

Technology transfer and innovation for climate resilience in urban areas

Francesca Moraci¹, Alessandra Barresi¹, Francesco Trimboli¹, Pietro Bova¹,

¹ Department of Architecture & Design, Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy

Primary Contact: Alessandra Barresi, alessandra.barresi@unirc.it

This article has been accepted for publication and undergone full peer review but has not been through the copyediting, typesetting, pagination and proofreading process, which may lead to differences between this version and the Version of Record.

Published: May 26, 2025
DOI: 10.36253/techne-17396

Abstract

The research addresses the difficulty of integrating ecosystem assessment into urban planning to respond to territorial vulnerabilities (Caldarice & Salata, 2019). Tech4You's Pilot Project 4.6.1, on Reggio Calabria (Italy), develops a multidisciplinary approach that combines ecosystem assessment, digital twin and artificial intelligence for the creation of Climate Adaptation Plans (PACC). The critical testing of the InVEST model for calculating the "Carbon Storage and Sequestration" ecosystem service highlighted the limitations of current evaluation tools and the need for a more advanced platform. For this reason, the P.P. 4.6.1 is developing a Platform that integrates predictive models and a Climate Intelligence Chamber in the prototype phase.

Keywords: Ecosystem services; Climate adaptation plans; digital twin and artificial intelligence; green and blue infrastructures, territorial resilience

Please cite this article as: Francesca Moraci, Alessandra Barresi, Francesco Trimboli, Pietro Bova (2025) Technology transfer and innovation for climate resilience in urban areas / Trasferimento Tecnologico e Innovazione per la Resilienza Climatica in ambito Urbano. *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, Just Accepted.

Ecosystem services and urban planning

The current debate on the evaluation of ecosystem services (ESs) highlights the difficulty of effectively integrating these tools into urban planning processes, making them functional in reducing territorial vulnerabilities (Caldarice & Salata, 2019). Two critical issues emerge with particular importance: the complex quantification of ESs (Boyd & Banzhaf, 2007; *Ecosystems and Human Well-Being*, 2005) and

the tendency to evaluate the current state of services rather than their actual implementation in urban planning plans (Almenar et al., 2021; Ouyang et al., 2021; Salata et al., 2019). This approach limits the possibility of transforming ecosystem assessment into an effective decision-making tool for urban resilience.

The Pilot Project 4.6.1¹, developed within Tech4You, addresses these critical issues through innovative models and technologies for climate adaptation and mitigation. The approach adopted aims to monitor and evaluate the effectiveness of interventions, reducing ecological debt and strengthening urban resilience. Technology transfer therefore represents the key element to bridge the gap between theory and practice, making ESs concrete tools for land management.

State of the art: The case studies of Zurich (Switzerland), Chieri (TO), None (TO), Collegno (TO), Moncalieri (TO)

The evaluation of ESs, divided according to the Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005) and subsequently adapted into the TEEB² (2010) and the Common International Classification of Ecosystem Services (Haines-Young & Potschin, 2013), remains central in the scientific debate. However, the main challenge lies in translating their quantification into operational tools for urban planning. The ecological complexity of the soil, from which multiple ecosystem benefits derive, makes accurate measurement difficult, especially considering the discrepancy between the ecological state and the intended use envisaged in urban plans. Such discrepancies require more sophisticated models for sustainable land management.

Most methodological approaches, including InVEST, ARIES and Bayesian Network (Almenar et al., 2021; Bellamy et al., 2011; Drakou et al., 2015), evaluate ESs in a static state, without adequately considering territorial transformations resulting from urban policies. To overcome this limitation, experiences such as those of the Piedmontese municipalities of Collegno (fig. 1), Chieri, None and Moncalieri demonstrate the value of strategies that combine the evaluation of ESs (fig. 2) with the prediction of future scenarios (Regione Piemonte, 2022). For example, the recovery of the Dora Park in Collegno has improved water regulation, while Chieri has implemented ecological corridors for biodiversity (Regione Piemonte, 2022). None and Moncalieri have instead focused on green roofs and urban forestation to counteract the heat island effect.

A further example of innovation is represented by Zurich's Digital Twin (Schrotter & Hürzeler, 2020), which integrates 3D geospatial data to simulate urban development scenarios and ensure more effective planning. This system, supported by Open Government Data and regulated by the federal law on geoinformation (SR 510.62, 2007), aligns with the INSPIRE standards of the European Commission (*INSPIRE Knowledge Base - European Commission*, 2025).

These cases demonstrate the importance of adopting a dynamic approach to ecosystem assessment, which considers territorial transformations over time. A predictive methodology allows modelling the evolution of ESs in response to changes in land use, climate change and urban planning policies, transforming the evaluation of ESs into a strategic element for urban and territorial planning.

Approach and Methodology of the Pilot Project 4.6.1

From the state of the art, it emerges that ESs are nothing more than the result of ecological, social, cultural and interaction processes as well as the result of a historical coevolution of uses, rules of use, social norms and natural processes (Santolini, 2010).

Starting from these considerations, the methodological approach of Pilot Project 4.6.1 is based on the classification of ESs according to the MEA (2005) (fig. 3) and adopts a cascade model, inspired by Natural England³ (NE) (2011) and CQuEL⁴, which organises the analysis of ESs in four phases (fig. 4): selection and definition of the service, analysis of ecosystem properties, identification of indicators and urban parameters (fig. 5) and identification of sources data (fig. 6). This method guarantees a coherent integration between ecosystem assessment and territorial planning.

Based on this approach, to date, we are proceeding with the mapping of the ESs already analysed by the P.P. 4.6.1 T4Y research group in the RC area taken as a case study. This mapping represents the compromise between simpler and more complex approaches (Kareiva, 2011). However, the direct quantification of ESs is complex, as it depends on the availability of territorial and environmental data. To overcome this criticality, the model developed in the P.P. 4.6.1 includes a detailed mapping of ESs in the Reggio Calabria area, identifying key parameters for data extraction and evaluation. An application example is the analysis of carbon storage, which uses open-source models such as InVEST (2021) and ARIES (Giuseppi et al., 2024) to quantify carbon sequestration, based on datasets such as Corine Land Cover (2024) and the Geo Portal of the Calabria Region.

This approach has been extended to a selection of ESs, fundamental for urban planning:

- Urban Cooling: evaluated through InVEST models (InVEST Models | The Natural Capital Project, 2021) and correlated to the presence of green areas greater than 2 hectares (Hamel et al., 2023; Vaz Monteiro et al., 2016; Zardo et al., 2017; Zawadzka et al., 2021);
- Carbon storage: connected to the extent and quality of urban vegetation, modelled based on the methodologies of Maes et al. (2020);
- Carbon emission: based on estimates based on the energy performance certificates (APE) used as a sample (Guida, 2015);
- Water retention and runoff control (water yield, nutrient retention, sediment retention): fundamental for managing hydraulic risk and planning green and blue infrastructures (European Commission. Directorate General for the Environment., 2016);
- Habitat quality: related to the integrity and biodiversity of urban green areas (Zawadzka et al., 2021);
- Crop Production: considering that the ecosystem performance of agricultural production land is generally lower than wooded areas (Giaino & Barbieri, 2018);
- Recreation and Tourism: despite the difficulty of evaluating Cultural Ecosystem Services (Hølleland et al., 2017), it is the most connected to pressure indicators (fig. 4) and is therefore the CS potentially most useful for experimentation.

Their evaluation will allow us to build predictive scenarios and develop operational tools for the adaptive management of the territory. The PP platform, currently being implemented, integrates these ESs, aiming at advanced decision support for urban resilience and the mitigation of environmental impacts.

