

Studio della Rete Ecologica applicato al
potenziamento della Connattività del Territorio
Spoletino attraverso esperienze pilota di gestione
e interventi Infrastrutturali

Gianandrea La Porta, Manuela Rebora

30-06-2025

Indice

| | | |
|----------|--------------------------------------|-----------|
| 1 | Premessa | 5 |
| 2 | Introduzione | 9 |
| 2.1 | La rete ecologica | 9 |
| 3 | Metodologie | 13 |
| 3.1 | Approccio metodologico | 13 |
| 4 | Risultati | 23 |
| 4.1 | Quadro conoscitivo di base | 23 |
| 4.2 | Elaborazioni cartografiche | 27 |
| 5 | Disseminazione dei risultati | 61 |
| 5.1 | Eventi di disseminazione | 62 |
| 6 | Considerazioni conclusive | 65 |
| 7 | Programmazione 2025 | 69 |
| 7.1 | Piano delle attività 2025 | 69 |
| 8 | Allegato I | 71 |
| 8.1 | Layout diapositive | 71 |

Capitolo 1

Premessa

Natura 2000 rappresenta il principale strumento della politica dell'Unione Europea per la conservazione della biodiversità. Consiste in un insieme di aree protette, inizialmente identificate come Siti di Interesse Comunitario e successivamente designate come Zone Speciali di Conservazione (ZSC) e Zone di Protezione Speciale (ZPS), che costituiscono i nuclei essenziali per la tutela della biodiversità in Italia e in Europa. La protezione di queste aree strategiche, selezionate secondo i criteri stabiliti dalle Direttive europee 92/43/CEE (Habitat) e 79/409/CEE (Uccelli), ha segnato un passaggio decisivo per la salvaguardia di habitat e specie nel vecchio continente. Tuttavia, la semplice creazione di un sistema di aree protette non è sufficiente per garantire una tutela efficace della biodiversità dei territori. La strategia di conservazione della biodiversità incentrata principalmente sulla designazione di aree protette all'interno di un contesto di frammentazione generalizzata ha mostrato fin da subito significative limitazioni ed elementi di criticità. Infatti, è noto che con un approccio basato sull'individuazione di "isole naturali" di fatto separate e quasi indipendenti si innescano fenomeni di frammentazione e insularizzazione che si traducono in un limitato movimento delle specie, che sono rese più vulnerabili alle pressioni e alle minacce esterne. Per superare i limiti di questo approccio, la Direttiva Habitat con l'art. 10 evidenzia il ruolo cruciale rivestito dagli elementi paesaggistici che hanno un ruolo di connessione e invita gli enti gestori a conservare e sviluppare un sistema di siti tra loro interconnessi (*"Laddove lo ritengano necessario, nell'ambito delle politiche nazionali di riassetto del territorio e di sviluppo, e segnatamente per rendere ecologicamente più coerente la rete Natura 2000, gli Stati membri si impegnano a promuovere la gestione di elementi del paesaggio che rivestono primaria importanza per la fauna e la flora selvatiche. Si tratta di quegli elementi che, per la loro struttura lineare e continua (come i corsi d'acqua con le relative sponde, o i sistemi tradizionali di delimitazione dei campi) o il loro ruolo di collegamento (come gli stagni o i boschetti) sono essenziali per la migrazione, la distribuzione geografica e lo scambio genetico di*

specie selvatiche.”). Questi elementi con funzione di corridoio favoriscono infatti la permeabilità del territorio e creano una vera a propria rete ecologica funzionale. In altre parole, la metodologia proposta da Natura 2000 prevede un sistema di aree protette completamente interconnesso, comprensivo di zone cuscinetto e corridoi ecologici che riducono o eliminano l’isolamento delle aree core e delle popolazioni presenti, mitigando al contempo le problematiche che influenzano negativamente habitat e specie.

Questo approccio metodologico valido su scala europea e nazionale può essere esteso anche a quella regionale e comunale. Ne consegue l’opportunità di integrare lo sviluppo di una rete ecologica funzionale anche all’interno dei processi di pianificazione urbana e dell’ordinario governo del territorio. I comuni in particolare possono svolgere un ruolo cruciale nell’individuare e preservare le aree verdi, gli spazi naturali e i corridoi ecologici che collegano habitat frammentati rispetto alle aree core tradizionali, garantendo così una maggiore capacità di funzionamento e sopravvivenza degli ecosistemi e delle specie. Non solo. Sebbene apparentemente rivolte in modo esclusivo alla tutela della biodiversità, le reti ecologiche sono di rilevante importanza anche per l’uomo. La costruzione di una rete ecologica urbana ha un effetto completo sulla città, sulla sua estetica, sulla società ed sull’economia ed è in grado di fornire una linea guida per lo sviluppo sostenibile per la città. Da non trascurare sono poi gli effetti benefici sulla comunità. È infatti dimostrato che il contatto frequente con gli ambienti naturali presenta effetti positivi sulla salute umana e sul benessere fisico e mentale dell’uomo. L’esposizione ad aree verdi come boschi, parchi urbani e giardini riduce i sintomi tipici di stress e depressione, aiuta a recuperare il calo dell’attenzione e migliora umore e emozioni positive auto-riferite. Un più facile accesso agli ambienti naturali favorisce le attività fisiche all’aperto che contrastano i fenomeni di obesità e diabete. Inoltre, l’esposizione a lungo termine ad ambienti naturali è stata associata a una riduzione della mortalità per cause respiratorie, cardiovascolari e per cancro e a un miglioramento della salute mentale (Aerts et al., 2018).

Il Comune di Spoleto nel 2023 ha intrapreso congiuntamente con il Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie dell’Università degli Studi di Perugia un percorso finalizzato allo “Studio della Rete Ecologica applicato al potenziamento della Connettività del Territorio Spoletino attraverso esperienze pilota di gestione e interventi Infrastrutturali”. Tale studio integrato ha nelle sue finalità strategiche di supportare l’amministrazione: i) nell’identificazione e nel rafforzamento dei corridoi ecologici esistenti, la creazione di nuove connessioni tra habitat frammentati per favorire la biodiversità locale, la definizione di interventi mirati alla conservazione delle specie target individuate e la promozione di pratiche di gestione sostenibile del territorio, e ii) fornire elementi conoscitivi funzionali per la redazione del Piano Regolatore del Comune di Spoleto, del Piano del Verde e del Piano di Comunicazione e Informazione ambientale rivolto a studenti, tecnici e cittadini.

In questa relazione verranno pertanto analizzati i concetti fondamentali delle

reti ecologiche attraverso la descrizione dei loro principali elementi costitutivi rappresentati dai corridoi ecologici, dalle aree core e dagli habitat con funzione di margine. Verranno illustrati i principali pattern che sono emersi dall'analisi della nuova carta di uso del suolo del territorio comunale e evidenziati i principali benefici per la fauna locale, prestando attenzione all'importanza della riduzione della frammentazione e al miglioramento della connettività tra gli habitat. La permeabilità del territorio è infatti la chiave per contrastare la frammentazione e giungere, nel medio-lungo termine, ad uno sviluppo urbano sostenibile e armonioso che valorizzi i servizi derivanti dalla presenza di ecosistemi funzionali. Sono infine presentati alcune elaborazioni cartografiche finalizzate alla messa in campo di buone pratiche di pianificazione a scala comunale e i contributi predisposti per la disseminazione dei risultati.

Capitolo 2

Introduzione

2.1 La rete ecologica

L'obiettivo primario delle reti ecologiche è quello di consentire la mobilità delle specie e permettere lo scambio di individui e geni tra popolazioni che occupano aree di habitat tra loro spazialmente distinte (Battisti, 2004).

In linea generale, gli elementi essenziali che definiscono una rete ecologica, anche a scala comunale, possono essere schematizzati in:

- core areas o nodi
- zone di buffer o cuscinetto
- stepping stones o pietre di guado
- corridoi

Le **core areas** rappresentano aree di estensione sufficientemente grande per la sopravvivenza di lungo termine di una popolazione. Generalmente sono aree dove c'è un'elevata ricchezza in specie, anche di particolare interesse e diversi livelli di rarità. Un tipico esempio di core areas sono le aree Natura 2000, ma più in generale anche un singolo bosco o un'area umida, se ben conservata, può rappresentare un nodo. Intorno alle core areas si individuano le fasce cuscinetto, dette anche **zone di buffer** che circondano i nodi e li proteggono con un'azione di filtro dalle pressioni esterne. Spesso costituiscono delle aree ecotonali perimetriche in cui si concentra un gran numero di specie. Intervallate tra i nodi possono essere presenti le **stepping stones** o pietre di guado che sono zone di habitat non sufficientemente grandi per ospitare popolazioni stabili per un lungo periodo di tempo. Queste aree rivestono un ruolo fondamentale per la connettività ecologica. Facilitano lo spostamento degli organismi tra i diversi nodi della rete e offrono al contempo risorse essenziali per il sostentamento delle popolazioni e anche zone di rifugio. Infatti, fungendo da punti intermedi strategici all'interno di una matrice territoriale frammentata, le stepping stones consentono agli or-

ganismi di percorrere distanze che altrimenti sarebbero proibitive, riducendo i rischi associati agli spostamenti in ambienti difficili o ostili. Queste aree sono in genere rappresentate da frammenti di habitat naturale, come boschetti isolati e stagni, o anche elementi semi-naturali o artificiali come giardini urbani, fino ad aiuole fiorite. Infine, i **corridoi** sono gli elementi del paesaggio che permettono senza soluzione di continuità gli spostamenti delle specie tra i nodi, favorendo quindi la biopermeabilità del territorio, e riducono il livello generale di frammentazione. Corsi d'acqua, fasce boscate, siepi e filari fungono perfettamente da elementi lineari del paesaggio che possono agire come corridoi ecologici. Da notare che i corridoi ecologici presentano una notevole eterogeneità. Essi possono differire per ampiezza, geometria, altezza e struttura verticale della vegetazione, composizione floristica, gradualità degli ecotoni e interazione con gli ecosistemi circostanti. Tutti questi elementi evidentemente influenzano in modo significativo le possibilità di spostamento degli organismi e, di conseguenza, l'efficacia del corridoio come strumento di connettività.

Per valutare l'efficacia degli elementi che compongono la rete ecologica, è necessario integrare l'analisi strutturale con indicatori ambientali e biologici. Ad esempio, l'analisi delle caratteristiche ambientali generali e degli habitat in particolare può essere fatta tramite la valutazione di due indici: il valore ecologico e la fragilità ambientale (Angelini et al., 2009). Con valore ecologico si intende la misura della qualità di un biotopo dal punto di vista ambientale, che viene valutato anche come "valore naturale" e calcolato attraverso l'utilizzo di specifici indicatori di pregio. Con fragilità ambientale si indica l'effettivo stato di vulnerabilità dal punto di vista naturalistico-ambientale. Tale indice è direttamente proporzionale alla predisposizione dell'unità ambientale al rischio di subire un danno e all'effettivo disturbo dovuto alla presenza delle attività umane che agiscono su di essa.

Lo studio delle comunità presenti nel territorio prevede invece un'analisi dei relativi pattern di abbondanza e distribuzione delle specie selezionate. In senso globale la diversità ecologica è il risultato di almeno 3 livelli: l'insieme di tutti i geni (chiamato livello genetico), di tutte le specie e della loro abbondanza (livello organismico) e di tutti gli ecosistemi (livello ecologico). Nel contesto locale, quando non vengono affrontate questioni di carattere genetico, per misurare la biodiversità è utile focalizzare l'attenzione sullo studio delle popolazioni e delle comunità attraverso:

- Ricchezza specifica: termine coniato da McIntosh nel 1967 che identifica il numero di specie presenti all'interno della comunità, in un'unità spaziale definita.
- Evenness: esprime l'equipartizione di individui per le diverse specie appartenenti alla biocenosi (Magurran, 2004, 2011).

A partire dalle misure di ricchezza specifica e dai dati di abbondanza è possibile sviluppare ulteriori indici di eterogeneità e di diversità/dominanza, quali gli indici di Gini, Shannon e Simpson (Magurran, 2004), che ci aiutano a descrivere in modo più approfondito la struttura e la complessità delle comunità biologiche

presenti sul territorio. Sulla base di queste informazioni è possibile definire il set di specie target che strategicamente saranno prese in considerazione durante la progettazione della rete. In linea generale, è consigliabile selezionare queste specie in base a:

- Sensibilità al processo di frammentazione;
- Facilità di campionamento;
- Diffusione sul territorio, con preferenza per le specie a distribuzione relativamente ampia;
- Stretto legame con gli ambienti di riferimento.

In alternativa, è possibile prendere come riferimento organismi modello teorici, che racchiudono in sé alcune delle principali caratteristiche di un insieme di specie per le quali si desidera effettuare la modellazione della rete. Questi organismi modello non riflettono una singola specie reale, ma piuttosto un archetipo che incorpora caratteristiche comuni a diverse specie che occupano nicchie ecologiche simili. Questo approccio permette di costruire modelli di rete più generalizzabili e applicabili a diversi ecosistemi. Ciò facilita sia l'analisi comparativa che la formulazione di principi ecologici più generali e universali. Inoltre, l'utilizzo di organismi modello teorici è particolarmente vantaggioso quando i dati di monitoraggio diretto su specifiche specie sono limitati nell'area di studio o quando l'obiettivo è comprendere proprietà emergenti della rete, piuttosto che le interazioni di singole specie.

In linea generale, per costruire una rete ecologica funzionale e coerente con le specificità del territorio, è indispensabile disporre di un quadro di informazioni aggiornato relativo allo stato del territorio stesso, alla sua composizione paesaggistica e alle biocenosi presenti. Non esistono infatti reti universali e scale uniche. Ogni strategia di conservazione deve definire gli obiettivi di riferimento che direttamente o indirettamente sono i target specifici dell'azione di governo. Tali obiettivi devono orientare la definizione della struttura, della scala e delle priorità d'intervento della rete ecologica, adattandosi alle caratteristiche ambientali, sociali ed economiche del contesto di riferimento. Solo attraverso un approccio mirato e contestualizzato è possibile garantire l'efficacia della rete nella conservazione della biodiversità e nella promozione della connettività ecologica.

Da ultimo, ma non per importanza, c'è da tenere conto che per la progettazione di una rete ecologica è fondamentale non solo analizzare la configurazione attuale degli elementi di naturalità, ma anche considerarne la posizione rispetto alle previsioni di trasformazione del territorio di riferimento. Il paesaggio, infatti, non è una realtà statica: esso è soggetto a continue modificazioni, che possono derivare sia da dinamiche spontanee e progressive come l'espansione urbana, il cambiamento delle colture prevalenti o l'abbandono delle aree collinari e montane, sia da decisioni pianificatorie deliberate, definite dai diversi livelli di governo e pianificazione territoriale.

2.1.1 Obiettivi della rete

Nell'ambito comunale gli obiettivi delle costituzione di una rete ecologica possono essere delineati nello sviluppo di almeno 4 linee guida che potranno contribuire a:

1. sviluppare un più ampio sistema di connessioni che consideri congiuntamente il patrimonio naturale e culturale e che agisca per mantenere e ripristinare una condizione di naturalità diffusa degli spazi rurali e urbani;
2. ridurre la frammentazione territoriale e gli effetti dell'insularizzazione per le popolazioni animali, anche attraverso l'introduzione di misure normative da includere negli strumenti urbanistici ordinari;
3. rafforzare il grado di naturalità del territorio anche attraverso interventi sistematici di rimozione o attenuazione delle barriere d'ogni tipo ed in particolare per mitigare gli impatti ambientali prodotti dalle grandi infrastrutture;
4. supportare la realizzazione di un programma organico del verde urbano e periurbano in coerenza con le esigenze naturalistiche a margine delle infrastrutture e degli insediamenti.

Capitolo 3

Metodologie

3.1 Approccio metodologico

Dal punto di vista metodologico, il piano delle attività è stato condotto in accordo con lo schema concettuale di seguito riportato che definisce le principali fasi del lavoro (Fig. 2.1).



Figura 3.1: Figura 2.1 - Scheda delle fasi di lavoro e risultati cartografici attesi.

3.1.1 Sviluppo banca dati faunistica

In primo luogo sono state individuate le fonti più utili per inquadrare lo stato del territorio e descrivere le sue caratteristiche ecosistemiche.

Tra queste, per estrapolare il quadro conoscitivo faunistico essenziale per la definizione delle future carte di idoneità, sono state utilizzate le informazioni pubblicate negli atlanti faunistici regionali, le schede dei formulari standard di Natura 2000 che riportano in dettaglio le caratteristiche aggiornate dei siti

e delle loro comunità e le osservazioni contenute nelle banche dati sviluppate secondo la filosofia “*Free and open access to biodiversity data*”.

Le informazioni raccolte hanno contribuito alla caratterizzazione della biodiversità locale e alla redazione della lista di specie presenti. L’inventario è costituito prevalentemente da specie di vertebrati, ma è stato integrato con osservazioni occasionali di invertebrati provenienti da banche dati aperte (cfr. iNaturalist e Observation.org attraverso il portale gbif.org). Queste informazioni, sebbene non derivino da monitoraggi sistematici, concorrono a delineare un quadro conoscitivo aggiornato della fauna comunale, restituendo seppur parzialmente anche il ruolo della componente invertebrata, di cui localmente si hanno scarse conoscenze distributive. Pertanto, benché tali dati siano lontani dal rappresentare l’effettiva ricchezza specifica (in Italia la fauna invertebrata costituisce circa il 98% della fauna totale¹), essi offrono comunque un contributo significativo alla caratterizzazione faunistica del territorio.

3.1.2 Carta geobotanica

Per l’avanzamento del progetto Rete Ecologica Comunale è stato predisposto un programma di aggiornamento e revisione della carta geobotanica e di uso del suolo dell’intero territorio comunale. La base di partenza è rappresentata dalla carta geobotanica sviluppata per il territorio regionale umbro nel 2018 per il progetto RERU3 che era stata realizzata con scala nominale pari a 1:10.000 con un dettaglio cartografico pari a circa un ettaro, ridotto a 2.000 metri quadrati per le formazioni boscate e a 5.000 metri quadrati per gli impianti di arboricoltura da legno, e una precisione pari a circa 5 m.

L’importanza di disporre di una carta geobotanica e dell’uso del suolo dettagliata e aggiornata risiede nel suo valore strategico per molteplici ambiti di applicazione scientifica e gestionale. Dal punto di vista scientifico-ecologico riveste una notevole rilevanza poiché consente di valutare il grado di naturalità del territorio e conseguentemente anche l’identificazione dei pattern di biodiversità e delle aree di particolare valore naturalistico. Sul piano della pianificazione gestionale, disporre di una cartografia dettagliata e aggiornata che tenga conto della distribuzione spaziale delle comunità vegetali e delle infrastrutture antropiche facilita le analisi necessarie per: i) applicare le norme ambientali, ii) valutare degli impatti derivanti da interventi antropici e iii) orientare le scelte nella loro fase di pianificazione e progettazione.

Nell’ambito dello studio in oggetto, questa carta è stata realizzata utilizzando il sistema di riferimento in coordinate piane EPSG:3035 (ETRS89-extended / LAEA Europe). Un contributo significativo all’aggiornamento di questa carta è stato dato dai volontari del servizio civile presso il Dipartimento 8 - Transizione

¹La fauna italiana (marina, terrestre e d’acqua dolce) è stimata in oltre 60.000 specie, di cui circa il 98% costituito da Invertebrati e il rimanente da circa 1.300 specie di Vertebrati. Il phylum più ricco è quello degli Artropodi, con quasi 50.000 specie, in buona parte appartenenti alla classe degli Insetti, in particolare Coleotteri (12.000 specie circa).

ecologica economia circolare nel periodo 2024-2025. Non solo, per lo sviluppo della carta sono stati impegnati anche numerosi studenti delle scuole secondarie di secondo grado della città di Spoleto che nell'ambito delle loro attività PCTO con questa carta hanno testato le loro competenze in materia di software GIS e acquisito conoscenze pratiche nell'analisi territoriale, nella cartografia digitale e nelle metodologie di rilevamento ambientale.

Per descrivere le caratteristiche generali di questa carta sono state utilizzate metriche del paesaggio elaborate utilizzando il software FRAGSTATS (<https://www.fragstats.org>) (McGarigal, 2015). Con questo software è possibile calcolare diversi indici spaziali che quantificano la composizione e la configurazione del paesaggio, permettendo di analizzare la frammentazione degli habitat, la connettività ecologica e la diversità strutturale del territorio analizzato. FRAGSTATS è infatti uno dei software più utilizzati nell'analisi del paesaggio per:

- Calcolare indici di frammentazione
- Valutare la diversità e l'eterogeneità spaziale
- Analizzare le patch (tessere) del paesaggio
- Misurare la connettività tra habitat
- Quantificare i margini e le zone di ecotono

In particolare, le metriche esaminate sono state:

- **Land cover:** è una metrica semplice, nota anche come area totale, identifica l'area totale coperta da ogni classe;
- **Landscape proportion (PLAND):** indica la percentuale dell'area di una classe rispetto all'area totale. È una misura importante in quanto permette di comprendere immediatamente quali sono le classi dominanti;
- **Number of patches (NP):** è una delle metriche più semplici e ci restituisce il numero totale di patches che compongono il paesaggio. NP è uguale a 1 quando siamo in presenza di una sola patch; nel caso di habitat altamente frammentato e sottoposto a sprawl urbano, il numero di patches è elevato.
- **Mean patch area (MPA):** indica la dimensione media delle patch, più le patches delle varie classi hanno una dimensione simile più i valori si assomigliano. Qualora si presentassero evidenti differenze di valore significa che siamo di fronte a un territorio eterogeneo;
- **Edge density (ED):** è la lunghezza di tutti bordi di una classe in relazione all'area totale di ogni classe del paesaggio. Il valore è uguale a 0 se è presente una sola patch, e cresce all'aumentare della frammentazione del paesaggio;
- **Largest Patch Index (LPI):** è uguale all'area della patch più grande di ogni tipo di classe del suolo;
- **Fractal Dimension Index:** è una “metrica della forma”, si basa sul perimetro della patch e sull'area della patch e descrive la complessità della patch;

- **Patch Cohesion Index:** esprime il grado di connessione naturale tra i tipi di paesaggio, un numero vicino allo zero indica che la classe è molto frammentata mentre un numero alto indica che sono molto collegate.

3.1.3 Carta di idoneità generale

La valutazione della funzionalità territoriale rispetto agli spostamenti faunistici richiede come primo step un’analisi dell’idoneità ambientale, definita anche come vocazionalità, che rappresenta la misura di quanto un determinato ambiente sia adatto a sostenere una specie o una comunità biologica. Questo concetto quantifica la capacità di un habitat di fornire le risorse e le condizioni necessarie per la sopravvivenza, la crescita e la riproduzione di quel particolare organismo, di una popolazione o di un’intera comunità. Nella pratica scientifica e gestionale, l’idoneità o “*habitat suitability*” viene spesso espressa attraverso modelli matematici che assegnano valori numerici (generalmente compresi tra 0 e 1, dove 0 indica completa inadeguatezza e 1 massima idoneità) a diverse porzioni del territorio.

Nel caso in esame, la carta di idoneità è stata elaborata a titolo esplorativo sulla base delle esigenze biologiche ed ecologiche del set di specie di vertebrati precedentemente selezionati per l’elaborazione della rete ecologica regionale (cfr. RERU) e tenendo conto delle categorie di uso del suolo aggiornate nel contesto comunale con la carta geobotanica. Per la realizzazione di questa carta generale sono stati impiegati dei modelli geostatistici a massima entropia noti anche come *Species Distribution Models* (SDM) in grado di quantificare la vocazionalità territoriale sulla base delle categorie ambientali (cfr. Maxent (Gomes et al., 2018)). Lo scopo finale di questi strumenti modellistici è quello di mappare e quantificare il potenziale biologico del territorio, fornendo una base scientifica per comprendere come le diverse aree possano garantire la presenza e gli spostamenti della fauna locale o per supportare i processi di pianificazione territoriale, soprattutto quelli mirati alla conservazione della biodiversità e alla valutazione degli impatti ambientali.

3.1.4 Carta della permeabilità

Dopo aver valutato l’idoneità del territorio alla presenza delle specie è necessario trasformare questo valore in un indicatore più vicino alla realtà. Tale processo si può realizzare attraverso la valutazione degli elementi del territorio che possono influenzare la capacità di spostamento delle specie nel territorio. La distribuzione spaziale delle risorse nel paesaggio è infatti organizzata sotto forma di patch discrete e affinché il territorio sia caratterizzato da processi ecologici funzionali è necessario assicurare il movimento degli animali tra le diverse aree dove sono presenti tali risorse (Taylor et al., 1993). Alcuni elementi limitano o impediscono il passaggio della fauna da una zona all’altra, mentre altri agevolano la mobilità e il trasferimento degli individui delle popolazioni. Nel primo caso si parla di barriere (spesso codificate come infrastrutture grigie) mentre nel secondo caso

di corridoi (infrastrutture verdi e blu). Le infrastrutture antropiche spesso costituiscono le forme di barriere più significative. Le strade, soprattutto quelle ad alto traffico sono un esempio di ostacolo particolarmente critico, non solo per la mortalità diretta legata agli investimenti veicolari, ma anche per l'effetto barriera esercitato dal rumore, l'inquinamento luminoso e le vibrazioni associate al transito dei mezzi. I corridoi ecologici sono invece quegli elementi lineari del paesaggio che facilitano il movimento degli organismi tra habitat, mantenendo la connettività funzionale del territorio. Questi elementi possono essere di diversa natura e scala, dalla semplice siepe che collega due frammenti di habitat fino ai più grandi corridoi fluviali. In particolare, i sistemi fluviali e le loro fasce ripariali rappresentano le più importanti vie di connettività poiché la loro vegetazione offre a un gran numero di specie copertura, risorse alimentari e microhabitat diversificati (Taylor et al., 1993). Anche il sistema costituito da parchi, giardini, viali alberati e tetti verdi, può creare connessioni importanti per alcune specie in grado di adattarsi agli ambienti antropizzati (Simaika et al., 2016a; Proske et al., 2022; Nie et al., 2021; Gann et al., 2019). Allo stesso tempo anche le coltivazioni gestite con pratiche sostenibili, possono assicurare un buon grado di permeabilità per la fauna, mantenendo inalterato il loro valore produttivo.

3.1.5 Analisi della Frammentazione

La frammentazione territoriale costituisce un fenomeno complesso caratterizzato dalla progressiva riduzione della superficie degli ecosistemi naturali e semi-naturali, accompagnata da un crescente isolamento spaziale delle aree residue (Püttker et al., 2020; Lawrence et al., 2021; Simaika et al., 2016b). Questo processo di disaggregazione paesaggistica determina la trasformazione del territorio in mosaici frammentati, composti da tessere di habitat di dimensioni ridotte e spazialmente disgiunte. Associati a questo tipo di paesaggio ci sono diversi tipi di rischi che ne compromettono la funzionalità ecologica. A livello di popolazione, generalmente il processo di frammentazione aumenta il grado di vulnerabilità: popolazioni piccole e isolate sono infatti soggette a deriva genetica, perdita di variabilità genetica e depressione da inbreeding, tutti fenomeni che riducono la fitness individuale e la capacità di adattamento. Nei casi più severi comporta anche una riduzione dell'efficacia della dispersione, compromettendo la dinamica metapopolazionale e aumentando il rischio di estinzioni locali. Un ulteriore fattore di rischio è l'effetto margine che, attraverso l'incremento del rapporto perimetro/area delle patches, espone porzioni crescenti di habitat alle condizioni microclimatiche alterate dei margini. Alcuni esempi dell'effetto margine includono: le modificazioni delle condizioni di luce, della temperatura, dell'umidità e della penetrazione del vento, che possono alterare in modo cruciale la composizione specifica, la struttura delle comunità biologiche e conseguentemente la loro capacità di fornire servizi ecosistemici essenziali. I principali motori di questa trasformazione sono rappresentati dai processi di urbanizzazione e dalla sottrazione di habitat naturali. Associato al concetto della frammentazione c'è quello della connettività. Questa è definita come "il grado in cui il paesaggio facilita il movimento di risorse tra le aree" e può essere misurata dalla probabi-

lità di movimento tra tutti i punti o le aree di habitat in un paesaggio (Taylor et al., 1993).

