioramento dei servizi ecosistemici localizzati. Le isoipse generate dalla densità di Kernel infatti si posizionano nella quasi totalità dei casi come epicentri di un aumento dei servizi ecosistemici rilevati (incremento gradiente verde-azzurro).

Particolarmente significativo è il fatto che i grandi poli di innovazione in buona parte ricadono all'interno delle quattro aree interne regionali (strategia SNAI, 2014): a levante nell'Area dell'Antola-Tigullio e della Val di Vara che inglobano i biodistretti e il Parco Naturale Regionale dell'Antola, mentre a ponente del capoluogo rientrano nell'Area Interna Beigua-SOL con il Parco Naturale Regionale del Beigua alle spalle dei comuni costieri di Arenzano e Cogoleto (Fig. 13). Anche nell'estremo ponente risulta evidente l'incremento dei servizi ecosistemici in concomitanza dell'Area Interna dell'Alta Valle Arroscia, sul cui territorio insiste il Parco Naturale Regionale delle Alpi Liguri. Risulta chiaro che fra le azioni di innovazione la tutela attraverso la creazione di aree parco incide in modo significativo sulla qualità ambientale regionale.

Riflessioni conclusive | La ricerca condotta ha

rilevato una prima sovrapposibilità tra innovazione rurale e fornitura di servizi ecosistemici, fornendo le basi per una futura analisi di correlazione spaziale. Dalle mappe prodotte, comunque, si evince già con una certa evidenza, come le azioni innovative giochino potenzialmente un ruolo attivo e dinamico nel promuovere la conservazione e/o produzione di servizi ecosistemi. Ma, d'altro lato, potrebbe essere vera anche la correlazione inversa, data la natura dei fenomeni analizzati: ossia che siano le aree con migliore predisposizione alla fornitura di servizi ecosistemici a promuovere e attrarre azioni innovative.

Significativo risulta anche il fatto che le concentrazioni di attività dirette, coordinate o quanto meno supportate dall'azione pubblica, come i Parchi regionali o le aree pilota della strategia SNAI coincidano, dal punto di vista spaziale, con le aree a miglior produzione di servizi ecosistemici (Lombardini, 2018). Questo elemento potrebbe far propendere per un'ipotesi di una certa efficacia di queste politiche o del ruolo che anche le semplici azioni di tutela e salvaguardia possono avere nella fornitura di servizi ecosistemici.

L'analisi elaborata suggerisce anche un effetto moltiplicatore tra le diverse azioni di innovazione territoriale (Lombardini, 2019). È possibile, e i

dati sembrano confermarlo, che le diverse azioni innovative creino un campo di attrazione reciproca, per cui esse tendano ad avere la tendenza a un certo grado di concentrazione dello spazio. Questo, se da un lato dovrebbe spingere in futuro a migliorare questi effetti agglomerativi, dall'altro dovrebbe anche farci interrogare sulle aree ancora non interessate o interessate solo debolmente da queste azioni che, come si evince dai risultati cartografici, sono anche quelle dove le prestazioni dei servizi ecosistemici sono inferiori. Ulteriori analisi dovrebbero allora essere introdotte per cogliere gli elementi di fragilità e di debolezza di questi territori prevalentemente determinati da un drastico abbandono delle aree con diminuzione della popolazione residente sotto soglie minime di presidio insediativo e stress ambientale (ad esempio dissesto idrogeologico e avanzata incontrollata del bosco).

Questi primi risultati ottenuti si integrano in modo interessante con altre ricerche già effettuate sul territorio ligure, dove uno degli aspetti rilevanti è costituito dalla forte polarizzazione tra conurbazione costiera lineare ed entroterra (Lombardini, 2016; Lombardini, Pilogallo and Tucci, 2022; Tucci, 2019). Dal momento che le aree interne potrebbero svolgere un ruolo importante



Fig. 6 | Coastal portion and terraced landscape in Vernazza, Cinque Terre Park (credit: Stevenmdean, 2015).



Fig. 7 | Coastal portion and terraced landscape in Manarola, Cinque Terre Park (credit: Blandineschillinger, 2022).



Fig. 8 | Coastal portion and terraced landscape in Rio Maggiore, Cinque Terre Park (credit: Zotx, 2019).

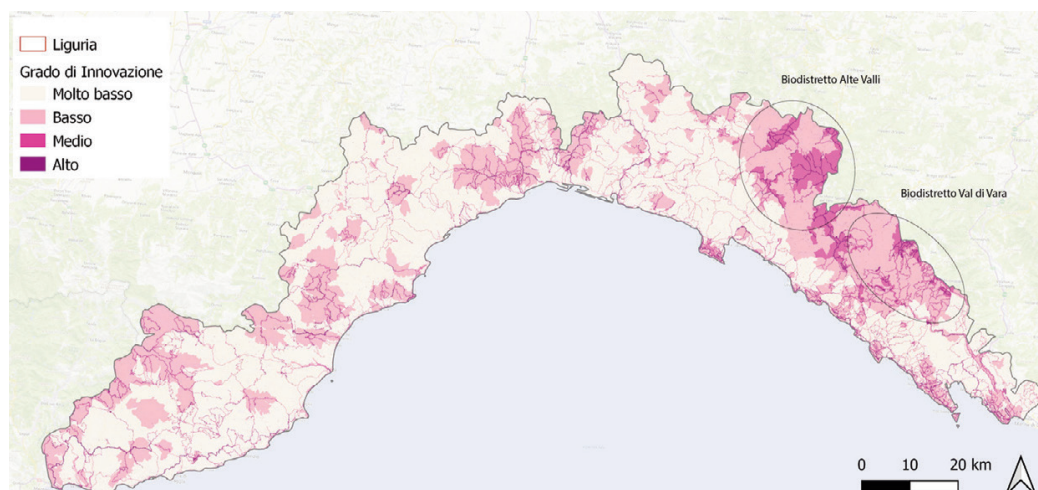
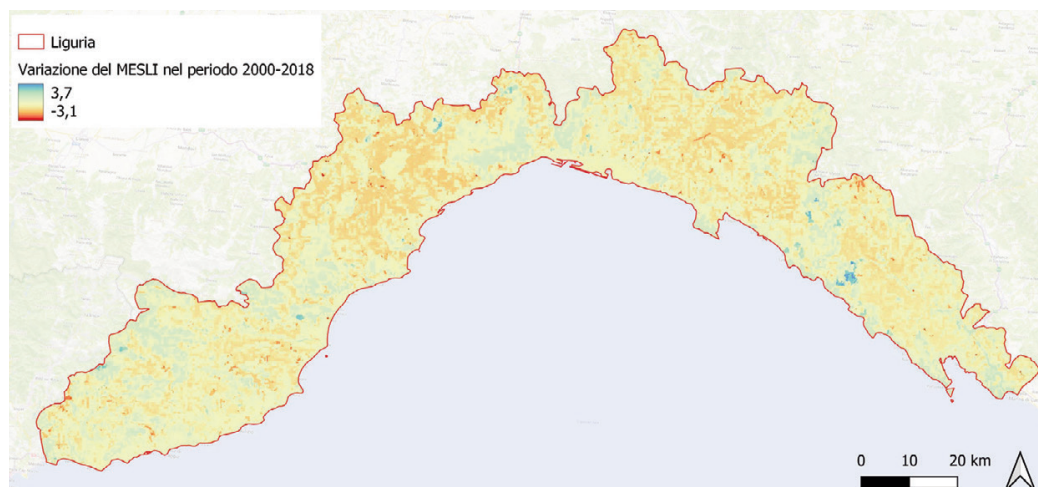


Fig. 9 | MESLI variation over 2000-2018 (credit: A. Pilogallo and G. Tucci, 2023).