Example of application of InVEST in the Reggio Calabria area (Italy) for the ES "Carbon storage"

Technology transfer plays a key role in bridging the gap between the theoretical evaluation of ESs and their application in urban planning. To demonstrate this integration, an analysis of the delta of the ecosystem service "Carbon Storage and Sequestration" was carried out in the historic centre of Reggio Calabria (RC) between 2018 and 2021, using the InVEST model (2021). The data were processed starting from the Corine Land Monitoring Services (CLC) (2024), from average carbon stocks by land use (Conforti et al., 2016; Khachoo et al., 2024; O'Riordan, 2021; Rumpel et al., 2023) and from visualisations in a GIS environment.

The analysis focuses on the impacts of the construction of a part of the waterfront designed by Studio Zaha Hadid (fig. 7), which resulted in soil sealing and a consequent loss of carbon storage capacity. The evaluation was conducted through a four-step process:

- 1) Association of average carbon stock values for the 4 typologies (aboveground, belowground, soil, dead biomass) for each of the 11 land use typologies of the CLC (tab. 1) based on databases (Spawn & Gibbs, 2020) and literature (Conforti et al., 2016; Khachoo et al., 2024; O’Riordan, 2021; Rumpel et al., 2023);
- 2) Importation onto the InVEST "Carbon storage and sequestration" model of the geodata relating to land use for the year 2018 and the year 2021 extracted from Corine Land Monitoring services, together with the "carbon pools" table (Tab. 1);
- 3) Measurement through InVEST of the ecosystem service and the delta (loss or gain) thereof between 2018 and 2021;
- 4) Delta visualisation with zoom for the intervention area in fig. 7 and subsequent observation with respect to the Unitary Territorial Areas.

In Tab. 1 for the sealed category, albeit as a value hypothesis, to also consider the small green areas present on urban area, the average of the total carbon stock for the "sealed anthropogenic" areas of the O’Riordan database (2021) was used. The average value is 52.2 Mg/ha. This value was divided by 3 and was used for 3 of the 4 soil categories given that for deadwood biomass, no useful data were found for the 11 LULC categories; finally, one Mg/ha of the initial 52.2 was considered as the default value c_{above} below, given that this is likely due to "lichens and mosses" (O’Riordan, 2021). Furthermore, it should be noted that the values of the LULC typology called "lichens and mosses" were obtained from the literature (Conti et al., 2024; Smith et al., 2004; Von Brackel & Puntillo, 2016). Finally, to obtain the display of the default Delta from the InVEST model of the two scenarios, the following values were taken from the literature⁵:

- Price Of Carbon (number) (currency units/t) = 74 (*Carbon price in the EU will reach €74/t in 2025 - ING forecast, 2024*);
- Annual Market Discount Rate (ratio: a decimal from 0 - 1) = 0.07 (*Carbon price in the EU will reach €74/t in 2025 - ING forecast, 2024; EU-ETS Price 2023-2025, 2025; Twidale, 2024*);
- Annual Price Change (ratio: a decimal from 0 - 1) = 0.05 (*Carbon price in the EU will reach €74/t in 2025 - ING forecast, 2024; EU-ETS Price 2023-2025, 2025; Twidale, 2024*).

The data in Tab. 1 were subsequently imported into the InVEST model together with the geodata from CLC for the area under consideration in the 2018 and 2021 scenarios. Subsequently, the delta of the pixel values was obtained (fig. 8).

In Fig. 8 there is a visualisation of the delta on the basemap, compared with the table. 0.1B of the RC PSC, the values from yellow to red are in Mg/pixel. From the figure it can be seen that for the darker parts there was a loss of carbon storage, calculated by InVEST in monetary terms. However, note how imprecise this measurement is. In fact, the complete sealing of the soil due to the intervention on the waterfront was not detected in the CLC geodata (Fig. 7).

A further consideration must be made in relation to the macrozoning of the PSC (Fig. 8) and of the specific areas (in this case, "area that suffered documented coseismic effects"). A strategy aimed at not depleting ESs could instead consider these aspects of the current state of affairs in parallel with the regulatory instruments and representations linked to the latter (e.g., PSC). For example, taking into account the "Class 2" area of table 0.1B of the PSC, it may be possible to visualise adaptation and mitigation scenarios with respect to the loss of the ecosystem service.

Results analysis and consideration on the next proposals by P.P. 4.6.1.

Pilot Project 4.6.1 proposes an integrated approach to overcome the critical issues that emerged in the analysis of carbon storage and sequestration, combining site-based data, predictive models and advanced environmental assessment tools. The objective is to develop adaptive scenarios for the draughting of climate adaptation plans based on dynamic and scalable data.

To improve the precision of the evaluation of ESs, the project implements a site-based model to detect in real time the dynamic ecological footprints of Minimum Territorial Units (MTUs) (such as the one treated for the analysis in Fig. 8). This allows estimates to be refined, taking into account actual soil sealing and variations in key ecosystem services for adaptive planning. At the same time, forecast scenarios are developed through the definition of Optimal Territorial Units (UTO), combining the analysis of urban vulnerabilities with digital simulation technologies.

The use of a digital twin, associated with artificial intelligence, will allow changes in ESs to be monitored in real time in relation to urban transformations. Furthermore, the Climate Intelligence Chamber (CIC), in the prototype phase, will allow the controlled reproduction of environmental dynamics, improving the calibration of forecast models.

Integrated into an advanced platform, these tools will contribute to the evolution of the project's TRL, promoting technology transfer and the creation of applicable solutions for urban planning. Finally, the certified data will guarantee a more effective integration of ESs into decision-making strategies, laying the foundations for innovative territorial planning that is resilient to environmental challenges.

Notes

¹ The Pilot Project aims to develop innovative, integrated and systemic approaches to reduce vulnerability to climate change through urban and territorial planning interventions that involve both physical infrastructures and land management and governance policies, adopting a paradigm orientated towards sustainability and urban resilience.

² The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) is a global initiative focused on “making nature’s values visible”. Its principal objective is to mainstream the values of biodiversity and ecosystem services into decision-making at all levels. Source: <https://teebweb.org/> (consulted on 20/02/2025)

³ Natural England is an executive non-departmental public body, sponsored by the Department for Environment, Food & Rural Affairs. Its aim is to help conserve, improve and manage the natural environment for the benefit of present and future generations.

⁴ CQuEL, an acronym for “Character and Quality of England's Landscapes”, is Natural England's main integrated monitoring project. CQuEL provides place-based evidence on the character and function of landscapes and on the supply and quality of selected ESs provided by England's natural environment.

⁵ These values estimate the carbon loss if the land use change occurred under current market conditions. Between 2018 and 2021, the price of carbon rose from 8 to around 60 euros/Mg (Bua et al., 2021), recording the sharpest change since 2005 (EUA Price History, 2024), making it a plausible estimate for viewing the delta with InVEST.

References

Almenar, J. B., Elliot, T., Rugani, B., Philippe, B., Gutierrez, T. N., Sonnemann, G., & Geneletti, D. (2021). Nexus between nature-based solutions, ecosystem services and urban challenges. *Land use policy*, 100, 104898.

Bellamy, P., Camino, M., Harris, J., Corstanje, R., Holman, I., & Mayr, T. (2011). Monitoring and modelling ecosystem services: A scoping study for the ecosystem services pilots. *Natural England Commissioned Report NECR073, Cranfield*, 277.