Per una prima valutazione del livello di frammentazione del territorio sono stati calcolati tre indici generali, che rappresentano misure complementari, ciascuna con specifiche proprietà e interpretazioni (Jaeger, 2000a). In particolare sono stati considerati, ripartendoli a livello di unità di paesaggio: il landscape division, lo splitting index e l'effective mesh size.

Il *landscape division* (divisione del paesaggio - D) è definito come la probabilità che due punti scelti casualmente all'interno del paesaggio non siano connessi a causa della frammentazione. Questo indice varia da 0 (paesaggio completamente connesso) a valori prossimi a 1 (paesaggio completamente frammentato). La divisione del paesaggio fornisce una misura intuitiva del grado di isolamento strutturale, quantificando la perdita di connettività dovuta alla presenza di barriere antropiche. Dal punto di vista matematico il calcolo di questo indice si basa sull'equazione:

$$C = 1 - \sum_{i=1}^n (A_i/A_t)^2$$

dove:

- C = indice di frammentazione
- A_i = area del patch i-esimo
- A_t = area totale del paesaggio
- n = numero totale di patches

Lo *splitting index* (indice di suddivisione - S) rappresenta il numero di patches di uguale dimensione in cui il paesaggio dovrebbe essere diviso per ottenere lo stesso grado di frammentazione di quello osservato. Questo indice assume valori compresi tra 1 (paesaggio non frammentato) e il numero totale di patches nel caso di frammentazione estrema. Lo splitting index è particolarmente utile per confrontare il grado di frammentazione tra paesaggi di dimensioni diverse, poiché standardizza l'effetto della scala spaziale. Dal punto di vista matematico il calcolo di questo indice si basa sull'equazione:

$$S = \frac{A_t^2}{\sum_{i=1}^n A_i^2}$$

dove:

- S = splitting index
- A_t = area totale del paesaggio
- A_i = area del patch i-esimo
- n = numero totale di patches

Lo splitting index può anche essere espresso in relazione al landscape division (D) come:

$$S = \frac{1}{1 - D}$$

L'*effective mesh size* (dimensione effettiva delle maglie) rappresenta la dimensione che avrebbero le patches se il paesaggio fosse suddiviso in un numero di elementi di uguale area corrispondente al grado di frammentazione osservato. Questo parametro è espresso in unità di superficie e diminuisce all'aumentare della frammentazione. L'effective mesh size fornisce un'indicazione diretta della scala spaziale alla quale operano i processi ecologici in un paesaggio frammentato, rappresentando una misura della "granularità" strutturale del mosaico paesaggistico. Nella sua formulazione matematica questo indice viene calcolato attraverso l'equazione:

$$m_{eff} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i^2$$

dove: - m_{eff} = effective mesh size - A_t = area totale del paesaggio - A_i = area del patch i-esimo - n = numero totale di patches

L'effective mesh size può anche essere espressa in relazione allo splitting index (S) come:

$$m_{eff} = \frac{A_t}{S}$$

Queste tre metriche tradizionali in alcuni casi possono presentare delle valutazioni leggermente distorte, soprattutto quando i confini delle unità di studio frammentano artificialmente le patch naturali. Questo fenomeno, noto come "*boundary problem*", può portare a valutazioni errate della frammentazione del paesaggio, poiché patch che in realtà sono continue vengono considerate separate semplicemente perché attraversano i confini dell'area di studio. Per superare questa limitazione alcuni autori (Moser et al., 2007) hanno proposto il metodo Cross-Boundary Connections (CBC). Questo approccio affronta la limitazione includendo nell'analisi anche le aree esterne ai confini dell'unità di studio. L'approccio si basa su un principio fondamentale: considerare l'area completa di ogni patch (A_i^{cmpl}), indipendentemente dai confini amministrativi o metodologici dell'area di indagine.

Sulla base anche di quest'ultima variante metodologica sono state eseguite alcune valutazioni sulle unità di paesaggio e sull'intero territorio comunale considerando tutte le fasce altitudinali e la sola fascia del piano collinare compreso tra i 200 e i 400 m s.l.m.

3.1.6 Morphological Spatial Pattern Analysis

L’analisi dei pattern morfologici spaziali o *Morphological Spatial Pattern Analysis* (MSPA) identifica una metodologia di analisi spaziale sviluppata dal Joint Research Centre (JRC) della Commissione Europea e disponibile attraverso un codice in formato aperto (Vogt et al., 2017; Vogt, 2013, 2025). Questo approccio analitico ha trovato applicazione in contesti istituzionali di rilievo, tra cui i rapporti ufficiali dell’USDA-Forest Service per il monitoraggio dello stato delle foreste e delle praterie, nonché nell’ambito del programma EnviroAtlas dell’EPA. Il processo algoritmico MSPA genera una mappa di sintesi che fornisce un quadro statistico completo dei pattern spaziali ambientali presenti nell’area di studio. Questa rappresentazione cartografica integra diverse tipologie di classi morfologiche e identifica i corridoi di connessione ecologica presenti nel territorio.

Il framework metodologico si basa su un sistema di operatori matematico-morfologici progettati per caratterizzare le geometrie spaziali e le relazioni di connettività presenti nella carta di uso del suolo. Si tratta di un processo di segmentazione dei dati di input e non genera nuovi pattern rispetto alle categorie già presenti nelle carte di partenza. Le categorie fondamentali di classificazione includono: Core (aree centrali di habitat), Isole (frammenti isolati), Perforazioni (aperture all’interno di aree core), Margini (zone di transizione), Anelli (connessioni circolari), Ponti (elementi di connessione lineare tra zone di habitat) e Rami (elementi di connessione che terminano nella matrice di background). Tutto ciò che nella mappa non viene identificato come “habitat” o foreground viene assegnato alla tipologia background e suddiviso in tre possibili tipologie: Core-opening (aree di background all’interno delle aree core), background di margine (aree di background adiacenti ai margini dell’habitat) e zone esterne (non in contatto diretto con l’habitat). La metodologia si basa esclusivamente su principi geometrici e quelli degli insiemi matematici. In quanto tale, può essere applicata a qualsiasi tipo di mappa raster di uso del suolo, indipendentemente dalla definizione delle singole categorie e dalla risoluzione spaziale della mappa analizzata. Con questo approccio si ottiene un maggior numero di statistiche sugli elementi modellati e un risultato cartografico spazialmente esplicito che include i percorsi di connessione tra le aree core individuate nel modello del territorio.

Nella configurazione di base per poter procedere con una modellazione devono essere settati 4 parametri:

- **connettività** (foreground connectivity). Ci sono due possibili opzioni: una connettività a 8 celle, in cui a partire da una prima cella gli spostamenti sono consentiti in tutte le direzioni dello spazio, incluse diagonali e angoli; in alternativa si può utilizzare una connettività a 4 celle, in cui sono ammessi collegamenti soltanto per celle con un bordo in comune;
- **spessore del margine** (edge width), in cui si definisce l’estensione dei margini delle aree core sotto forma di aree di buffer;

- presenza (1) o assenza (0) di **zone di transizione** che attraversano le zone di margine;
- intext (0,1), che permette di separare le **porzioni esterne e interne**, dove le caratteristiche interne sono quelle racchiuse da una perforazione.

3.1.7 Marxan

Tra gli strumenti che verranno impiegati per consolidare il sistema della rete ecologica c'è il software Marxan (Ardron et al., 2010). Marxan è stato sviluppato per la progettazione di un sistema connesso di aree ad alta valenza naturalistica soddisfacendo il requisito di "minimo costo" in un complesso di scenari multipli. Nel contesto della progettazione, il "minimo costo" può riferirsi a quell'insieme di valutazioni di natura ecologica, sociale ed economiche finalizzate a ottenere una rappresentazione minima delle caratteristiche della biodiversità con il minor costo possibile. La logica è che è più probabile che vengano mantenuti gli elementi della rete se questi si dimostrano essere i più economici o i meno socialmente dirompenti. Lo scopo dell'utilizzo di questo set di algoritmi risiede nell'importanza di supportare il processo decisionale e fornire un punto di partenza solido e riproducibile per le discussioni sulla pianificazione. I risultati finali dovranno poi essere perfezionati dai decisori che hanno il compito di considerare l'intera gamma di fattori politici, socio-economici e pratici che influenzano l'attuazione della pianificazione.

Capitolo 4

Risultati

4.1 Quadro conoscitivo di base

Il comune di Spoleto si sviluppa su una superficie di 349,2 km^2 , in un range altitudinale compreso tra i 220 e i 1337 m s.l.m (la cima più alta è M. Fionchi nella porzione sud orientale del comune)(Fig. 4.1). L'area comprende 8 siti Natura 2000 che si estendono per 3441.77 ha, occupando una superficie pari al 9.8% del totale. Due di questi sono interamente compresi nei confini comunali (IT5210069 – Boschi di Montebibico (Monti Martani) e IT5210064 – Monteluco di Spoleto), mentre gli altri sono condivisi con i comuni limitrofi (Tab. 4.1).

Tabella 4.1: Siti Natura 2000 presenti nel Comune di Spoleto e relative superfici espresse in ha e valore percentuale.

| Codice sito | Nome sito | Tipologia | Superficie | Superficie comune |
|-------------|---|-----------|------------|-------------------|
| IT5210050 | Valle di Pettino (Campello sul Clitunno) | B | 844.3 | 42.3 |
| IT5210057 | Fosso di Camposolo | B | 609.2 | 377.1 |
| IT5210060 | Monte Il Cerchio (Monti Martani) | B | 1595.8 | 734.4 |
| IT5210064 | Monteluco di Spoleto | B | 504.3 | 504.3 |

| Codice sito | Nome sito | Tipologia | Superficie | Superficie comune |
|-------------|--|-----------|------------|-------------------|
| IT5210069 | Boschi di Montebibico (Monti Martani) | B | 215.4 | 215.4 |
| IT5220010 | Monte Solenne (Valnerina) | B | 921.0 | 121.9 |
| IT5220014 | Valle del Serra (Monti Martani) | B | 1274.7 | 8.7 |
| IT5220025 | Bassa Valnerina: Monte Fionchi - Cascata delle Marmore | A | 6372.0 | 1437.6 |

4.1.1 Dati Faunistici

Dall'analisi delle schede del formulario standard delle aree Natura 2000 emerge che nel territorio comunale sono presenti 113 specie di interesse comunitario, incluse negli allegati II, IV e V della Direttiva Habitat (DIRETTIVA 92/43/CEE) ripartite nei gruppi faunistici di Tab. 4.2:

Tabella 4.2: Numero di specie incluse negli allegati della Direttiva Habitat (fonte: eunis.eu)

| Gruppo faunistico | numero di specie |
|-------------------|------------------|
| Invertebrati | 3 |
| Pesci | 1 |
| Anfibi | 3 |
| Rettili | 2 |
| Uccelli | 97 |
| Mammiferi | 6 |
| TOTALE | 113 |

A questo gruppo particolare di specie se ne aggiungono ulteriori 183 annoverate nella categoria di "altre specie" che portano complessivamente la ricchezza specifica totale a 296 specie (Tab. 4.3).

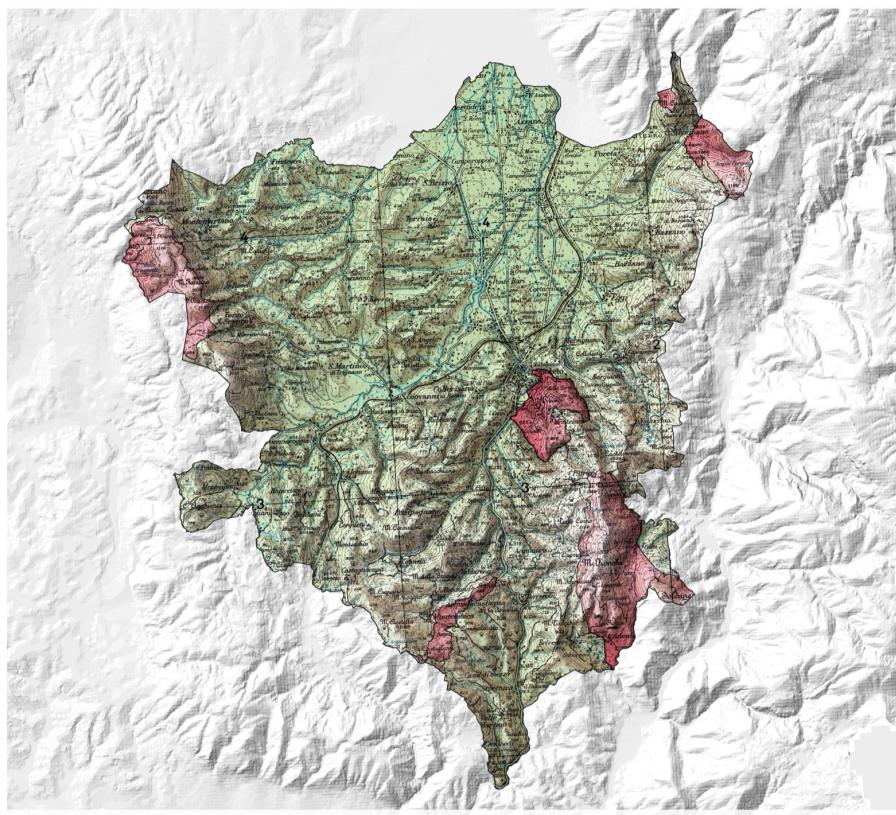


Figura 4.1: Il territorio spoletino. In tonalità rosse sono evidenziate le aree Natura 2000.

Tabella 4.3: Numero di specie incluse nei formulari standard dei siti Natura 2000 ricompresi nel territorio comunale (fonte: eunis.eu).

| Gruppo faunistico | numero di specie |
|-------------------|------------------|
| Invertebrati | 8 |
| Pesci | 8 |
| Anfibi | 10 |
| Rettili | 15 |
| Uccelli | 106 |
| Mammiferi | 36 |
| TOTALE | 183 |

Considerando i dati pubblicati attraverso gli atlanti regionali e le ulteriori informazioni validate e conservate presso l’Osservatorio Faunistico Regionale di Regione Umbria che ha gentilmente messo a disposizione la banca dati, il quadro che ne deriva per il comune di Spoleto relativamente al gruppo dei vertebrati presenta 192 specie, ripartiti in 5 gruppi (Tab. 4.4).

Tabella 4.4: Numero di specie rilevate e validate presenti nella banca dati dell’Osservatorio Faunistico Regionale (Regione Umbria).

| Gruppo faunistico | numero di specie |
|-------------------|------------------|
| Anfibi | 9 |
| Rettili | 11 |
| Uccelli | 133 |
| Mammiferi | 41 |
| TOTALE | 192 |

Consultando infine le osservazioni documentate e validate dalla banca dati gbif (aggiornata al febbraio 2025) il patrimonio faunistico si arricchisce di ulteriori 1310 osservazioni relative a 13 classi animali per una ricchezza specifica di 388 specie.

| Gruppo faunistico (classe) | numero di specie |
|----------------------------|------------------|
| Amphibia | 7 |
| Arachnida | 16 |
| Aves | 110 |
| Cestoda | 13 |
| Chilopoda | 3 |
| Clitellata | 2 |
| Crustacea | 1 |

| Gruppo faunistico (classe) | numero di specie |
|----------------------------|------------------|
| Diplopoda | 5 |
| Gastropoda | 32 |
| Insecta | 184 |
| Mammalia | 5 |
| Squamata | 8 |
| Trematoda | 2 |
| TOTALE | 388 |

Mettendo a sistema l'intero set di dati faunistici la sintesi che ne emerge è rappresentata in figura 4.2 in cui il numero finale di taxa è pari a 533 con una ripartizione al 50% tra vertebrati e invertebrati.

Analizzando la distribuzione delle specie per classe zoologica in entrambi i gruppi esaminati, si nota una netta predominanza di due categorie: insetti e uccelli (Fig. 4.3). Nel territorio comunale sono state finora documentate 189 specie di insetti e 161 specie di uccelli. Questi due gruppi rappresentano insieme più di due terzi della biodiversità attualmente conosciuta nell'area. È importante sottolineare, però, che il grado di completezza dei dati varia significativamente tra le due classi. Per quanto riguarda gli uccelli è ragionevole supporre che il numero di specie registrate si avvicini molto alla ricchezza reale presente nel territorio. Al contrario, per gli insetti la situazione è molto diversa: le 189 specie catalogate rappresentano solo una piccola frazione della diversità effettiva[^{2-metodi-1}], con un numero molto elevato di specie ancora da identificare e studiare.

4.2 Elaborazioni cartografiche

4.2.1 Carta geobotanica

Complessivamente nel territorio spoletino sono state codificate 29 differenti patches di categorie geobotaniche e di uso del suolo (Fig. 4.4 e Tab. 4.6).

Tabella 4.6: Categorie geobotaniche e uso del suolo presenti nel territorio spoletino ordinate in modo decrescente in relazione alla loro estensione.

| Classe | Categoria geobotanica | superficie (km^2) | area (%) |
|--------|---|-----------------------|----------|
| 22 | 022 Boschi di caducifoglie collinari e submontane | 144.4 | 41.3 |
| 141 | 141 Seminativi semplici | 84.7 | 24.2 |

| Classe | Categoria geobotanica | superficie (km^2) | area (%) |
|--------|--|-----------------------|----------|
| 160 | 160 Oliveti | 24.2 | 6.9 |
| 91 | 091 Praterie secondarie submediterranee | 23.0 | 6.6 |
| 200 | 200 Aree urbanizzate | 20.6 | 5.9 |
| 11 | 011 Boschi di sclerofille mediterranee | 15.7 | 4.5 |
| 12 | 012 Pinete mediterranee | 7.3 | 2.1 |
| 70 | 070 Filari e Siepi | 5.2 | 1.5 |
| 61 | 061 Arbusteti collinari | 2.9 | 0.8 |
| 151 | 151 Seminativi arborati | 2.8 | 0.8 |
| 170 | 170 Vigneti | 3.0 | 0.8 |
| 191 | 191 Arboricoltura da legno | 2.9 | 0.8 |
| 130 | 130 Rimboschimenti | 2.4 | 0.7 |
| 23 | 023 Castagneti da frutto e Boschi di castagno | 2.0 | 0.6 |
| 40 | 040 Boschi e boscaglie di caducifoglie ripariali | 1.9 | 0.6 |
| 94 | 094 Praterie secondarie calanchive | 1.5 | 0.4 |
| 31 | 031 Boschi di caducifoglie montane | 0.7 | 0.2 |
| 101 | 101 Vegetazione idrofitica lacustre | 0.7 | 0.2 |
| 142 | 142 Campi abbandonati e inculti | 0.6 | 0.2 |

| Classe | Categoria geobotanica | superficie (km^2) | area (%) |
|--------|---|-----------------------|----------|
| 152 | 152 Colture agrarie mosaicizzate | 0.7 | 0.2 |
| 92 | 092 Praterie secondarie montane | 0.5 | 0.1 |
| 93 | 093 Praterie secondarie di fondovalle | 0.2 | 0.1 |
| 102 | 102 Vegetazione idrofitica fluviale | 0.3 | 0.1 |
| 111 | 111 Popolamenti terofitici | 0.4 | 0.1 |
| 210 | 210 Aree con vegetazione scarsa o nulla | 0.5 | 0.1 |
| 52 | 052 Brughiere (basso) collinari | 0.1 | 0.0 |
| 62 | 062 Arbusteti montani | 0.2 | 0.0 |
| 120 | 120 Vegetazione casmofitica | 0.0 | 0.0 |
| 180 | 180 Frutteti | 0.1 | 0.0 |

Dall'analisi della carta risulta che il territorio è coperto per circa il 46% da boschi (di cui la maggior parte 41.3% di caducifoglie), il 24.2% da aree agricole con seminativi semplici, il 7% da oliveti e meno del 6% da aree urbanizzate (Fig. 4.5).

Esaminando la ripartizione di queste categorie geobotaniche nelle 18 unità di paesaggio, ridotte a 12 attraverso l'aggregazione di tutti gli elementi con configurazione di area urbana, che caratterizzano il territorio spoletino emerge (Fig. 4.6):

- una **dominanza forestale nelle aree montane**. Infatti, le unità dei castagneti (Montebibico, Vallocchia) e dei pascoli montani (Patrico e Fionchi, Monte Pianciano, Monteluco) mostrano una copertura boschiva predominante, che raggiunge punte dell'88-93% della superficie;
- una **vocazione agricola delle aree collinari e di fondovalle**. In questo caso l'Unità del Paesaggio della Maroggia e quella dei Sodicci di Poreta presentano un'elevata percentuale di seminativi (rispettivamente 76,7% e 62,7%);

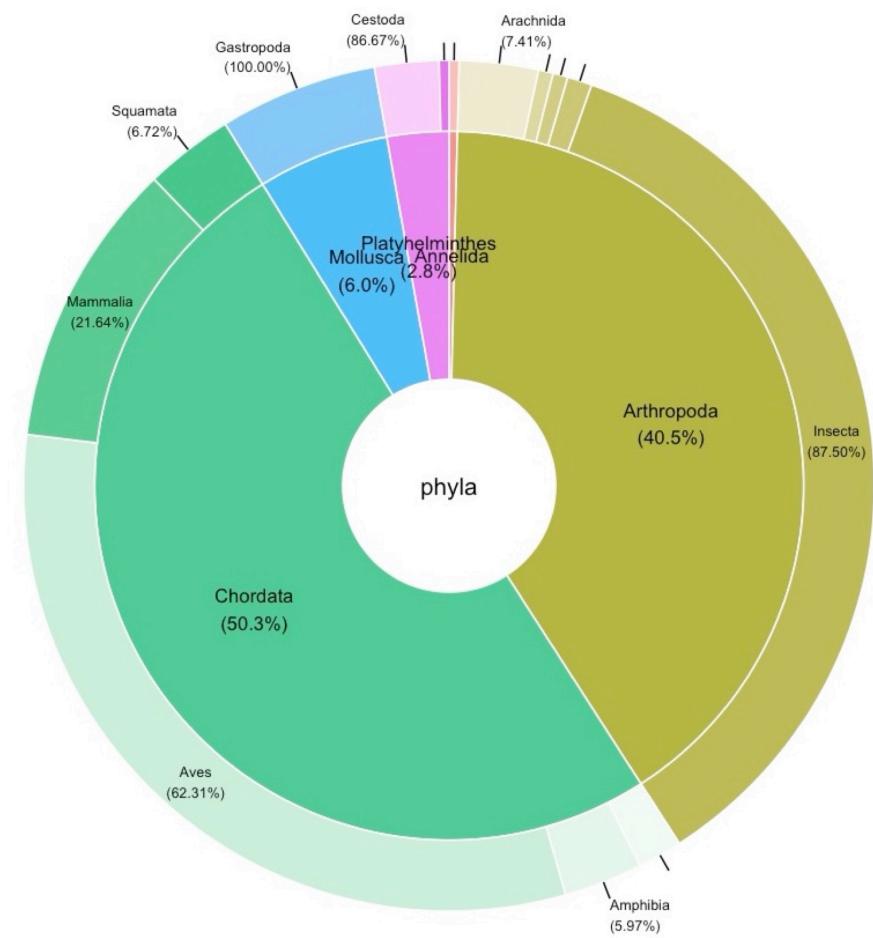


Figura 4.2: Distribuzione percentuale delle diverse specie disaggregate per Phylum e per Classe.

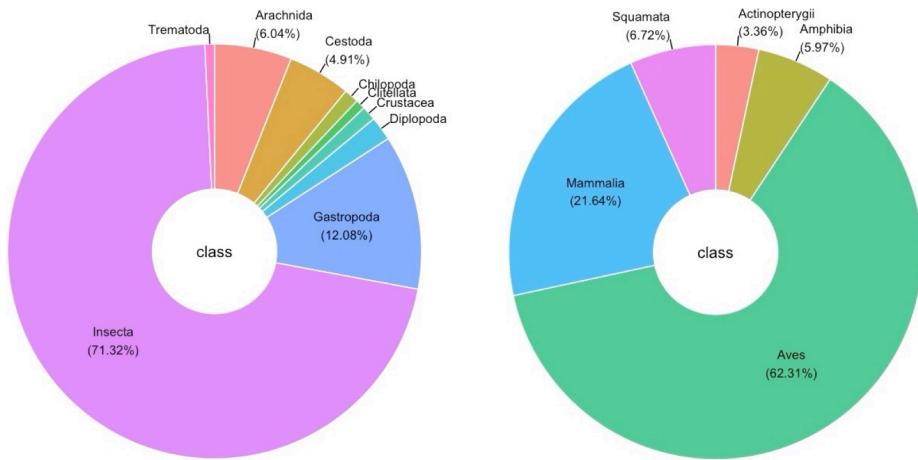


Figura 4.3: Distribuzione percentuale delle specie animali disaggregate per classe tra invertebrati (sinistra) e vertebrati (destra).

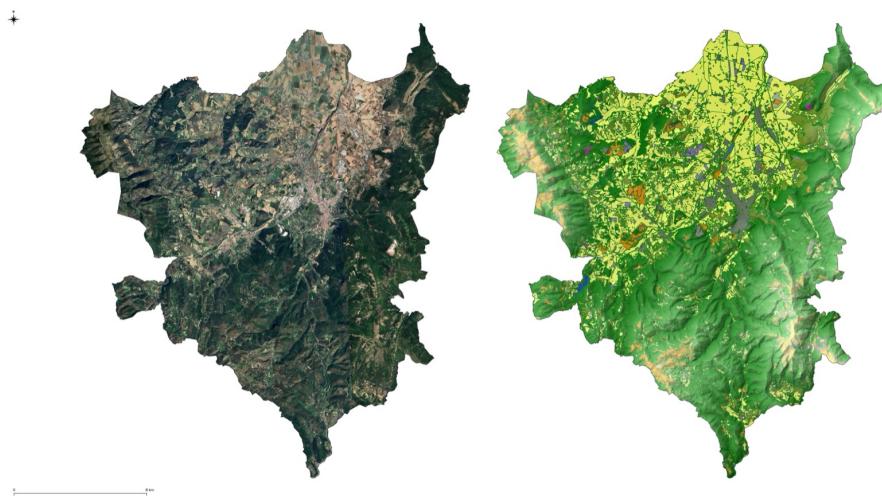


Figura 4.4: Ortofotocarta e Carta geobotanica e di uso del suolo aggiornata per il comune di Spoleto.

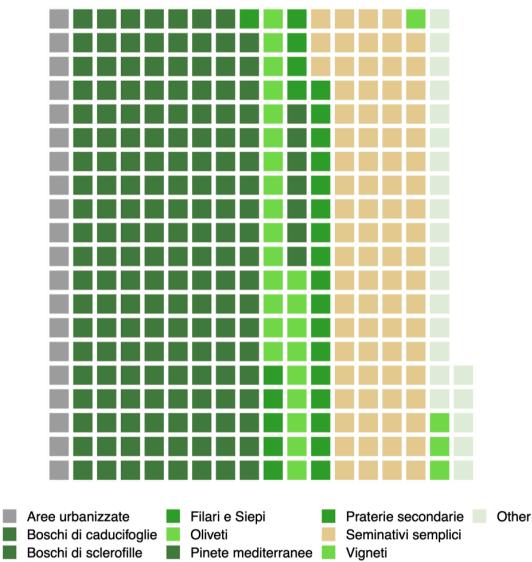


Figura 4.5: Categorie di uso del suolo. Ogni cella rappresenta una superficie di 1 km^2 .

- e una **specializzazione olivicola** nell'Unità degli Oliveti gradonati, che come suggerisce il nome, si caratterizza per la significativa presenza di oliveti e frutteti (42,3%) combinata con boschi (32,7%).