Fig. 10 | Map of innovation in Liguria (credit: A. Pilogallo and G. Tucci, 2023).

nella fornitura di servizi ecosistemici fondamentali per le aree costiere (soprattutto nei settori dell'acqua e dell'integrazione del patrimonio culturale), questa analisi dimostra come una simbiosi tra spazio rurale e azioni innovative possa rappresentare un'occasione per lo sviluppo integrato del territorio regionale (Figg. 14, 15).

La metodologia proposta, basata su indicatori spazialmente distribuiti, si rivela utile nel perseguire un approccio maggiormente sistemico alla pianificazione territoriale, supportando la formulazione di strategie in grado di coniugare le esigenze di conservazione del capitale naturale e le istanze di sviluppo e competitività territoriale. Scalabilità, replicabilità (nello spazio) e riproducibilità (nel tempo) delle analisi svolte la rendono dunque un utile strumento di supporto alla governance dei complessi sistemi socio-ecologici (Uehara et alii, 2021).

The exploitation of environmental resources and increasing urbanisation in its many forms have significantly and irreversibly altered the natural ecosystem, turning it over time into a socio-ecological system (Alberti, 2018) organised by urban regions. Exploitative processes are still mainly characterised by a deep entropy dispersion; likewise, access to circular anthropic systems (Lacy, Long and Spindler, 2020) is an increasingly urgent need. Spatial structures and ecosystems (including hu-

man-created neo-ecosystems) face a symbiosis with the environment and environmental resources that can no longer be postponed in such a way to combine the demand for the conservation of natural resources with the reduction of socio-economic inequalities that are increasingly linked to, among other causes, the differentiated access to ecosystem services (Ronchi, 2018).

The objective that can be pursued through technological innovation (innovativeness), including digital innovation, as well as through retro-innovation processes (Bauman, 2020), following the example of natural exaptation processes (Gould and Vrba, 2008), is sustainable development, encouraging actions able to provide new environmental, social and economic well-being, leading to a new global ecology. This study aims at exploring how innovation in rural areas can contribute not only to the preservation but also to the enrichment of ecosystem services in Liguria's inner areas. At the same time, it is deemed essential to analyse the mismatch (not only the spatial but also the economic one) between the places where ecosystem services are generated and those where they are mainly used, i.e., in the areas with high and dense urbanisation, which in Liguria coincide with the major urban centres and the linear coastal conurbation.

This paper consists of three main sections. The first outlines the objectives of the study, situating the case study within the broader disci-

plinary debate on the sustainability of territorial transformations and urbanisation processes. The methodology used is also described, and precisely, the logic sequence that, starting from the concepts of ecosystem multifunctionality and rural innovation, leads to a series of spatially explicit indicators related to each other.

The second section concerns the methods used to calculate the indicators. As far as the ecosystem services are concerned, the criteria for their selection, the models used for their valuation, and the synthetic MESLI calculation are indicated. As regards the degree of innovation in rural areas, it shows the method that led to mapping the degree of innovation from data collection at the regional level. The third illustrates the results of the comparison between the spatial distribution of multifunctionality and the level of innovation. Finally, the conclusions highlight the original features of the proposed study and the potentiality of the methodology formulated to pursue a more holistic approach to spatial planning, able to combine the development and conservation of natural resources.

Objectives and methodology | This study aims to explore how a systemic vision (especially regarding a bioregional vision; Fanfani and Matarán Ruiz, 2021) can contribute to encouraging different opportunities to integrate inner and coastal areas, assuming a different approach to the anthropic-environmental structure of the region, taking advantage of the valley systems rather than just of the urban east-west coastal orientation. Specifically, the research is divided into two parts.

The first part aims at analysing the comprehensive offer of ecosystem services, as a measure of the territorial environmental performance, by drafting a map of the regional territory representing the primary ecosystem services provided. The multifunctionality approach, intended to concisely express (e.g., through indices such as MESLI) the ecosystems' capacity to deliver multiple benefits to people (Garland et alii, 2021), is increasingly gaining interest in scientific production in the disciplinary fields of urban planning (Salata and Grillenzoni, 2021; Cortinovis and Geneletti, 2020) and spatial planning (Isola et alii, 2022; Mitchell and Devisscher, 2022). Within the scope of such an approach, the reason is to be found in the chance to relate the environmental performance of a given spatial unit with representative quantities of anthropogenic pressure (Pilogallo et alii, 2022), urbanisation processes (Bomans et alii, 2010; Li et alii, 2023) and, more generally, land-use changes (Stürck and Verburg, 2017; Mastrangelo et alii, 2014).

In the second part, a spatial and functional correlation is sought between the sites creating the natural heritage, the forms of rural innovation that can ensure innovative forms of anthropic support and conservation of the territory (also with the crucial help of digital technologies). Finally, the territorial structure is analysed in terms of poles of delivery of ecosystem services, corresponding to the areas with the highest value of multifunctionality, and poles of demand, corresponding to the most anthropised areas.

The research focuses on evaluating a selected set of ecosystem services present in the contexts analysed and their further combined into a

synthetic index representing the overall environmental values (i.e., multifunctionality); the Multiple Ecosystem Services Landscape Index – MESLI (Rodríguez-Loinaz, Alday and Onaindia, 2015). Based on the strength of this index, different synthetic (geographical, morphological, socio-economic and territorial) descriptive indicators of urbanisation processes are then compared with it.

The expected graphical-analytical outcomes will predictably reveal how the more intensely urbanised areas are generally characterised by lower environmental performance, how the variability of the correlation relationships on settlement quality (shape and density) plays a strategic role in depleting or protecting the comprehensive provision of ecosystem services, and how it is possible to identify bioregional scenarios integrating urban and inner areas, relying on a series of downstream second-level urban poles that can act as a pivot between the two areas.

Therefore, the morphological component of the coastal zones will be significant since it affects both the structure of the settlements and the spreading and quality of ecosystem services. In this context, the research aims at identifying, on the one hand, the correlations between the rate of urbanisation of the different coastal areas and the provision of ecosystem services generated and, on the other, to define a model or matrix able to express general reciprocity between the MESLI and the variables that most influence the coastal ecosystem to obtain a dependent variable to be studied through the correlation analysis with the geographical, morphological, socio-economic and territorial factors defining the urbanisation processes (Fig. 1-3).