Boyd, J., & Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 63(2), 616–626.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.01.002>

Bua, G., Kapp, D., Kuik, F., & Lis, E. (2021). *EU emissions allowance prices in the context of the ECB's climate change action plan*. https://www.ecb.europa.eu/press/economic-bulletin/focus/2021/html/ecb.ebbox202106_05~ef8ce0bc70.en.html

Caldarice, O., & Salata, S. (2019). Valutare i Servizi Ecosistemici nel Piano come Risposta alla Vulnerabilità Territoriale. Una Riflessione Metodologica a partire dalla Proposta di Legge sul Consumo di Suolo in Piemonte. *Valori e Valutazioni*, 22.

Carbon price in the EU will reach €74/t in 2025—ING forecast. (2024).
<https://gmk.center/en/news/carbon-price-in-the-eu-will-reach-e74-t-in-2025-ing-forecast/>

Chiarle, C., Meoli, R., Giaimo, C., & Salata, S. (2018). *Progetto di suolo e valutazione dei servizi ecosistemici: Il programma Collegno rigenera. Land planning and ecosystem services assessment: the Collegno Rigenera programme*. <https://iris.polito.it/handle/11583/2713900?mode=full>

Conforti, M., Lucà, F., Scarciglia, F., Matteucci, G., & Buttafuoco, G. (2016). Soil carbon stock in relation to soil properties and landscape position in a forest ecosystem of southern Italy (Calabria region). *Catena*, 144, 23–33.

Conti, M., Martellos, S., Moro, A., Nimis, P. L., & Puntillo, D. (2024). The dataset of the CLU lichen herbarium (Calabria, Italy). *Biodiversity Data Journal*, 12, e116965.
<https://doi.org/10.3897/BDJ.12.e116965>

CORINE Land Cover. (2024). <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>

Drakou, E. G., Crossman, N. D., Willemen, L., Burkhard, B., Palomo, I., Maes, J., & Peedell, S. (2015). A visualization and data-sharing tool for ecosystem service maps: Lessons learnt, challenges and the way forward. *Ecosystem Services*, 13, 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.12.002>

Ecosystems and human well-being: Synthesis; a report of the Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Island Press.

EU-ETS price 2023-2025. (2025). Statista. <https://www.statista.com/statistics/1322214/carbon-prices-european-union-emission-trading-scheme/>

European Commission. Directorate General for the Environment. (2016). *Mapping and assessment of ecosystems and their services: Urban ecosystems: 4th report – final, May 2016*. Publications Office.
<https://data.europa.eu/doi/10.2779/625242>

Giaimo, C., & Barbieri, C. A. (2018). Paradigmi ecosistemici, piano urbanistico e città contemporanea. L'esperienza del progetto Life Sam4cp/Ecosystems services, spatial planning and contemporary city. The experience of the Life Sam4cp project. *Urbanistica*, 159, 114–124.

Giuseppi, A., Di Paola, A., Santopaolo, A., Saif, S. S., Fiorini, F., & Pietrabissa, A. (2024). ARIES: An Intelligent System for Landslide and Wildfire Risk Management. *2024 32nd Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, 661–666.
<https://doi.org/10.1109/MED61351.2024.10566274>

Guida, R. (2015). *SIAPE - Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica*. SIAPE.
<https://siape.enea.it/>

Haines-Young, R., & Potschin, M. B. (2013). *Common international classification of ecosystem services (CICES) V4.3 and guidance on the application of the revised structure*. Nottingham: Fabis Consulting Ltd.

Hamel, P., Bosch, M., Tardieu, L., Lemonsu, A., De Munck, C., Nootenboom, C., Viguié, V., Lonsdorf, E., Douglass, J. A., & Sharp, R. P. (2023). *Calibrating and validating the InVEST urban cooling model: Case studies in France and the United States*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-928>

Hølleland, H., Skrede, J., & Holmgaard, S. B. (2017). Cultural Heritage and Ecosystem Services: A Literature Review. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 19(3), 210–237. <https://doi.org/10.1080/13505033.2017.1342069>

INSPIRE Knowledge base—European Commission. (2025, febbraio 10). https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/index_en

InVEST models | The Natural Capital Project. (2021). <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest/invest-models>

Kareiva, P. (2011). *Natural capital: Theory and practice of mapping ecosystem services*. Oxford University Press.

Khachoo, Y. H., Cutugno, M., Robustelli, U., & Pugliano, G. (2024). Impact of land use and land cover (LULC) changes on carbon stocks and economic implications in Calabria using Google Earth Engine (GEE). *Sensors*, 24(17), 5836.

Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Conde, S., Vallecillo, R. S., Barredo, C. J. I., Paracchini, M.-L., Abdul, M. D., Trombetti, M., Vigiak, O., Zulian, G., Addamo, A., Grizzetti, B., Somma, F., Hagyo, A., Vogt, P., Polce, C., Jones, A., Marin, A., ... Santos-Martín, F. (2020, ottobre 12). *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An EU ecosystem assessment*. JRC Publications Repository. <https://doi.org/10.2760/757183>

O’Riordan, R. (2021). *The effects of sealing on urban soil carbon and nutrients* [Dataset]. Lancaster University. <https://doi.org/10.17635/LANCASTER/RESEARCHDATA/422>

Piemonte, C. S. I. (2022). *Ambiente—Città Metropolitana di Torino...* <http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/ambiente/agenda-metro-svil-sostenibile/azioni-pilota>

Research and academia (2010). (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*. <https://teebweb.org/publications/teeb-for/research-and-academia/>

Rumpel, C., Amiraslani, F., Lata, J. C., Cordovil, C. M.-S., Nartey, E., Staudhammer, C., & Yeboah, E. (2023). Management of soil carbon sequestration in urban areas. In *Burleigh Dodds Science Publishing*.

Santolini, R. (2010). Servizi Ecosistemici e sostenibilità, *Rivista Ecoscienza*. *Rivista Ecoscienza*, 3.

Schrotter, G., & Hürzeler, C. (2020). The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(1), 99–112. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00092-2>

Smith, B., World Business Council for Sustainable Development, & World Resources Institute (A c. Di). (2004). *The greenhouse gas protocol: A corporate accounting and reporting standard* (revised ed). World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development.

Spawn, S. A., & Gibbs, H. K. (2020). *Vegetation Collection Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density Maps for the Year 2010* (Versione 1, p. 9810.740697000001 MB) [GTiff]. ORNL Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAAC/1763>

SR 510.62—Federal Act of 5 October 2007 on Geoinformati... (2007). Fedlex. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2008/388/en>

Twidale, S. (2024, ottobre 18). Analysts expect EU carbon prices to soar by 2027. *Reuters*. <https://www.reuters.com/markets/europe/analysts-expect-eu-carbon-prices-soar-by-2027-2024-10-18/>

Vaz Monteiro, M., Doick, K. J., Handley, P., & Peace, A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. *Urban Forestry & Urban Greening*, 16, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.02.008>

Von Brackel, W., & Puntillo, D. (2016). New Records of Lichenicolous Fungi from Calabria (Southern Italy), Including a First Checklist. *Herzogia*, 29(2), 277–306.

<https://doi.org/10.13158/heia.29.2.2016.277>

Zardo, L., Geneletti, D., Pérez-Soba, M., & Van Eupen, M. (2017). Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning. *Ecosystem Services*, 26, 225–235.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.016>

Zawadzka, J. E., Harris, J. A., & Corstanje, R. (2021). Assessment of heat mitigation capacity of urban greenspaces with the use of InVEST urban cooling model, verified with day-time land surface temperature data. *Landscape and Urban Planning*, 214, 104163.