Passando invece al calcolo delle metriche e degli indici fragstat relativi ai pattern spaziali per quelle categorie di uso del suolo con una soglia di rappresentanza di almeno 1% emerge il quadro riportato in Tab. 4.7. I dati dell'indice NP (Numero di Patches) descrivono un paesaggio piuttosto diversificato. Escludendo le tessere del tessuto urbanizzato (5866), le tessere presenti in quantità maggiore sono: filari e siepi (classe 70) 3846 elementi, seminativi semplici (classe 141) 1046 elementi, praterie secondarie submediterranee (classe 91) 1022 elementi e gli oliveti (classe 160) 998 elementi. Gli indici prodotti da MPA (Tab. 4.7) e LPI (Tab. 4.8, Fig. 4.7) dimostrano invece che le classi che presentano patches mediamente più grandi sono: le pinete mediterranee (classe 12), i boschi caducifoglie collinare e submontane (classe 22), i boschi di sclerofille mediterranee (classe 11), i boschi di caducifoglie montane (classe 31) e i seminativi semplici (classe 141). Come atteso, le aree con il numero maggiore di patches sono caratterizzate da tessere di dimensione molto minore, indice di una maggiore frammentazione di queste tipologie territoriali. La presenza di numerose patches di piccole dimensioni disperse sul territorio, rappresentanti in particolar modo le aree urbane e i seminativi semplici, portano a supportare l'ipotesi di uno sviluppo territoriale antropico in cui si evidenzia un certo sprawl urbano. Queste indicazioni sono avvalorate anche dai bassi valori restituiti dall'indice di coesione, che presenta

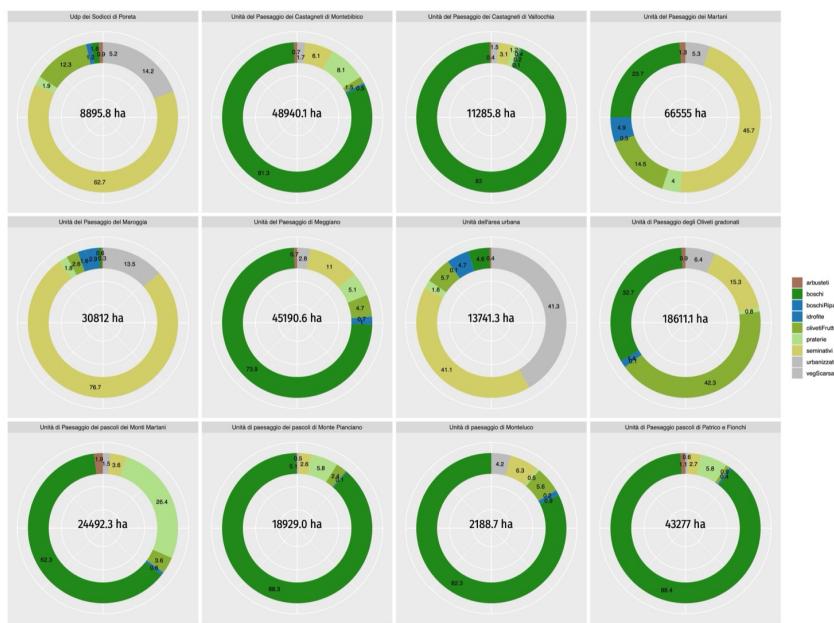


Figura 4.6: Tipizzazione degli usi del suolo delle diverse Unità di paesaggio.

un valore medio (\pm ds) di 9.56 ± 0.365 in una scala compresa tra 0 e 100.

Tabella 4.7: Indici fragstats per l'analisi dei pattern spaziali.

| Cat. geobot | Number of Patches (NP) | Patch density x 10^6 | Mean patch area (MPA) | Median patch area | Edge density (ED) |
|----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------|
| 11 | 104 | 0.298 | 151100.0 | 2400 | 0.0008 |
| 12 | 8 | 0.023 | 908650.0 | 144200 | 0.0002 |
| 22 | 444 | 1.270 | 325289.6 | 4500 | 0.0061 |
| 23 | 55 | 0.157 | 36607.3 | 10300 | 0.0002 |
| 31 | 5 | 0.014 | 138220.0 | 11600 | 0.0000 |
| 40 | 64 | 0.183 | 30417.2 | 4900 | 0.0003 |
| 52 | 5 | 0.014 | 24560.0 | 5400 | 0.0000 |
| 61 | 558 | 1.596 | 5265.8 | 2800 | 0.0007 |
| 62 | 9 | 0.026 | 18788.9 | 12100 | 0.0000 |
| 70 | 3846 | 11.002 | 1362.0 | 700 | 0.0030 |
| 91 | 1022 | 2.924 | 22502.6 | 3700 | 0.0027 |
| 92 | 16 | 0.046 | 28312.5 | 9050 | 0.0001 |
| 93 | 10 | 0.029 | 20570.0 | 10700 | 0.0000 |
| 94 | 157 | 0.449 | 9365.0 | 2900 | 0.0003 |
| 101 | 95 | 0.272 | 7260.0 | 1200 | 0.0001 |
| 102 | 173 | 0.495 | 1772.8 | 400 | 0.0002 |
| 111 | 47 | 0.134 | 8970.2 | 900 | 0.0001 |
| 120 | 22 | 0.063 | 1877.3 | 1100 | 0.0000 |
| 130 | 73 | 0.209 | 32250.7 | 8900 | 0.0002 |
| 141 | 1046 | 2.992 | 80969.8 | 7150 | 0.0067 |
| 142 | 67 | 0.192 | 9494.0 | 6500 | 0.0001 |
| 151 | 248 | 0.709 | 11431.0 | 5550 | 0.0005 |
| 152 | 93 | 0.266 | 7332.3 | 5100 | 0.0001 |
| 160 | 998 | 2.855 | 24211.8 | 5000 | 0.0028 |
| 170 | 343 | 0.981 | 8626.2 | 2500 | 0.0004 |
| 180 | 19 | 0.054 | 6821.1 | 3800 | 0.0000 |
| 191 | 211 | 0.604 | 13845.0 | 7200 | 0.0004 |
| 200 | 5866 | 16.781 | 3504.8 | 300 | 0.0045 |
| 210 | 20 | 0.057 | 26045.0 | 4050 | 0.0000 |

Tabella 4.8: Indici fragstats per l'analisi dei pattern spaziali.

| Class | Largest Patch Index (LPI) | Fractal Dimension Index | Patch cohesion index |
|-------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 11 | 1.122 | 1.109 | 9.916 |
| 12 | 1.229 | 1.134 | 9.937 |

| Class | Largest Patch Index (LPI) | Fractal Dimension Index | Patch cohesion index |
|-------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| 22 | 31.351 | 1.114 | 9.984 |
| 23 | 0.102 | 1.111 | 9.720 |
| 31 | 0.178 | 1.120 | 9.860 |
| 40 | 0.186 | 1.171 | 9.796 |
| 52 | 0.030 | 1.116 | 9.653 |
| 61 | 0.037 | 1.106 | 9.224 |
| 62 | 0.016 | 1.121 | 9.421 |
| 70 | 0.010 | 1.136 | 8.537 |
| 91 | 0.865 | 1.113 | 9.874 |
| 92 | 0.058 | 1.153 | 9.702 |
| 93 | 0.025 | 1.101 | 9.544 |
| 94 | 0.049 | 1.119 | 9.542 |
| 101 | 0.082 | 1.054 | 9.688 |
| 102 | 0.015 | 1.132 | 9.221 |
| 111 | 0.049 | 1.141 | 9.676 |
| 120 | 0.003 | 1.134 | 8.629 |
| 130 | 0.152 | 1.101 | 9.751 |
| 141 | 12.789 | 1.108 | 9.971 |
| 142 | 0.025 | 1.101 | 9.304 |
| 151 | 0.041 | 1.110 | 9.460 |
| 152 | 0.012 | 1.109 | 9.163 |
| 160 | 1.139 | 1.103 | 9.849 |
| 170 | 0.120 | 1.086 | 9.606 |
| 180 | 0.012 | 1.088 | 9.210 |
| 191 | 0.043 | 1.087 | 9.458 |
| 200 | 2.004 | 1.087 | 9.911 |
| 210 | 0.052 | 1.082 | 9.689 |

Limitando l'analisi alla sola unità di paesaggio urbano, risultante dalla combinazione delle Unità di Paesaggio San Carlo, dei Cappuccini, del Colle S.Elia, del Colle S. Tommaso, di Collerisana e della Valle Urbanizzata, il set di indicatori evidenzia che circa di 76% del territorio è costituito da Aree urbanizzate (200) e Seminativi semplici (141), mentre se si esclude questa unità e si considerano solo le altre unità di paesaggio il 43% della superficie è occupata dai boschi di caducifoglie (22) e il 24% dai seminativi (141). Tutte le altre categorie presentano una copertura inferiore al 10%. La sintesi dei risultati dei pattern spaziali è mostrata nelle tabelle (Tabb. 4.9 e 4.10) e nelle figure (Fig. 4.8 e Fig. 4.9).

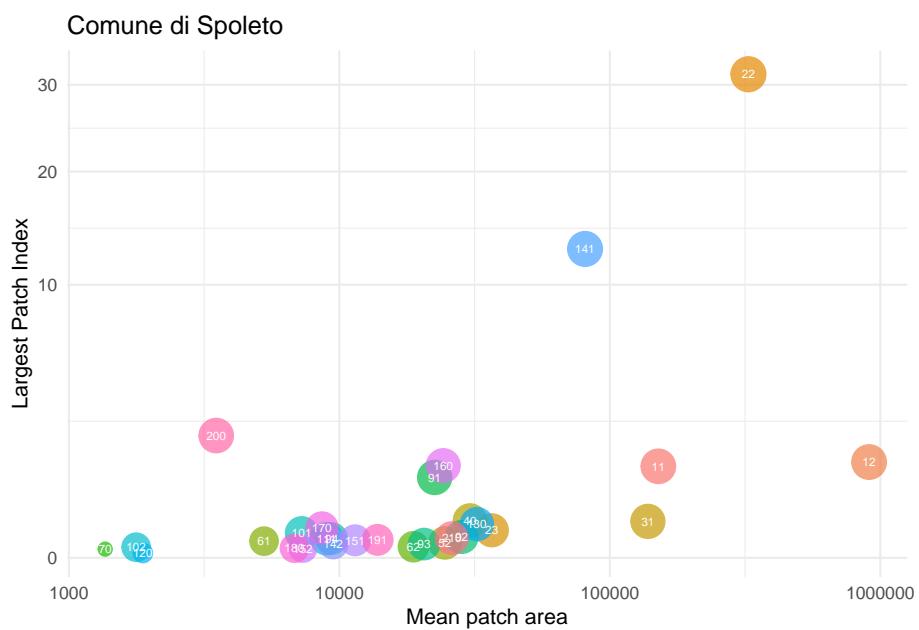


Figura 4.7: Plot degli Indici fragstats per Classe geobotanica. Il codice della Classe è riportato all'interno del singolo punto. La dimensione dei punti è proporzionale al valore del Patch cohesion index.

Tabella 4.9: Indici fragstats per l'analisi dei pattern spaziali per l'unità di paesaggio urbano.

| Cat. geobot | Land cover | Landscape Proportion | Number of Patches | Greatest patch area | Smallest patch area | Mean patch area |
|----------------|---------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 11 | 100400 | 0.01 | 2 | 100300 | 100 | 50200.00 |
| 22 | 564700 | 0.04 | 36 | 315700 | 100 | 15686.11 |
| 40 | 7300 | 0.00 | 4 | 4900 | 100 | 1825.00 |
| 61 | 24100 | 0.00 | 6 | 11600 | 300 | 4016.67 |
| 70 | 724500 | 0.05 | 482 | 35200 | 100 | 1503.11 |
| 91 | 265000 | 0.02 | 36 | 77100 | 100 | 7361.11 |
| 101 | 3200 | 0.00 | 2 | 2600 | 600 | 1600.00 |
| 102 | 3900 | 0.00 | 3 | 3300 | 100 | 1300.00 |
| 111 | 6000 | 0.00 | 9 | 3600 | 100 | 666.67 |
| 141 | 5648700 | 0.38 | 85 | 2876200 | 100 | 66455.29 |
| 142 | 44400 | 0.00 | 7 | 17400 | 700 | 6342.86 |
| 151 | 234600 | 0.02 | 36 | 73200 | 800 | 6516.67 |
| 152 | 123600 | 0.01 | 19 | 22600 | 100 | 6505.26 |
| 160 | 1032500 | 0.07 | 119 | 218700 | 100 | 8676.47 |
| 170 | 93000 | 0.01 | 37 | 10400 | 600 | 2513.51 |
| 180 | 3300 | 0.00 | 1 | 3300 | 3300 | 3300.00 |
| 191 | 270900 | 0.02 | 18 | 101200 | 100 | 15050.00 |
| 200 | 5667200 | 0.38 | 312 | 4787700 | 100 | 18164.10 |
| 210 | 21000 | 0.00 | 1 | 21000 | 21000 | 21000.00 |

Tabella 4.10: Indici fragstats per l'analisi dei pattern spaziali per tutte le unità di paesaggio ad esclusione di quella urbana.

| Cat. geobot | Land cover | Landscape Proportion | Number of Patches | Greatest patch area | Smallest patch area | Mean patch area |
|----------------|---------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 11 | 15598000 | 0.047 | 108 | 3821900 | 100 | 144425.9 |
| 12 | 7269200 | 0.022 | 8 | 4297000 | 600 | 908650.0 |
| 22 | 143863200 | 0.430 | 424 | 109531200 | 100 | 339300.0 |
| 23 | 2013400 | 0.006 | 55 | 355100 | 500 | 36607.3 |
| 31 | 691100 | 0.002 | 5 | 621900 | 8200 | 138220.0 |
| 40 | 1939400 | 0.006 | 65 | 649100 | 100 | 29836.9 |
| 52 | 122800 | 0.000 | 5 | 104000 | 2800 | 24560.0 |
| 61 | 2914200 | 0.009 | 552 | 129900 | 100 | 5279.3 |
| 62 | 169100 | 0.001 | 9 | 57500 | 3400 | 18788.9 |
| 70 | 4513700 | 0.013 | 3405 | 28200 | 100 | 1325.6 |
| 91 | 22732700 | 0.068 | 1014 | 3024500 | 100 | 22418.8 |

| Cat. geobot | Land cover | Landscape Proportion | Number of Patches | Greatest patch area | Smallest patch area | Mean patch area |
|----------------|---------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 92 | 453000 | 0.001 | 16 | 202600 | 200 | 28312.5 |
| 93 | 205700 | 0.001 | 10 | 88400 | 800 | 20570.0 |
| 94 | 1470300 | 0.004 | 157 | 173000 | 100 | 9365.0 |
| 101 | 686500 | 0.002 | 93 | 287000 | 100 | 7381.7 |
| 102 | 302800 | 0.001 | 172 | 52800 | 100 | 1760.5 |
| 111 | 415600 | 0.001 | 47 | 171900 | 100 | 8842.6 |
| 120 | 41300 | 0.000 | 22 | 10500 | 100 | 1877.3 |
| 130 | 2354300 | 0.007 | 73 | 532700 | 100 | 32250.7 |
| 141 | 79045200 | 0.236 | 1010 | 44707200 | 100 | 78262.6 |
| 142 | 591700 | 0.002 | 61 | 87200 | 100 | 9700.0 |
| 151 | 2600000 | 0.008 | 212 | 143700 | 100 | 12264.2 |
| 152 | 558300 | 0.002 | 80 | 41300 | 200 | 6978.8 |
| 160 | 23130900 | 0.069 | 900 | 3980100 | 100 | 25701.0 |
| 170 | 2865800 | 0.009 | 308 | 418900 | 100 | 9304.5 |
| 180 | 126300 | 0.000 | 18 | 43100 | 1700 | 7016.7 |
| 191 | 2650400 | 0.008 | 197 | 151000 | 100 | 13453.8 |
| 200 | 14891500 | 0.044 | 5622 | 1905100 | 100 | 2648.8 |
| 210 | 499900 | 0.001 | 19 | 181200 | 100 | 26310.5 |

Riassumendo gli indici di frammentazione del paesaggio e confrontando l'ambiente urbano (U) e quello non urbano (N), emergono alcuni particolari pattern (Tab. 4.11). Come atteso, la maggior parte delle classi di uso del suolo mostra valori di Splitting Index più elevati in ambiente urbano, indicando una frammentazione significativamente maggiore. Questo si traduce in valori di Effective Meshsize (dimensione effettiva delle patch) sistematicamente più bassi nell'area urbana (particolare attenzione andrebbe riservata alla situazione che emerge per le aree umide in associazione con la Vegetazione idrofitica). Curiosamente ci sono anche delle eccezioni. Ad esempio la categoria di Filari e siepi (70) presenta un valore di Splitting Index più alto in ambiente non urbano (N) (5 milioni vs 50.000), suggerendo che in città (U) questi elementi apparentemente sono meno frammentati. Il valore di Landscape Division rimane costante per quasi tutte le classi in entrambi gli ambienti, indicando che la differenza principale sta nell'intensità della frammentazione piuttosto che nella presenza/assenza delle classi di uso del suolo.

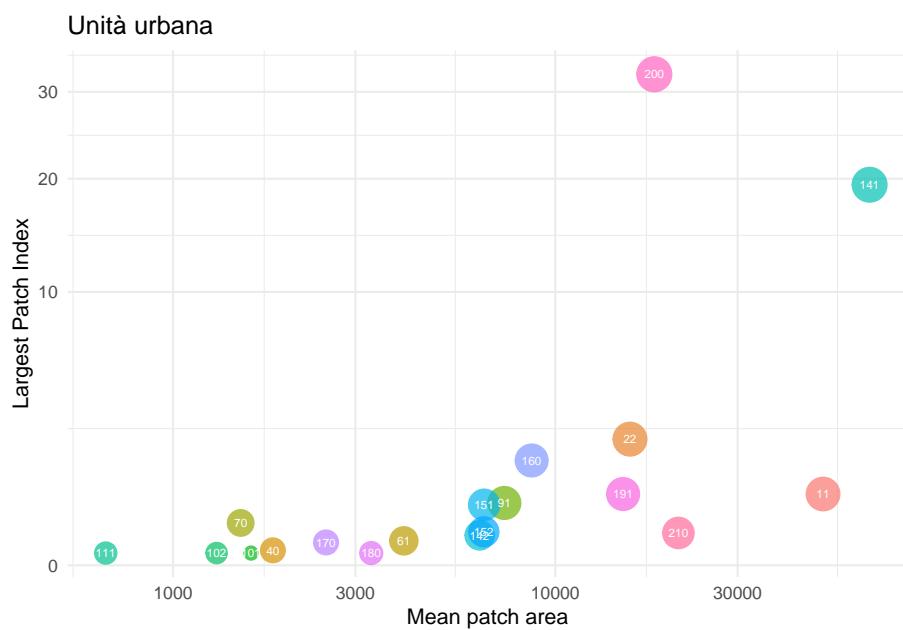


Figura 4.8: Plot degli Indici fragstats per Classe geobotanica in Unità urbana. Il codice della Classe è riportato all'interno del singolo punto. La dimensione dei punti è proporzionale al valore del Patch cohesion index.

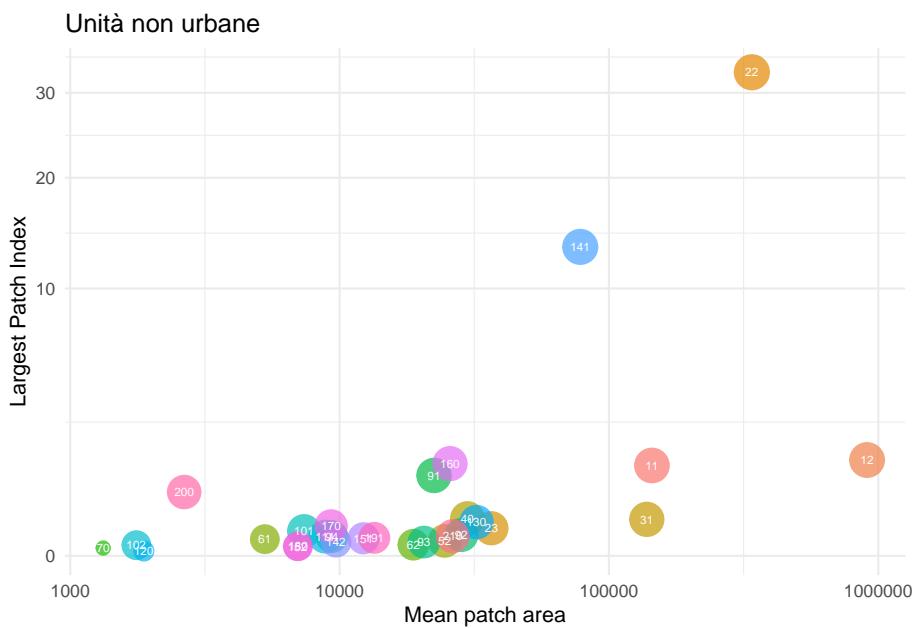


Figura 4.9: Plot degli Indici fragstats per Classe geobotanica nell'area non urbana. Il codice della Classe è riportato all'interno del singolo punto. La dimensione dei punti è proporzionale al valore del Patch cohesion index.

Tabella 4.11: Confronto tra gli indici fragstats per l'analisi della frammentazione dell'unità di paesaggio urbano (U) rispetto a tutti gli altri (N).

| Cat | geobot | Landscape division U/N | Splitting Index U/N | Effective Meshsize U/N |
|-----|--|------------------------|---------------------|------------------------|
| 11 | Boschi di sclerofille mediterranee | 1.00 / 1.000 | 21886 / 3983 | 678 / 84042 |
| 22 | Boschi caducifoglie collinari/submontane | 1.00 / 0.890 | 2135 / 9.111 | 6950 / 36737401 |
| 40 | Boschi ripariali | 1.00 / 1.000 | 7626434 / 191315 | 1.95 / 1750 |
| 61 | Arbusteti collinari | 1.00 / 1.000 | 1201108 / 1757651 | 12.35 / 190.43 |
| 70 | Filari e siepi | 1.00 / 1.000 | 50367 / 5058464 | 295 / 66 |
| 91 | Praterie secondarie submediterranee | 1.00 / 1.000 | 14954 / 5094 | 992 / 65708 |
| 101 | Vegetazione idrofitica lacustre | 1.00 / 1.000 | 30923476 / 1189363 | 0.48 / 281.43 |
| 102 | Vegetazione idrofitica fluviale | 1.00 / 1.000 | 19746650 / 22762551 | 0.75 / 14.71 |
| 111 | Popolamenti terofitici | 1.00 / 1.000 | 15440052 / 2673476 | 0.96 / 125.20 |
| 141 | Seminativi semplici | 0.96 / 0.982 | 23.15 / 55.25 | 640915 / 6057904 |
| 142 | Campi abbandonati e inculti | 1.00 / 1.000 | 471790 / 7286123 | 31.45 / 45.94 |
| 151 | Seminativi arborati | 1.00 / 1.000 | 34825 / 986556 | 426 / 339 |
| 152 | Colture agrarie mosaicizzate | 1.00 / 1.000 | 136995 / 12101779 | 108 / 28 |
| 160 | Oliveti | 1.00 / 1.000 | 3171 / 5472 | 4680 / 61173 |
| 170 | Vigneti | 1.00 / 1.000 | 561356 / 394606 | 26.43 / 848.23 |

| Cat | geobot | Landscape division U/N | Splitting Index U/N | Effective Meshsize U/N |
|-----|----------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| 180 | Frutteti | 1.00 / 1.000 | 20218103 / 45930479 | 0.73 / 7.29 |
| 191 | Arboricoltura da legno | 1.00 / 1.000 | 13532 / 1096137 | 1097 / 305 |
| 200 | Aree urbanizzate | 0.90 / 1.000 | 9.59 / 22584 | 1546716 / 14821 |
| 210 | Vegetazione scarsa o nulla | 1.00 / 1.000 | 499263 / 1875870 | 29.72 / 178.43 |

4.2.2 Carte di idoneità e della biopermeabilità

La disponibilità di una carta geobotanica e di uso del suolo aggiornata rappresenta uno strumento fondamentale per lo sviluppo di analisi ecologiche successive anche in funzione della distribuzione reale e potenziale della fauna. Infatti tra le principali carte che possono essere derivate da questa cartografia ci sono le carte di idoneità o vocazionalità faunistica e di permeabilità del territorio. In linea generale, la vocazionalità faunistica di un territorio dipende dalla capacità degli habitat di soddisfare i requisiti ecologici delle diverse specie animali.

Ogni categoria geobotanica presenta caratteristiche specifiche in termini di:

- **Disponibilità trofica:** diversi tipi di vegetazione offrono risorse alimentari differenziate anche in funzione dei loro cicli vegetativi;
- **Struttura dell'habitat:** la complessità verticale e orizzontale della vegetazione influenza le possibilità di rifugio e possibilità per la riproduzione;
- **Condizioni microclimatiche:** i diversi tipi di copertura vegetale creano condizioni ambientali specifiche in relazione a temperatura, esposizione e umidità, che possono essere determinanti per la presenza e l'abbondanza delle specie animali.

A titolo di esempio sono state elaborate due carte di sintesi che esprimono una vocazionalità in funzione delle specie con una elezione per gli ambienti forestali (Fig. 4.10) e che trovano negli elementi di connettività ecologica e struttura del bosco e delle praterie le condizioni di preferenza per il loro habitat e le loro funzioni vitali (Fig. 4.11).

Successive metodologie di analisi potranno suggerire strategie differenziate di gestione territoriale, per il panel di specie che verranno considerate come target specifico e di maggiore interesse ai fini di un approfondimento scientifico-gestionale. Un esempio di tali metodologie è rappresentato dalle: i) **Cost-distance analysis** (Keeley et al., 2016) - che consiste nel calcolo dei percorsi di minor costo per il movimento delle specie attraverso la matrice paesaggistica, attribuendo



Figura 4.10: Esempio di carta della vocazionalità faunistica sviluppata su un panel di specie con preferenza per habitat forestali.

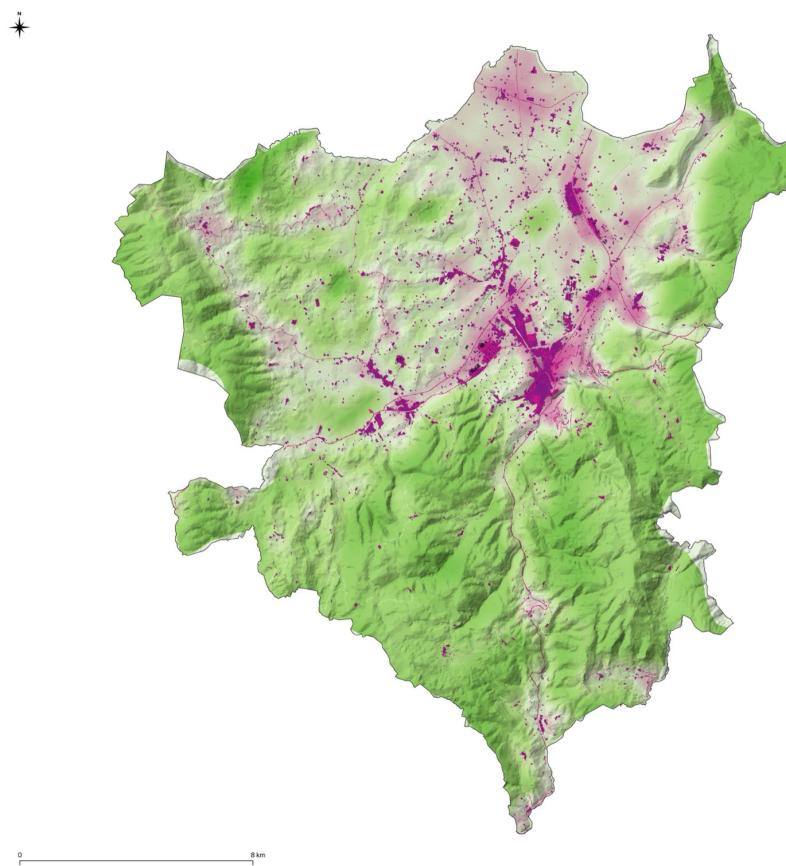


Figura 4.11: Esempio di carta della permeabilità tenuto conto dell'idoneità faunistica forestale e della presenza nel territori di elementi di permeabilità (es. corridoi fluviali) e di elementi di frammentazione (es. strade).

diversi valori di resistenza alle categorie di uso del suolo e ii) **Graph theory** (Wilson, 2010) - che si occupa della modellazione del paesaggio come rete di nodi (habitat favorevoli) connessi da corridoi di diversa permeabilità.

