

GIUGNO 2025



Relazione
primo anno

Studio della Rete Ecologica

applicato al
potenziamento della
Connettività del **Territorio**
Spoletino attraverso
esperienze pilota di gestione e
interventi Infrastrutturali

A cura di

Gianandrea La Porta

Manuela Rebora



A.D. 1308
unipg

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA

Studio della Rete Ecologica applicato al
potenziamento della Connettività del Territorio
Spoleto 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	21
4.1	Quadro conoscitivo di base	21
4.2	Elaborazioni cartografiche	26
5	Disseminazione dei risultati	53
5.1	Eventi di disseminazione	54
6	Considerazioni conclusive	55
7	Programmazione 2025	59
7.1	Piano delle attività 2025	59
8	Allegato I	61
8.1	Layout diapositive	61

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 ar-

monioso 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 organismi 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 estrarre 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 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:](https://)

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).

//www.fragments.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 mate-

matici 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 probabilità 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 (arie 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 (arie di background all’interno delle aree core), background di margine (arie 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 decisorи 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 $349,2 \text{ km}^2$, 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
IT5210069	Boschi di Montebibico (Monti Martani)	B	215.4	215.4

Codice sito	Nome sito	Tipologia	Superficie	Superficie comune
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).

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

Gruppo faunistico	numero di specie
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
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.

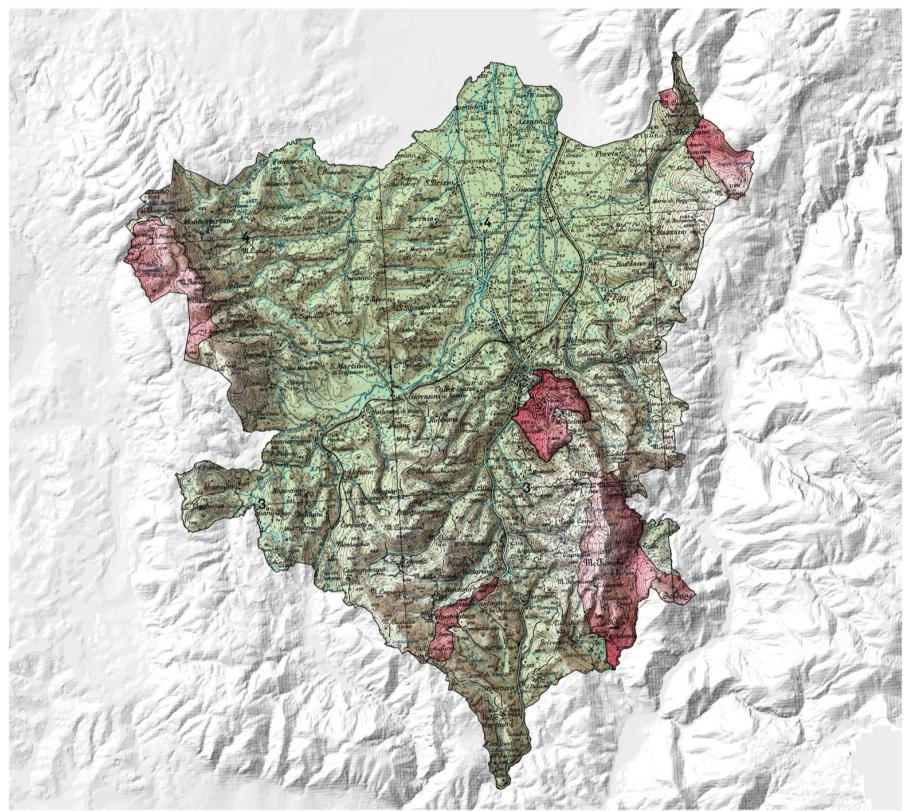


Figura 4.1: Il territorio spoletino. In tonalità rosse sono evidenziate le aree Natura 2000.

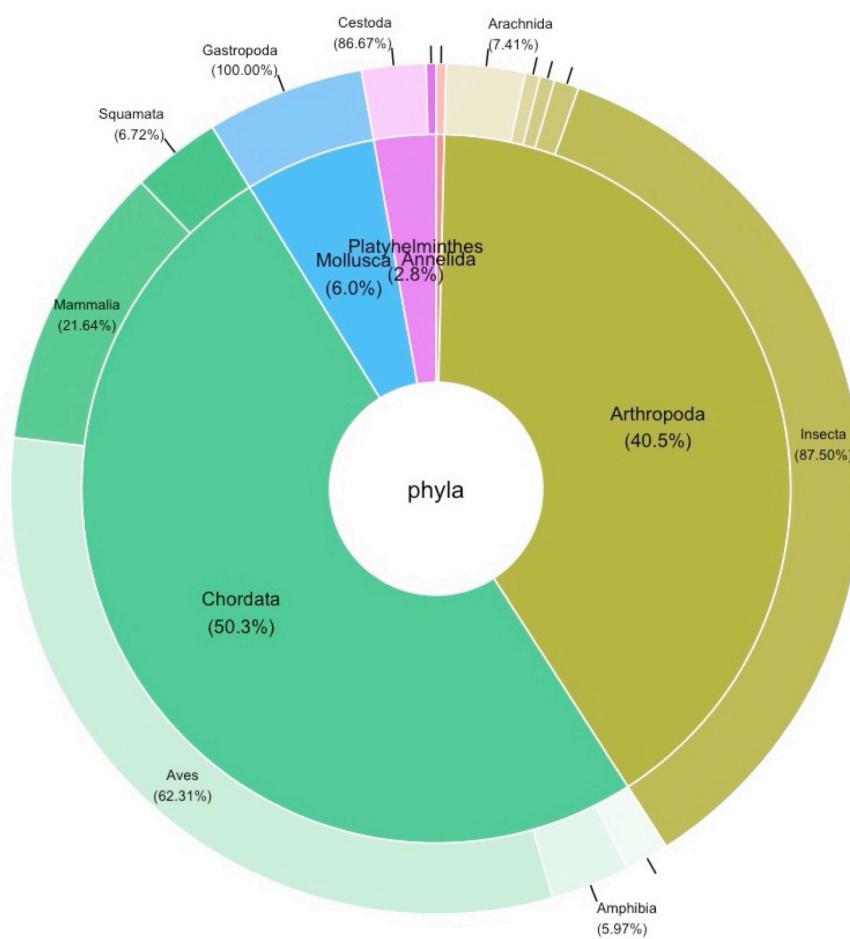


Figura 4.2: Distribuzione percentuale delle diverse specie disaggregate per Phylum e per Classe.