Hence, this paper is part of the large body of scientific literature (Liu et alii, 2021; Lapointe, Gurney and Cumming, 2021; Balzan, Caruana and Zammit, 2018) that explores the connection between ecosystem service provision and urbanisation processes to support spatial planning in identifying innovative methods to create sustainable development models for the coastal areas.

Ecosystem services and innovation in Liguria

To cope with the complex global situation, the EU challenges have set the objectives for sustainable development by encouraging multifunctional and innovative actions that provide multiple benefits, both in socioeconomic and environmental terms. The multifunctionality approach (understood as the ability to give jointly multiple services) is being consolidated in urban and spatial planning practice, as it can express an aggregated measure of the performance of a territorial area (Pilgallo and Scorza, 2022). As a matter of fact, in this respect, the territory is not only geographical space but also a socially constructed relational context where the processes of territorial development take place, which also means economic development and, namely, economic growth (income, employment, etc.), as well as human and social development (education, quality of life, etc.) and environmental development (protection, biodiversity, etc.).

Therefore, it is reasonable to ask how innovation policies can support territorial development in terms of economic competitiveness, improved living standards, promotion of social equality and environmental protection. To this end, it is first es-

sential to define and delimit innovation policies, actions and characteristics at the territorial level. Due to the numerous definitions, the term 'innovation' has gained a multidimensional character difficult to express. The Lisbon European Council (23-24 March 2000) defined innovation as «[...] the renewal and enlargement of the range of products and services and the associated markets; the establishment of new methods of production, supply and distribution; the introduction of changes in management, work organisation, and the working conditions and skills of the workforce» (European Commission, 2003, page 5). In this respect, the nature of innovation is defined in terms of managing all the activities that concur to bring innovation to life in every dimension of the economy and society.

However, although the concept of innovation seems quite evident in the socio-economic field, it is not easy to define it in the urban territorial context. The urban sociologist Louis Wirth (1938) explained the concept of urban innovation in his work on Urbanism as a Way of Life, affirming that it was as such when directly linked to the constitution of sustainable competitive advantage for the city and / or enables the creation of a value that citizens share.

Whether urban or suburban, the context becomes crucial since innovation is essentially understood as a socially and territorially embedded and culturally and institutionally contextualised learning process (Asheim and Coenen, 2005), affected by the intensity of interactions between knowledge-producing players and the territory where they operate. So, in the territory where urban processes involve several factors (governance and public administration, politics, education, culture, religion, scientific and technological research, health, transport, trade, industry, tourism, security, commerce, communication, etc.), the analysis of innovation allows to outline its internal characteristics in terms of relationships between individuals, bodies, companies, institutions, as well as the innovative analysis of urban processes of cities as a whole able to trace the interconnections at a global level (De Falco, 2017).

Thus innovation becomes an important tool to support territorial competitiveness within a shared vision of development aimed at improving people's quality of life and, as such, it responds to a strategy shared by local players as part of actions with a national and international dimension able to generate knowledge, experience and new policies improving the human condition (Canzanelli

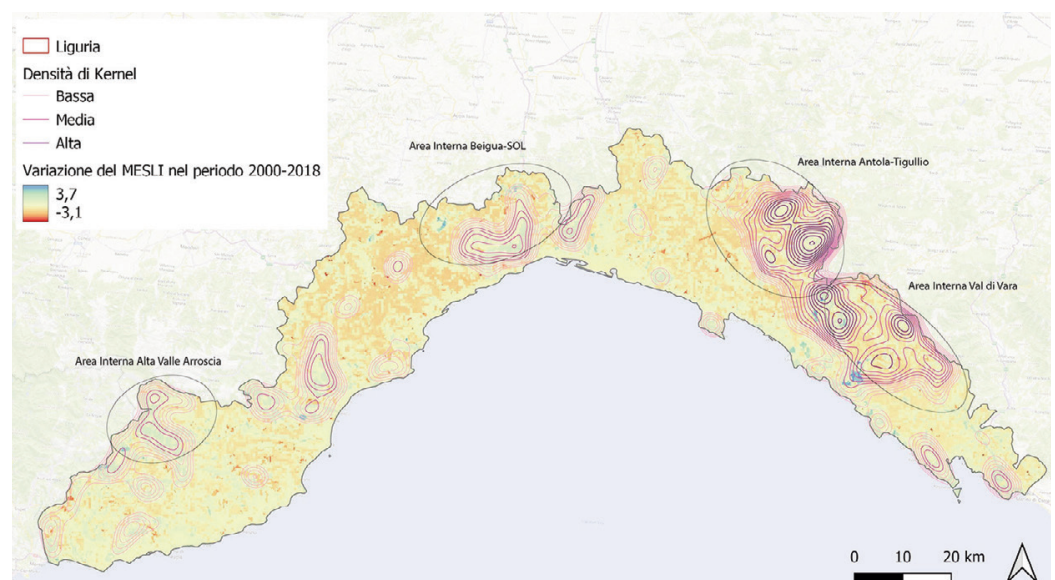
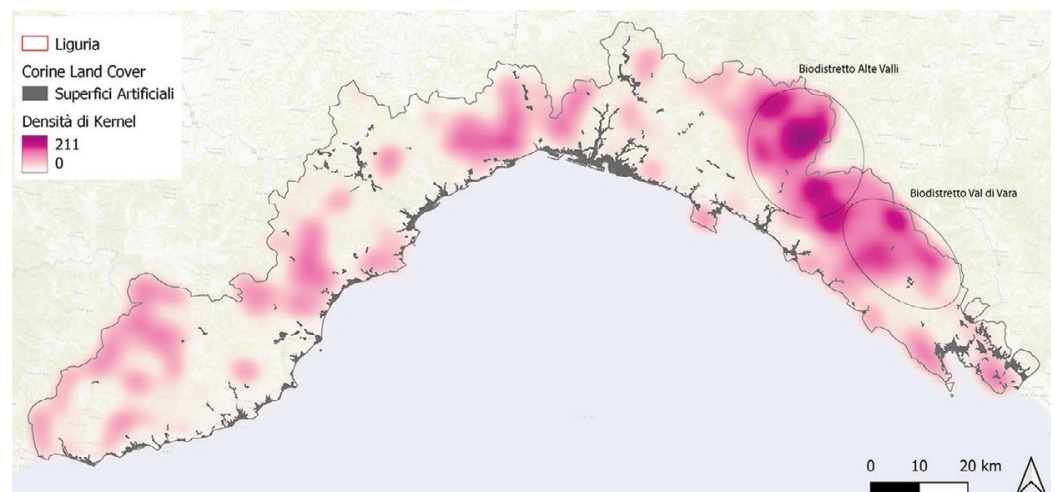


Fig. 11 | Kernel density related to the Innovation Index (credit: A. Pilgallo e G. Tucci, 2023).