Per alcune specie ombrello, l'analisi potrà evidenziare la necessità di mantenere corridoi su scala comunale tra le diverse unità paesaggistiche. Per le specie focali (indicatrici della qualità di ecosistemi specifici), si potranno identificare le aree core da preservare e le zone di buffer da associare. Infine, per le specie bandiera (di particolare valore conservazionistico), l'analisi supporterà la progettazione di interventi mirati al mantenimento o al ripristino ambientale, anche attraverso la creazione di ulteriori elementi di stepping stones, funzionali alla riduzione della frammentazione del territorio e al potenziamento della connettività.

4.2.3 Analisi della frammentazione

Per approfondire la valutazione della continuità ecologica e del grado di frammentazione del territorio sono stati applicati tre indici specifici che misurano diversi aspetti della frammentazione paesaggistica. Gli indici sono: il Landscape Division, lo Splitting index e l'Effective meshsize (Jaeger, 2000b). Questi indicatori forniscono una lettura quantitativa dei processi di divisione del territorio e dei loro risvolti per la conservazione della biodiversità e la funzionalità degli ecosistemi.

L'applicazione congiunta di questi tre indici permette, infatti, di descrivere lo stato di frammentazione del territorio e potenzialmente di identificare le aree prioritarie dove programmare gli interventi di riconnessione ecologica.

Le tabelle 4.12, 4.13 e 4.14 riportano i valori degli indici, calcolati sull'intero territorio comunale e distinti per ciascuna categoria geobotanica. Le relative statistiche descrittive sono presentate in tabella 4.15.

Dall'indice Landscape division che quantifica il grado di divisione del paesaggio, esprimendo la probabilità che due punti scelti casualmente nel territorio non siano connessi dalla stessa patch di habitat, si registrano valori sempre elevati, che indicano un alto grado di frammentazione per tutte le categorie, oscillando da un minimo di 0.899 fino a un massimo di 1 (Tab. 4.12).

Tabella 4.12: Valori dell'indici di frammentazione Landscape division.

| CATEGORIA GEOBOTANICA | LANDSCAPE DIVISION |
|---|--------------------|
| 011 Boschi di sclerofille mediterranee | 0.9997633 |
| 012 Pinete mediterranee | 0.9998130 |
| 022 Boschi di caducifoglie collinari e submontane | 0.8992623 |
| 023 Castagneti da frutto e Boschi di castagno | 0.9999974 |
| 031 Boschi di caducifoglie montane | 0.9999968 |
| 040 Boschi e boscaglie di caducifoglie ripariali | 0.9999952 |

| Categoria geobotanica | Landscape division |
|---|--------------------|
| 052 Brughiere (basso-)collinari | 0.9999999 |
| 061 Arbusteti collinari | 0.9999995 |
| 062 Arbusteti montani | 1.0000000 |
| 070 Filari e Siepi | 0.9999998 |
| 091 Praterie secondarie submediterranee | 0.9998195 |
| 092 Praterie secondarie montane | 0.9999995 |
| 093 Praterie secondarie di fondovalle | 0.9999999 |
| 094 Praterie secondarie calanchive | 0.9999993 |
| 101 Vegetazione idrofitica lacustre | 0.9999992 |
| 102 Vegetazione idrofitica fluviale | 1.0000000 |
| 111 Popolamenti terofitici | 0.9999996 |
| 120 Vegetazione casmofitica | 1.0000000 |
| 130 Rimboschimenti | 0.9999960 |
| 141 Seminativi semplici | 0.9830470 |
| 142 Campi abbandonati e inculti | 0.9999999 |
| 151 Seminativi arborati | 0.9999990 |
| 152 Colture agrarie mosaicizzate | 0.9999999 |
| 160 Oliveti | 0.9998317 |
| 170 Vigneti | 0.9999977 |
| 180 Frutteti | 1.0000000 |
| 191 Arboricoltura da legno | 0.9999990 |
| 200 Aree urbanizzate | 0.9995874 |
| 210 Aree con vegetazione scarsa o nulla | 0.9999995 |

Lo Splitting index misura l'effetto della frammentazione calcolando il numero di patches di uguale dimensione che avrebbero lo stesso effetto divisorio della configurazione attuale. Questo indice è particolarmente utile per confrontare scenari alternativi di frammentazione e nel caso in esame ha mostrato un'ampia variabilità (Tab. 4.13). Le classi che presentano i valori più bassi, e quindi la migliore continuità spaziale, sono: i Seminativi semplici (141), i Boschi di caducifoglie collinari e submontane (22), confermando la buona continuità delle formazioni forestali principali e le Aree urbanizzate (200), suggerendo una parziale concentrazione degli insediamenti. I valori più critici si registrano per i Frutteti (180) e per le zone con Vegetazione idrofitica fluviale (102) indicando un'estrema frammentazione e una rilevante vulnerabilità per le specie ad esse associate.

Tabella 4.13: Valori dell'indice di frammentazione Splitting index.

| Categoria geobotanica | Splitting index |
|---|-----------------|
| 022 Boschi di caducifoglie collinari e submontane | 9.9 |
| 141 Seminativi semplici | 59.0 |
| 200 Aree urbanizzate | 2423.8 |

| Categoria geobotanica | Splitting index |
|--|-----------------|
| 011 Boschi di sclerofille mediterranee | 4225.3 |
| 012 Pinete mediterranee | 5346.6 |
| 091 Praterie secondarie submediterranee | 5541.2 |
| 160 Oliveti | 5943.3 |
| 040 Boschi e boscaglie di caducifoglie ripariali | 208635.0 |
| 130 Rimboschimenti | 250688.7 |
| 031 Boschi di caducifoglie montane | 314458.0 |
| 023 Castagneti da frutto e Boschi di castagno | 386340.1 |
| 170 Vigneti | 429656.6 |
| 151 Seminativi arborati | 1019198.4 |
| 191 Arboricoltura da legno | 1031314.9 |
| 101 Vegetazione idrofitica lacustre | 1297185.3 |
| 094 Praterie secondarie calanchive | 1407281.0 |
| 061 Arbusteti collinari | 1911639.1 |
| 210 Aree con vegetazione scarsa o nulla | 2031085.7 |
| 092 Praterie secondarie montane | 2106154.7 |
| 111 Popolamenti terofitici | 2836384.5 |
| 070 Filari e Siepi | 4597308.1 |
| 142 Campi abbandonati e inculti | 7711444.0 |
| 093 Praterie secondarie di fondovalle | 11172742.3 |
| 052 Brughiere (basso-)collinari | 11197035.5 |
| 152 Colture agrarie mosaicizzate | 11219703.8 |
| 062 Arbusteti montani | 22006872.7 |
| 102 Vegetazione idrofitica fluviale | 24737667.8 |
| 180 Frutteti | 49875460.3 |
| 120 Vegetazione casmofitica | 581272239.2 |

Rispetto all'Effective mesh size ci sono grandi differenze tra le diverse categorie (Tab. 4.14). Quelle che presentano i valori più elevati, indicando ampie aree continue, ci sono i Boschi di caducifoglie collinari e submontane (022), confermando il ruolo strutturale di queste formazioni come una delle principali matrici paesaggistiche, insieme ai Seminativi semplici (141). Mostrano valori intermedi, che suggeriscono una buona accessibilità, i Boschi di sclerofille mediterranee (011), le Pinete mediterranee (012), le Praterie secondarie submediterranee (091) e gli Oliveti (160), mentre le categorie più critiche, con patches effettive molto piccole, sono le porzioni con Vegetazione casmofitica (120), riflettendo la natura puntiforme di questi habitat rupestri, i Frutteti (180), gli Arbusteti montani (062) e le zone con Vegetazione idrofitica fluviale (102), evidenziando ancora una volta la discontinuità degli habitat acquatici.

Tabella 4.14: Valori dell'indici di frammentazione Effective mesh size.

| Categoria geobotanica | Effective mesh size |
|---|---------------------|
| 120 Vegetazione casmofitica | 0.6 |
| 180 Frutteti | 7.0 |
| 102 Vegetazione idrofitica fluviale | 14.1 |
| 062 Arbusteti montani | 15.9 |
| 152 Colture agrarie mosaicizzate | 31.2 |
| 052 Brughiere (basso-)collinari | 31.2 |
| 093 Praterie secondarie di fondovalle | 31.3 |
| 142 Campi abbandonati e inculti | 45.3 |
| 070 Filari e Siepi | 76.0 |
| 111 Popolamenti terofitici | 123.2 |
| 092 Praterie secondarie montane | 166.0 |
| 210 Aree con vegetazione scarsa o nulla | 172.1 |
| 061 Arbusteti collinari | 182.9 |
| 094 Praterie secondarie calanchive | 248.4 |
| 101 Vegetazione idrofitica lacustre | 269.5 |
| 191 Arboricoltura da legno | 339.0 |
| 151 Seminativi arborati | 343.0 |
| 170 Vigneti | 813.6 |
| 023 Castagneti da frutto e Boschi di castagno | 904.8 |
| 031 Boschi di caducifoglie montane | 1111.7 |
| 130 Rimboschimenti | 1394.4 |
| 040 Boschi e boscaglie di caducifoglie ripariali | 1675.5 |
| 160 Oliveti | 58817.7 |
| 091 Praterie secondarie submediterranee | 63086.3 |
| 012 Pinete mediterranee | 65382.0 |
| 011 Boschi di sclerofille mediterranee | 82732.2 |
| 200 Aree urbanizzate | 144225.1 |
| 141 Seminativi semplici | 5926285.6 |
| 022 Boschi di caducifoglie collinari e submontane | 35215112.1 |

Tabella 4.15: Statistica descrittiva degli indici di frammentazione.

| | Landscape division | Splitting index | Effective mesh size |
|--------|--------------------|-----------------|---------------------|
| n | 29.0 | 29.0 | 29.0 |
| min | 0.9 | 9.9 | 0.6 |
| max | 1.0 | 581272239.2 | 35215112.1 |
| median | 1.0 | 1297185.3 | 269.5 |
| iqr | 0.0 | 7502809.1 | 1630.2 |
| mean | 1.0 | 25484277.4 | 1433228.9 |

| | Landscape division | Splitting index | Effective mesh size |
|----|--------------------|-----------------|---------------------|
| sd | 0.0 | 107422809.7 | 6589206.9 |
| se | 0.0 | 19947915.0 | 1223585.0 |
| ci | 0.0 | 40861451.5 | 2506400.3 |

La relazione lineare inversa esistente tra gli indici di Splitting ed Effective Meshsize viene evidenziata in Fig. 4.12.

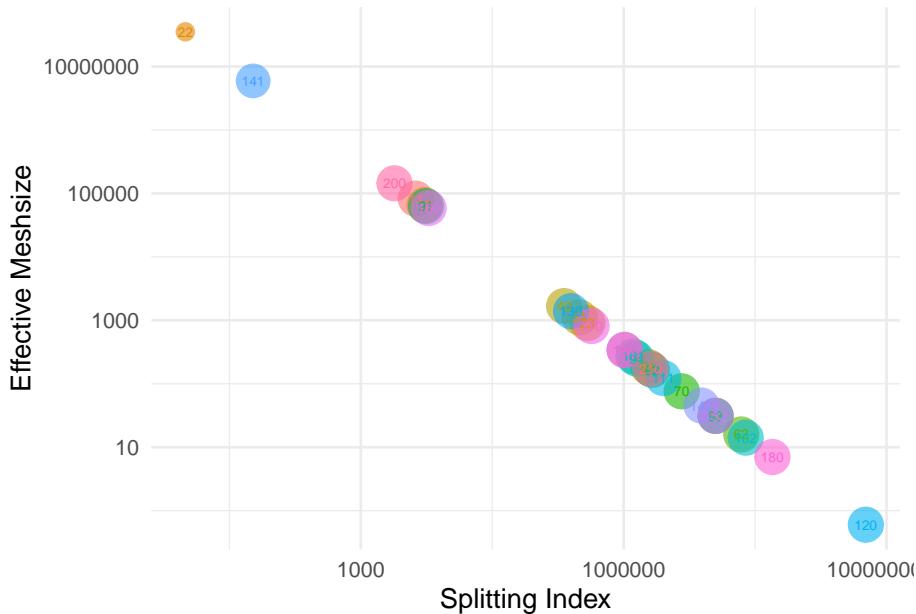


Figura 4.12: Relazione tra Splitting index ed Effective Meshsize. Con i colori e le etichette di testo sono evidenziate le diverse classi geobotaniche.

4.2.4 Morphological Spatial Pattern Analysis

La pianificazione territoriale nelle aree urbane richiede un approccio integrato che riconosca il ruolo cruciale della diversità ambientale nel sostenere la biodiversità locale. Come evidenziato da Vilenica et al. (2024), l'eterogeneità dell'habitat costituisce un fattore determinante per assicurare condizioni ecologiche ottimali alle specie autoctone e per preservare la continuità delle reti ecologiche territoriali. L'applicazione della metodologia di Analisi dei Pattern Morfologici del Paesaggio (Morphological Spatial Pattern Analysis - MSPA) ha consentito la costruzione di un modello concettuale articolato su due componenti principali:

- Habitat: un sistema complesso derivante dall'integrazione di diverse categorie geobotaniche e tipologie di uso del suolo, che rappresenta l'insieme delle aree ad alta idoneità ecologica per le specie target.
- Matrice di Background: le porzioni territoriali caratterizzate da condizioni ambientali generalmente subottimali, che fungono da spazio di transizione con limitata capacità di supporto per la fauna locale.

Questo approccio metodologico permette di identificare con precisione le aree prioritarie per la conservazione e di orientare le strategie di pianificazione verso la creazione di reti ecologiche funzionali ed efficaci.

Utilizzando come riferimento per l'identificazione della componente "habitat" la combinazione delle categorie geobotaniche delle formazioni boschive, delle aree a prateria, del sistema di siepi e filari arborei e dei corridoi fluviali e considerando come background tutte le altre è stata creata una carta a 8 livelli che esemplifica il risultato del modello MSPA (Fig. 4.13).

Dall'analisi della carta emerge in modo chiaro che le aree Core (codice 17) rappresentano una porzione rilevante del territorio con circa il 70.8% della superficie totale analizzata pur essendo distribuite in sole 555 patches. Questo dato indica la presenza di ampie superfici di habitat continuo e di alta qualità ecologica, fondamentali per il mantenimento delle popolazioni faunistiche legate a questa particolare configurazione d'habitat. L'elevato valore di Effective meshsize (33464983.54) e il basso Splitting index (6.88) confermano la buona connettività di queste aree. Le aree Islet (isole di habitat), pur rappresentando solo l'1.4% del territorio, sono suddivise in 2154 patches, indicando un'elevata dispersione di piccoli frammenti di habitat isolati. Questo pattern suggerisce la necessità di intervenire con azioni mirate per migliorare la connettività ecologica e includere queste porzioni nel disegno di rete. Contrariamente alle aree core, gli elementi di connettività rappresentati da Branch (rami), Bridge (ponti ecologici) e zone di Edge (margini) mostrano un più elevato grado di frammentazione: i rami sono distribuiti in 3.903 patches totali, ma occupano solo il 2.2% del territorio, i ponti ecologici coprono appena il 3.8% dell'area, mentre le zone di margine presentano 2749 patches per l'8% della superficie totale (Tabb. 4.16 e 4.17).

Tabella 4.16: Risultati dell'analisi degli elementi strutturali basata sulle categorie di paesaggio ottenute dalla segmentazione con il metodo MSPA.

| Code | Class | Number of Patches | Land cover | Landscape Proportion |
|------|------------|-------------------|------------|----------------------|
| 100 | Background | 845 | 4773580 | 0.021 |
| 220 | Background | 1902 | 15054956 | 0.065 |
| 1 | Branch | 3447 | 4772208 | 0.021 |
| 101 | Branch | 456 | 336728 | 0.001 |
| 33 | Bridge | 743 | 3603264 | 0.016 |

| Code | Class | Number of Patches | Land cover | Landscape Proportion |
|------|-------------|-------------------|------------|----------------------|
| 35 | Bridge | 1098 | 4699884 | 0.020 |
| 133 | Bridge | 54 | 177772 | 0.001 |
| 135 | Bridge | 33 | 125048 | 0.001 |
| 137 | Bridge | 72 | 167972 | 0.001 |
| 17 | Core | 555 | 162900696 | 0.708 |
| 117 | Core | 41 | 51352 | 0.000 |
| 3 | Edge | 2701 | 18394992 | 0.080 |
| 103 | Edge | 48 | 93884 | 0.000 |
| 9 | Islet | 2068 | 3169908 | 0.014 |
| 109 | Islet | 86 | 67816 | 0.000 |
| 65 | Loop | 400 | 1651692 | 0.007 |
| 67 | Loop | 662 | 2453920 | 0.011 |
| 165 | Loop | 243 | 504308 | 0.002 |
| 169 | Loop | 393 | 1897672 | 0.008 |
| 105 | Perforation | 942 | 5350016 | 0.023 |

Tabella 4.17: Risultati dell'analisi degli elementi strutturali basata sulle categorie di paesaggio ottenute dalla segmentazione con il metodo MSPA.

| Code | Class | Landscape division | Effective mesh size | Splitting index |
|------|-------------|--------------------|---------------------|-----------------|
| 100 | Background | 0.99999 | 1847.47 | 124628.96 |
| 220 | Background | 0.99994 | 14621.21 | 15747.51 |
| 1 | Branch | 1.00000 | 146.36 | 1573199.05 |
| 101 | Branch | 1.00000 | 2.55 | 90337629.04 |
| 33 | Bridge | 1.00000 | 268.86 | 856372.24 |
| 35 | Bridge | 1.00000 | 346.43 | 664638.53 |
| 133 | Bridge | 1.00000 | 7.52 | 30610155.08 |
| 135 | Bridge | 1.00000 | 2.73 | 84403524.24 |
| 137 | Bridge | 1.00000 | 2.49 | 92301359.19 |
| 17 | Core | 0.85466 | 33464983.54 | 6.88 |
| 117 | Core | 1.00000 | 1.64 | 140300693.50 |
| 3 | Edge | 0.99998 | 4193.94 | 54900.14 |
| 103 | Edge | 1.00000 | 2.17 | 106259923.10 |
| 9 | Islet | 1.00000 | 87.59 | 2628732.13 |
| 109 | Islet | 1.00000 | 0.85 | 271760067.21 |
| 65 | Loop | 1.00000 | 106.83 | 2155286.51 |
| 67 | Loop | 1.00000 | 95.10 | 2421150.40 |
| 165 | Loop | 1.00000 | 16.06 | 14332723.55 |
| 169 | Loop | 1.00000 | 123.74 | 1860682.66 |
| 105 | Perforation | 1.00000 | 405.21 | 568221.55 |

| Code | Class | Landscape division | Effective mesh size | Splitting index |
|------|-------|--------------------|---------------------|-----------------|
|------|-------|--------------------|---------------------|-----------------|

Riproponendo questa stessa analisi nel contesto territoriale della fascia del piano collinare che si estende per circa 128 km^2 i risultati hanno fornito un quadro con alcune rilevanti differenze rispetto alla situazione precedente (Fig. 4.14).

Il pattern 17 (Core) mantiene la sua importanza strutturale, rappresentando ancora il 38.8% del territorio ed essendo distribuito in 480 patches. Rispetto all'analisi del contesto comunale complessivo, si nota una significativa riduzione della percentuale territoriale di questa classe (dal 70.8% al 38.8%) e un aumento della frammentazione, con conseguente diminuzione dell'Effective mesh size (290878.52) e aumento dello Splitting index (157.79). Nonostante ciò, le aree Core mantengono un grado connettività interna che necessita di essere rafforzato attraverso il potenziamento delle connessioni. Gli elementi di connessione lineare interrotti (Pattern 1/101) e che al momento non connettono porzioni di habitat sono presenti in un numero di patches superiore a 2000, con un'occupazione percentuale dell'8.1. Le aree Edge (Pattern 3) raggiungono il 19.5% del territorio in 1208 patches, rappresentando un sostanziale incremento rispetto all'analisi generale e mettendo in luce una maggiore esposizione delle aree di habitat alle pressioni esterne. Interessante e promettente il fatto che le Islet (Pattern 9) costituiscono il 7.3% dell'area e che siano ripartite in 1836 patches, con un Splitting index (88213.18) che, pur rimanendo elevato, indica una minor dispersione rispetto all'analisi generale. Questo suggerisce la presenza di clusters di piccoli habitat isolati piuttosto che veri e propri frammenti completamente dispersi (Tab. 4.18).

Tabella 4.18: Risultati dell'analisi degli elementi strutturali basata sulle categorie di paesaggio ottenute dalla segmentazione con il metodo MSPA applicate alla fascia collinare.

| Code | Number of Patches | Landscape | | | Splitting index | Effective mesh size |
|------|-------------------|------------|------------|--------------------|-----------------|---------------------|
| | | Land cover | Proportion | Landscape division | | |
| 1 | 2003 | 3699675.0 | 0.081 | 0.99998 | 61253.00 | 749.31 |
| 3 | 1208 | 8962200.0 | 0.195 | 0.99989 | 9164.26 | 5008.34 |
| 9 | 1836 | 3332700.0 | 0.073 | 0.99999 | 88213.18 | 520.30 |
| 17 | 480 | 17809650.0 | 0.388 | 0.99366 | 157.79 | 290878.52 |
| 33 | 425 | 2309400.0 | 0.050 | 0.99998 | 42137.97 | 1089.23 |
| 35 | 613 | 2222550.0 | 0.048 | 0.99999 | 117313.83 | 391.24 |
| 65 | 162 | 881775.0 | 0.019 | 0.99999 | 105352.23 | 435.66 |
| 67 | 238 | 805725.0 | 0.018 | 1.00000 | 437334.29 | 104.95 |
| 100 | 50 | 274950.0 | 0.006 | 1.00000 | 236835.06 | 193.80 |
| 101 | 8 | 6525.0 | 0.000 | 1.00000 | 303736643.07 | 15 |

| Code | Number of Patches | Land cover | Landscape Pro- portion | Landscape division | Splitting index | Effective mesh size |
|------|-------------------------|---------------|------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|
| 105 | 72 | 424575.0 | 0.009 | 1.00000 | 434548.40 | 105.62 |
| 165 | 16 | 26550.0 | 0.001 | 1.00000 | 19834089.662.31 | |
| 169 | 36 | 79650.0 | 0.002 | 1.00000 | 8332382.88 | 5.51 |
| 220 | 730 | 5061825.0 | 0.110 | 0.99979 | 4837.00 | 9488.89 |

4.2.5 Contributo allo sviluppo delle schede di Agenda Urbana

Alcuni dei prodotti cartografici elaborati nel corso del presente studio hanno già trovato applicazione in specifiche valutazioni e analisi condotte nell'ambito della progettazione degli interventi previsti per Agenda Urbana. In particolare, durante le fasi preliminari per l'individuazione delle aree da coinvolgere e della prioritizzazione degli interventi alcune cartografie sono state discusse e sottoposte a valutazione sui tavoli tecnici istituzionali per la definizione della strategia di intervento territoriale e per le azioni di riconnessione e ricucitura del sistema di mobilità dolce.

In particolare, le tavole consegnate hanno riguardato il livello di frammentazione del territorio, la vocazionalità generale e la relativa biopermeabilità, le aree verdi e quelle di possibile pianificazione e progettazione degli interventi, anche in sinergia con il progetto lifeIMAGINE (LIFE19 IPE/IT/000015).

A seguire vengono proposte alcune delle tavole più significative.

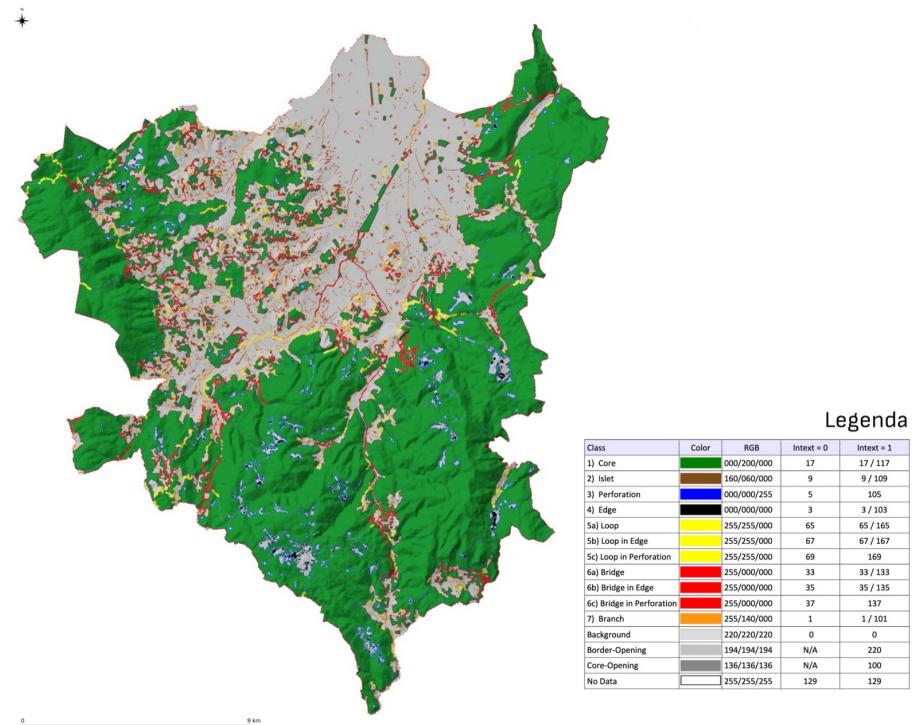


Figura 4.13: Mappa della distribuzione spaziale dei pattern morfologici identificati attraverso la riclassificazione delle categorie di uso del suolo. Nel modello presentato, la componente habitat è costituita dall'aggregazione di quattro tipologie territoriali fondamentali: le formazioni boschive, le aree a prateria, il sistema delle siepi e dei filari arborei, e i corridoi fluviali con la relativa vegetazione ripariale.

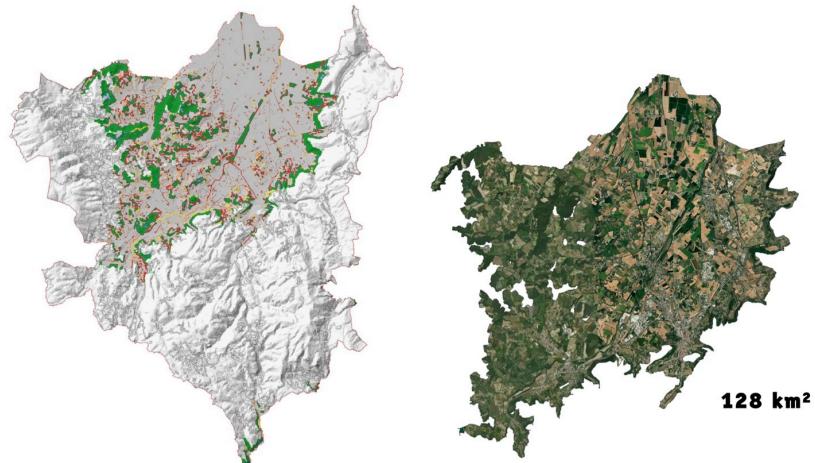


Figura 4.14: Mappa della distribuzione spaziale dei pattern morfologici nel piano collinare (per l'interpretazione dei colori vedi legenda figura sopra). A destra l'immagine satellitare dell'area.