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.

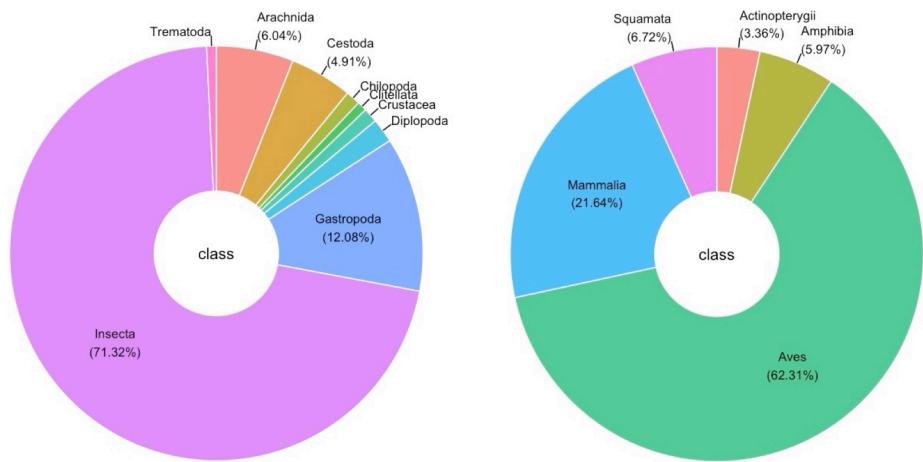


Figura 4.3: Distribuzione percentuale delle specie animali disaggregata per classe tra invertebrati (sinistra) e vertebrati (destra).

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

Classe	Categoria geobotanica	superficie (km^2)	area (%)
141	141 Seminativi semplici	84.7	24.2
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 sclerofile 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
152	152 Colture agrarie mosaicate	0.7	0.2

Classe	Categoria geobotanica	superficie (km^2)	area (%)
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%);
- 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

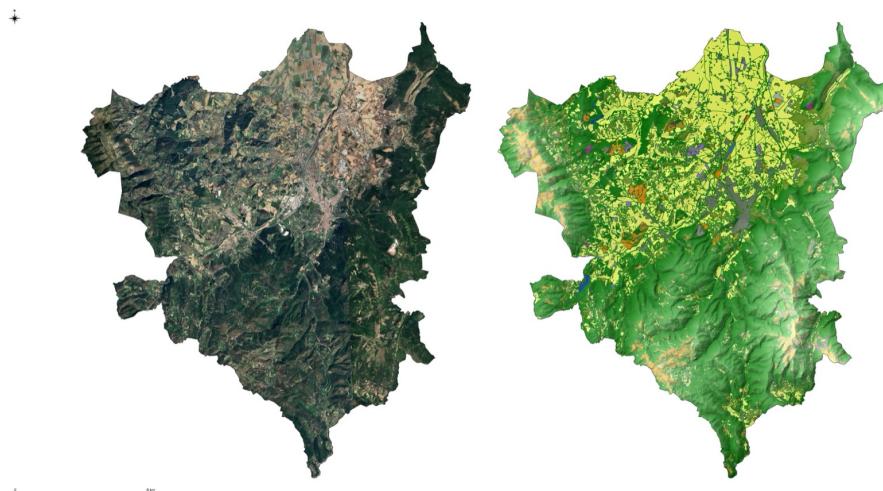


Figura 4.4: Ortofotocarta e Carta geobotanica e di uso del suolo aggiornata per il comune di Spoleto.

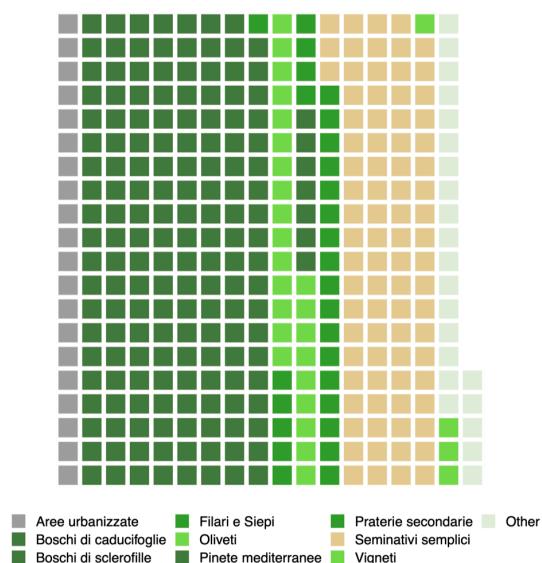


Figura 4.5: Categorie di uso del suolo. Ogni cella rappresenta una superficie di 1 km^2 .