Fig. 12 | Overlay between MESLI variation and Kernel density isohypses (credit: A. Pilgallo and G. Tucci, 2023).

and Loffredo, 2008). Therefore, to understand the innovative feature of a territory, it is primarily necessary to know that they spread in space and time according to a series of intrinsic factors related to the context under study, such as preconditions, resources, situational variables, positive attitude towards risk and change, socio-cultural values and interests, absorption capacity, etc. From an environmental point of view, the combination of these factors can be summarised in the unconditional offer of ecosystem services (as to provision, mitigation and culture) taken as a measure of the environmental performance of the territory.

Accordingly, innovation represents a critical factor in the process of transition towards greater environmental sustainability, the driving force for a new development paradigm and a new mechanism of evolution based on experimentation in design processes (Tucci and Ratti, 2022). Given the historical bilateral convergence between the natural and artificial worlds (Ratti and Belleri, 2020), it is therefore interesting to study in depth the link between the environmental values expressed by a territorial unit and the innovation factors acting on it, as well as the spatial and functional correlation between the sites generating the natural heritage and the forms of rural innovation that can ensure innovative forms of support and anthropic protection of the territory.

Definition of indicators | Considering the above reflections, two sets of indicators were identified in the study's first phase: one concerns the ecosystem services composing the Multiple Ecosystem Services Landscape Index (MESLI), and the other concerns the elements forming the innovative character of the territory.

MESLI is a synthetic index representing the joint provision of multiple ecosystem services (Rodríguez-Loinaz, Alday and Onaindia, 2015), both in terms of number and measure of the overall intensity provided (Shen et alii, 2020). The MESLI, calculated from the time series of each ecosystem

service considered, is thus assumed to be significant for the environmental performance of different ecosystems (Pilgallo and Scorza, 2021). Indeed, its value rises as a response to the increasing number of ecosystem services delivered and as a consequence of the increased intensity of delivery of one or more ecosystem services (Huang et alii, 2023).

Hence, MESLI is a composite indicator unsuitable to fully represent the complexity underlying the performance of different ecosystem functions, especially in cases where a clear non-linearity between the ecosystem services provided and land use patterns emerges (Botzas-Coluni et alii, 2021). However, it expresses its potentiality in synthesising the characteristics of multifunctionality intended as the simultaneous and joint provision of different goods and services (Wang et alii, 2023), primarily in the perspective of exploring the spatial relationship between the summarised multifunctionality and the indicators representing urbanisation processes (Liu et alii, 2022).

In order to quantify it, a set of seven ecosystem services was analysed that fall into seven classes belonging to the two sections of Provision and of Regulation and Maintenance ecosystem services, according to the Common International Classification (CICES v5.1; Haines-Young and Potschin, 2018):

- 1) Agriculture (Provision) – The InVEST Crop Production model was used to determine crop yields, expressed in quintals per hectare, for the main crop types (cereals and vegetable production, vegetables, olive groves and vineyards);
- 2) Potable water (Provision) – Using the experimental Budyko equation (Budyko and Miller, 1975), starting from the average annual precipitation layers, the rainwater harvesting service expressed in annual millimetres per unit area was calculated;
- 3) Regulation of the chemical composition of the atmosphere (Regulation and Maintenance) – This ecosystem service was measured according to two different indicators: carbon storage using the

InVEST Carbon model, expressed in tonnes per hectare, and the atmospheric CO₂ removal flux, expressed in annual grams of carbon dioxide removed per unit area (Chapin et alii, 2006);

4) Pollination (Regulation and Maintenance) – Pollination service was calculated using the InVEST Pollination model that assesses the availability of pollinating insect nesting sites, floral resources and flight distances to derive an index of pollinator abundance;

5) Habitat and population preservation (Regulation and Maintenance) – The service was assessed using the InVEST Habitat Quality and Degradation model, considering different components representing anthropic activities (urbanised areas, transport infrastructures, industrial areas, mining and landfills, agricultural areas) as threats to ecosystem functionality;

6) Control of erosion rates (Regulation and Maintenance) – The RUSLE equation was computed using the InVEST Sediment Delivery Ratio (SDR) model to obtain the spatial distribution of sediment production and thus the assessment of erosion rates expressed as tons per year per unit area;

7) Surface Water Purification (Maintaining and Regulating) – The ecosystem service of nutrient retention was assessed using the Nutrient Delivery Ratio (NDR) module of InVEST that evaluates the water filtration capacity of vegetation covers using the distributed sources of nitrogen, phosphorus and potassium inputs.

The common basis for assessing all ecosystem services is the Corine Land Cover, available with a 100 m resolution, for 2000, 2006, 2012 and 2018. The above ecosystem services were calculated spatially explicitly for each date and then normalised according to the minima and maxima time series assessed pixel by pixel (Pilgallo, Scorza and Murgante, 2021). Thus, the value obtained varies between 0, and the number of ecosystem services considered (in this specific case, 7 – one for each class) and represents a continuous spatial distribution of ecosystem multifunctionality (Manning et alii, 2018) that preserves the CLC resolution (100 m). The ecosystem services mentioned above were selected according to their importance for the studied area and the availability of input data for the whole time series considered (2000-2018).

The second set of indicators is the Innovation Index, which takes its cue from the strategic objectives laid down by Europe 2020 (European Commission, 2020) – knowledge economy, integrated territorial approach, enhancement of natural resources, landscape and biodiversity, multifunctional agriculture, sustainable tourism – aimed at analysing the sustainable territorial innovation processes and quantitatively measure the organisational characteristics of the territorial socio-economic structures. Six analytical dimensions have been selected to identify and map the elements able to satisfy as far as possible, the analysis of territorial innovation aspects: Productive Systems (PS), Society (SO), Sustainable Tourism (ST), Governance (GO), Ecological Transition (ET) and Digital Transition (DT), from which a matrix was created containing all the information available at the regional level.

The indicators are divided into two thematic macro-areas: the first, consisting of 7 indicators, deals with aspects related to the socio-economic



Fig. 13 | Coastal portion from the Beigua Park protected area (credit: Nonmisvegliate, 2022).

dimension (multifunctional agriculture and agro-productive cycles, social and cultural activities, sustainable tourism); the second, consisting of 4 indicators, outlines the political-technological aspects (governance policies, energy systems, digital networks). The elements analysed and mapped are displayed in Table 1.