<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104163>

Images

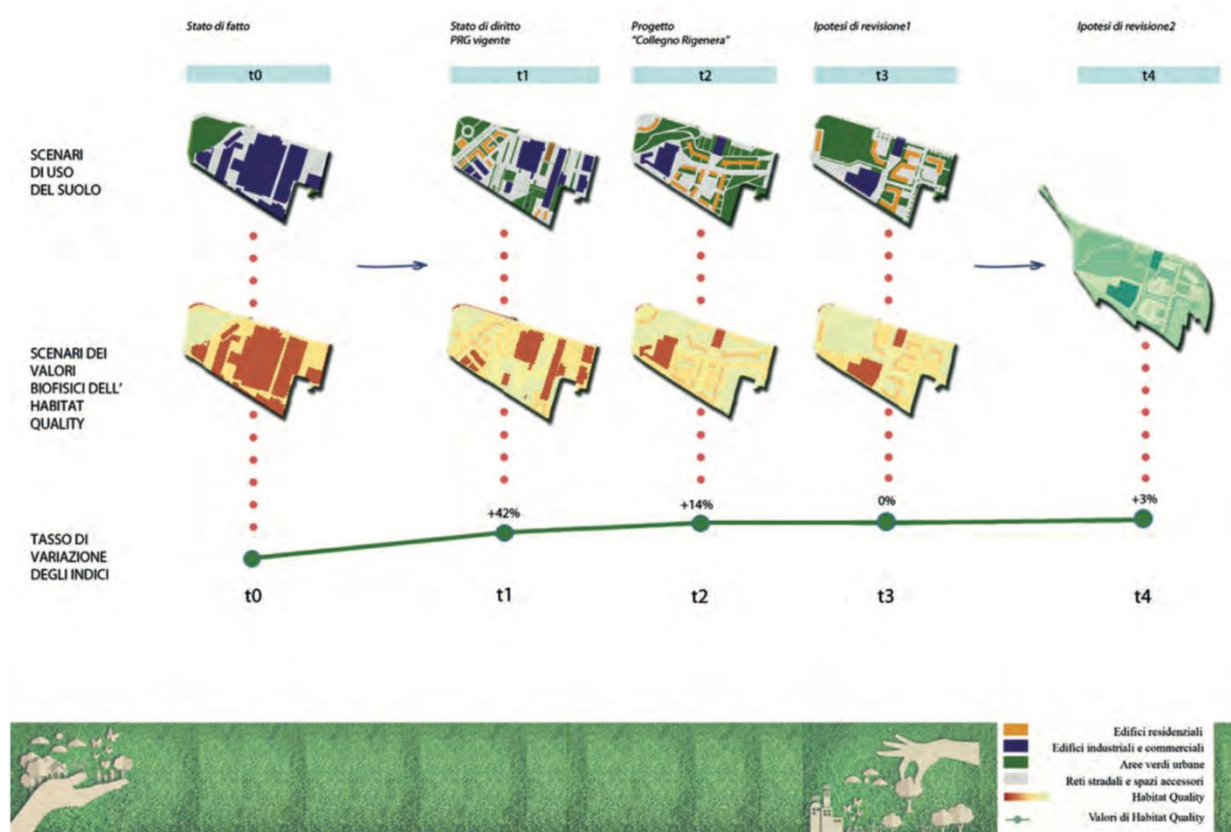


Fig. 1

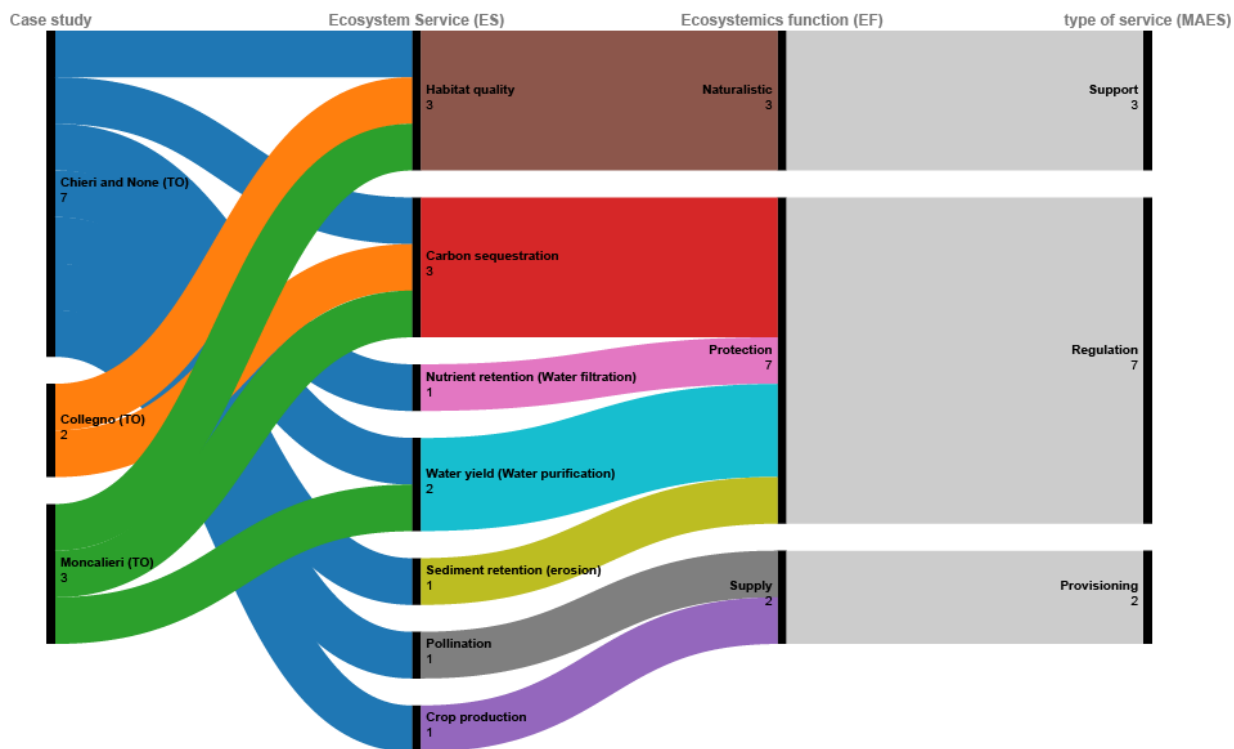


Fig. 2

APPROACH



Fig. 3

APPROACH



Fig. 4

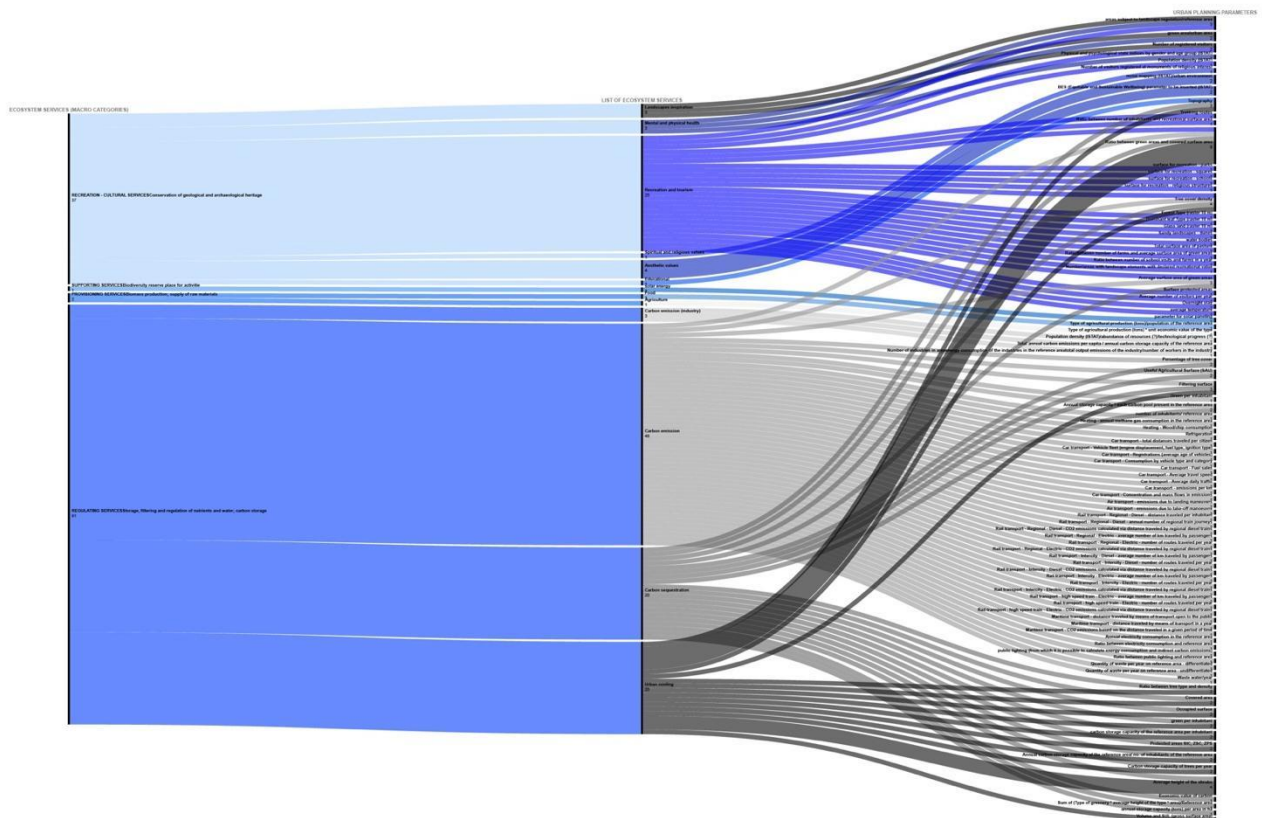


Fig. 5

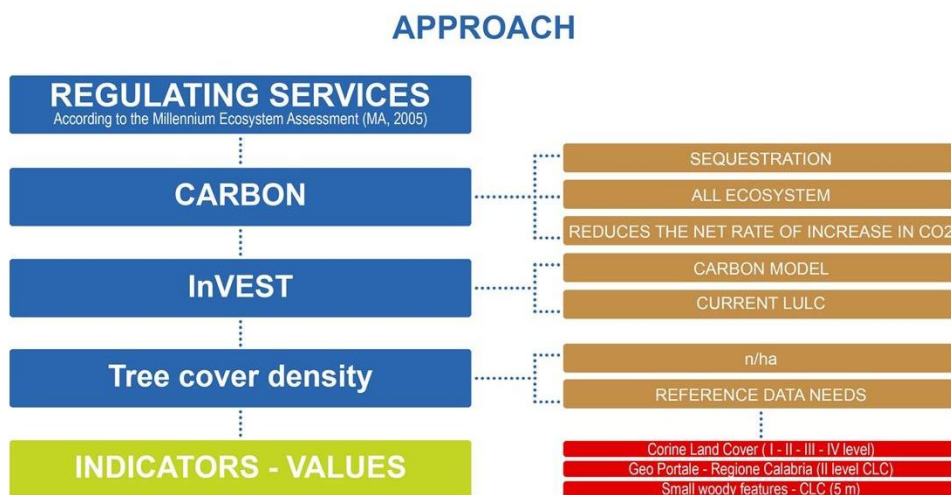


Fig. 6



Fig. 7

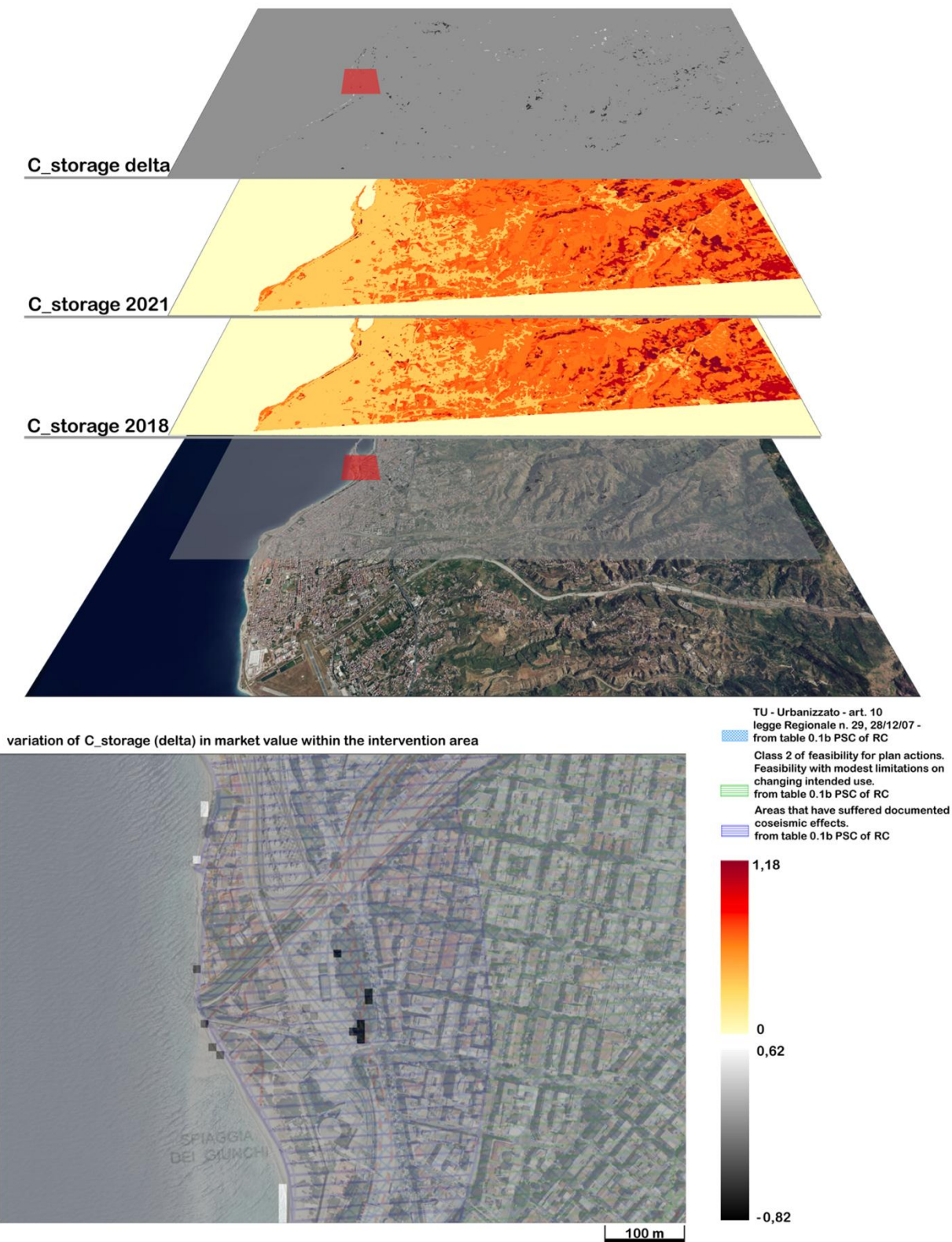


Fig. 8

Tabs

LU code	LULC name	Aboveground biomass (Mg/ha)	Belowground Biomass (Mg/ha)	Soil organic ground biomass (Mg/ha)	Deadwood biomass (Mg/ha)
Lu code	LULC_Name	C_above	C_below	C_soil	C_dead
1	Sealed	17.06	1	17.06	0
2	Woody needle leaved trees	38.791	14.254	65.058	0
3	Woody broadleaved deciduous trees	31.499	12.384	60.555	0
4	Woody broadleaved evergreen trees	11.987	6.34	49.451	0
5	Low-growing woody	13.794	8.338	52.388	0
6	Permanent herbaceous	8.8	5.366	49.432	0
7	Periodically herbaceous	4.433	4.248	46.167	0
8	Lichens and mosses	1	0.2	20	0
9	Non and sparsely vegetated	10.479	5.381	46.843	0
10	Water	0	0	0	0
11	Snow and ice	0	0	0	0
253	Outside area	0	0	0	0
254	No data	0	0	0	0
255	No data	0	0	0	0