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

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 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

Cat. geobot	Number of Patches (NP)	Patch density x 10^6	Mean patch area (MPA)	Median patch area	Edge density (ED)
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
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

Class	Largest Patch Index (LPI)	Fractal Dimension Index	Patch cohesion index
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

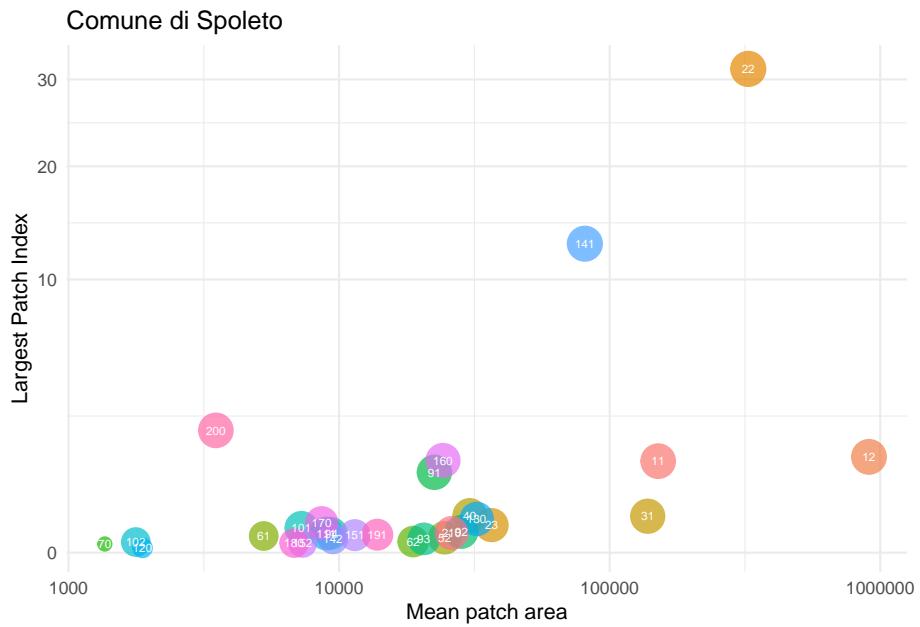


Figura 4.7: Plot degli Indici fragstads per Classe geobotanica. Il codice della Classe è riportato all'interno del singolo punto. La dimensione dei punti è proporzionale al valore del Patch cohesion index.

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).

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

Cat. geobot	Land cover	Landscape Propor- tion	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 Propor- tion	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

Cat. geobot	Land cover	Landscape Propor- tion	Number of Patches	Greater- est patch area	Smallest patch area	Mean patch area
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
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.

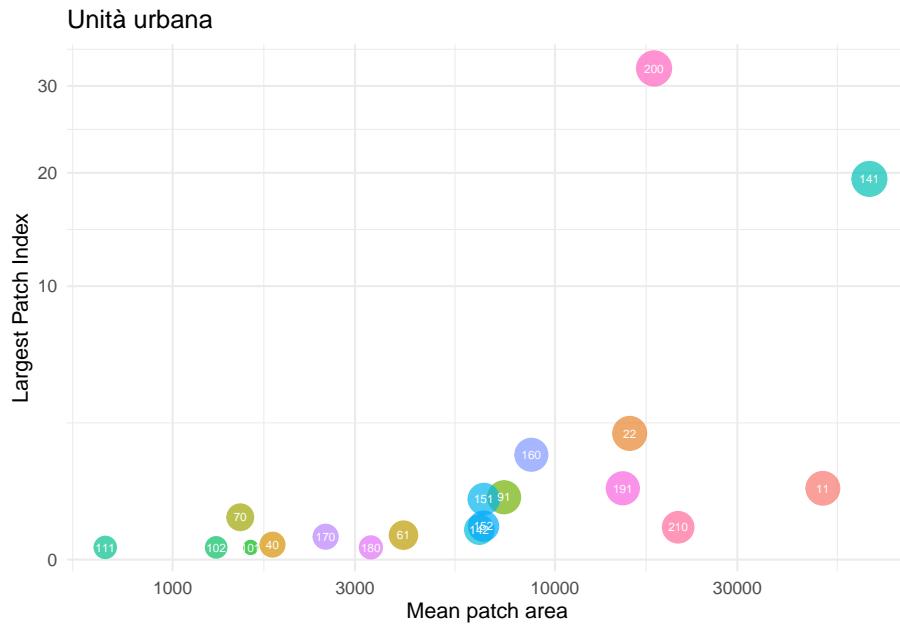


Figura 4.8: Plot degli Indici fragstats per Classe geobotanica in Unità urbana. Il codice della Classe è riportato all'interno del singolo punto. La dimensione dei punti è proporzionale al valore del Patch cohesion index.

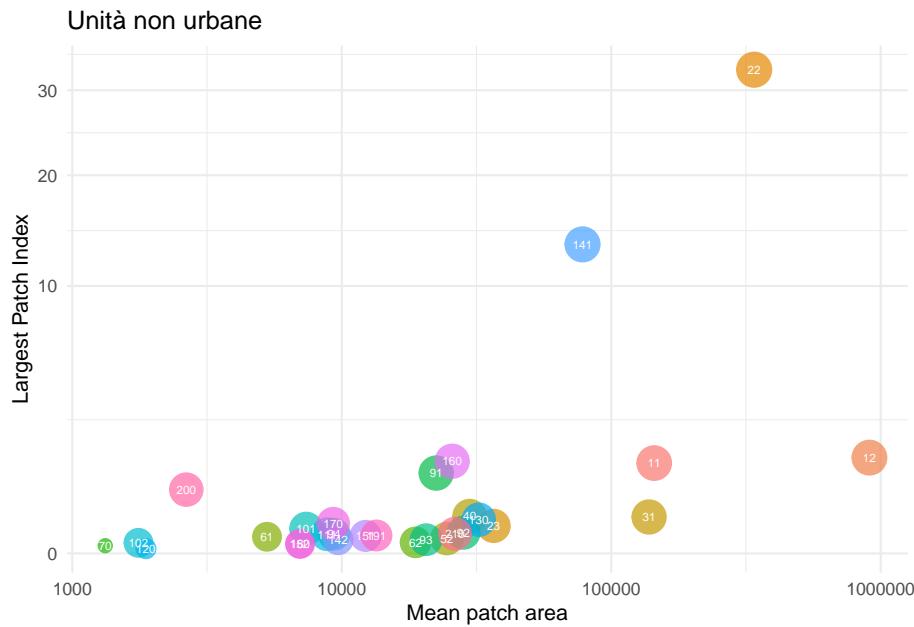


Figura 4.9: Plot degli Indici fragstats per Classe geobotanica nell'area non urbana. Il codice della Classe è riportato all'interno del singolo punto. La dimensione dei punti è proporzionale al valore del Patch cohesion index.