Correlation analysis | Applying the methodology outlined above and starting from the information layers related to the seven ecosystem services selected, two MESLI maps were drafted, related to 2000 and 2018, respectively. As shown in Figures 4 and 5, the highest values of ecosystem multifunctionality (MESLI) are spread in the inner zones of the region, close to and within the mountain areas, which are mainly marked by forested and highly vegetated land cover, low anthropogenic pressure and geomorphological factors that contributed to limiting the development of human settlements and the expansion of urbanisation processes. The increase in the environmental quality of the area of Parco Naturale Regionale del Beigua (the Regional Natural Park in the Beigua district), lying immediately behind the municipalities of Arenzano and Cogoleto, is particularly evident in the graphic layout of 2018 (Fig. 4) when compared to 2000 one (Fig. 5). This area is characterised by a natural heritage of forests, wetlands, canyons, grasslands and pine forests hosting an extraordinary plant and animal biodiversity.

Conversely, the lowest values occur along the coastal zone in the most densely urbanised areas, where the highly fragmented settlement and production system, the massive adoption of intensive agricultural practices and the high road infrastructure density contribute with varying degrees of weight to low environmental performance. However, this does not always occur, thus suggesting how the urbanisation quality and the coastal territory's morphology (coastal plains, coastal hills or mountains) affect both the settlement patterns and the distribution and quality of ecosystem services. It should be noted, for example, the coastal area of the Park of Cinque Terre (Fig. 4), where the natural conformation of the mountain slopes overlooking the sea has prevented the anthropised landscape from causing an impoverishment of the territory's environmental quality (Fig. 6-8).

The comprehensive framework reveals a high degree of variability in MESLI values concerning urbanisation intensity, with similarities arising between areas characterised by medium to low values and the main coastal conurbations. In order to identify the areas showing an improvement or a worsening of the total environmental performance, a third divergence map (Fig. 9) was prepared to highlight the areas where the MESLI increased (blue gradations), decreased (red gradations) or remained substantially unchanged (yellow) between 2000 and 2018.

Then, according to the indicators related to the territorial innovation features (Tab. 1), a derivation map of the element localisation (points, lines or space) able to bring innovation from a socio-economic and political-technological viewpoint was created. In order to draft a synthetic map representing the comprehensive degree of territorial innovation, the information layers related to each of the criteria described were summarised within a grid-type vector file with a cell size of 100 m. The

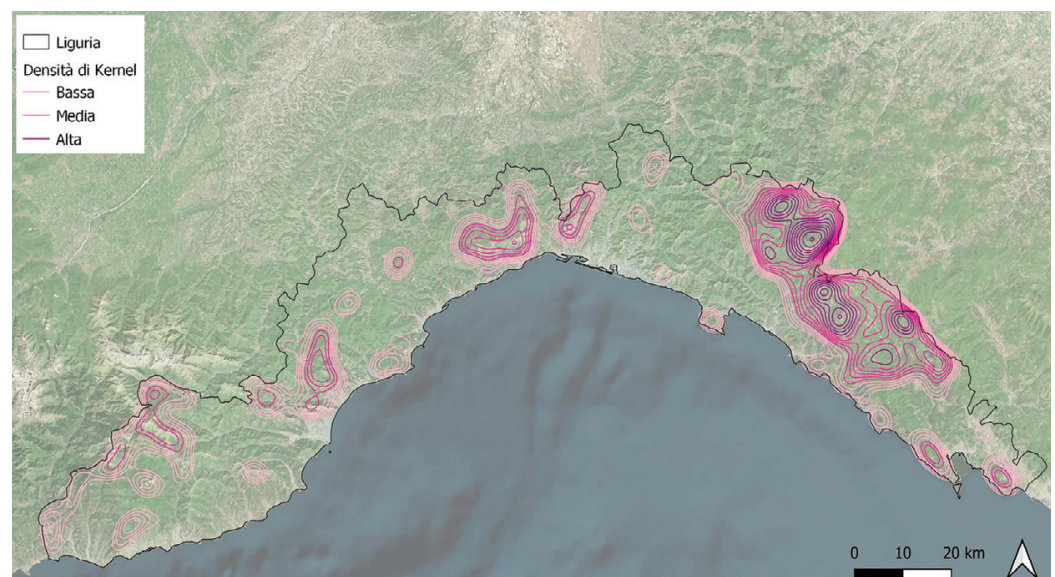
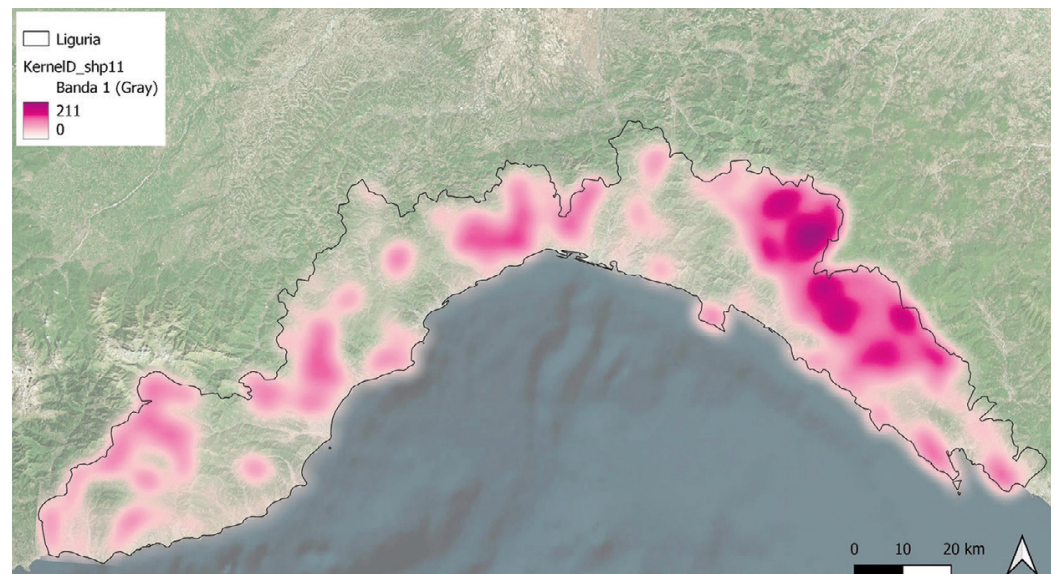


Fig. 14 | Overlay of the Kernel Density on the orthophoto (credit: A. Pilogallo and G. Tucci, 2023).

Fig. 15 | Overlay of the Kernel Density isohypses on the orthophoto (credit: A. Pilogallo and G. Tucci, 2023).

number of innovation criteria gives the final value of the degree of innovation achieved, i.e., the number of layers falling within the cell. As shown in Fig. 10, this total value varies between 0 and 7.

What is quite clearly noticeable is a fragmented distribution of the innovation systems within the regional territory, with a more significant presence in the areas of the new Biodistricts (Val di Vara and Alte Valli), where a variety of innovative measures linked to the tourism and hospitality, excursion and agro-production industries are concentrated. An initial degree of innovation can also be detected along the eastern coastal area, thanks to the launch of regeneration projects and biodiversity in the protected park areas.