Tab. 1

Captions

Fig. 01 - The figure is taken from Chiarle et al. (2018), and represents the rate of change of the average habitat quality value for the Collegno (Italy) case study, for the different time scenarios from t0 to t4.

Fig. 02 - ESs mapped, using InVEST resources, before overlaying in a GIS environment with the regulatory areas for the Piedmont (Italy) case studies.

Fig. 03 - Classification of ESs starting from the MEA classification, 2005. Elaboration by P.P. 4.6.1, all rights reserved.

Fig. 04 - P.P. approach 4.6.1. Elaboration by P.P. 4.6.1, all rights reserved.

Fig. 05 - Elaboration from the synoptic grid "ESs and urban planning parameters". In the figure it is visible when an urban planning parameter (on the right) is linked to multiple ESs (in the centre). Elaboration by P.P. 4.6.1, all rights reserved.

Fig. 06 - Methodological approach for the assessment of ESs with an example of use for the identification of the parameter and availability of the ES "carbon sequestration."

Fig. 07 - Comparison between the RC waterfront section in 2018 (left) and 2021 (right). Elaboration by P.P. 4.6.1, all rights reserved.

Fig. 08 – The figure shows the overlay of the results of the InVEST model, based on the CLC data and the values of Tab. 1, highlighting the variation (in monetary terms) of the ecosystem service. At the bottom, the delta is displayed on the basemap and compared to the table. 0.1B of RC PSC.

Elaboration by P.P. 4.6.1, all rights reserved.

Tab. 01 - Average carbon pool values, in Mg/ha, by type of LULC used for the InVEST model.

Elaboration by P.P. 4.6.1, all rights reserved.

Attribution, Acknowledgments, Copyright Rights

The following sections of this article were written by the respective authors:

- Introduction: Ecosystem services and urban planning – written by Francesca Moraci
- State of the art: The case studies of Zurich (Switzerland), Chieri (TO), None (TO), Collegno (TO), Moncalieri (TO) – written by Alessandra Barresi
- Approach and Methodology of the Pilot Project 4.6.1 – written by Francesco Trimboli
- Example of application of InVEST in the Reggio Calabria area (Italy) for the ES "Carbon storage" – written by Pietro Bova
- Results analysis and consideration on the next proposals by P.P. 4.6.1 – written by Pietro Bova.

This research work is the result of the research activities conducted within the following PNRR research project funded by the European Union – NextGenerationEU: "Pilot Project 4.6.1 "Climate adaptation plans for the reduction of the ecological footprint and ecological debt, aimed at improving the conservation and transformation response in terms of resilience and quality of life in the Calabrian and Lucanian urban and territorial systems" (Goal 4.6 - Planning for Climate Change to boost cultural and natural heritage: demand-oriented ecosystem services based on enabling ICT and AI technologies - Tech4You Innovation Ecosystem), Founded by European Union - Next Generation EU, Missione 4 - Componente 2 - CUP C33C22000290006 (ECS_000000009).

Trasferimento Tecnologico e Innovazione per la Resilienza Climatica in ambito Urbano

Francesca Moraci¹, Alessandra Barresi¹, Francesco Trimboli¹, Pietro Bova¹,

¹ Dipartimento di Architettura e Design, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Italia

Primary Contact: Alessandra Barresi, alessandra.barresi@unirc.it

Abstract

La ricerca affronta la difficoltà di integrare la valutazione ecosistemica nella pianificazione urbanistica per rispondere alle vulnerabilità territoriali (Caldarice & Salata, 2019). Il Progetto Pilota 4.6.1 di Tech4You, su Reggio Calabria, sviluppa un approccio multidisciplinare che combina valutazione ecosistemica, digital twin e intelligenza artificiale per la creazione di Piani di Adattamento Climatico (PACC). La sperimentazione critica del modello InVEST per il calcolo del servizio ecosistemico "Carbon Storage and Sequestration" ha evidenziato i limiti degli attuali strumenti di valutazione e la necessità di una piattaforma più avanzata. Per questo, il P.P. 4.6.1 sta sviluppando una Piattaforma che integra modelli predittivi e una Camera di Intelligenza Climatica in fase prototipale.

Parole chiave: Servizi ecosistemici; Piani di adattamento climatico; digital twin e intelligenza artificiale; infrastrutture verdi e blu, resilienza territoriale

Servizi ecosistemici e pianificazione urbanistica

L'attuale dibattito sulla valutazione dei servizi ecosistemici (ESs) evidenzia la difficoltà di integrare efficacemente tali strumenti nei processi di pianificazione urbanistica, rendendoli funzionali alla riduzione delle vulnerabilità territoriali (Caldarice & Salata, 2019). Due criticità emergono con particolare rilievo: la complessa quantificazione degli ESs (Boyd & Banzhaf, 2007; Ecosystems and Human Well-Being, 2005) e la tendenza a valutare lo stato attuale dei servizi piuttosto che il loro effettivo recepimento nei piani urbanistici (Almenar et al., 2021; Ouyang et al., 2021; Salata et al., 2019). Questo approccio limita la possibilità di trasformare la valutazione ecosistemica in un efficace strumento decisionale per la resilienza urbana.

Il Progetto Pilota 4.6.1¹, sviluppato nell'ambito di Tech4You, affronta queste criticità attraverso modelli e tecnologie innovative per l'adattamento e la mitigazione climatica. L'approccio adottato mira a monitorare e valutare l'efficacia degli interventi, riducendo il debito ecologico e rafforzando la resilienza urbana. Il trasferimento tecnologico rappresenta dunque l'elemento chiave per colmare il divario tra teoria e pratica, rendendo gli ESs strumenti concreti per la gestione del territorio.

Stato dell'arte: I casi studio di Zurigo (Svizzera), Chieri (TO), None (TO), Collegno (TO), Moncalieri (TO)

La valutazione degli ESs, suddivisi secondo il Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005) e successivamente adattati nel TEEB² (2010) e nella Common International Classification of Ecosystem Services (Haines-Young & Potschin, 2013), resta centrale nel dibattito scientifico. Tuttavia, la principale sfida risiede nella traduzione della loro quantificazione in strumenti operativi per la pianificazione urbana. La complessità ecologica del suolo, da cui derivano molteplici benefici ecosistemici, rende difficile una misurazione accurata, specialmente considerando la discrepanza tra lo stato ecologico e la destinazione d'uso prevista nei piani urbanistici. Tali discrepanze richiedono modelli più sofisticati per una gestione sostenibile del territorio.