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 collina-ri/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 incolti	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
180	Frutteti	1.00 / 1.000	20218103 / 45930479	0.73 / 7.29
191	Arboricoltura da legno	1.00 / 1.000	13532 / 1096137	1097 / 305

Cat	geobot	Landscape division U/N	Splitting Index U/N	Effective Meshsize U/N
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 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



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

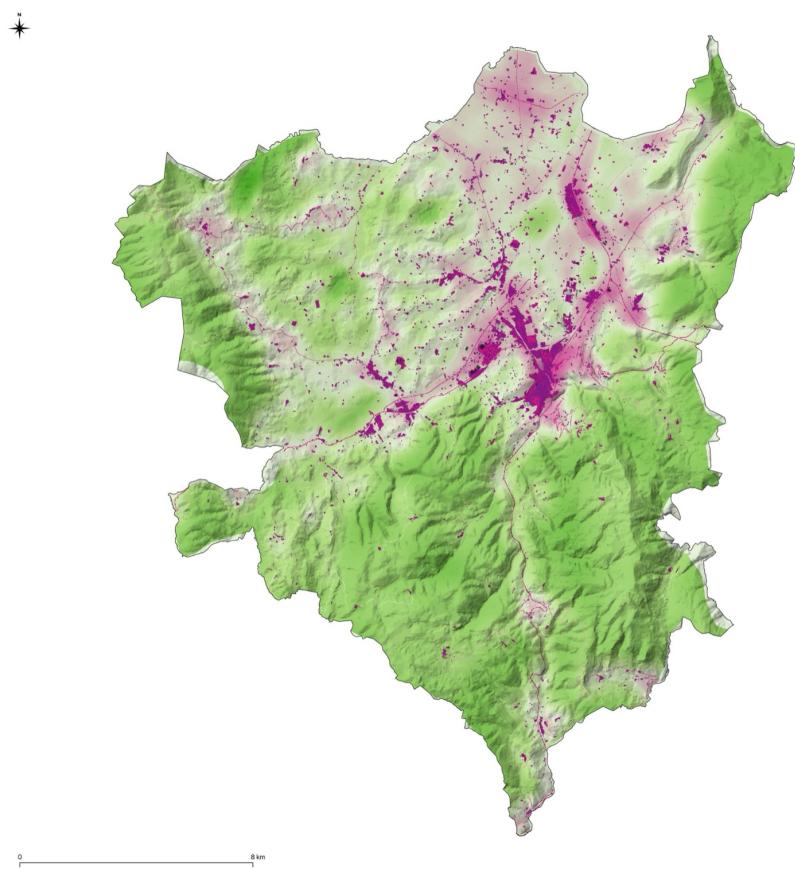


Figura 4.11: Esempio di carta della permeabilità tenuto conto dell'idoneità faunistica forestale e della presenza nel territori di elementi di permeabilità (es. corridoi fluviali) e di elementi di frammentazione (es. strade).

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
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

Categoria geobotanica	Landscape division
141 Seminativi semplici	0.9830470
142 Campi abbandonati e incolti	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
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

Categoria geobotanica	Splitting index
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

Categoria geobotanica	Effective mesh size
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
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.

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.

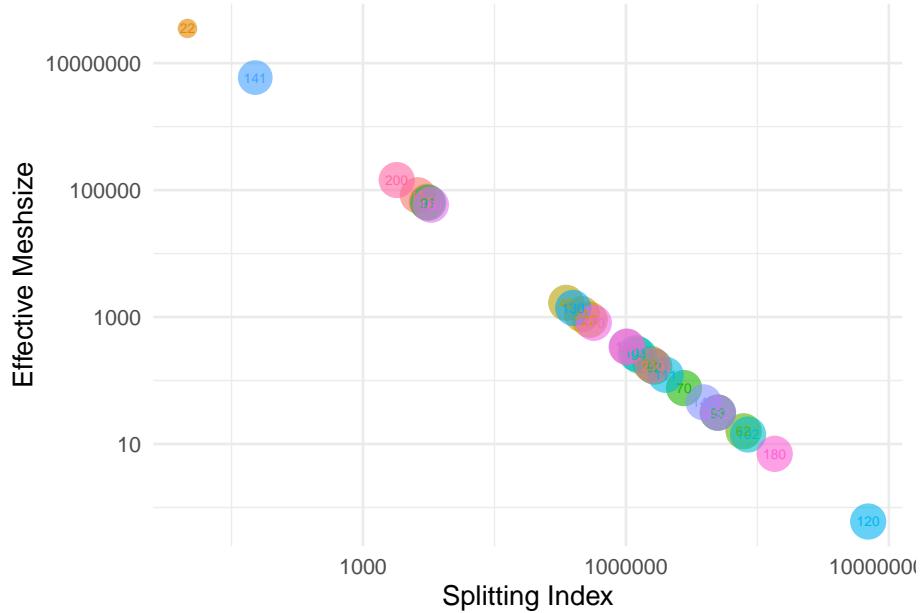


Figura 4.12: Relazione tra Splitting index ed Effective Meshsize. Con i colori e le etichette di testo sono evidenziate le diverse classi geobotaniche.

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).