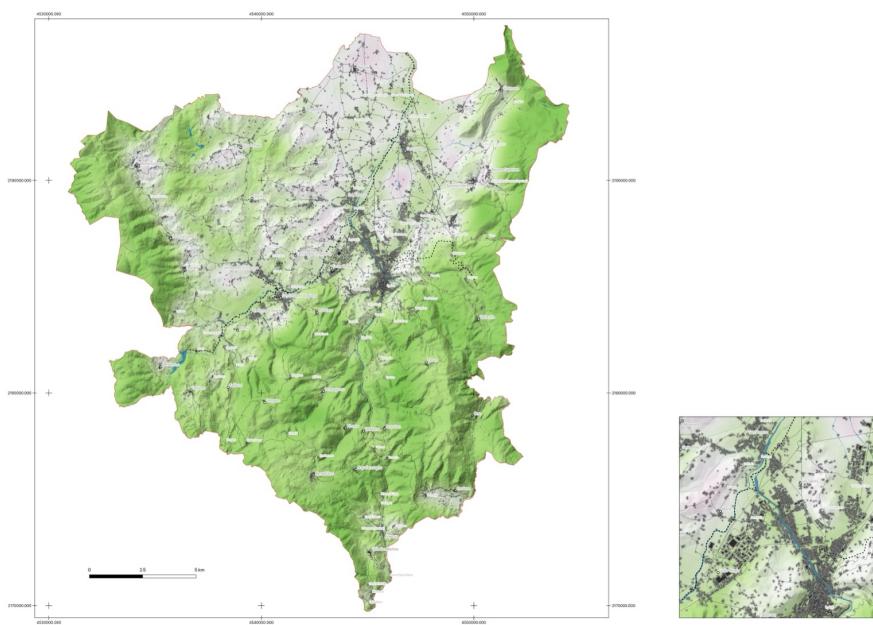


Figura 4.15: Mappa della vocazionalità

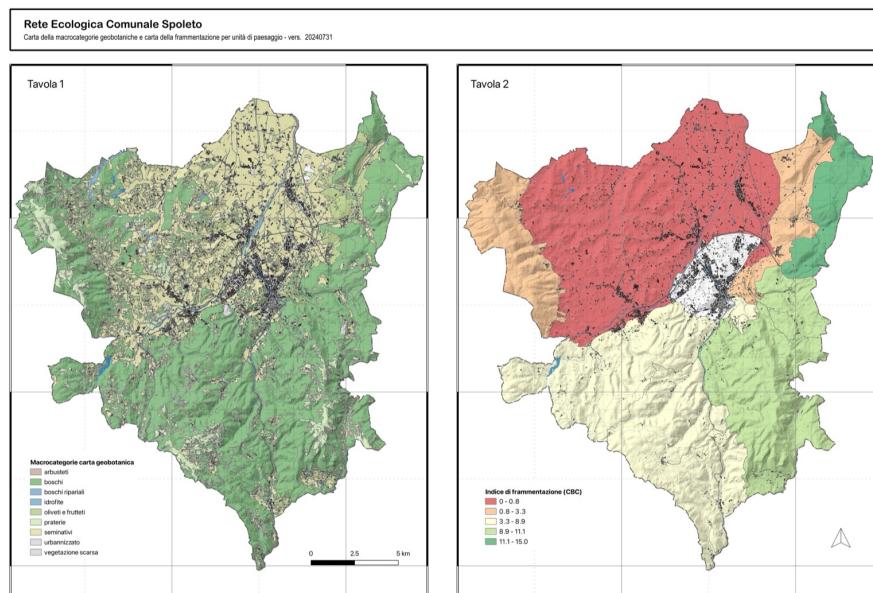


Figura 4.16: Mappa della frammentazione

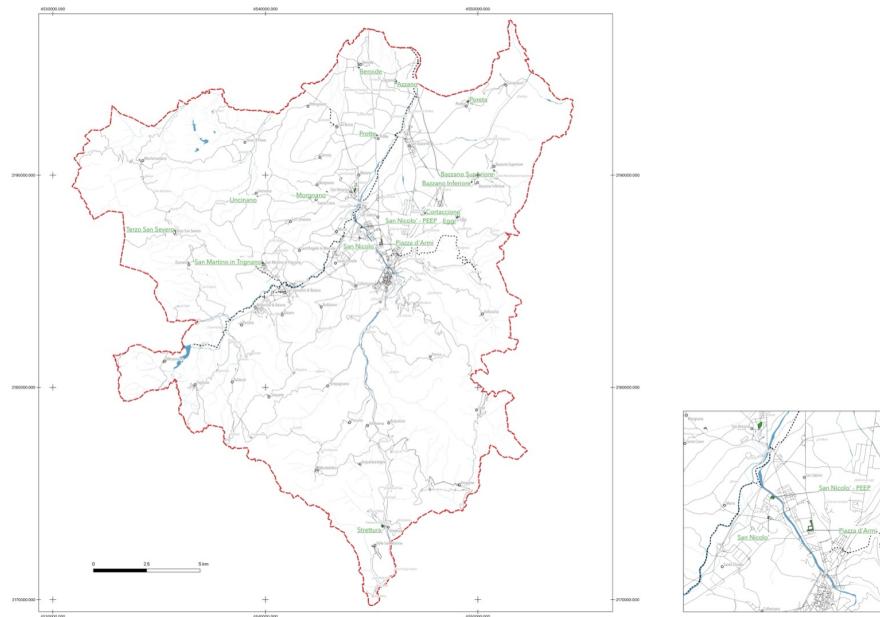


Figura 4.17: Mappa del verde attrezzato

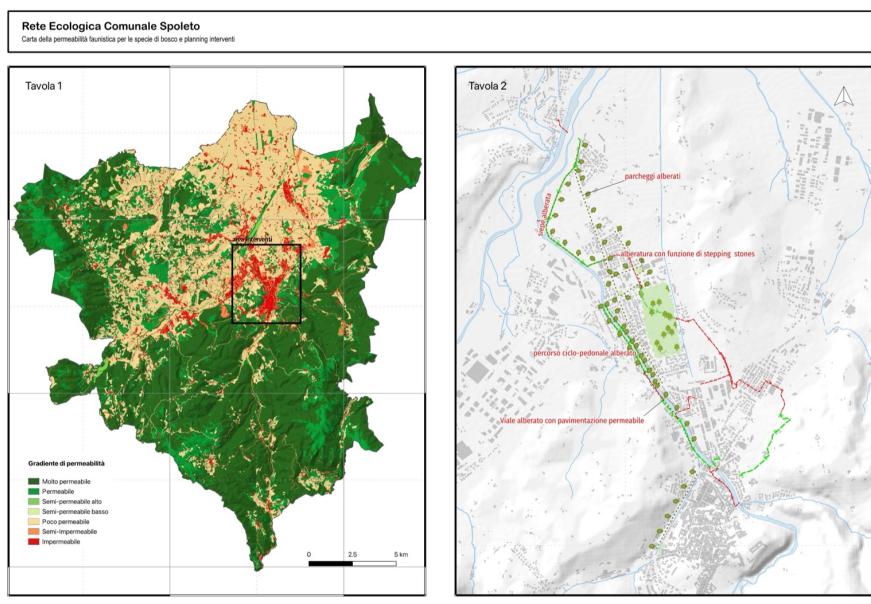


Figura 4.18: Mappa con focus sull'area di possibile intervento

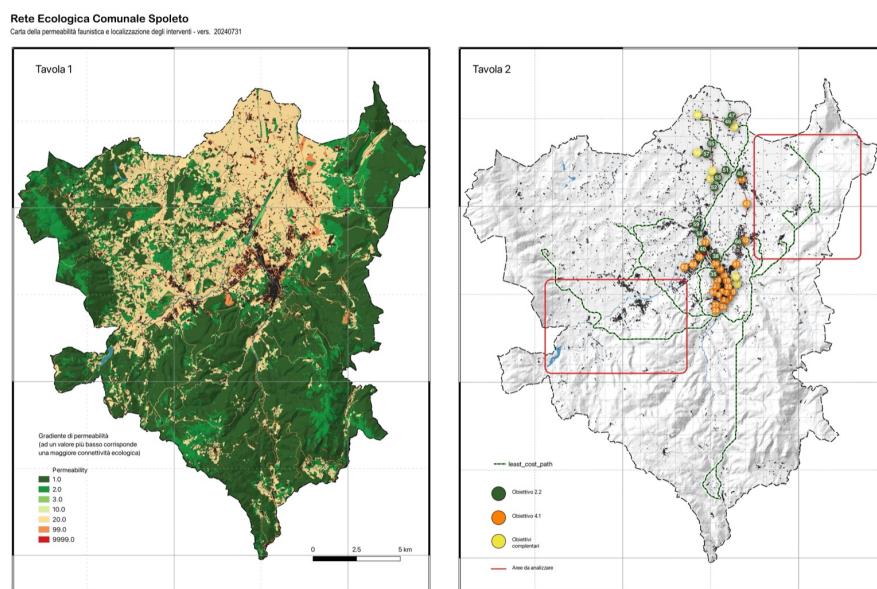


Figura 4.19: Mappa con interventi potenziali e linee di connessione faunistica potenziale

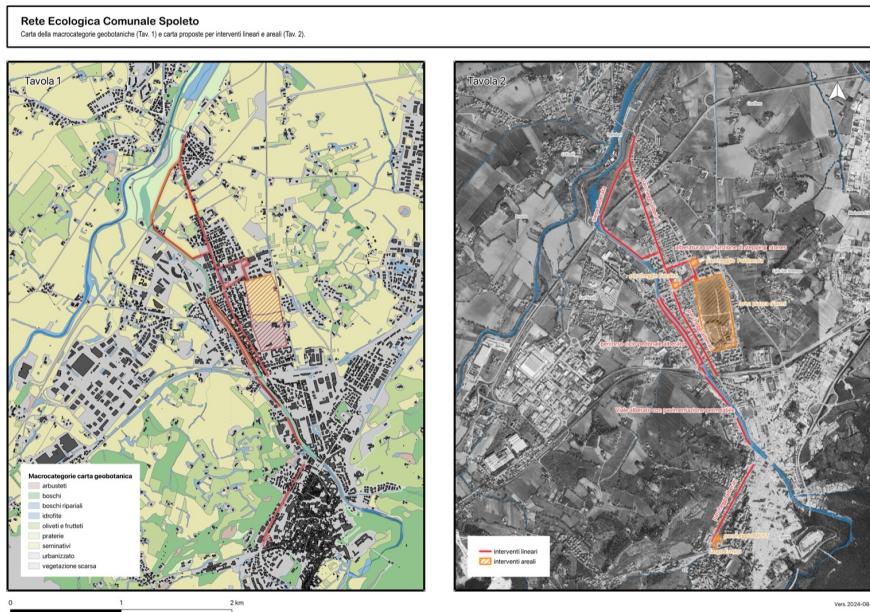


Figura 4.20: Mappa interventi lineari e areali potenziali



Figura 4.21: Mappa di possibile convergenza e sinergia tra le attività in programmazione per Agenda Urbana e con il progetto lifeIMAGINE

Capitolo 5

Disseminazione dei risultati

Durante lo sviluppo delle attività di progetto ci sono stati anche momenti di disseminazione, finalizzati a condividere i risultati finora raggiunti e a promuovere la diffusione presso le scuole, la comunità cittadina, i decisori politici e gli stakeholder territoriali. L’obiettivo è stato quello di contribuire a un dibattito aperto sulle questioni legate alla frammentazione territoriale e all’importanza della conservazione della biodiversità per sé e per lo sviluppo di un territorio che possa offrire servizi ecosistemici per il benessere dei cittadini.

Le attività di disseminazione sono state articolate attraverso diverse modalità comunicative (lezioni, presentazioni a convegni e incontri pubblici), al fine di raggiungere target differenziati e assicurare un’ampia diffusione dei contenuti.

Nella seconda metà del 2025 verrà rivolta una particolare attenzione alle azioni di sensibilizzazione per la messa a sistema di forme di scienza partecipata in tutto il territorio comunale. La citizen science rappresenta una rivoluzione nel modo di concepire la ricerca scientifica, trasformando i cittadini comuni in collaboratori attivi nella raccolta e, attraverso un’adeguata (in)formazione, nell’analisi dei dati. Attraverso piattaforme digitali intuitive, milioni di persone nel mondo contribuiscono quotidianamente a progetti di ricerca che spaziano dalla biodiversità alla salute pubblica. Il potenziale di raccolta dati di questi strumenti è straordinario. Progetti come Observation.org o iNaturalist, molto utili per la catalogazione della flora e fauna, hanno già raccolto milioni di osservazioni, creando database di dimensioni e granularità impossibili da mettere in campo con metodi tradizionali. La capillarità territoriale dei cittadini-scientifici permetterebbe anche ai gestori del territorio di monitorare fenomeni su scala globale con una densità spaziale e temporale senza precedenti. Tanto per fornire un quadro iniziale della situazione specifica relativa al comune di Spoleto si possono osservare le segnalazioni che sono già pervenute all’interno della piattaforma europea Observation.org, senza che ci siano state intense campagne informative e promozionali locali (Fig. 5.1).

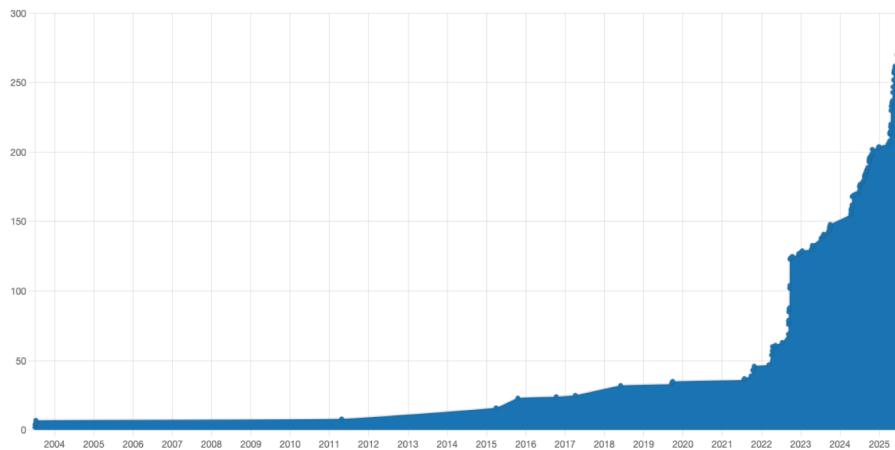


Figura 5.1: Trend delle segnalazioni naturalistiche pervenute all'interno della piattaforma di scienza partecipata [Observation.org](<https://observation.org>) (giugno 2025)

Molteplici e profondi sono i benefici per la comunità. A livello educativo, la partecipazione diretta alla ricerca aumenta la consapevolezza ambientale dei cittadini. Sul piano sociale, questi progetti creano reti di collaborazione che rafforzano il senso di appartenenza e responsabilità collettiva verso i beni comuni. Come evidenziato nel grafico siamo nel pieno del processo di crescita di questo fenomeno e restare indietro senza coglierne le potenzialità si rivelerebbe un'occasione persa per costruire una società più informata e scientificamente consapevole.

5.1 Eventi di disseminazione

Di seguito vengono elencati i principali eventi su scala locale in cui sono stati illustrati i risultati del progetto, le metodologie sviluppate e applicate e i prodotti cartografici realizzati:

- attività PCTO, ovvero Percorsi per le Competenze Trasversali e l’Orientamento, con le scuole secondarie di secondo grado (Istituto Tecnico Agrario della Valnerina di S. Anatolia di Narco, Istituto Tecnico e Professionale “Spagna - Campani” e Liceo Scientifico “Sansi Leonardi Volta” di Spoleto) presso il Punto digitale Facile - Digipass di Spoleto
- Convegno Fauna2024 - con un contributo dal titolo “Fauna in campagna: biodiversità e paesaggio rurale”
- Museo delle Scienze e del Territorio MUST di Spoleto - con un intervento sul tema “Diventare un citizen scientist per il monitoraggio della fauna minore”

- Convegno Fauna2025 - con un contributo dal titolo “Reti Ecologiche e Natura 2000: pianificazione e conservazione”

In Allegato I si riportano le diapositive delle presentazioni utilizzate durante questi momenti di condivisione e disseminazione.

Capitolo 6

Considerazioni conclusive

Le proiezioni demografiche indicano che nei prossimi decenni oltre il 65% della popolazione mondiale risiederà e lavorerà in contesti urbani (Ritchie et al., 2023). Benché la diversità specifica nelle città risulti generalmente ridotta rispetto agli habitat naturali, è stata documentata la presenza di un numero considerevole di specie (Heino et al., 2017; Weisser and Hauck, 2025; Fairbairn et al., 2024; Visintin et al., 2025; Méndez et al., 2024). In alcuni casi, gli ambienti urbani possono addirittura offrire rifugio anche a specie che sono valutate ad elevato rischio rischio di estinzione secondo i criteri dell'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN). Recenti analisi e meta-analisi condotte su un ampio gruppo di dataset ha evidenziato infatti come l'estensione complessiva delle aree verdi urbane, unitamente alla presenza di corridoi ecologici e a una struttura del verde articolata, costituisca un fattore determinante per la ricchezza specifica locale (Aronson et al., 2017; Beninde et al., 2015; Gill et al., 2007; Tzoulas et al., 2007).

In questo contesto di crescente urbanizzazione globale, anche il territorio spoletino assume un valore strategico particolare. Il quadro faunistico tracciato nella presente relazione evidenzia infatti l'elevato valore naturalistico di quest'area che richiede dunque un approccio gestionale equilibrato tra conservazione delle specie già note e promozione di ricerche per colmare le lacune conoscitive, specialmente nel mondo degli invertebrati che potrebbero riservare importanti sorprese dal punto di vista della biodiversità. La presenza di 113 specie tutelate dalla Direttiva Habitat (circa il 21% del totale) rafforza l'importanza dell'area e la necessità di proseguire nelle azioni di tutela e mantenimento dello stato del territorio attraverso strategie di conservazione oculate anche al di fuori delle aree Natura 2000. Gli uccelli e i mammiferi, essendo meglio conosciuti, possono costituire la base per immediate strategie di tutela, mentre per gli invertebrati serve un approccio prudenziale da valutare caso per caso.

L'incorporazione delle reti ecologiche nella pianificazione municipale rappresen-

ta un elemento strategico per assicurare uno sviluppo territoriale sostenibile, salvaguardando la biodiversità e rafforzando la resilienza ecosistemica. Per soddisfare in primo luogo il benessere dei propri cittadini le politiche territoriali e urbanistiche locali hanno il dovere di considerare l'interconnessione tra ambiti naturali e antropizzati, realizzando infrastrutture verdi e corridoi ecologici che supportino la fauna e la flora autoctone in un'ottica di quella multifunzionalità che garantisce simultaneamente servizi ecosistemici essenziali, qualità ambientale urbana e opportunità ricreative per la comunità locale (Fairbairn et al., 2024).

Il territorio spoletino attualmente presenta una pressione insediativa relativamente contenuta con meno del 6% ascrivibile ad area urbana in senso stretto. Anche la ripartizione tra aree boscate (46%) e aree agricole (circa 31% tra seminativi e oliveti) evidenzia un territorio che mantiene un buon equilibrio tra componenti naturali e attività umane tradizionali. Tuttavia, le analisi dei pattern spaziali danno conto della presenza di numerose tessere di piccole dimensioni, con processi di frammentazione in corso che costituiscono una minaccia per la continuità ecologica. Il basso indice di coesione (mediamente 9.56 su 100) segnala un certo grado di disconnessione tra le diverse componenti del paesaggio, con potenziali impatti negativi sulla biodiversità e sui servizi ecosistemici. La chiave di lettura principale è che ci troviamo davanti a un territorio che ha ancora le potenzialità per mantenere un equilibrio sostenibile, ma che richiede una serie di interventi diretti mirati a mantenere e migliorare le connessioni ecologiche, cruciali per garantire un buono stato di conservazione del sistema paesaggistico-ecologico.

In linea generale, gli strumenti di pianificazione e zonizzazione ecologica, quali i piani urbanistici e le normative sull'uso del suolo, hanno un ruolo determinante nella definizione di aree protette, corridoi verdi e zone di compensazione ambientale. Tali strumenti consentono di integrare la conservazione della natura nelle dinamiche urbane, mitigando l'impatto delle infrastrutture sul paesaggio naturale.

Grazie all'analisi dei pattern morfologici è stato possibile mettere in luce una chiara differenza nella struttura dell'habitat tra il territorio comunale nella sua interezza e quello della fascia collinare, rivelando l'importanza critica di quest'area a vocazione più produttiva. In una prospettiva generale il territorio si presenta con una struttura ecologica potenzialmente di buon livello, dominata da ampie aree Core (70.8%) con elevata connettività interna (Effective mesh size) e frammentazione limitata (Splitting Index: 6.88). Questo scenario configura un sistema ecologico robusto, dove i corridoi naturali e i ponti ecologici, seppur rappresentando percentuali modeste del territorio, svolgono ancora la loro funzione di collegamento. Il piano collinare rivela invece una realtà diversa: le aree Core si riducono drasticamente al 38.8% con un crollo dell'Effective mesh size e un incremento significativo della frammentazione (Splitting Index: 157.79). Particolarmente preoccupante è l'espansione delle aree Edge al 19.5%, che segnala una maggiore vulnerabilità degli habitat alle pressioni esterne. Allo stesso modo

numerosi sono gli elementi di connessione interrotti (Pattern 1/101), presenti con oltre 2000 patches nell'8.1% del territorio collinare, indicando la necessità di una pianificazione di una rete ecologica con interventi mirati soprattutto al ripristino della connettività. A dare conforto, è da notare la concentrazione delle Islet in clusters piuttosto che in frammenti completamente dispersi. Questa particolare configurazione offre opportunità concrete per strategie di riconnes-sione volte al potenziamento di stepping stones e dei corridoi verdi e blu, in primis l'area della greenway lungo il torrente Tessino e l'intero sistema delle aree umide.

In conclusione, l'analisi condotta conferma che il territorio esaminato si caratterizza come un paesaggio dinamico che mantiene un patrimonio forestale di grande valore e presenta numerose aree con significativo potenziale di connettività ecologica. Per valorizzare appieno queste risorse naturali è necessaria una stretta collaborazione tra amministrazione comunale e cittadinanza, finalizzata a costruire una visione condivisa del futuro territoriale e a realizzare progetti concreti di sviluppo sostenibile.

Capitolo 7

Programmazione 2025

7.1 Piano delle attività 2025

Il panel di obiettivi definiti per la seconda metà 2025 ha lo scopo di proseguire lo studio dei pattern del territorio spoletino e della biodiversità che lo caratterizzano. Ciò è finalizzato a fornire elementi di valutazione scientificamente solidi per lo sviluppo della rete ecologica comunale e conseguentemente a: i) supportare la biodiversità locale e ii) migliorare la qualità ambientale urbana e periurbana.

In particolare gli aspetti su cui verrà focalizzata l'attenzione saranno:

- **Proseguimento delle analisi dei Pattern Morfologici e Priorizzazione degli Interventi.** Tali attività prevedono la mappatura e lo studio di approfondimento delle caratteristiche morfologiche del territorio per identificare le aree strategiche per la creazione di corridoi ecologici. Da queste analisi potranno emergere indicazioni per la programmazione di interventi, basate su criteri di urgenza ecologica, fattibilità tecnica e impatto ambientale.
- **Valutazione degli Indicatori Ecologici.** Per questo obiettivo saranno indagati gli indicatori specifici per misurare e monitorare l'efficacia degli interventi di connettività ecologica, includendo parametri di biodiversità, qualità degli habitat e funzionalità ecosistemica.
- **Supporto agli Interventi dell'Agenda Urbana.** Questa attività di supporto tecnico potrà essere funzionale per l'implementazione degli interventi previsti da Agenda Urbana. Ciò garantirà l'integrazione degli obiettivi di sostenibilità ambientale e di tutela delle biodiversità nelle politiche di sviluppo territoriale, anche tenendo conto della componente a invertebrati.

- **Collaborazione ponte con il Progetto LIFE IMAGINE.** Questa azione garantirà il supporto operativo per le attività integrative previste dal progetto LIFE IMAGINE (LIFE19 IPE/IT/000015) coordinato da Regione Umbria. Il contributo sarà funzionale al raggiungimento degli obiettivi di conservazione e miglioramento degli ecosistemi urbani e periurbani municipali in coerenza con le finalità della Rete Ecologica Comunale.
- **Sviluppo di un Abaco degli Interventi.** Consisterà nella progettazione di un repertorio tecnico standardizzato di interventi per la definizione di linee guida operative relative alla riqualificazione e manutenzione urbana. L'abaco fornirà indicazioni pratiche in linea con gli obiettivi di progettazione e realizzazione di infrastrutture verdi e blu.
- **Proseguimento della Campagna di Citizen Science per il Monitoraggio Faunistico.** Proseguimento della campagna di sensibilizzazione e raccolta dati faunistici attraverso le piattaforme di scienza partecipata come ad es. Observation.org, coinvolgendo la cittadinanza in bioblitz, nel monitoraggio diffuso della biodiversità locale e nella creazione di una banca dati partecipativa comunale.

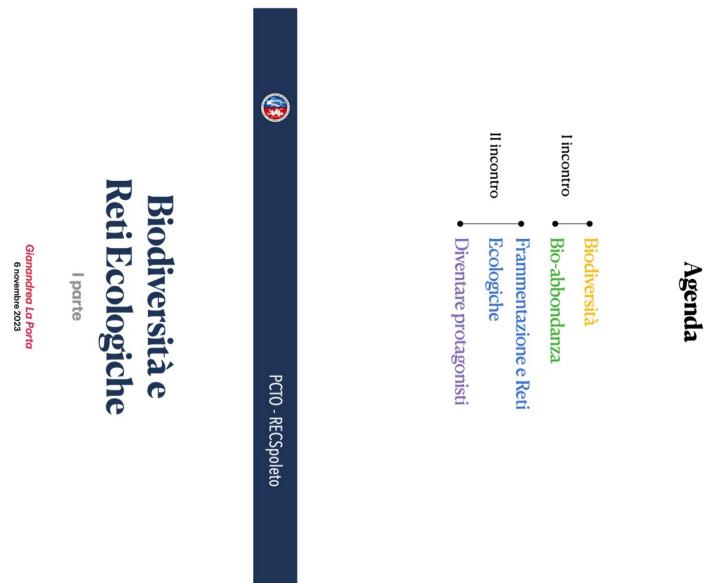
Capitolo 8

Allegato I

8.1 Layout diapositive

A seguire le slide delle presentazioni utilizzate durante gli eventi di disseminazione dei risultati della ricerca raggruppate per attività.

8.1.1 Attività PCTO (Percorsi per le Competenze Trasversali e l’Orientamento) su biodiversità e reti ecologiche





Thylacinus cynocephalus Harris, 1808

titacino - tigre della Tasmania



piccione migratore o colomba migratrice

Ectopistes migratorius (Linnaeus, 1766)

-182
specie

di uccelli dal 1500 ad oggi (16%)



- Biodiversity, also called biological diversity, the variety of life found in a place on Earth or, often, the total variety of life on Earth.
- A common measure of this variety, called **species richness**, is the count of species in an area.

Biodiversity

britannica.com

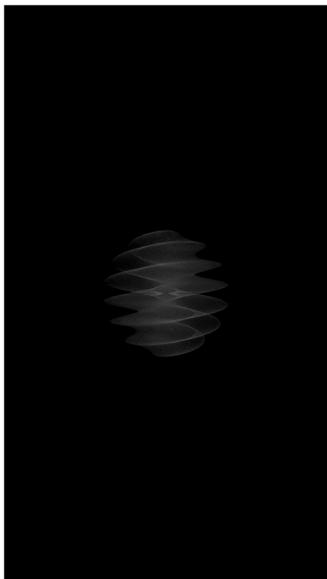
Italy
% sp vegetal
% sp animal
EU

Italia

% sp vegetal

% sp animal

EU



Scienza che studia
la distribuzione e
l'abbondanza
degli organismi...