La maggior parte degli approcci metodologici, tra cui InVEST, ARIES e Bayesian Network (Almenar et al., 2021; Bellamy et al., 2011; Drakou et al., 2015), valuta gli ESs in uno stato statico, senza considerare adeguatamente le trasformazioni territoriali derivanti dalle politiche urbane. Per superare questa limitazione, esperienze come quelle dei comuni piemontesi di Collegno (fig. 1), Chieri, None e Moncalieri dimostrano il valore di strategie che combinano la valutazione degli ESs (fig. 2) con la previsione di scenari futuri (Regione Piemonte, 2022). Ad esempio, il recupero del Parco della Dora a Collegno ha migliorato la regolazione idrica, mentre Chieri ha implementato corridoi ecologici per la biodiversità (Piemonte, 2022). None e Moncalieri hanno invece puntato su tetti verdi e forestazione urbana per contrastare l'effetto isola di calore.

Un ulteriore esempio di innovazione è rappresentato dal Digital Twin di Zurigo (Schrotter & Hürzeler, 2020), che integra dati geospaziali 3D per simulare scenari di sviluppo urbano e garantire una pianificazione più efficace. Questo sistema, supportato dall'Open Government Data e regolato dalla legge federale sulla geoinformazione (SR 510.62, 2007), si allinea agli standard INSPIRE della Commissione Europea (*INSPIRE Knowledge Base - European Commission*, 2025).

Questi casi dimostrano l'importanza di adottare un approccio dinamico alla valutazione ecosistemica, che consideri le trasformazioni territoriali nel tempo. Una metodologia predittiva consente di modellare l'evoluzione dei Servizi Ecosistemici in risposta a cambiamenti d'uso del suolo, mutamenti climatici e politiche urbanistiche, trasformando la valutazione degli ESs in un elemento strategico per la pianificazione urbana e territoriale.

Approccio e Metodologia del Progetto Pilota 4.6.1

Dallo stato dell'arte emerge che gli ESs non sono altro che il risultato di processi ecologici, sociali, culturali e di interazione nonché il risultato di una coevoluzione storica di usi, regole d'uso, norme sociali e processi naturali (Santolini, 2010).

A partire da queste considerazioni, l'approccio metodologico del Progetto Pilota 4.6.1 si basa sulla classificazione degli ESs secondo il MEA (2005) (fig. 3) e adotta un modello a cascata, ispirato a Natural England³ (NE) (2011) e CQuEL⁴, che organizza l'analisi degli ESs in quattro fasi (fig.4): selezione e definizione del servizio, analisi delle proprietà ecosistemiche, identificazione degli indicatori e dei parametri urbanistici (fig. 5) e individuazione delle fonti dati (fig. 6). Questo metodo garantisce un'integrazione coerente tra valutazione ecosistemica e pianificazione territoriale.

Sulla base di questo approccio, ad oggi, si sta procedendo alla mappatura degli ESs già analizzati dal gruppo di ricerca del P.P. 4.6.1 T4Y nell'area di RC presa come caso studio. Questa mappatura, rappresenta il compromesso tra approcci più semplici e approcci più complessi (Kareiva, 2011). Tuttavia, la quantificazione diretta degli ESs risulta complessa poiché dipende dalla disponibilità di dati territoriali e ambientali. Per ovviare a tale criticità, il modello sviluppato nel P.P. 4.6.1 include una mappatura dettagliata degli ESs nell'area di Reggio Calabria, individuando parametri chiave per l'estrazione e la valutazione dei dati. Un esempio applicativo è l'analisi del carbon storage, che utilizza modelli open source come InVEST (2021) e ARIES (Giuseppi et al., 2024) per quantificare il sequestro

di carbonio, basandosi su dataset quali Corine Land Cover (2024) e il Geo Portale della Regione Calabria.

Questo approccio è stato esteso a una selezione di ESs prioritari, fondamentali per la pianificazione urbana:

- Raffrescamento urbano (Urban Cooling): valutato attraverso modelli di InVEST (*InVEST Models | The Natural Capital Project*, 2021) e correlato alla presenza di aree verdi superiori a 2 ettari (Hamel et al., 2023; Vaz Monteiro et al., 2016; Zardo et al., 2017; Zawadzka et al., 2021).
- Stoccaggio di carbonio: connesso all'estensione e alla qualità della vegetazione urbana, modellato sulla base delle metodologie di Maes et al. (2020).
- Emissione di carbonio: sulla base delle stime con alla base gli attestati di prestazione energetica (APE) utilizzati come campione (Guida, 2015)
- Ritenzione idrica e controllo del deflusso (water yield, nutrient retention, sediment retention): fondamentale per la gestione del rischio idraulico e per la pianificazione di infrastrutture verdi e blu (European Commission. Directorate General for the Environment., 2016).
- Qualità dell'habitat: correlata all'integrità e alla biodiversità delle aree verdi urbane (Zawadzka et al., 2021).
- Crop Production: considerando che la prestazione ecosistemica dei terreni a produzione agricola risulta generalmente minore rispetto alle aree boschive (Giaino & Barbieri, 2018);
- Recreation and Tourism: nonostante la difficoltà della valutazione dei Cultural Ecosystem Services (Hølleland et al., 2017), risulta il più connesso ad indicatori di pressione (fig. 4) ed è quindi il CS potenzialmente più utile per la sperimentazione.

La loro valutazione permetterà di costruire scenari predittivi e di sviluppare strumenti operativi per la gestione adattativa del territorio. La piattaforma del PP, in corso di implementazione, integra questi ESs, mirando al supporto decisionale avanzato per la resilienza urbana e la mitigazione degli impatti ambientali.

Esempio di applicazione di InVEST sul territorio di Reggio Calabria per l'ES "Carbon storage"

Il trasferimento tecnologico gioca un ruolo chiave nel colmare il divario tra la valutazione teorica degli ESs e la loro applicazione nella pianificazione urbana. Per dimostrare tale integrazione, è stata effettuata un'analisi del delta del servizio ecosistemico "Carbon Storage and Sequestration" nel centro storico di Reggio Calabria (RC) tra il 2018 e il 2021, utilizzando il modello InVEST (2021). I dati sono stati elaborati a partire dal Corine Land Monitoring Services (CLC) (2024), dai carbon stock medi per uso del suolo (Conforti et al., 2016; Khachoo et al., 2024; O'Riordan, 2021; Rumpel et al., 2023) e da visualizzazioni in ambiente GIS.

L'analisi si concentra sugli impatti della costruzione di una sezione del waterfront progettato dallo studio Zaha Hadid (fig. 7), che ha comportato una sigillazione del suolo e una conseguente perdita di capacità di stoccaggio del carbonio. La valutazione è stata condotta attraverso un processo in quattro fasi:

- 1) Associazione dei valori medi di carbon stock, per le 4 tipologie (aboveground, belowground, soil, dead biomass) per ognuna delle 11 tipologie di uso del suolo del CLC (tab. 1) sulla base di database (Spawn & Gibbs, 2020) e letteratura (Conforti et al., 2016; Khachoo et al., 2024; O'Riordan, 2021; Rumpel et al., 2023);
- 2) Importazione sul modello InVEST "Carbon storage and sequestration" dei geodata relativi sull'uso del suolo per l'anno 2018 e l'anno 2021 estratti da Corine Land Monitoring services, insieme alla tabella "carbon pools" (tab.1);
- 3) Misurazione tramite InVEST del servizio ecosistemico e del delta (perdita o guadagno) dello stesso tra il 2018 ed il 2021;
- 4) Visualizzazione del Delta con zoom per la zona di intervento in fig. 7, e successiva osservazione rispetto agli Ambiti Territoriali Unitari.