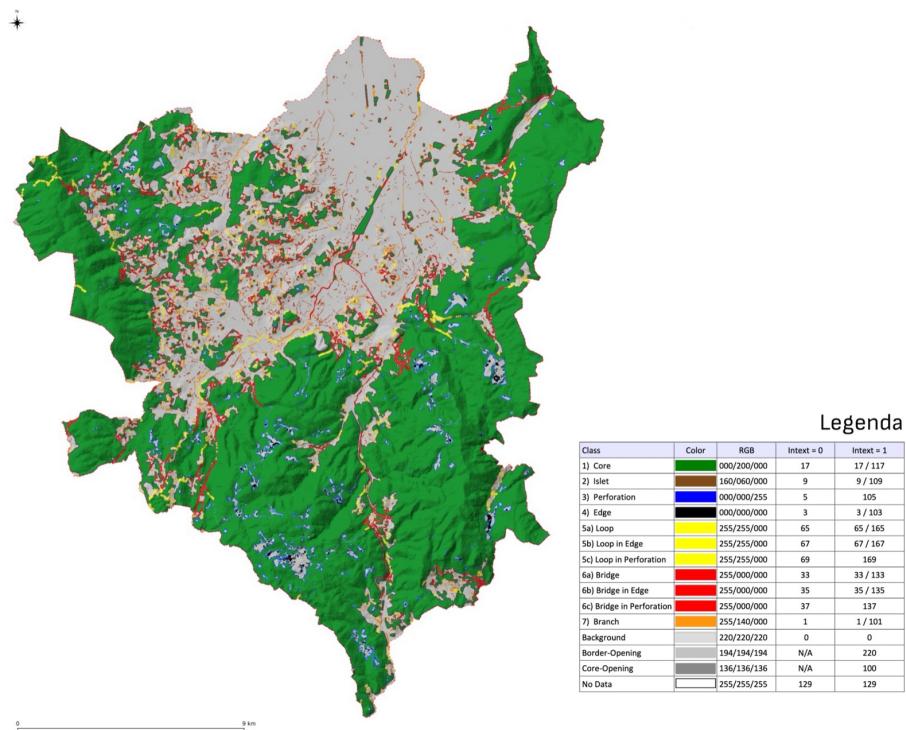


Figura 4.13: Mappa della distribuzione spaziale dei pattern morfologici identificati attraverso la riclassificazione delle categorie di uso del suolo. Nel modello presentato, la componente habitat è costituita dall'aggregazione di quattro tipologie territoriali fondamentali: le formazioni boschive, le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

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
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

Code	Class	Landscape division	Effective mesh size	Splitting index
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

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 alcuni rilevanti differenze rispetto alla situazione precedente (Fig. 4.14).

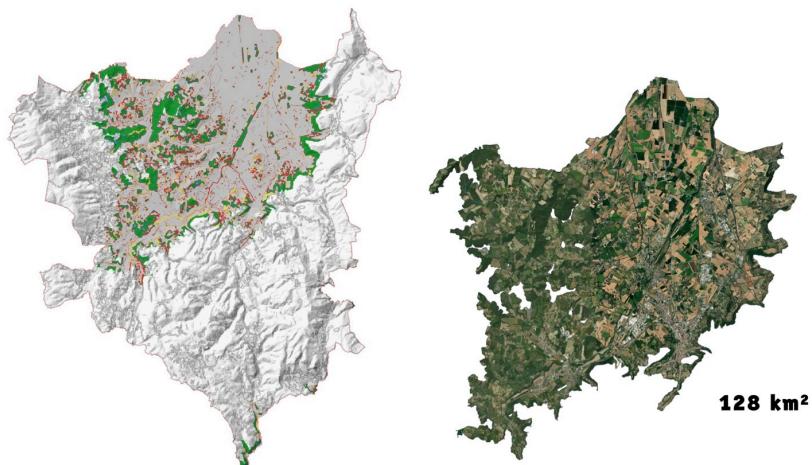


Figura 4.14: Mappa della distribuzione spaziale dei pattern morfologici nel piano collinare (per l'interpretazione dei colori vedi legenda figura sopra). A destra l'immagine satellitare dell'area.

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 potenzialmento 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	Land cover	Pro- portion	Landscape division	Splitting index	Effective mesh size
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	303736643.0715	
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.