To jointly analyse the areas with a higher degree of innovation and the MESLI trend over time, a Kernel density representation has been derived from the map of the innovation degree with the same indicator (Fig. 11; Terrell and Scott, 1992). The Kernel Density estimation is a non-parametric method used to represent the density of points in a particular portion of space (Danese, Lazzari, and Murgante, 2008). This method helps to assess the density in the distribution of point variables,

making it possible to identify spatial patterns or areas with a higher density of points (Yan et alii, 2023).

The Kernel density representation was then reduced in a GIS environment to a vector-type file containing the density isohypses, which, superimposed on the MESLI variations in the period 2000-2018, allows to have an immediate evaluation of the relationship between the degree of territorial innovation and the trend in ecosystem multifunctionality. Thanks to the superimposition of the density processing of the descriptive indicators of the territorial innovation processes and the MESLI quality trend referred to period 2000-2018. Figure 12 displays the correlation between innovation implementation and improvement of the localised ecosystem services. The isohypses generated by the Kernel density are positioned in almost all cases as the epicentres of an increase of the ecosystem services detected (green-blue gradient increase).

It is noteworthy, in particular, that the main innovation poles mostly fall within the four regional inner areas (SNAI, 2014): to the east in the Area dell'Antola-Tigullio and Val di Vara, encompassing the biodistricts and Parco Naturale Regionale

dell'Antola (Regional Natural Park of Antola), to the west of the provincial capital, they fall within the Area Interna Beigua-SOL (Beigua-SOL Inland region) with Parco Naturale Regionale del Beigua (Regional Natural Park of Beigua) lying behind the coastal municipalities of Arenzano and Cogoleto (Fig. 13). The ecosystem services increase is also evident in the far western part of the Inner Area of the Upper Arroscia Valley, where Parco Naturale Regionale delle Alpi Liguri (Regional Natural Park of the Ligurian Alps) lies. This makes it clear that among the innovation actions, protection through the creation of parks significantly impacts the regional environmental quality.

Concluding remarks | The research has revealed an initial convergence between rural innovation and ecosystem service provision, setting the stage for a future spatial correlation analysis. Nevertheless, the drafted maps highlighted that innovative initiatives could play an active and dynamic role in promoting the conservation and/or production of ecosystem services. However, on the other side, the reverse correlation could also be actual, considering the nature of the examined processes: i.e., the areas with a better attitude to providing ecosystem services promote and attract innovative actions. It is also noteworthy that the concentrations of direct activities, coordinated – or at least supported – by public measures, such as regional parks or pilot areas under the SNAI strategy, coincide, from a spatial viewpoint, with the ar-

reas most likely to produce ecosystem services (Lombardini, 2018). This element could suggest assuming that these policies are somewhat effective or, at least, that even any mere protection and preservation actions can play a role in the provision of ecosystem services.

The elaborated analysis also suggested a multiplier effect between the different territorial innovation actions (Lombardini, 2019). It is possible (and data seem to confirm it) that the different innovation actions generate a field of mutual attraction, tending towards a certain degree of spatial concentration. While this should prompt future efforts to improve these agglomeration effects, it would also raise questions about the areas not yet, or only weakly, affected by these actions, which, as proven by the mapping results, are also those where the performance of ecosystem services is lower. Further analyses should then be conducted to detect the fragility and weaknesses of these territories that can be identified in a sharp abandonment and drop of the settled population below minimum thresholds of settlement and environmental stress (e.g. hydrogeological instability and uncontrolled forest advancement).

Finally, these first findings are integrated interestingly with other studies already carried out on Liguria's territory; one of the relevant aspects is the intense polarization between linear coastal conurbation and inner areas (Lombardini, 2016; Lombardini, Pilogallo and Tucci, 2022; Tucci, 2019). Since the inner areas could play a crucial role in

providing key ecosystem services for coastal areas (especially regarding water and cultural heritage integration), this analysis has highlighted how the symbiosis between rural space and innovative actions could represent an opportunity for the integrated development of the regional territory (Fig. 14, 15).

The proposed methodology, based on spatially distributed indicators, has proven to help to pursue a more systemic approach to territorial planning, supporting the formulation of strategies that combine the need to preserve the natural heritage with the demand for the development and territorial competitiveness. Scalability, replicability (in space), and reproducibility (over time) of the analyses executed make it a helpful tool to support the governance of complex socio-ecological systems (Uehara et alii, 2021).

Acknowledgements

This paper is the result of the joint reflection of the three Authors. However, 'Correlation analysis' and 'Concluding remarks' is attributed to G. Lombardini, 'Objectives and methodology' and 'Definition of indicators' to A. Pilogallo, while the introductory paragraph and 'Ecosystem services and innovation in Liguria' to G. Tucci.