In tab.1 per la categoria sealed, seppur come ipotesi di valore, per considerare anche le piccole aree verdi presenti sul suolo urbano, è stata utilizzata la media del totale di carbon stock per le aree "Sealed anthropogenic" del database di O'Riordan (2021). Il valore medio è di 52,2 Mg/ha. Questo valore è

stato diviso per 3 ed è stato utilizzato per 3 della 4 categorie di suolo dato che per Deadwood biomass non sono stati trovati dati utili per le 11 categorie di LULC, infine un Mg/ha dei 52, 2 iniziali è stato considerato come valore di default c_{above} below dato che questo è verosimilmente dovuto a “Lichens and mosses” (O’Riordan, 2021). Inoltre, si fa noto che i valori della tipologia di LULC detta “Lichens and mosses” sono stati ricavati dalla letteratura (Conti et al., 2024; Smith et al., 2004; Von Brackel & Puntillo, 2016). In ultimo, per ottenere la visualizzazione del Delta di default dal modello di InVEST, dei due scenari, sono stati tratti i seguenti valori dalla letteratura⁵:

- Price Of Carbon (number) (currency units/t) = 74 (*Carbon price in the EU will reach €74/t in 2025 - ING forecast, 2024*);
- Annual Market Discount Rate (ratio: a decimal from 0 - 1) = 0.07 (*Carbon price in the EU will reach €74/t in 2025 - ING forecast, 2024; EU-ETS Price 2023-2025, 2025; Twidale, 2024*);
- Annual Price Change (ratio: a decimal from 0 - 1) = 0.05 (*Carbon price in the EU will reach €74/t in 2025 - ING forecast, 2024; EU-ETS Price 2023-2025, 2025; Twidale, 2024*).

I dati della tab. 1 sono stati successivamente importati nel modello InVEST insieme ai geodata da CLC per l’Area in esame negli scenari 2018 e 2021. In seguito, è stato ricavato il delta dei valori al pixel (fig. 8).

In Fig. 8 è presente la visualizzazione del delta sulla basemap, raffrontata con la tav. 0.1B del PSC di RC, i valori dal giallo al rosso sono in Mg/pixel. Dalla figura si evince come per le parti più scure ci sia stata una perdita di carbon storage, calcolata da InVEST in termini monetari. Tuttavia, si noti come questa misurazione risulti imprecisa. Non è stata infatti rilevata nei geodata CLC la completa sigillazione del suolo dovuta all’intervento sul waterfront (Fig. 7).

Un’ulteriore considerazione va fatta in relazione alla macrozonizzazione del PSC (Fig. 8) e delle aree a carattere specifico (in questo caso “area that suffered documented coseismic effects”). Una strategia mirata alla non depauperazione degli ESs potrebbe andare invece a considerare tali aspetti dello stato di fatto, in parallelo agli strumenti normativi e alle rappresentazioni legate a questi ultimi (es. PSC). Ad esempio, tenendo conto dell’area “Class 2” della tav. 0.1B del PSC potrebbe essere possibile visualizzare scenari di adattamento e mitigazione rispetto alla perdita del servizio ecosistemico.

Analisi dei risultati e considerazioni sulle prossime soluzioni proposte dal PP 4.6.1

Il Progetto Pilota 4.6.1 propone un approccio integrato per superare le criticità emerse nell’analisi del carbon storage and sequestration, combinando dati site-based, modelli predittivi e strumenti avanzati di valutazione ambientale. L’obiettivo è sviluppare scenari adattivi per la stesura di Piani di Adattamento Climatico basati su dati dinamici e scalabili.

Per migliorare la precisione della valutazione degli ESs, il progetto implementa un modello site-based per rilevare in tempo reale le impronte ecologiche dinamiche delle Unità Territoriali Minime (UTM) (come quella trattata per l’analisi in fig. 8). Questo permette di affinare le stime, tenendo conto della reale sigillazione del suolo e delle variazioni nei servizi ecosistemici chiave per la pianificazione adattativa. Parallelamente, vengono sviluppati scenari previsionali attraverso la definizione delle Unità Territoriali Ottimali (UTO), combinando l’analisi delle vulnerabilità urbane con tecnologie di simulazione digitale.

L’uso di un Digital Twin, associato all’intelligenza artificiale, consentirà di monitorare in tempo reale le variazioni degli ESs in relazione alle trasformazioni urbane. Inoltre, la Camera di Intelligenza Climatica (CIC), in fase prototipale, permetterà la riproduzione controllata delle dinamiche ambientali, migliorando la calibrazione dei modelli previsionali.

Integrati in una piattaforma avanzata, questi strumenti contribuiranno all’evoluzione del TRL del progetto, favorendo il trasferimento tecnologico e la creazione di soluzioni applicabili per la pianificazione urbana. In ultimo, i dati certificati garantiranno una più efficace integrazione degli ESs nelle strategie decisionali, ponendo le basi per una pianificazione territoriale innovativa e resiliente alle sfide ambientali.

Note

¹ Il Progetto Pilota mira a sviluppare approcci innovativi, integrati e sistemici per ridurre la vulnerabilità ai cambiamenti climatici, attraverso interventi di pianificazione urbanistica e territoriale che coinvolgano sia le infrastrutture fisiche sia le politiche di gestione e governo del territorio, adottando un paradigma orientato alla sostenibilità e resilienza urbana.

² The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) è un'iniziativa globale focalizzata sul "rendere visibili i valori della natura". Il suo obiettivo principale è integrare i valori della biodiversità e dei servizi ecosistemici nel processo decisionale a tutti i livelli. Fonte: <https://teebweb.org/> (consultato il 20/02/2025)

³ Natural England è un ente pubblico esecutivo non dipartimentale, sponsorizzato dal Dipartimento per l'ambiente, l'alimentazione e gli affari rurali. Il suo scopo è quello di contribuire a conservare, migliorare e gestire l'ambiente naturale a beneficio delle generazioni presenti e future.

⁴ CQuEL, acronimo di "Character and Quality of England's Landscapes", è il principale progetto di monitoraggio integrato di Natural England. CQuEL fornisce place-based evidence sul carattere e la funzione dei paesaggi e sulla fornitura e la qualità degli ESs selezionati, forniti dall'ambiente naturale dell'Inghilterra.

⁵ Questi valori stimano la perdita di carbonio se il cambio d'uso del suolo avvenisse con le condizioni di mercato attuali. Tra il 2018 e il 2021, il prezzo del carbonio è salito da 8 a circa 60 euro per ton (Bua et al., 2021), registrando la variazione più marcata dal 2005 (EUA Price History, 2024). I valori di mercato attuali rendono una stima plausibile per la visualizzazione del delta con InVEST.

Attribuzione, riconoscimenti, diritti d'autore

Le seguenti sezioni del presente articolo sono state redatte dai rispettivi autori:

- Servizi ecosistemici e pianificazione urbanistica – scritto da Francesca Moraci
- Stato dell'arte: I casi studio di Zurigo (Switzerland), Chieri (TO), None (TO), Collegno (TO), Moncalieri (TO) – scritto da Alessandra Barresi
- Approccio e metodologia del Progetto Pilota 4.6.1 – scritto da Francesco Trimboli
- Esempio di applicazione di InVEST nell'area di Reggio Calabria (Italy) per l'ES "Carbon storage" – scritto da Pietro Bova
- Analisi dei risultati e considerazioni sulle prossime soluzioni proposte dal PP 4.6.1 – scritto da Francesca Moraci, Alessandra Barresi, Francesco Trimboli, Pietro Bova