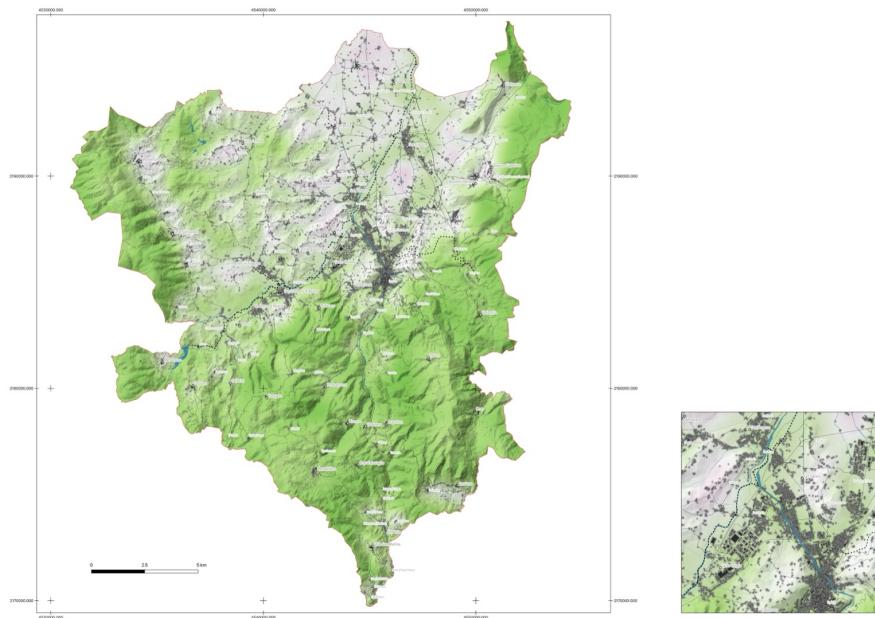


Figura 4.15: Mappa della vocazionalità

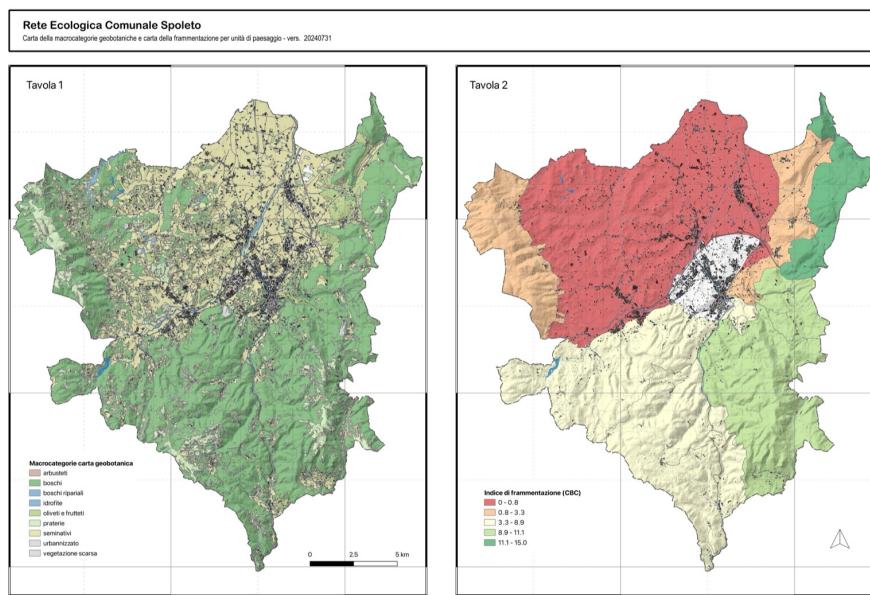


Figura 4.16: Mappa della frammentazione

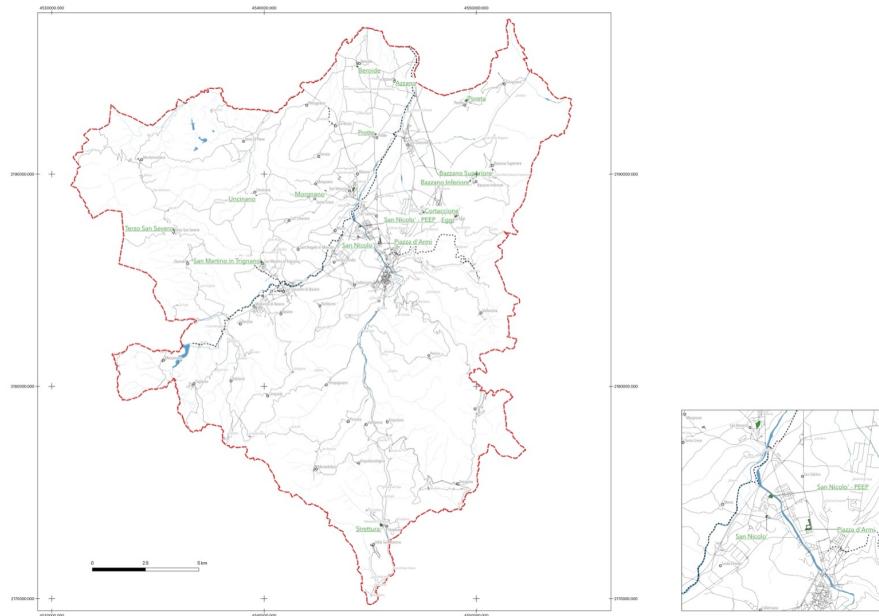


Figura 4.17: Mappa del verde attrezzato

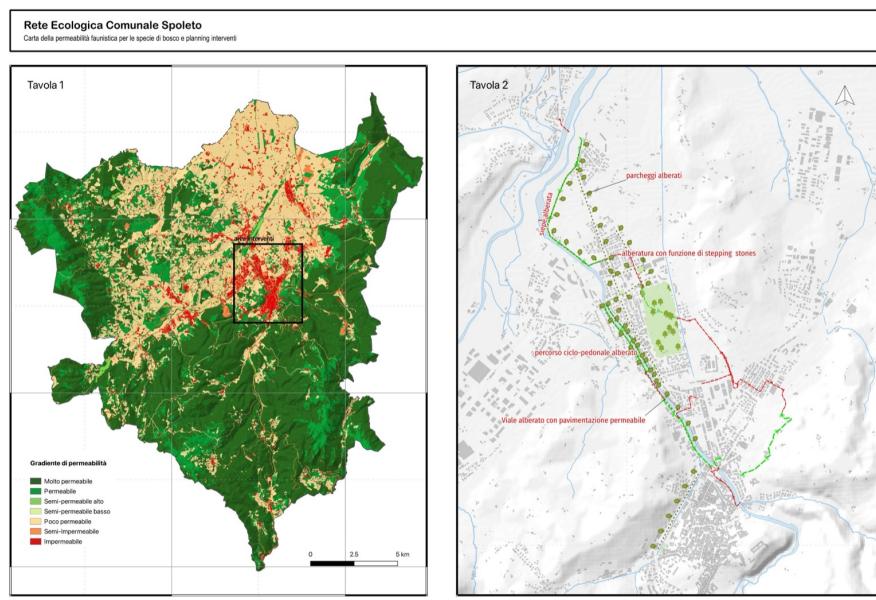


Figura 4.18: Mappa con focus sull'area di possibile intervento

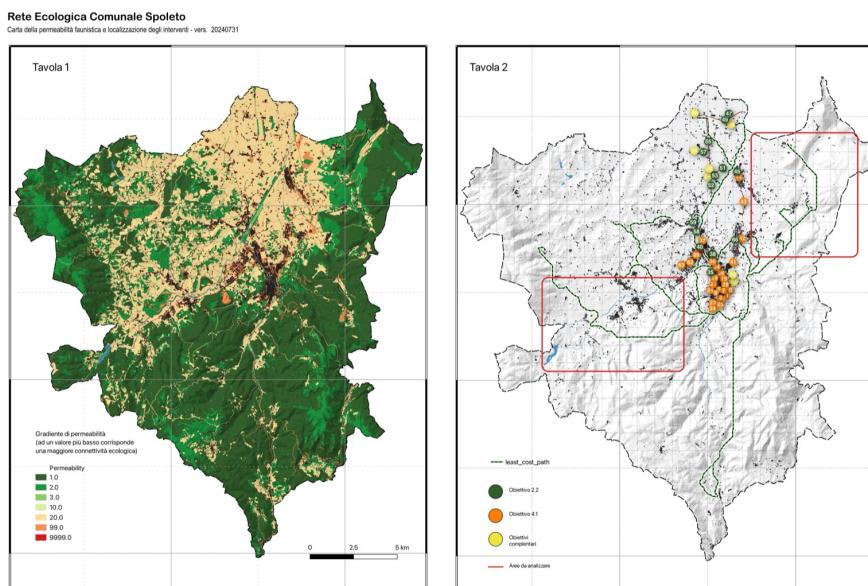