Ecologia



Ritmo ecologico

... e delle
interazioni che
determinano tale
distribuzione e
abbondanza

Ecologia

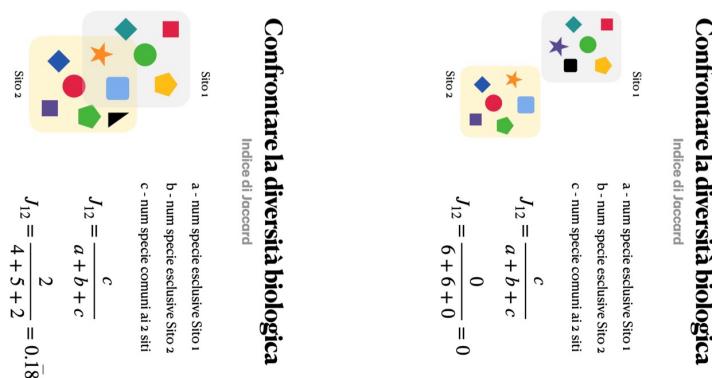
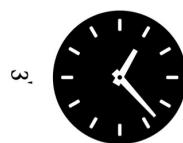


ecologia applicata



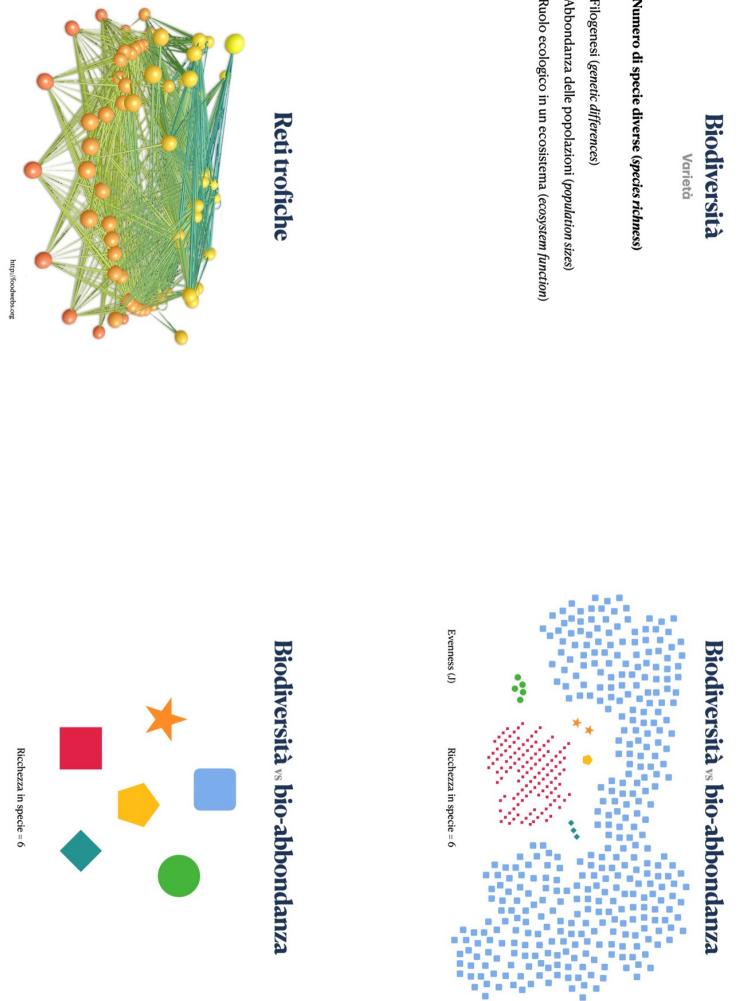
Ricchezza in specie = 6

Biodiversità











Biodiversità vs bio-abbondanza

Cause della perdita di biodiversità

premature extinctions



-83%

Percent of wild mammal biomass

Bur-On et al. 2018

41%

Percent of insect species threatened of extinction

Sommer-Skjær & Blythway 2019



Cause della perdita di biodiversità

Esempi
perdita, riduzione e frammentazione dell'habitat



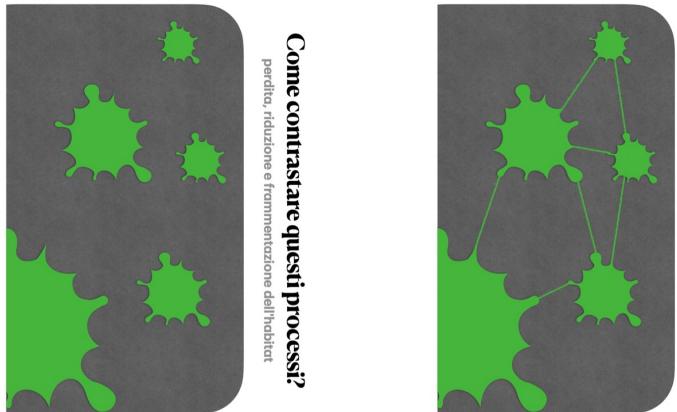
L'immagine ci mostra il **degrado dell'habitat attraverso l'inquinamento, i cambiamenti climatici e l'introduzione di specie invasive**.



Esempi
perdita, riduzione e frammentazione dell'habitat



Esempi
perdita, riduzione e frammentazione dell'habitat





PCTO - RECSpoleto

Biodiversità e Reti Ecologiche

Il parte

Gianfranco La Perga

22 novembre 2023

Agenda

- Fragmentazione e Reti Ecologiche
- Software QGIS
- Diventare protagonisti

Christmas Island

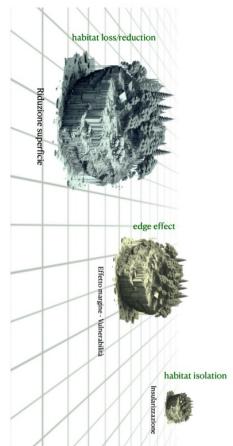
40/100 milioni di granchi rossi





Christmas Island

40/100 milioni di granchi rossi

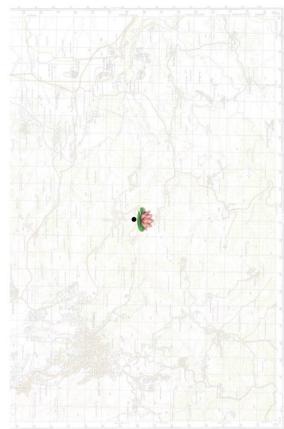


Frammentazione

patchiness - principali effetti

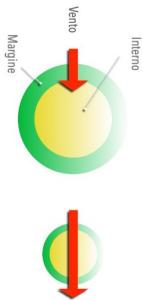


Come proteggere una specie

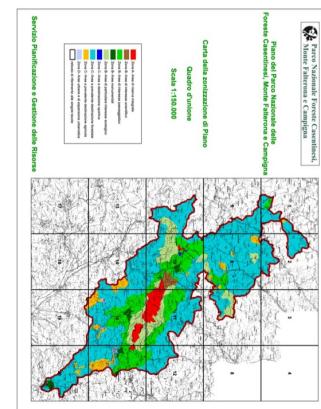
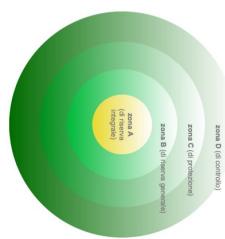


Edge and "Edge effect"

effetto di una perturbazione su diverse grandezze

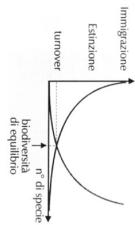


La zonizzazione



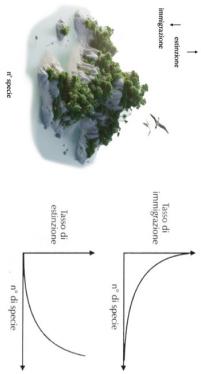
Teoria della biogeografia insulare

biodiversità di equilibrio



Teoria della biogeografia insulare

isolamento



Teoria della biogeografia insulare

[isole geografiche vs isole terrestri]

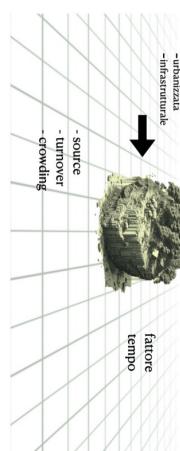
Matrice terrestre

- agricola
- urbanizzata
- infrastrutturale

source

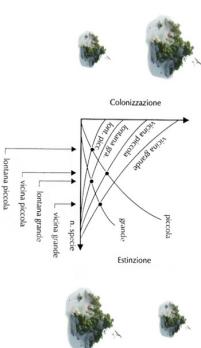
- turnover

- crowding



Teoria della biogeografia insulare

effetto della distanza e della dimensione



Aree protette

rete di siti più grande, migliore e più unita (Lawton, 2010)

- proteggere ciò che abbiamo e migliorare la qualità con una migliore gestione;

- aumentare le dimensioni dei siti funzionali;

- migliorare la connessione creando nuovi corridoi umistici o stepping stones;

- creare nuovi siti;

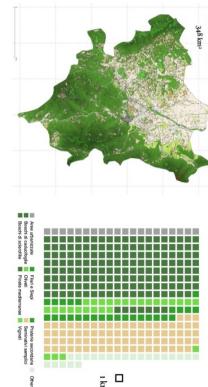
- ridurre la pressione sulla fauna selvatica, migliorando l'ambiente in generale, anche attraverso la protezione dei siti funzionali.



Map of Italy showing the network of National Parks (Parco Nazionale). Source: Italian Ministry of Environment, Land and Sea.

Reti Ecologiche

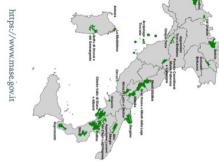
descrizione del territorio di indagine



Aree protette

Parchi Nazionali in Italia

- una vasta area
- che serve protezione per la presenza di flora e fauna di pregio, di importanti formazioni geologiche e di bellezze paesaggistiche;
- che mira alla valorizzazione della crescita e del turismo,
- che dà spazio allo sfruttamento umano per fornire un reddito alle popolazioni locali
- dove è vietato cacciare

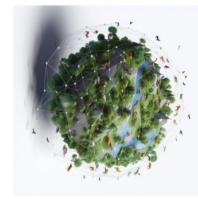


https://www.mmae.gov.it

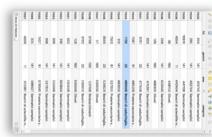
Reti Ecologiche

"sistema interconnesso di habitat, di cui salvaguardare la biodiversità"

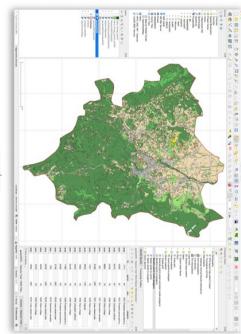
- biodiversity conservation
- association with ecological service systems
- spatiotemporal evolution of ecological networks
- construction of urban green space



https://www.mmae.gov.it



Software GIS
dal disegno ai dati



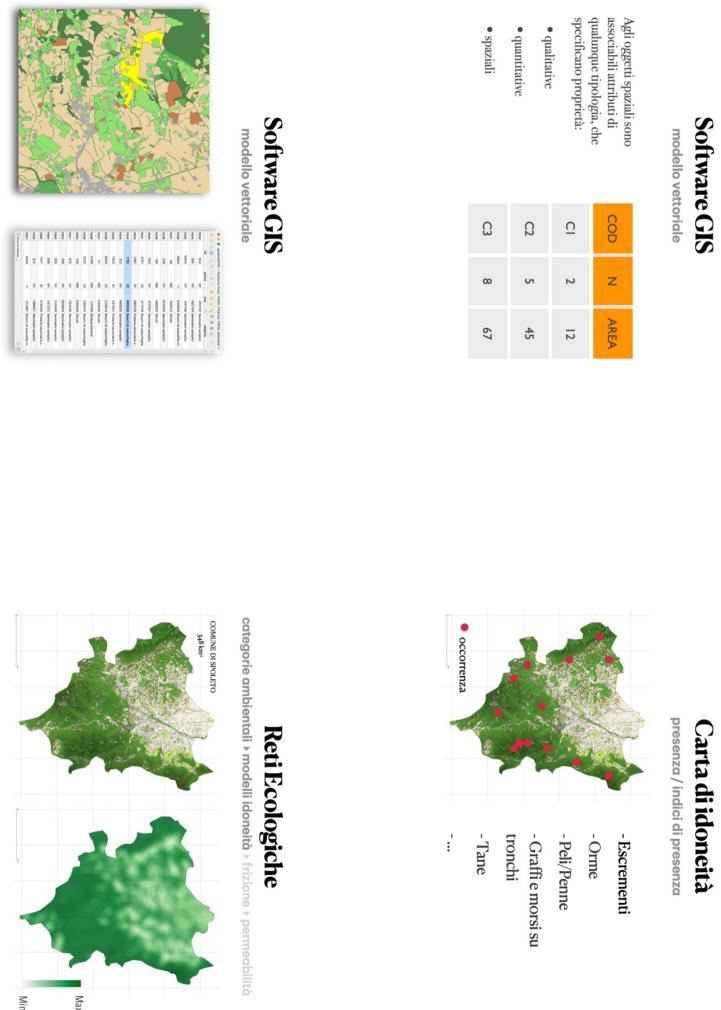
Software GIS - QGIS

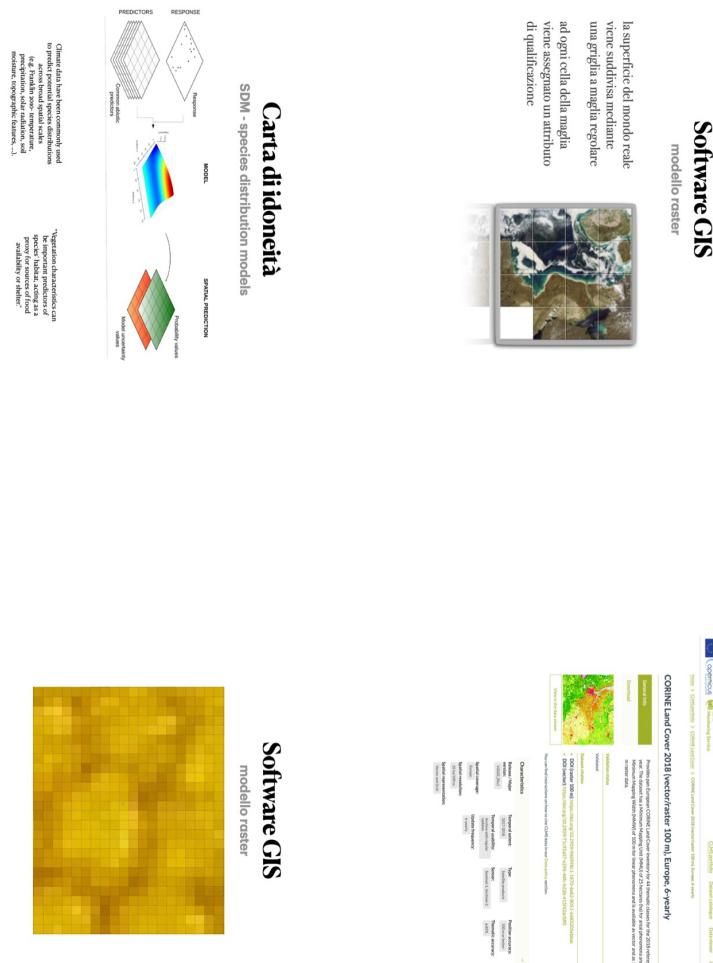


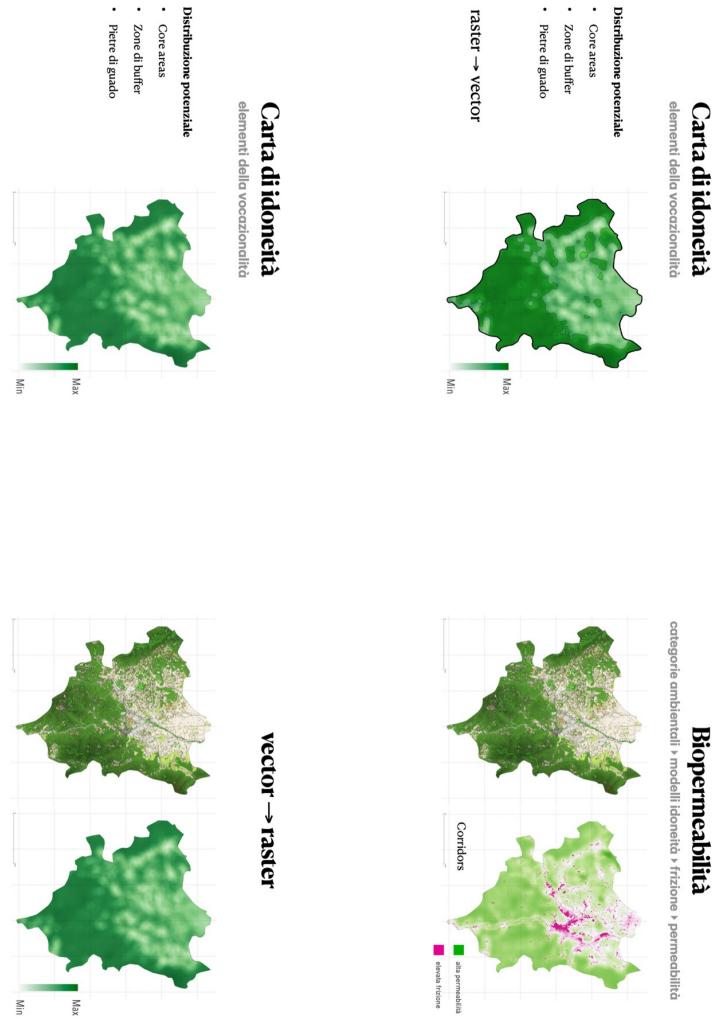
Sistemi Informativi Geografici
modello simbolico del mondo reale



Software GIS
tavolo degli attributi









Reti ecologiche e verde urbano

[Le aree urbane non sono deserti ecologici]

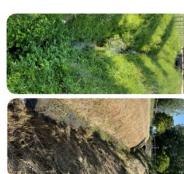
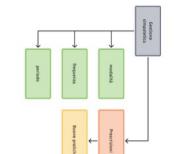
- corridoi urbani vs corridi ecologici
 - bordi stradali
 - rotonde
 - filari alberati
 - margini ferrovieri
 - fossi e torrenti
 - verde urbano
- *Think global, act local*



Rendere più verdi le città

[↑ - senso di benessere, migliore attenzione]

- All for One health
- rhs.org.uk - *plants for wildlife*
 - uccelli, insettori, lepidotteri,...
- benefici per animali insettivori
- legno morto e sapprovviti



Gestione simpatetica

[Servizi ecosistemici di una foresta urbana]



Slides
gianandrea.laporta@unipg.it



<https://tinyurl.com/yrdkusi>

<https://tinyurl.com/yb2yrmw>

Programma attività

Aula informatica - DIGIPASS Spoleto

✓ Incontro #1 ◉ 3h

Introduzione a QGIS e Concetti di Sistemi Informativi Territoriali

✓ Incontro #2 ◉ 3h

Lavorare con Dati e Strumenti di Analisi in QGIS

✓ Incontro #3 ◉ 3h

Progettazione di Mappe e Output Cartografici

PCTO - RECSpoleto

Software GIS e Rete Ecologica Comunale

I incontro

Gianandrea La Porta & Federica Andreini
22 gennaio 2024

| Agenda | |
|---------------|---|
| I incontro | Introduzione a QGIS Presentazione del software QGIS e delle sue funzionalità principali Analisi dei dati geografici Creazione di un nuovo progetto Discussione sull'importanza dei GIS in diversi settori (ambiente, urbanistica, ecologia, ecc.) |
| II incontro | |
| III incontro | |

QGIS

A Free and Open Source Geographic Information System

Show your QGIS love with Map from our shape!

www.qgis.org

QGIS Tutorials

QGIS Training Manual | QGIS Esercitazioni e Suggerimenti

Impostazione carta di base e caricamento layer

primi passi in QGIS

- ▶ XYZ Tiles
- ▶ OpenStreetMap
- ▶ Browser
 - ▶ caricare layer 'unità di paesaggio'
- ▶ Scale
 - ▶ impostare la scala numerica a 1:125.000
- ▶ EPSG
 - ▶ 3035 (ETRS89)

Barra degli strumenti

pan selezione zoom

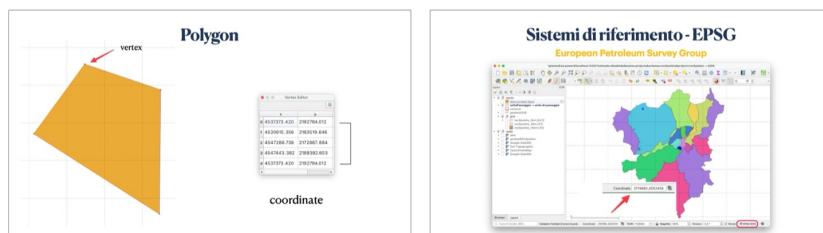
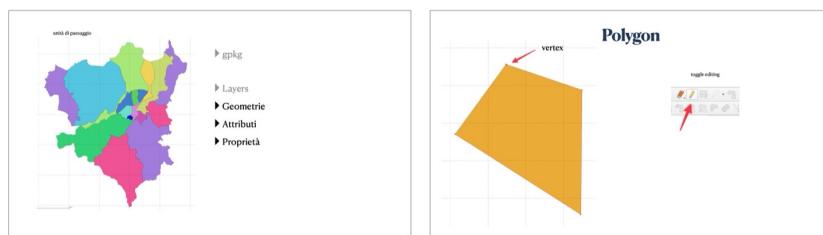
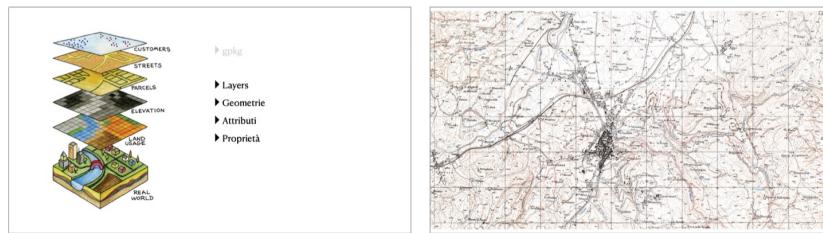
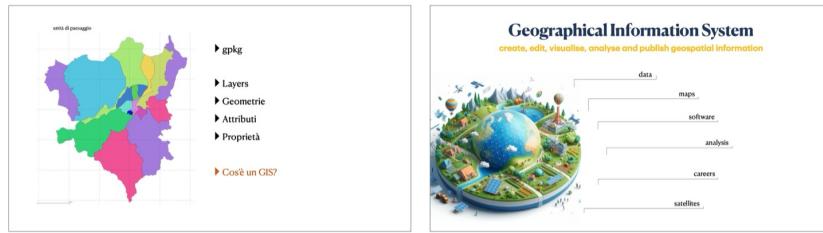
Impostazione della cartella di lavoro

Nome della cartella: **Unità di paesaggio**

Carta di base: **OpenStreetMap**

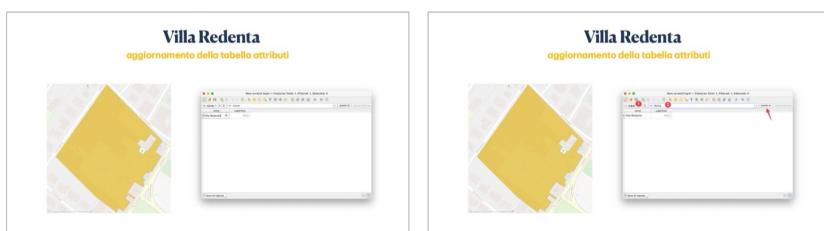
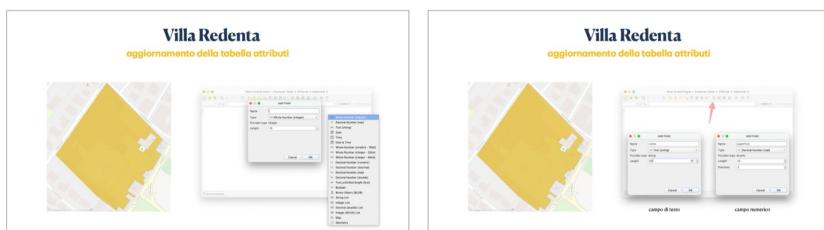
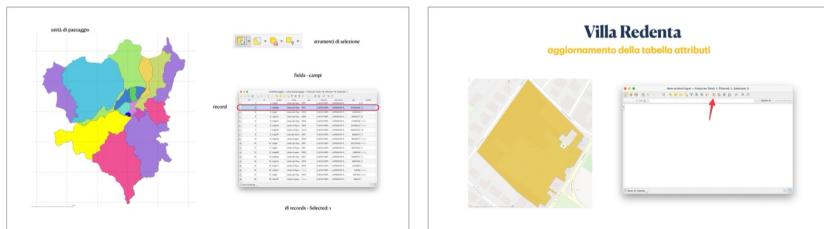
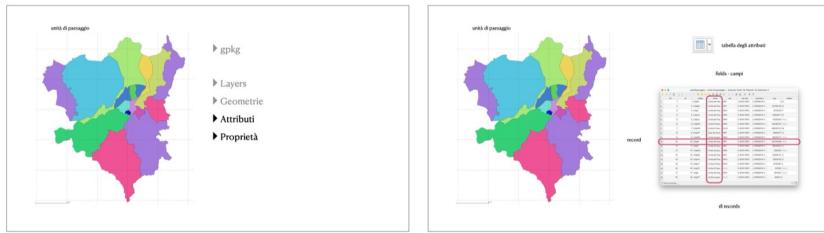
Scalare: **1:125.000**

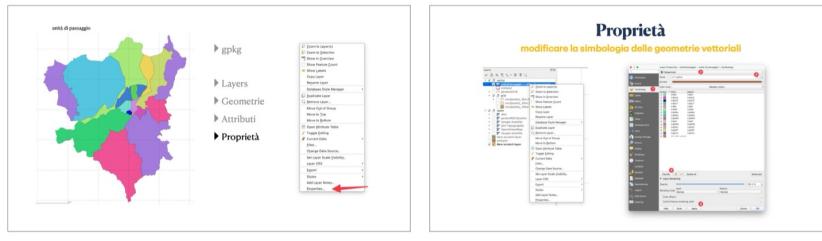
EPSG: **3035 (ETRS89)**



The collage consists of six screenshots arranged in two columns and three rows:

- Top Left:** A diagram titled "Sistemi di riferimento - EPSG European Petroleum Survey Group" showing the conversion from "Coordinate geografiche" (ϕ, λ) to "Coordinate cartografiche" (y, x). It includes icons of the Earth and a map.
- Top Right:** A diagram titled "Polygon" showing two polygons on a grid. One polygon has a red arrow pointing to a vertex labeled "vertex".
- Middle Left:** A diagram titled "Polygon" showing two polygons on a grid. One polygon has a red arrow pointing to a vertex labeled "vertex".
- Middle Right:** A diagram titled "Polygon" showing two polygons on a grid. One polygon has a red arrow pointing to a vertex labeled "vertex".
- Bottom Left:** A screenshot of the QGIS interface titled "Temporary Scratch layer" showing the "add polygon" toolbar icon highlighted with a red arrow. It also shows the "New Temporary Scratch Layer" dialog box.
- Bottom Right:** A screenshot of the QGIS interface titled "Temporary Scratch layer" showing a map with a green polygon. Instructions say: "► punta dove vuoi inserire un vertice (nodo) ► per terminare click con tasto destro del mouse".
- Bottom Left (Challenge #1):** A screenshot titled "Challenge #1" with the subtitle "delineazione del perimetro del giardino di Villa Redenta". It shows a map of a garden area with a yellow boundary. Instructions: "in 6 minuti di tempo:
► trova Villa Redenta
► imposta la scala di visualizzazione a 1:500
► crea un nuovo layer
► delimita l'area
► come creare un buco?"
- Bottom Right (Advanced Digitizing Toolbar):** A screenshot titled "Advanced Digitizing Toolbar" with the subtitle "strumenti avanzati per il perfezionamento delle geometrie". It shows the toolbar with various editing icons and a legend indicating "adding" and "reshape feature".