References

- Alberti, M. (2018), *Cities That Think Like Planets – Complexity, Resilience, and Innovation in Hybrid Ecosystems*, Washington University Press, Washington. [Online] Available at: [jstor.org/stable/j.ctvcwn7jm](https://www.jstor.org/stable/j.ctvcwn7jm) [Accessed 22 March 2023].
- Asheim, B. T. and Coenen, L. (2005), "Knowledge bases and regional innovation systems – Comparing Nordic clusters", in *Research Policy*, vol. 34, issue 8, pp. 1173-1190. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.respol.2005.03.013 [Accessed 22 March 2023].
- Balzan, M. V., Caruana, J. and Zammit, A. (2018), "Assessing the capacity and flow of ecosystem services in multifunctional landscapes – Evidence of a rural-urban gradient in a Mediterranean small island state", in *Land Use Policy*, vol. 75, pp. 711-725. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.025 [Accessed 22 March 2023].
- Bauman, Z. (2020), *Retrotopia*, Laterza, Roma-Bari.
- Bomans, K., Steenberghen, T., Dewaelheyns, V., Leinfelder, H. and Gulinck, H. (2010), "Underrated transformations in the open space – The case of an urbanized and multifunctional area", in *Landscape and Urban Planning*, vol. 94, issues 3-4, pp. 196-205. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.10.004 [Accessed 22 March 2023].
- Botzas-Coluni, J., Crockett, E. T. H., Rieb, J. T. and Bennett, E. M. (2021), "Farmland heterogeneity is associated with gains in some ecosystem services but also potential trade-offs", in *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 322, article 107661, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.agee.2021.107661 [Accessed 22 March 2023].
- Budyko, M. I. and Miller, D. H. (1975), "Climate and Life", in *Journal of Range Management JSTOR*, vol. 28, issue 2, p. 160. [Online] Available at: doi.org/10.2307/3897455 [Accessed 22 March 2023].
- Canzanelli, G. and Loffredo, L. (2008), "Territorial systems for innovation – Hypothesis for the human development programs", in *ILS LEDA International Link and Services for Local Economic Development Agencies*, n. 10, pp. 1-16. [Online] Available at: ilsleda.org/en/papers/paper/territorial-systems-for-innovation-hypothesis-for-the-human-development-programs.html [Accessed 22 March 2023].
- Chapin, F. S., Woodwell, G. M., Randerson, J. T., Rastetter, E. B., Lovett, G. M., Baldocchi, D. D., Clark, D. A., Harmon, M. E., Schimel, D. S., Valentini, R., Wirth, C., Aber, J. D., Cole, J. J., Goulden, M. L., Harden, J. W., Heimann, M., Howarth, R. W., Matson, P. A., McGuire, A. D. and Schulze, E. D. (2006), "Reconciling carbon-cycle concepts, terminology, and methods", in *Ecosystems*, vol. 9, issue 7, pp. 1041-1050. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10021-005-0105-7 [Accessed 22 March 2023].
- Cortinovis, C. and Geneletti, D. (2020), "A performance-based planning approach integrating supply and demand of urban ecosystem services", in *Landscape and Urban Planning*, vol. 201, article 103842, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103842 [Accessed 22 March 2023].
- Danese, M., Lazzari M. and Murgante, B. (2008), "Kernel density estimation methods for a geostatistical approach in seismic risk analysis – The case study of Potenza hilltop town (Southern Italy)", in Gervasi, O., Murgante, B., Lagana, A., Taniar, D., Mun, Y. and Gavrilova, M. L. (eds), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2008 – Proceedings of the International Conference ICCSA 2008, Perugia, Italy, June 30-July 3, 2008 – Part I – Lecture Notes in Computer Science*, vol. 5072, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 415-429. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-540-69839-5_3 [Accessed 22 March 2023].
- De Falco, S. (2017), *Le città nella geografia dell'innovazione globale*, FrancoAngeli, Milano.
- European Commission (2020), *Europe 2020 – A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. [Online] Available at: ec.europa.eu/eu2020/pdf/COMPLET%20EN%20BARROSO%20%20%20007%20-%20Europe%202020%20-%20EN%20version.pdf [Accessed 22 March 2023].
- European Commission (2003), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Innovation policy – Updating the Union's approach in the context of the Lisbon strategy*, document 52003AE1175. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52003AE1175 [Accessed 22 March 2023].
- Fanfani, D. and Matarán Ruiz, A. (eds) (2021), *Bioregional Planning and Design – Volume I*, Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-45870-6 [Accessed 22 March 2023].
- Garland, G., Banerjee, S., Edlinger, A., Oliveira, E. M., Herzog, C., Wittwer, R., Philippot, L., Maestre, F. T. and van der Heijden, M. G. A. (2021), "A closer look at the functions behind ecosystem multifunctionality – A review", in *Journal of Ecology*, vol. 109, issue 2, pp. 600-613. [Online] Available at: doi.org/10.1111/1365-2745.13511 [Accessed 22 March 2023].
- Gould, S. J. and Vrba, E. S. (2008), *Exaptation – Il bricolage dell'evoluzione*, Bollati Boringheri, Torino.
- Haines-Young, R. and Potschin, M. (2018), *Common In-*

International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 – Guidance on the Application of the Revised Structure, Fabis Consulting Ltd., Nottingham. [Online] Available at: cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf [Accessed 22 March 2023].

Huang, F., Zuo, L., Gao, J., Jiang, Y., Du, F., Zhang, Y. (2023), “Exploring the driving factors of trade-offs and synergies among ecological functional zones based on ecosystem service bundles”, in *Ecological Indicators*, vol. 146, article 109827, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109827 [Accessed 22 March 2023].

Isola, F., Lai, S., Leone, F. and Zoppi, C. (2022), “Strengthening a Regional Green Infrastructure through Improved Multifunctionality and Connectedness – Policy Suggestions from Sardinia, Italy”, in *Sustainability*, vol. 14, issue 15, article 9788, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14159788 [Accessed 22 March 2023].

Lacy, P., Long, J. and Spindler, W. (2020), *The Circular Economy Handbook – Realizing the Circular Advantage*, Palgrave Macmillan, London. [Online] Available at: doi.org/10.1057/978-1-349-95968-6 [Accessed 22 March 2023].

Lapointe, M., Gurney G. G. and Cumming, G. S. (2021), “Urbanization affects how people perceive and benefit from ecosystem service bundles in coastal communities of the Global South”, in *Ecosystems and People*, vol. 17, issue 1, pp. 57-68. [Online] Available at: doi.org/10.1080/26395916.2021.1890226 [Accessed 22 March 2023].

Li, S., Shao, Y., Hong, M., Zhu, C., Dong, B., Li, Y., Lin, Y., Wang, K., Gan, M., Zhu, J., Zhang, L., Lin, N. and Zhang, J. (2023), “Impact mechanisms of urbanization processes on supply-demand matches of cultivated land multifunction in rapid urbanization areas”, in *Habitat International*, vol. 131, article 102726, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102726 [Accessed 22 March 2023].

Liu, C., Yang, M., Hou, Y. and Xue, X. (2021), “Ecosystem service multifunctionality assessment and coupling coordination analysis with land use and land cover change in China’s coastal zones”, in *Science of The Total Environment*, vol. 797, article 149033, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149033 [Accessed 22 March 2023].

Liu, J., Zhang, M., Xia, Y., Zheng, H. and Chen, C. (2022), “Using agent-based modeling to assess multiple strategy options and trade-offs for the sustainable urbanization of cultural landscapes – A case in Nansha, China”, in *Landscape and Urban Planning*, vol. 228, article 104555, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104555 [Accessed 22 March 2023].

Lombardini, G. (2019), “Dai territori della resistenza alle comunità di patrimonio – Percorsi di autorganizzazione e autogoverno per le aree fragili – Introduzione”, in Butelli, E., Lombardini, G. and Rossi, M. (eds), *Dai territori della resistenza alle comunità di patrimonio*, SdT Edizioni, Firenze, pp. 8-27. [Online] Available at: societadeiterritorialisti.it/wp-content/uploads/2020/01/DI-PATRIMONIO.pdf [Accessed 22 March 2023].

Lombardini, G. (2018), “Geosimulation methods for settlement morphologies analysis and territorial development cycles”, in Leone, A. and Gargiulo, C. (eds), *Environmental and territorial modelling for planning and design*, FedOA-Press, Napoli, pp. 105-114. [Online] Available at: doi.org/10.6093/978-88-6887-048-5 [Accessed 22 March 2023].

Lombardini, G. (2016), “Vulnerabilità, rischio, resilienza – Principi per nuovi parametri di valutazione del paesaggio”, in Bobbio, R. (ed.), *Bellezza ed economia dei paesaggi costieri*, Donzelli, Roma, pp. 63-72.

Lombardini, G., Pilogallo, A. and Tucci, G. (2022), “The provision of ecosystem services along the Italian coastal areas – A correlation analysis between environmental quality and urbanization”, in Gervasi, O., Murgante, B., Misra, S., Rocha A. M. and Garau, C. (eds), *Computational Science and its applications – ICCSA 2022 Workshop – Malaga, Spain, July 4-7, 2022 – Proceedings, Part IV*, Springer, Cham, pp. 298-314. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-10542-5_21 [Accessed 22 March 2023].