Figura 4.19: Mappa con interventi potenziali e linee di connessione faunistica potenziale

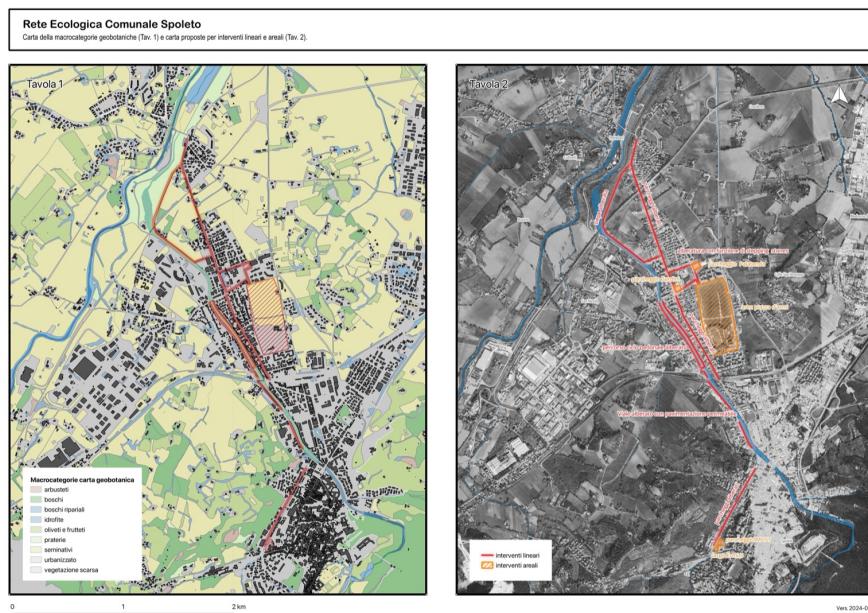


Figura 4.20: Mappa interventi lineari e areali potenziali

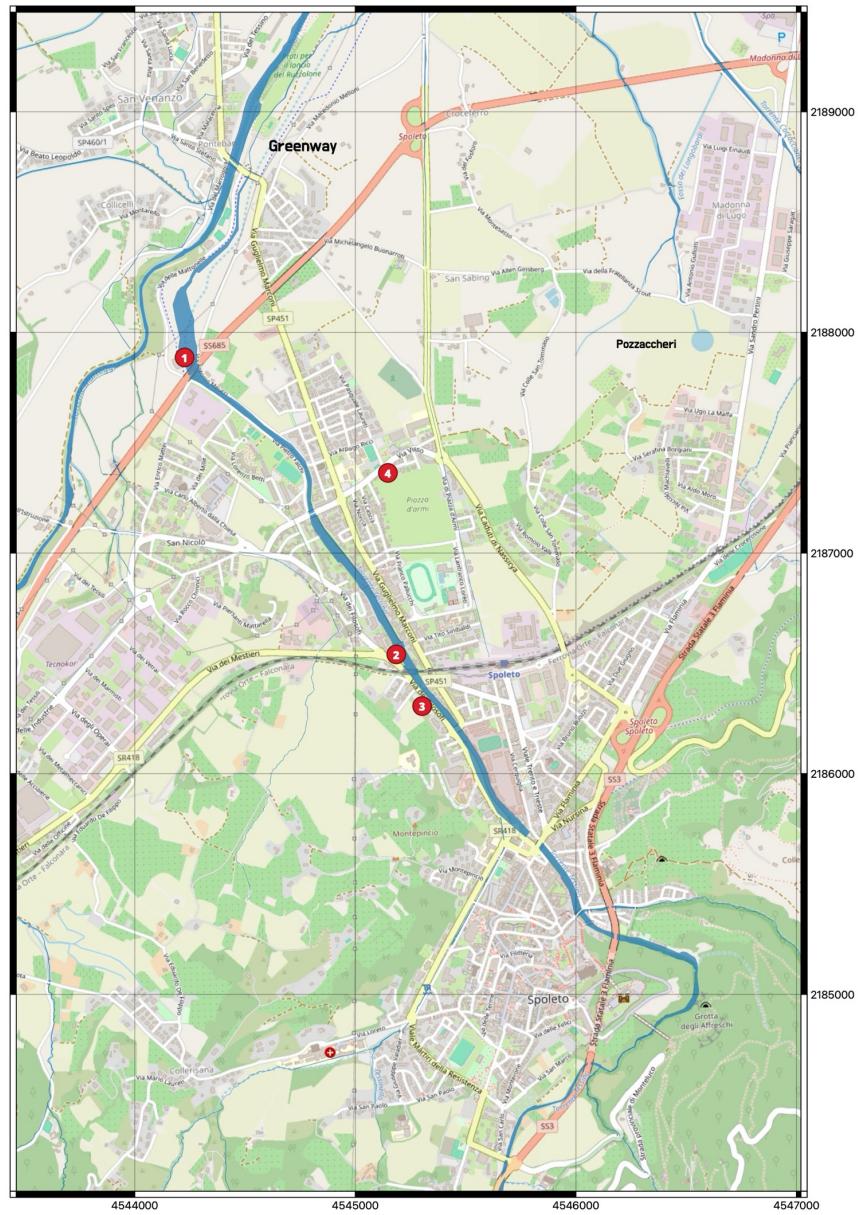


Figura 4.21: Mappa di possibile convergenza e sinergia tra le attività in programmazione per Agenda Urbana e con il progetto lifeIMAGINE

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).