Google Satellite
uso delle XYZ Tiles

[https://mt1.google.com/vt/lyrs=s&x=\(x\)&y=\(y\)&z=\(z\)](https://mt1.google.com/vt/lyrs=s&x=(x)&y=(y)&z=(z))

Challenge #2
delimitazione sentiero su Greenway e conteggio alberi

in 15 minuti di tempo:

- ▶ trova la Greenway
- ▶ imposta la scala di visualizzazione a 1:500
- ▶ carica Google Satellite
- ▶ delimita il tracciato
- ▶ segna i punti degli alberi

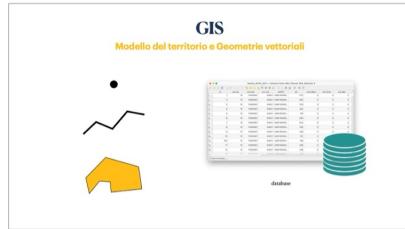
Challenge #2
delimitazione sentiero su Greenway e conteggio alberi

Challenge #2
delimitazione sentiero su Greenway e conteggio alberi

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali

- **strutture fisiche:** persone, edifici, strade, ferrovie, fiumi,...
- **eventi:** incidenti stradali, manifestazioni, atti criminosi,...
- ...



Software GIS e Rete Ecologica Comunale

II incontro

Gianandrea La Porta & Federica Andreini
23 gennaio 2024

Agenda

I incontro

Introduzione a QGIS/Presentazione del software QGIS e delle sue funzionalità principali. Introduzione alla geospatialità con QGIS: punto, linea, poligono, puntelli, **Creatore di un nuovo layer**, **Caricamento di dati personali**, **Discussione sull'importanza dei GIS in diversi settori (ambiente, urbanistico, amministrativo).**

II incontro

Creatura e Analisi dei Dati/Presentazione dei dati in input all'interno di un progetto QGIS/Elementi di selezione e interazione degli attributi/Elaborazione e stile dei dati vettoriali e raster/Creatore e modifica di dati vettoriali/Analisi spaziale/Caricamento di dati vettoriali e raster/Introduzione agli strumenti di analisi spaziali in QGIS/Calcolo di aree e lunghezze.

III incontro

Challenge #1 delimitazione del perimetro del giardino di Villa Redenta

- trova Villa Redenta
- imposta la scala di visualizzazione a 1:500
- crea un nuovo layer
- delimita l'area
- come creare un buco?

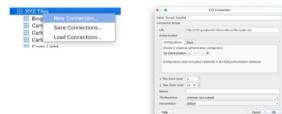


Advanced Digitizing Toolbar strumenti avanzati per il perfezionamento delle geometrie





Google Satellite
uso delle XYZ Tiles



<https://mt1.google.com/vt/lyrs=s&x={x}&y={y}&z={z}>

Salvare un progetto



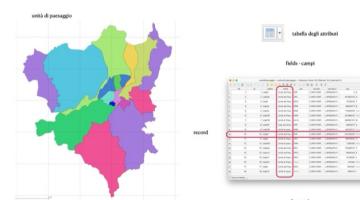
Salvare un layer

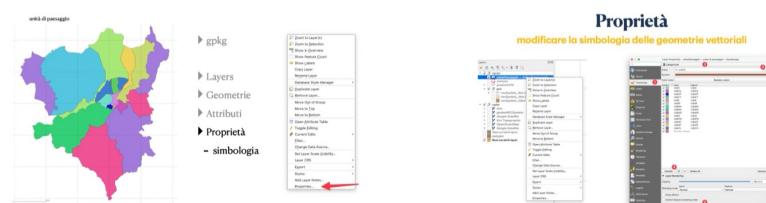
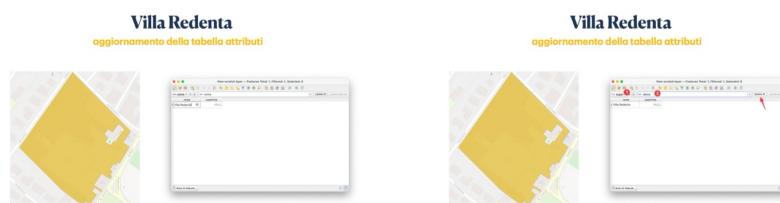
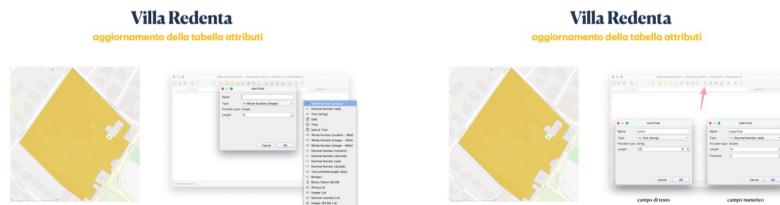
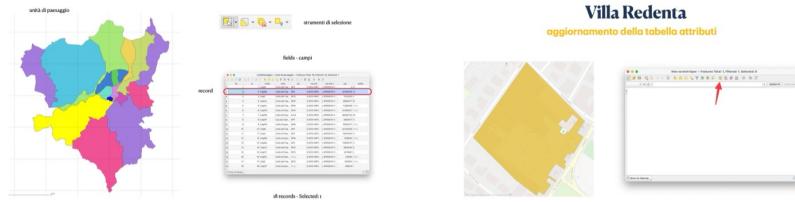


Salvare un layer temporaneo



- ▶ gpkg
 - ▶ Layers
 - ▶ Geometrie
 - ▶ Attributi
 - ▶ Proprietà





Challenge #2
delimitazione sentiero su Greenway e conteggio alberi

in 15 minuti di tempo:

- trova la Greenway
- imposta la scala di visualizzazione a 1:500
- carica Google Satellite
- delimita il tracciato
- segna i punti degli alberi

Challenge #2
delimitazione sentiero su Greenway e conteggio alberi

Challenge #2
estrazione delle coordinate

Challenge #2
estrazione delle coordinate

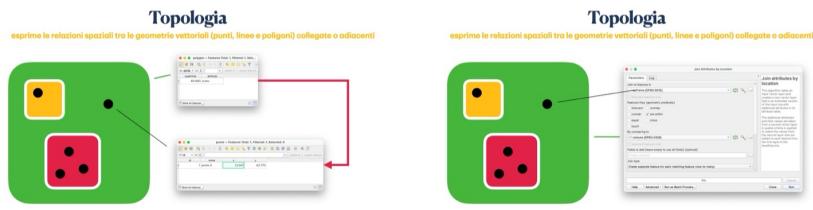
Attributi in tabella
short and long format

| descrizione | specie | castagno | poppo | albero |
|-------------|----------|----------|-------|--------|
| albero | castagno | 1 | 0 | 1 |
| edificio | cipolla | 1 | 0 | 1 |
| animale | pioppo | 0 | 1 | 1 |
| toponimo | pioppo | 0 | 1 | 1 |
| topo | pioppo | 0 | 1 | 1 |

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali



Challenge #3

analisi dati spaziali di 3 specie

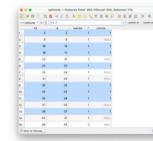
- in 15 minuti di tempo:
- ▶ grafica in modo differenziato le segnalazioni ricadono fuori e dentro il comune di Spoleto
 - ▶ quanti punti per ciascuna specie cadono dentro e fuori il comune
 - ▶ individua la specie più abbondante nei castagneti di Montebibico



Challenge #3

analisi dati spaziali di 3 specie

- in 15 minuti di tempo:
- ▶ grafica in modo differenziato le segnalazioni ricadono fuori e dentro il comune di Spoleto
 - ▶ quanti punti per ciascuna specie cadono dentro e fuori il comune
 - ▶ individua la specie più abbondante nei castagneti di Montebibico



Challenge #5

analisi dati spaziali di 3 specie

- in 15 minuti di tempo:
- ▶ grafica in modo differenziato le segnalazioni ricadono fuori e dentro il comune di Spoleto
 - ▶ quanti punti per ciascuna specie cadono dentro e fuori il comune
 - ▶ individua la specie più abbondante nei castagneti di Montebibico



Filtrare le informazioni

query



Filtrare le informazioni
Query builder - selecting data

concat(species,comune)

Challenge #4
Analisi dati spaziali a criteri multipli

In 7 minuti di tempo:

- mostrare in mappa tutte le segnalazioni della specie #2 che ricadono in zone agricole nell'unità di paesaggio "Monti Martani"
- utilizzare il Query builder!

PCTO - RECSpoleto

Software GIS e Rete Ecologica Comunale

III incontro

Gianandrea La Porta & Federico Andreini
25 gennaio 2024

Agenda

I incontro

Introduzione a QGIS-Presentazione del software QGIS e delle sue funzionalità principali. Creazione di un nuovo progetto QGIS partendo dagli strumenti dei modelli.

II incontro

Creazione e Analisi dei Data-Layer/strutture dati in layer all'interno di un progetto QGIS. Strumenti di selezione e interazione degli attributi. Nominologia e ruolo dei dati vettoriali e raster. Creazione e modifica di dati vettoriali. Creazione di una nuova cartografia basata sui dati vettoriali e sulle analisi spaziali in QGIS.

III incontro

Elementi di topologia e strumenti relativi in QGIS. Creazione di una nuova carta di uso del suolo e gestione delle geometrie e degli attributi.

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali

dimensionale

uni-dimensionale

bi-dimensionale

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali

radiali,
ROSSONO

GIS

Modello del territorio e Geometrie vettoriali

**Topologia**

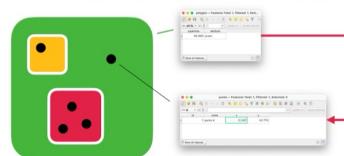
esprime le relazioni spaziali tra le geometrie vettoriali (punti, linee e poligoni) collegate o adiacenti

**Topologia**

esprime le relazioni spaziali tra le geometrie vettoriali (punti, linee e poligoni) collegate o adiacenti

**Topologia**

esprime le relazioni spaziali tra le geometrie vettoriali (punti, linee e poligoni) collegate o adiacenti

**Topologia**

esprime le relazioni spaziali tra le geometrie vettoriali (punti, linee e poligoni) collegate o adiacenti

**Challenge #3**

analisi dati spaziali di 3 specie

- grafica in modo differenziato le segnalazioni ricadono fuori e dentro il comune di Spoleto
- quanti punti per ciascuna specie cadono dentro e fuori il comune
- individua la specie più abbondante nei castagneti di Montebibico

**Challenge #5**

analisi dati spaziali di 3 specie

in 15 minuti di tempo:

- grafica in modo differenziato le segnalazioni ricadono fuori e dentro il comune di Spoleto
- quanti punti per ciascuna specie cadono dentro e fuori il comune
- individua la specie più abbondante nei castagneti di Montebibico

**Challenge #5**

analisi dati spaziali di 3 specie

in 15 minuti di tempo:

- grafica in modo differenziato le segnalazioni ricadono fuori e dentro il comune di Spoleto
- quanti punti per ciascuna specie cadono dentro e fuori il comune
- individua la specie più abbondante nei castagneti di Montebibico





Challenge #4

analisi dati spaziali a criteri multipli

in 7 minuti di tempo:

- mostrare in mappa tutte le segnalazioni della specie #2 che ricadono in zone agricole nell'unità di paesaggio "Monti Martani"
- utilizzare il Query builder!



Topologia

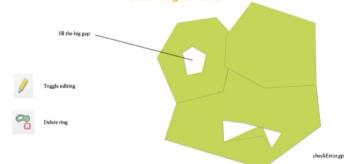
controllo geometrico



- aree di sovrapposizione (overlap)
- zone non riempite (gaps)

Topologia

controllo geometrico

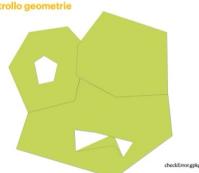


Topologia

controllo geometrico

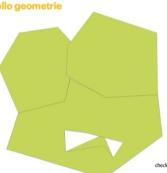


topology checker



Topologia

controllo geometrico



Topologia
controllo geometrie

Challenge #5
creare una nuova carta di uso del suolo

- ▶ caricare layers
 - area di studio
 - geoportali satellitari
- ▶ creare le geometrie (poligoni) degli elementi
 - bosco
 - aree agricole
 - siepi e filari
 - uliveti
 - edificato
- ▶ per ogni elemento descrivere la categoria nella tabella degli attributi



8.1.2 Incontro pubblico: Diventare un citizen scientist monitoraggio della fauna minore

Grandi cambiamenti e nuove sfide

Climate change Alien invasion Insect apocalypse

#2 partecipare a progetti di CS

La Citizen science è qualsiasi attività che coinvolge il pubblico nella ricerca scientifica.

https://eu-citizen.science/

Comune di Spoleto

Diventare un citizen scientist
monitoraggio della fauna minore

Museo delle Scienze e del Territorio
Spoleto, 26 luglio 2024

Federica Andreini
federica.andreini@comune.spoleto.pg.it

Gianandrea La Porta
gianandrea.laporta@unipi.it

#1 diventare uno scienziato

Maria Skłodowska Curie

6 steps

```

graph TD
    A[Observation] --> B[Question]
    B --> C[Hypothesis]
    C --> D[Experiment]
    D --> E[Analysis]
    E --> F[Conclusion]
    F --> A
    style A fill:none,stroke:none
    style B fill:none,stroke:none
    style C fill:none,stroke:none
    style D fill:none,stroke:none
    style E fill:none,stroke:none
    style F fill:none,stroke:none
    
```

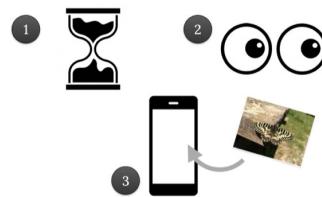


Da spettatore a protagonista: diventare un citizen scientist

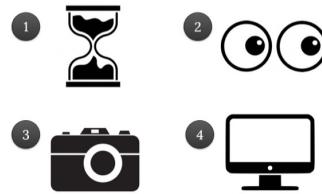
- aumentare la propria consapevolezza
- ridurre i comportamenti negativi
- collaborare a studi e monitoraggi su grande scala spaziale e temporale
- beneficiare dei vantaggi derivanti dalla scienza aperta (open science)



Diventare un citizen scientist



Diventare un citizen scientist

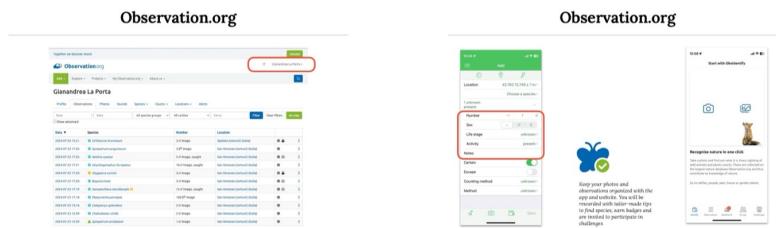
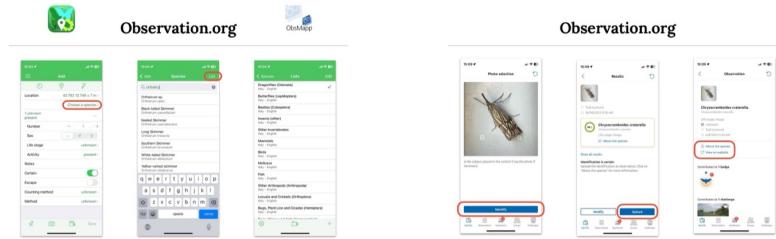


Observation.org



Applicazioni per smartphone





Applicazioni per smartphone

Piante Uccelli California Academy of Sciences

PlantNet Merlin Bird ID Naturalist Seek

Ornitomo iObs Naturalist Seek

Observation International
We operate under EU privacy laws.

Ornitomo

Android

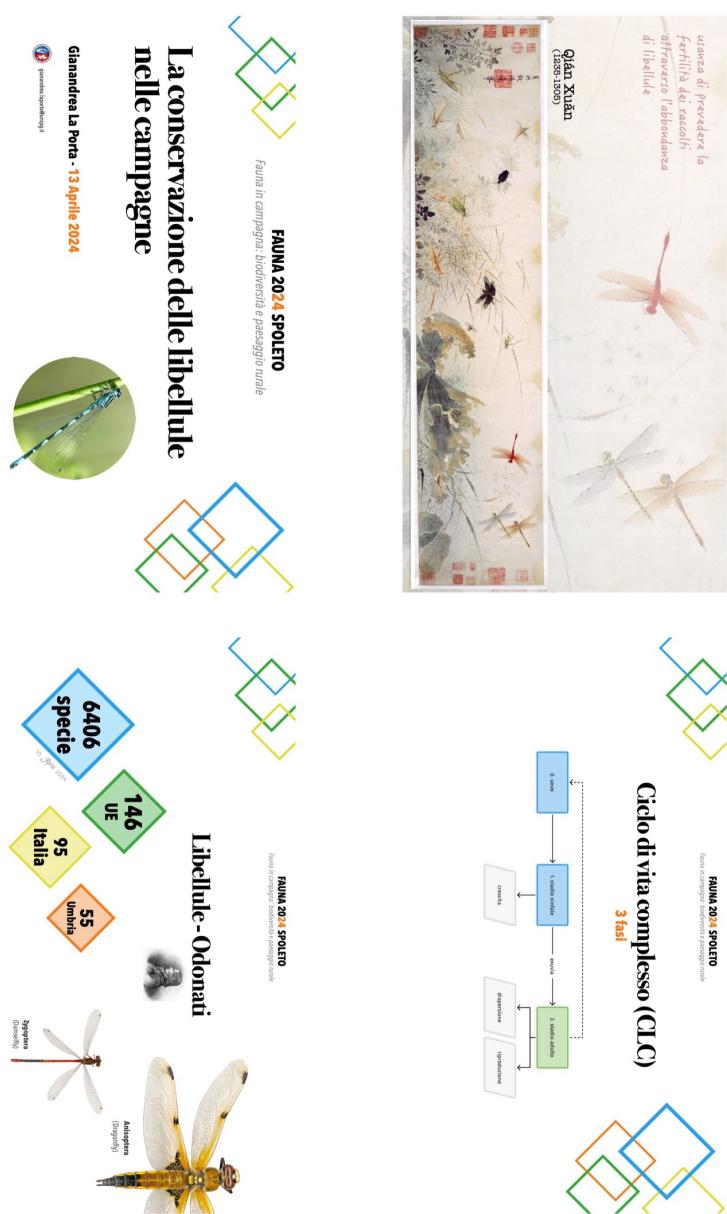
Da spettatore a protagonista

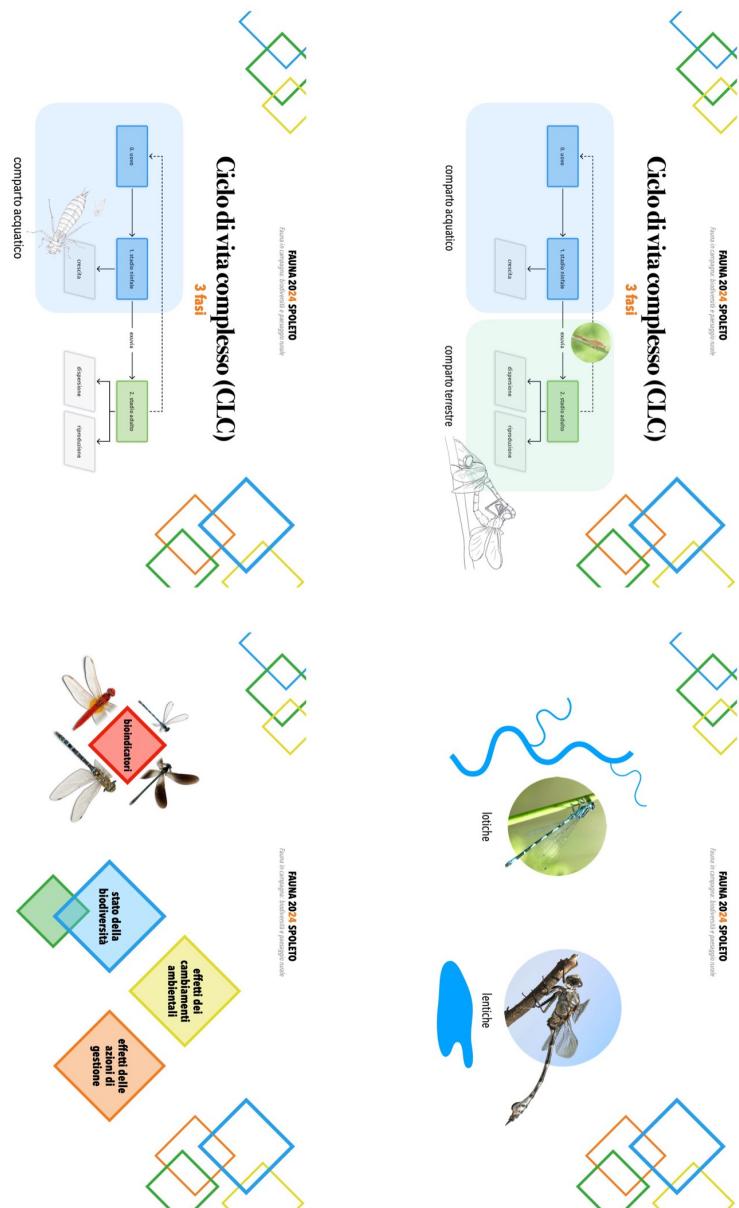
buone osservazioni!

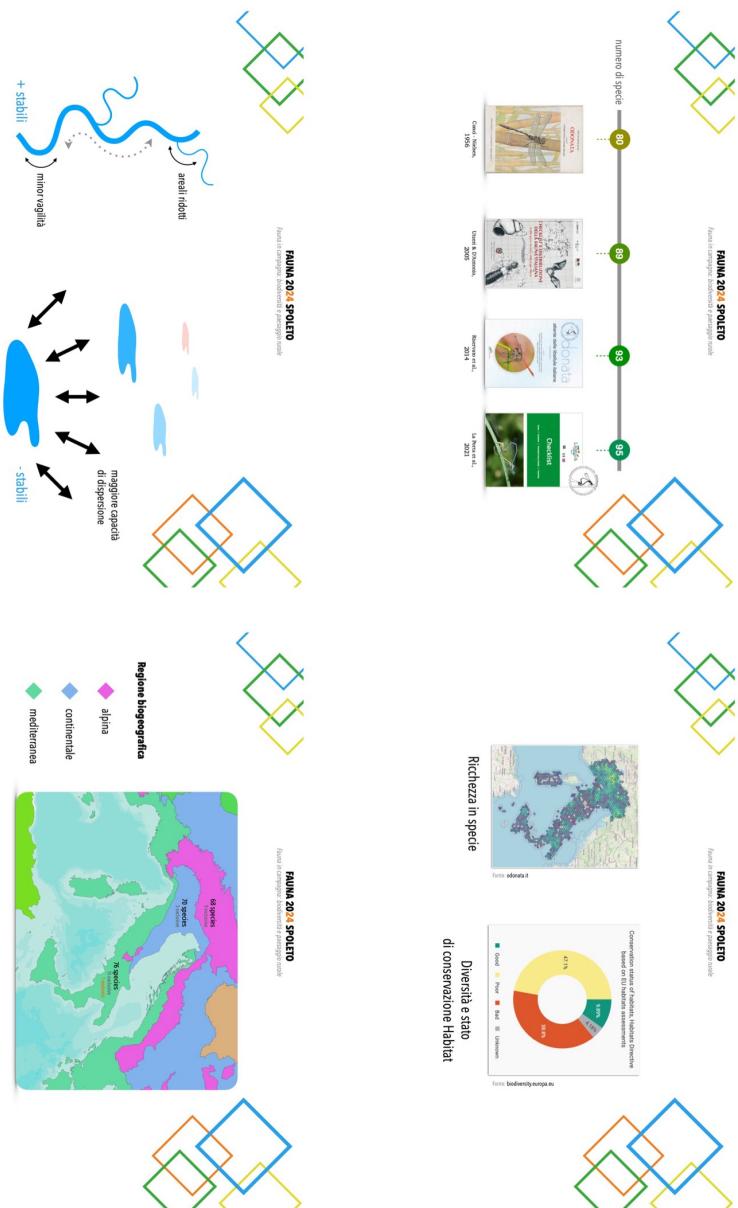
Federica Andreini
federica.andreini@unimore.it

Gianandrea La Porta
gianandrea.laporta@unipg.it

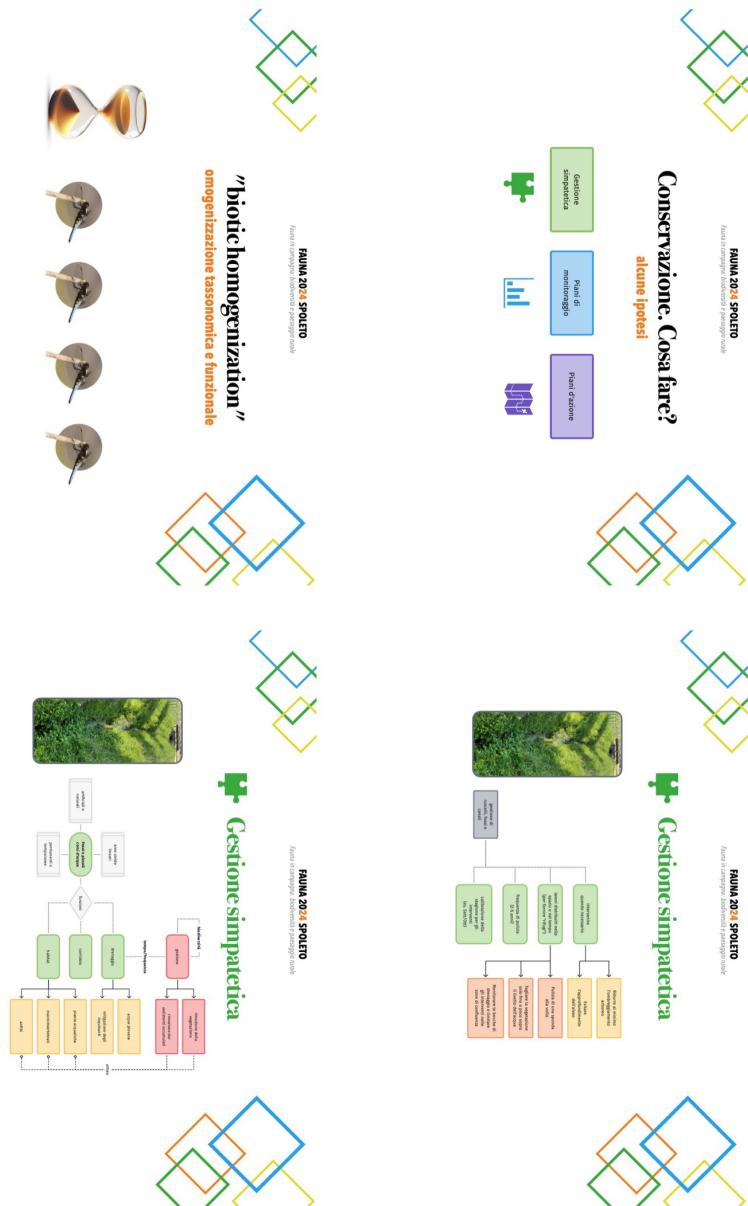
8.1.3 Convegno Fauna 2024 con contributo dal titolo: La conservazione delle libellule nelle campagne