Manning, P., Van Der Plas, F., Soliveres, S., Allan, E.,

Maestre, F. T., Mace, G., Whittingham, M. J. and Fischer, M. (2018), “Redefining ecosystem multifunctionality”, in *Nature Ecology & Evolution*, vol. 2, pp. 427-436. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41559-017-0461-7 [Accessed 22 March 2023].

Mastrangelo, M. E., Weyland, F., Villarino, S. H., Barral, M. P., Nahuehual, L. and Lartera, P. (2014), “Concepts and methods for landscape multifunctionality and a unifying framework based on ecosystem services”, in *Landscape Ecology*, vol. 29, pp. 345-358. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10980-013-9959-9 [Accessed 22 March 2023].

Mitchell, M. G. E. and Devisscher, T. (2022), “Strong relationships between urbanization, landscape structure, and ecosystem service multifunctionality in urban forest fragments”, in *Landscape and Urban Planning*, vol. 228, article 104548, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104548 [Accessed 22 March 2023].

Pilogallo, A., Saganeiti, L., Fiorini, L. and Marucci, A. (2022), “Ecosystem Services for Planning Impacts Assessment on Urban Settlement Development”, in Gervasi, O., Murgante, B., Misra, S., Rocha, A. M. A. C. and Garau, C. (eds), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2022 Workshops*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 13380, Springer, Cham, pp. 241-253. Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-10542-5_17 [Accessed 22 March 2023].

Pilogallo, A. and Scorza, F. (2022), “Ecosystem Services Multifunctionality – An Analytical Framework to Support Sustainable Spatial Planning in Italy”, in *Sustainability*, vol. 14, issue 6, article 3346, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14063346 [Accessed 22 March 2023].

Pilogallo, A. and Scorza, F. (2021), “Regulation and Maintenance Ecosystem Services (ReMES) – A Spatial Assessment in the Basilicata Region (Southern Italy)”, in Gervasi, O., Murgante, B., Misra, S., Garau, C., Blečić, I., Taniar, D., Apduhan, B. O., Rocha A. M., Tarantino, E. and Torre, C. M. (eds), *Computational Science and its applications – ICCSA 2021 – 21st International Conference, Cagliari, Italy, September 13-16, 2021 – Proceedings Part VII*, Springer, Cham, pp. 703-716. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-87007-2_50 [Accessed 22 March 2023].

Pilogallo, A., Scorza, F. and Murgante, B. (2021), “An Ecosystem Services-Based Territorial Ranking for Italian Provinces”, in Gervasi, O., Murgante, B., Misra, S., Garau, C., Blečić, I., Taniar, D., Apduhan, B. O., Rocha A. M., Tarantino, E. and Torre, C. M. (eds), *Computational Science and its applications – ICCSA 2021 – 21st International Conference, Cagliari, Italy, September 13-16, 2021 – Proceedings Part VII*, Springer, Cham, pp. 692-702. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-87007-2_49 [Accessed 22 March 2023].

Ratti, C. and Belleri, D. (2020), “Verso una cyber-ecologia | Towards a cyber ecology”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 8-19. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/812020 [Accessed 22 March 2023].

Rodríguez-Loinaz, G., Alday, J. G. and Onaindia, M. (2015), “Multiple ecosystem services landscape index – A tool for multifunctional landscapes conservation”, in *Journal of Environmental Management*, vol. 147, pp. 152-163. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.09.001 [Accessed 22 March 2023].

Ronchi, S. (2018), *Ecosystem Services for Spatial Planning – Innovative Approaches and Challenges for Practical Applications*, Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-90185-5 [Accessed 22 March 2023].

Salata, S. and Grillenzoni, C. (2021), “A spatial evaluation of multifunctional Ecosystem Service networks using Principal Component Analysis – A case of study in Turin, Italy”, in *Ecological Indicators*, vol. 127, article 107758, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107758 [Accessed 22 March 2023].

Shen, J., Li, S., Liang, Z., Liu, L., Li, D. and Wu, S. (2020), “Exploring the heterogeneity and nonlinearity of

trade-offs and synergies among ecosystem services bundles in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration”, in *Ecosystem Services*, vol. 43, article 101103, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101103 [Accessed 22 March 2023].

SNAI – Strategia Nazionale per le Aree Interne (2014), *Strategia nazionale per le aree interne – Definizione, obiettivi, strumenti e governance – Accordo di partenariato 2014-2020*. [Online] Available at: miur.gov.it/documents/20182/890263/strategia_nazionale_aree_interne.pdf/d10fc111-65c0-4acd-b253-63efae626b19 [Accessed 22 March 2023].

Stürck, J. and Verburg, P. H. (2017), “Multifunctionality at what scale? A landscape multifunctionality assessment for the European Union under conditions of land use change”, in *Landscape Ecology*, vol. 32, pp. 481-500. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10980-016-0459-6 [Accessed 22 March 2023].

Terrell, G. R. and Scott, D. W. (1992), “Variable Kernel Density Estimation”, in *The Annals of Statistics*, vol. 20, issue 3, pp. 1236-1265. [Online] Available at: [jstor.org/stable/2242011](https://www.jstor.org/stable/2242011) [Accessed 22 March 2023].

Tucci, G. (2019), *MedCoast AgroCities – New operational strategies for the development of the Mediterranean agro-urban areas*, LIStLab, Trento-Barcellona.

Tucci, G. and Ratti, C. (2022), “La tecnologia come abilitatore di un nuovo ecosistema urbano responsivo – Intervista a Carlo Ratti (CRA Studio) | Technology as an enabler of a new ecosystem responsive urbanism – Interview with Carlo Ratti (CRA Studio)”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 190-201. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12172022 [Accessed 22 March 2023].

Uehara, T., Hidaka, T., Tsuge, T., Sakurai, R. and Cordier, M. (2021), “An adaptive social-ecological system management matrix for guiding ecosystem service improvements”, in *Ecosystem Services*, vol. 50, article 101312, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101312 [Accessed 22 March 2023].

Wang, J., Li, Y., Wang, S., Li, Q., Li, L. and Liu, X. (2023), “Assessment of Multiple Ecosystem Services and Ecological Security Pattern in Shanxi Province, China”, in *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 20, issue 6, article 4819, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/ijerph20064819 [Accessed 22 March 2023].

Wirth, L. (1938), “Urbanism as a Way of Life”, in *American Journal of Sociology*, vol. 44, issue 1, pp. 1-24. [Online] Available at: [jstor.org/stable/2768119](https://www.jstor.org/stable/2768119) [Accessed 22 March 2023].

Yan, J., Feng, P., Jia, F., Su, F., Wang, J. and Wang, N. (2023), “Identification of secondary functional areas and functional structure analysis based on multisource geographic data”, in *Geocarto International*, vol. 38, issue 1, article 219195, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1080/10106049.2023.219195 [Accessed 22 March 2023].