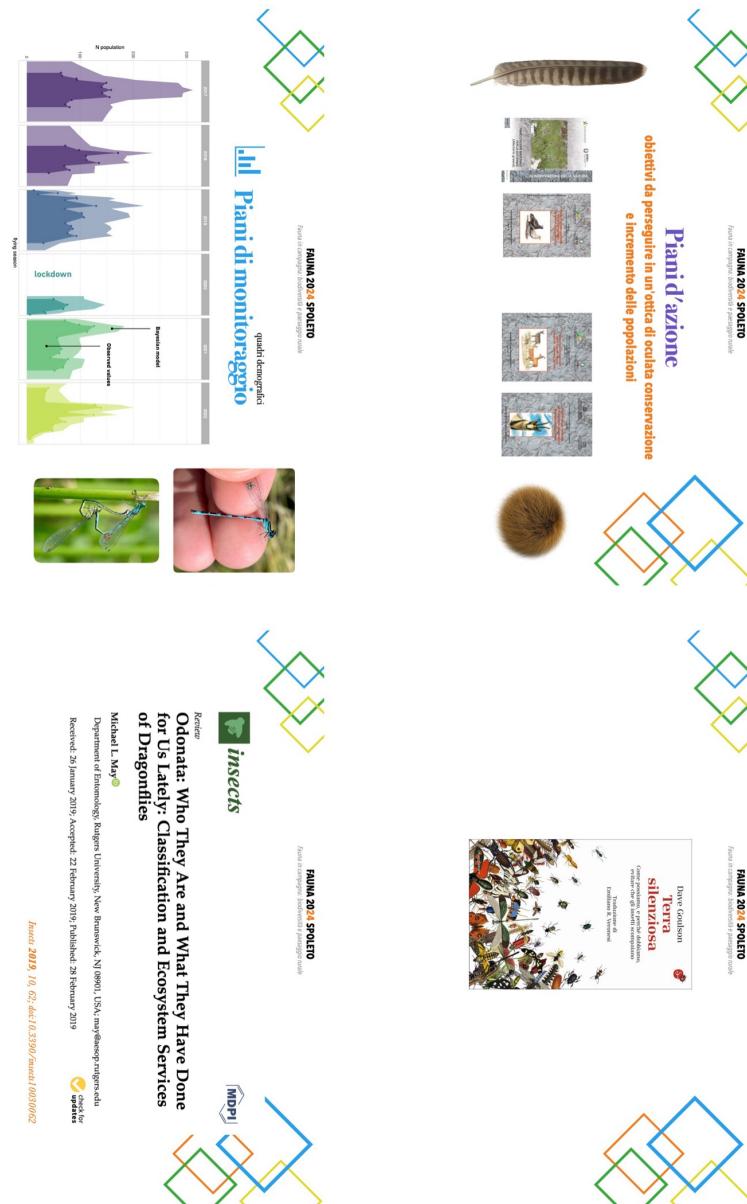














FUNDA 2014 APOLLO

www.odomata.it

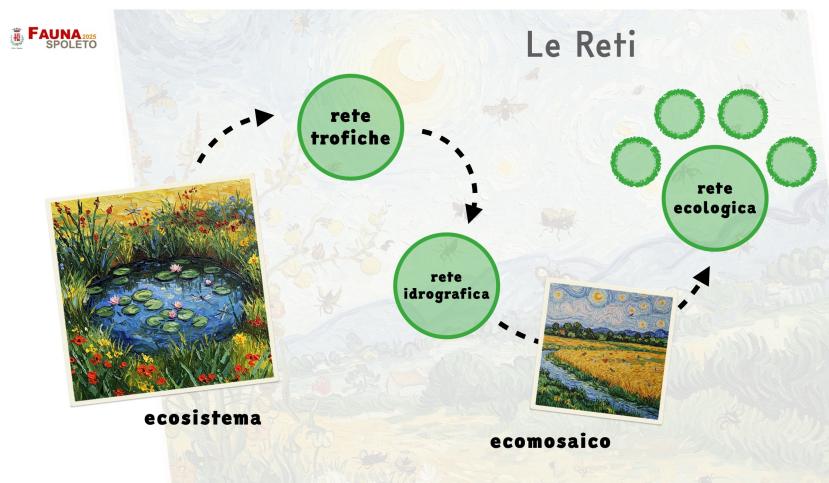
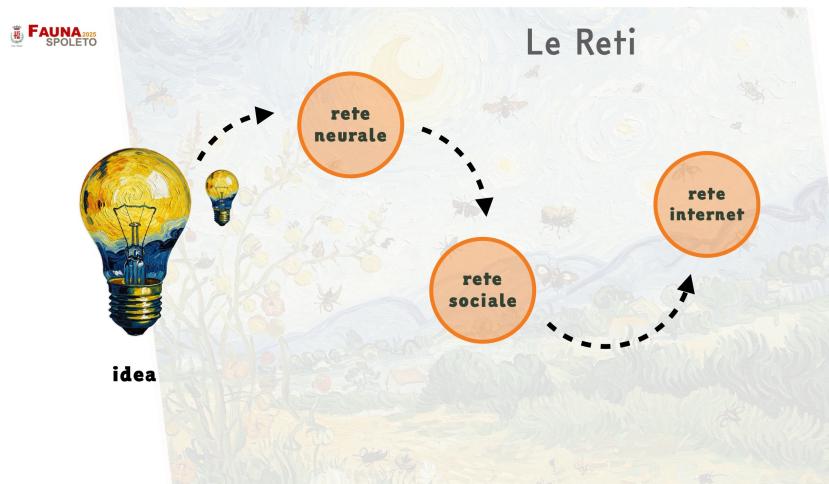


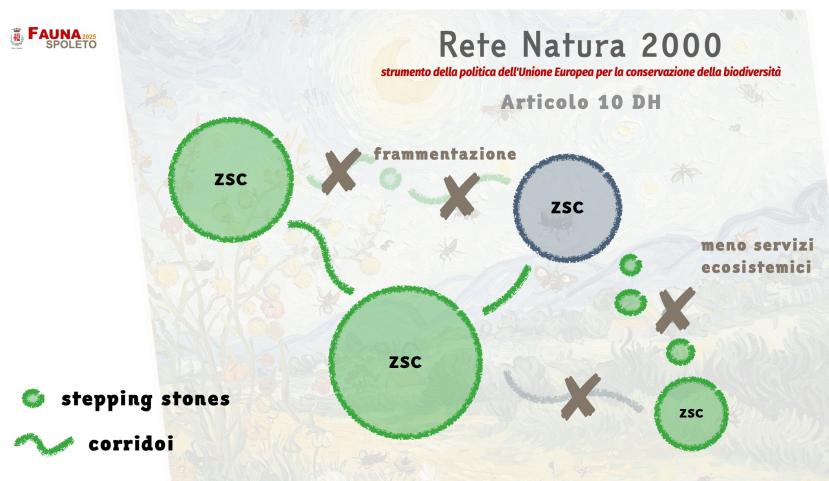
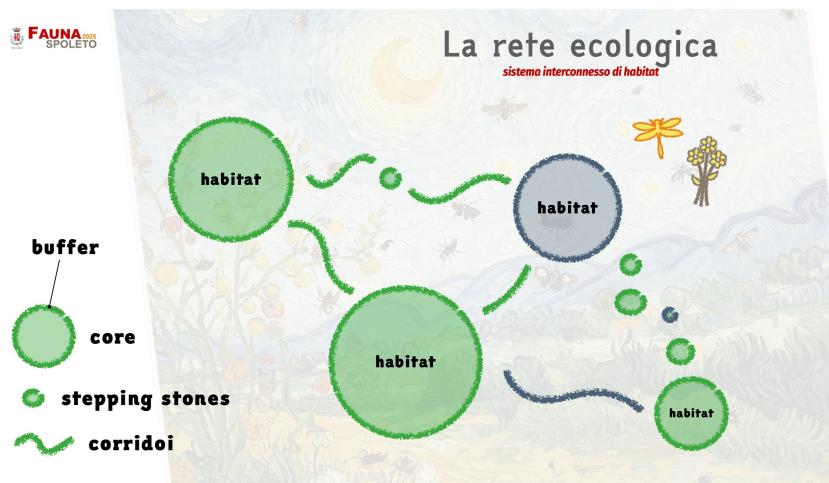

| Tabella 4. Elenco delle libellule italiane minacciate | | | |
|---|------------------------|-------------------|-----------------------|
| Famiglia | Nome scientifico | Nome comune | Categoria lista Rossa |
| Coenagrionidae | Erythromma virgo | Emozione | RE |
| Coenagrionidae | Ischnura elegans | Ischne | EN |
| Coenagrionidae | Ischnura pumilio | Ischne pumilio | EN |
| Coenagrionidae | Ischnura senegalensis | Ischne senegalese | EN |
| Coenagrionidae | Ischnura verticalis | Ischne verticale | EN |
| Coenagrionidae | Leucorrhinia albifrons | Lucertola bianca | EN |
| Coenagrionidae | Leucorrhinia albifrons | Lucertola bianca | EN |
| Coenagrionidae | Leucorrhinia dubia | Lucertola dubia | EN |
| Coenagrionidae | Leucorrhinia intacta | Lucertola integra | EN |
| Coenagrionidae | Leucorrhinia risi | Lucertola risi | EN |
| Coenagrionidae | Leucorrhinia rubicunda | Lucertola rossa | EN |
| Coenagrionidae | Leucorrhinia soror | Lucertola sposa | EN |
| Coenagrionidae | Leucorrhinia tenuis | Lucertola tenue | EN |
| Coenagrionidae | Leucorrhinia tristis | Lucertola triste | EN |
| Coenagrionidae | Leucorrhinia weiskei | Lucertola weiskei | EN |
| Coenagrionidae | Leucorrhinia yunnana | Lucertola yunnana | EN |
| Coenagrionidae | Synlestes weiskei | Sinlestes weiskei | EN |
| 2014 | | | |

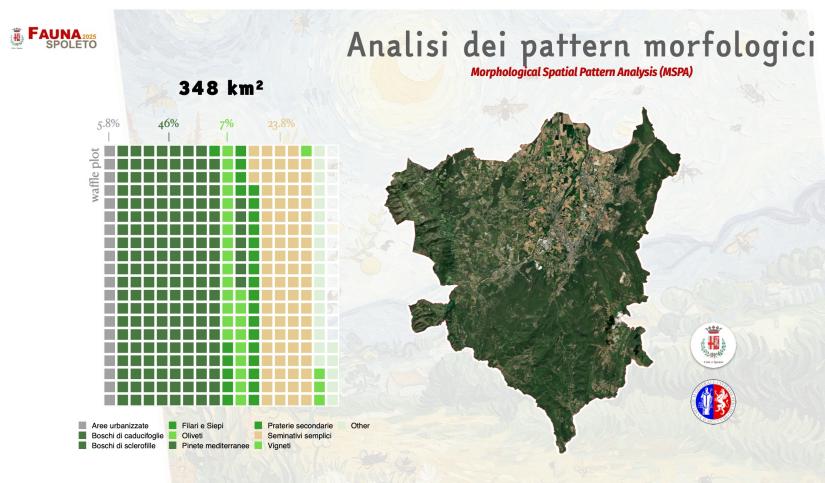
Lista Rossa
delle libellule italiane

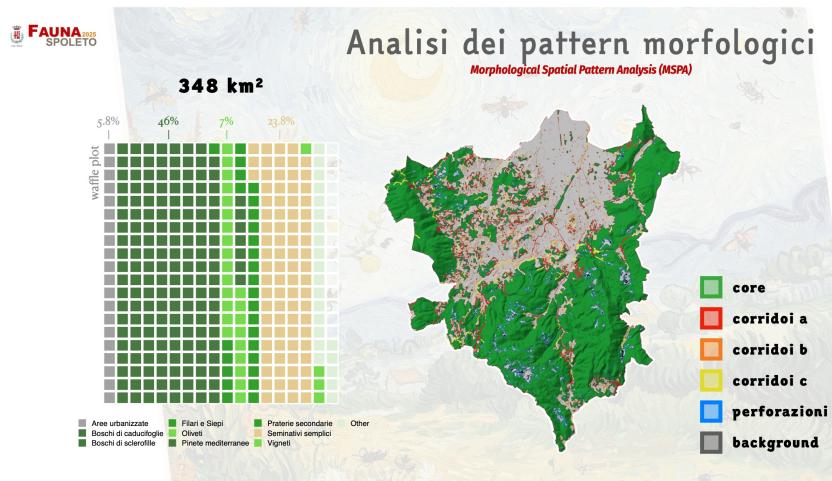
8.1.4 Convegno Fauna 2025 con contributo dal titolo: Fauna e Reti ecologiche: progettare connessioni per la biodiversità

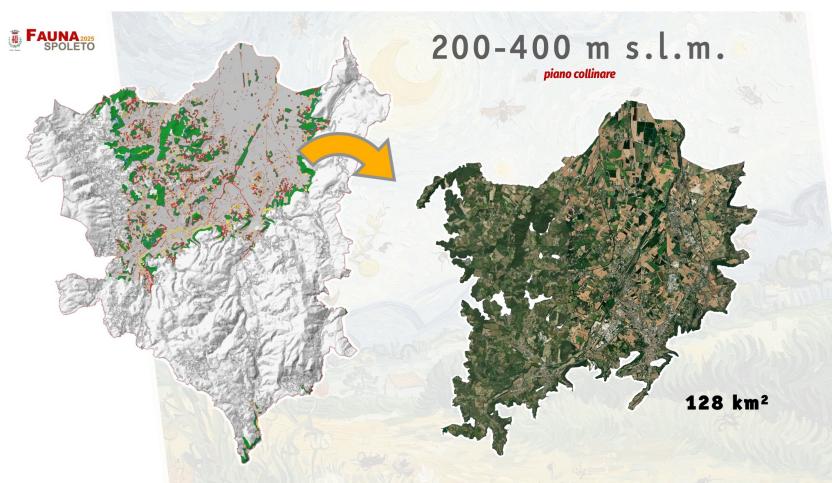
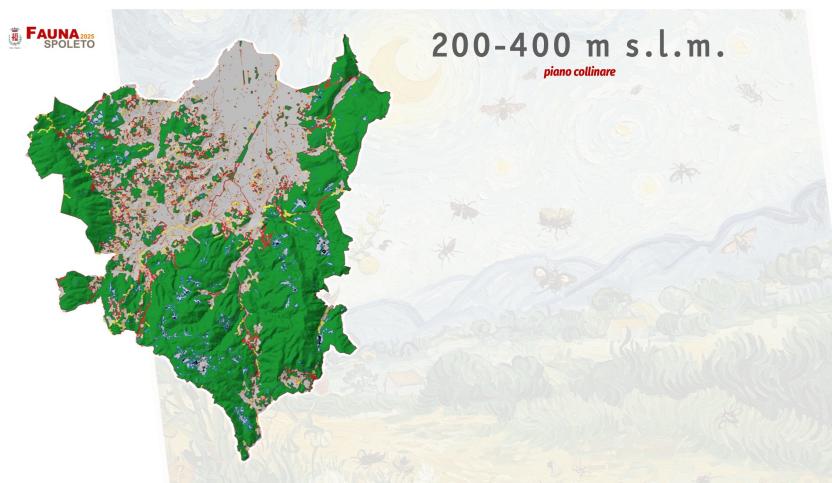


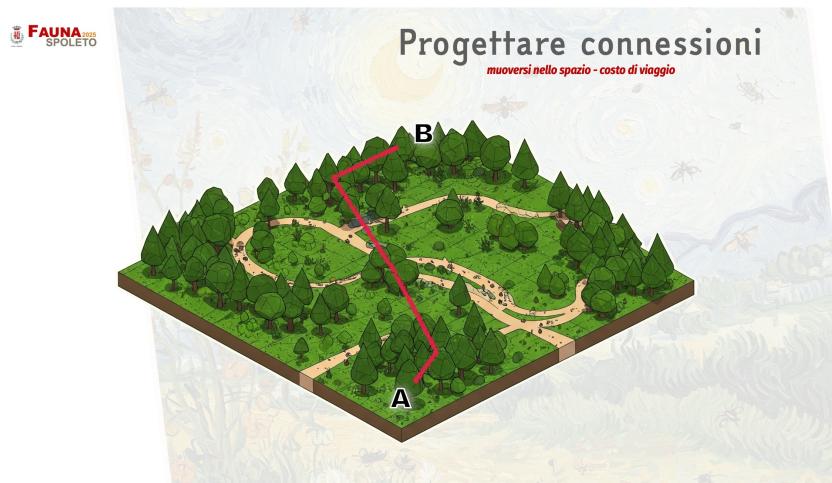
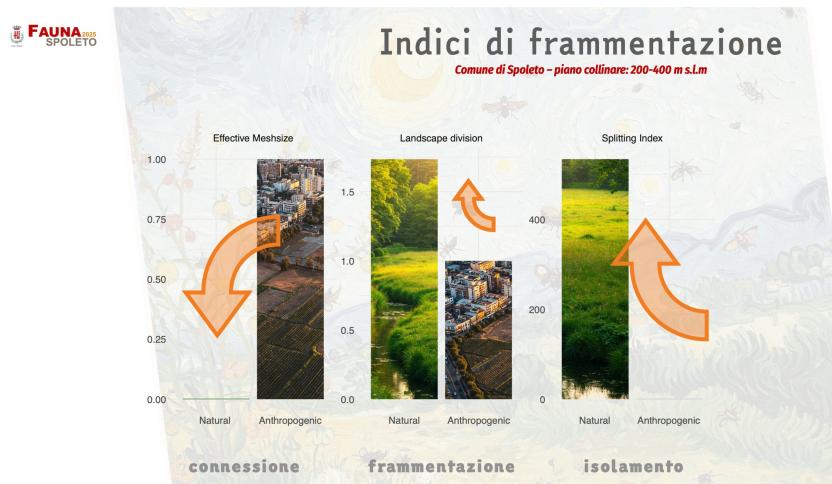


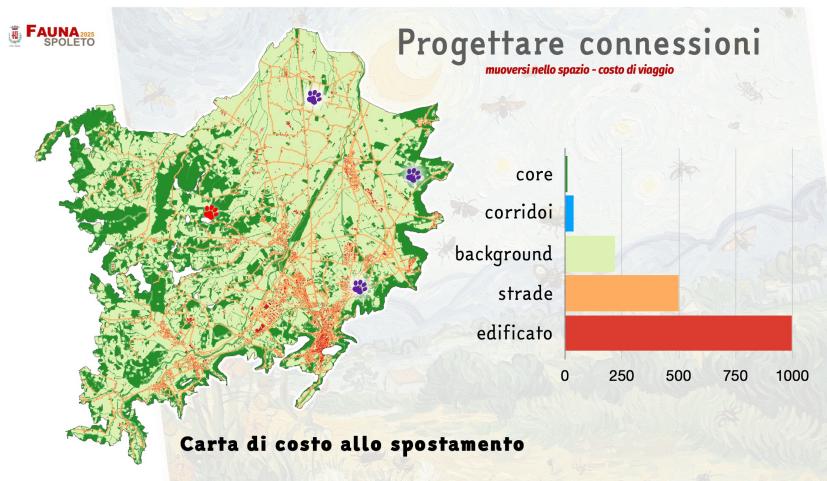


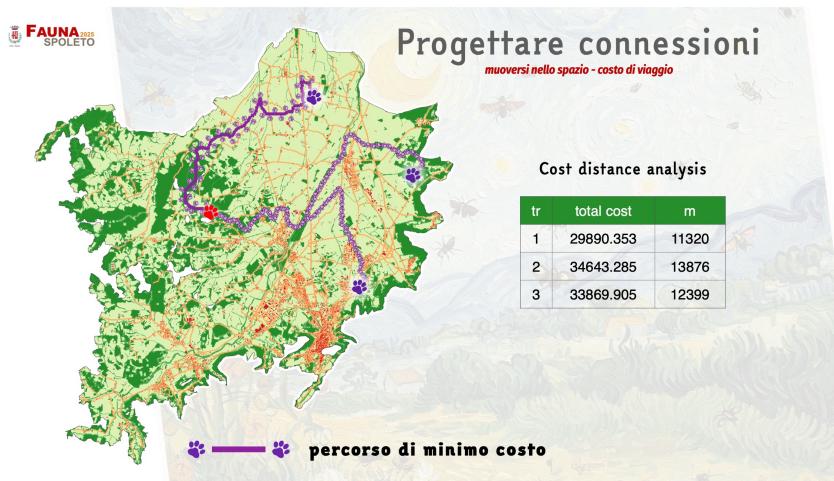


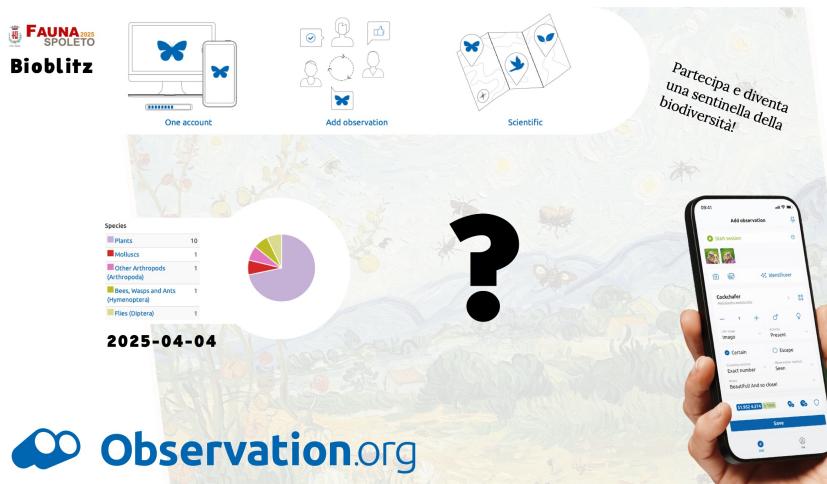












Bibliografia

- Aerts, R., Honnay, O., and Van Nieuwenhuyse, A. (2018). Biodiversity and human health: mechanisms and evidence of the positive health effects of diversity in nature and green spaces. *British Medical Bulletin*, 127(1):5–22.
- Angelini, P., Augello, R., Bagnaia, R., Pietro, B., and Barbara, S. (2009). *Il progetto Carta della Natura: linee guida per la cartografia e la valutazione degli habitat alla scala 1:50.000*. ISPRA.
- Ardron, J., Possingham, H. P., and Klein, C. (2010). *Marjan good practices handbook, version 2*.
- Aronson, M. F., Lepczyk, C. A., Evans, K. L., Goddard, M. A., Lerman, S. B., MacIvor, J. S., Nilon, C. H., and Vargo, T. (2017). Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(4):189–196.
- Battisti, C. (2004). *Frammentazione ambientale connettività reti ecologiche*. Stilgrafica srl, provincia di roma edition.
- Beninde, J., Veith, M., and Hochkirch, A. (2015). Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. *Ecology Letters*, 18(6):581–592. Citation Key: beninde2015biodiversity Publisher: Wiley Online Library.
- Fairbairn, A. J., Meyer, S. T., Mühlbauer, M., Jung, K., Apfelbeck, B., Berthon, K., Frank, A., Guthmann, L., Jokisch, J., Kerler, K., and et al. (2024). Urban biodiversity is affected by human-designed features of public squares. *Nature Cities*, 1(10):706–715.
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decleer, K., and Dixon, K. W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. second edition. *Restoration Ecology*, 27(S1):S1–S46.
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., and Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built En-*

- vironment*, 33(1):115–133. Citation Key: gill2007adapting Publisher: The Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Gomes, V. H. F., IJff, S. D., Raes, N., Amaral, I. L., Salomão, R. P., de Souza Coelho, L., de Almeida Matos, F. D., Castilho, C. V., de Andrade Lima Filho, D., López, D. C., and et al. (2018). Species distribution modelling: Contrasting presence-only models with plot abundance data. *Scientific Reports*, 8(1):1003.
- Heino, J., Bini, L. M., Andersson, J., Bergsten, J., Bjelke, U., and Johansson, F. (2017). Unravelling the correlates of species richness and ecological uniqueness in a metacommunity of urban pond insects. *Ecological Indicators*, 73:422–431.
- Jaeger, J. A. (2000a). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15(2):115–130.
- Jaeger, J. A. (2000b). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15(2):115–130. TLDR: Three new measures of fragmentation are introduced: degree of landscape division, splitting index (S), and effective mesh size (m), which prove to be well suited for comparing the fragmentation of regions with differing total size.
- Keeley, A. T., Beier, P., and Gagnon, J. W. (2016). Estimating landscape resistance from habitat suitability: effects of data source and nonlinearities. *Landscape Ecology*, 31(9):2151–2162.
- Lawrence, A., Friedrich, F., and Beierkuhnlein, C. (2021). Landscape fragmentation of the natura 2000 network and its surrounding areas. *PLOS ONE*, 16(10):e0258615.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*, volume 1. Blackwell Publishing.
- Magurran, A. E. (2011). *Measuring species diversity in time (and space)*, pages 85–93.
- McGarigal, K. (2015). *Fragstat help*.
- Moser, B., Jaeger, J. A. G., Tappeiner, U., Tasser, E., and Eiselt, B. (2007). Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the boundary problem. *Landscape Ecology*, 22(3):447–459.
- Méndez, A., Prieto, B., Aguirre I Font, J. M., and Sanmartín, P. (2024). Better, not more, lighting: Policies in urban areas towards environmentally-sound illumination of historical stone buildings that also halts biological colonization. *Science of The Total Environment*, 906:167560.
- Nie, W., Shi, Y., Siaw, M. J., Yang, F., Wu, R., Wu, X., Zheng, X., and Bao, Z. (2021). Constructing and optimizing ecological network at county and town scale: The case of anji county, china. *Ecological Indicators*, 132:108294.

- Proske, A., Lokatis, S., and Rolff, J. (2022). Impact of mowing frequency on arthropod abundance and diversity in urban habitats: A meta-analysis. *Urban Forestry and Urban Greening*, 76:127714.
- Püttker, T., Crouzeilles, R., Almeida-Gomes, M., Schmoeller, M., Maurenza, D., Alves-Pinto, H., Pardini, R., Vieira, M. V., Banks-Leite, C., Fonseca, C. R., and et al. (2020). Indirect effects of habitat loss via habitat fragmentation: A cross-taxa analysis of forest-dependent species. *Biological Conservation*, 241:108368.
- Ritchie, H., Rodés-Guirao, L., Mathieu, E., Gerber, M., Ortiz-Ospina, E., Hasell, J., and Roser, M. (2023). Population growth. *Our World in Data*. Citation Key: owid-population-growth.
- Simaika, J. P., Samways, M. J., and Frenzel, P. P. (2016a). Artificial ponds increase local dragonfly diversity in a global biodiversity hotspot. *Biodiversity and Conservation*, 25(10):1921–1935. TLDR: Although ponds attracted no rare or threatened dragonfly species, they increased the area of occupancy and population sizes of many generalist species, so providing refuges which otherwise would not be there, suggesting that artificial ponds are to some extent a novel ecosystem.
- Simaika, J. P., Samways, M. J., and Frenzel, P. P. (2016b). Artificial ponds increase local dragonfly diversity in a global biodiversity hotspot. *Biodiversity and Conservation*, 25(10):1921–1935.
- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., and Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68(3):571.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemela, J., and James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: a literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81(3):167–178. Citation Key: tzoulas2007promoting Publisher: Elsevier.
- Visintin, C., Garrard, G. E., Weisser, W. W., Baracco, M., Hobbs, R. J., and Bekessy, S. A. (2025). Designing cities for everyday nature. *Conservation Biology*, 39(1):e14328.
- Vogt, G. (2013). Abbreviation of larval development and extension of brood care as key features of the evolution of freshwater decapoda. *Biological Reviews*, 88(1):81–116.
- Vogt, P., , and Riitters, K. (2017). Guidostoolbox: universal digital image object analysis. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1):352–361. GuidosToolbox is a set of customized, thematically grouped raster image analysis methodologies provided in a graphical user interface and for all popular operating systems that provide a generic framework for image analysis at any scale and for any kind of digital raster data.

- Vogt, P. (2025). *Measuring Forest Spatial Pattern with mathematical morphology*. European Commission.
- Weisser, W. W. and Hauck, T. E. (2025). Animal-aided design – planning for biodiversity in the built environment by embedding a species' life-cycle into landscape architectural and urban design processes. *Landscape Research*, 50(1):146–167.
- Wilson, R. J. (2010). *Introduction to graph theory*. Prentice Hall, Pearson, Harlow, England London New York, fifth edition edition.