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 co-

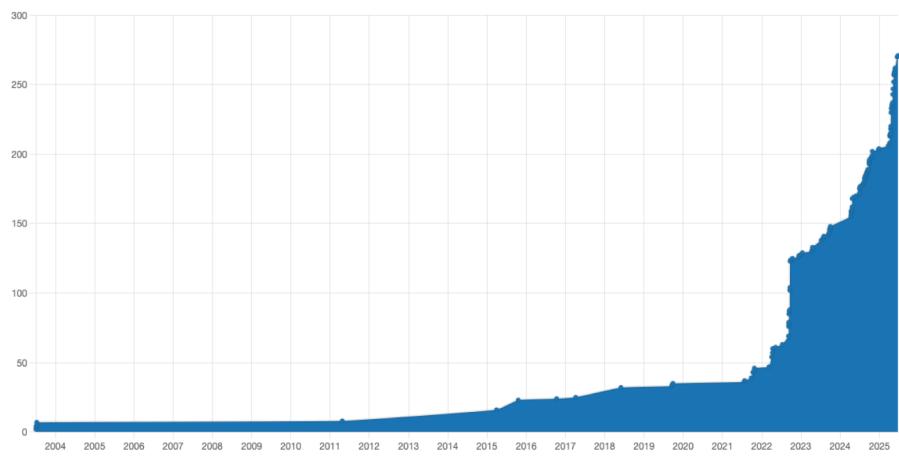


Figura 5.1: Trend delle segnalazioni naturalistiche pervenute all'interno della piattaforma di scienza partecipata [Observation.org](<https://observation.org>) (giugno 2025)

muni. Come evidenziato nel grafico siamo nel pieno del processo di crescita di questo fenomeno e restare indietro senza coglierne le potenzialità si rivelerrebbe 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 rappresenta 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 riconnesione 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:

- **Prosecuzione delle analisi dei Pattern Morfologici e Prioritizzazione 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 obiet-

tivi 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.
- **Prosecuzione della Campagna di Citizen Science per il Monitoraggio Faunistico.** Prosecuzione 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 Traversali e l’Orientamento) su biodiversità e reti ecologiche

Agenda

- I incontro
- Biodiversità
- Bio-abbondanza
- II incontro
- Frammentazione e Reti Ecologiche
- Diventare protagonisti



Biodiversità e Reti Ecologiche

I parte

Giovandrea La Porta
6 novembre 2023



World's last male northern white rhino has died

March 20, 2018

-80 specie

di mammiferi dai 1500 ad oggi (1.3%)

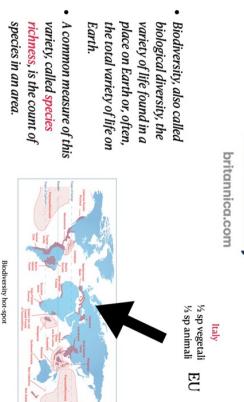


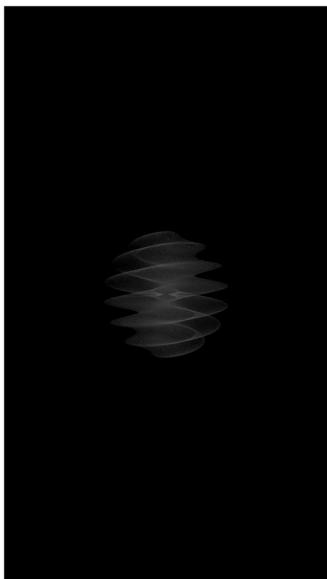
Thylacinus cynocephalus Harris, 1808

tilacino - tigre della Tasmania

piccione migratore o colomba migratrice

Ectopistes migratorius (Linnaeus, 1766)





Ecologia

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

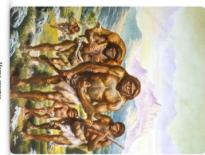


Foto: rezza

Biodiversità



Ricerca in specie = 6

Ecologia

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



elenzappas



Confrontare la biodiversità

Confrontare la diversità biologica

Indice di Jaccard

Sito 1
a - num specie esclusive Sito 1
b - num specie esclusive Sito 2
c - num specie comuni ai 2 siti

$$J_{12} = \frac{c}{a + b + c}$$

Sito 2

$$J_{12} = \frac{0}{6 + 6 + 0} = 0$$



Confrontare la diversità biologica

Indice di Jaccard

Sito 1
a - num specie esclusive Sito 1
b - num specie esclusive Sito 2
c - num specie comuni ai 2 siti

$$J_{12} = \frac{c}{a + b + c}$$

Sito 2

$$J_{12} = \frac{2}{4 + 5 + 2} = 0.18$$



	Specie animale	Esempi
Indicatore	Ruolo	Tipo
foundation biodiversità	proteggere e sviluppare l'ambiente naturale	restrutturazione della società e della natura naturale, tipo: protezione della biodiver- sità
chivare terreno	sviluppo e crescita della società e della natura naturale	sviluppo e crescita della società e della natura naturale
flagship biodiversità	sviluppo e crescita della società e della natura naturale	sviluppo e crescita della società e della natura naturale



Percent of species in risk of extinction

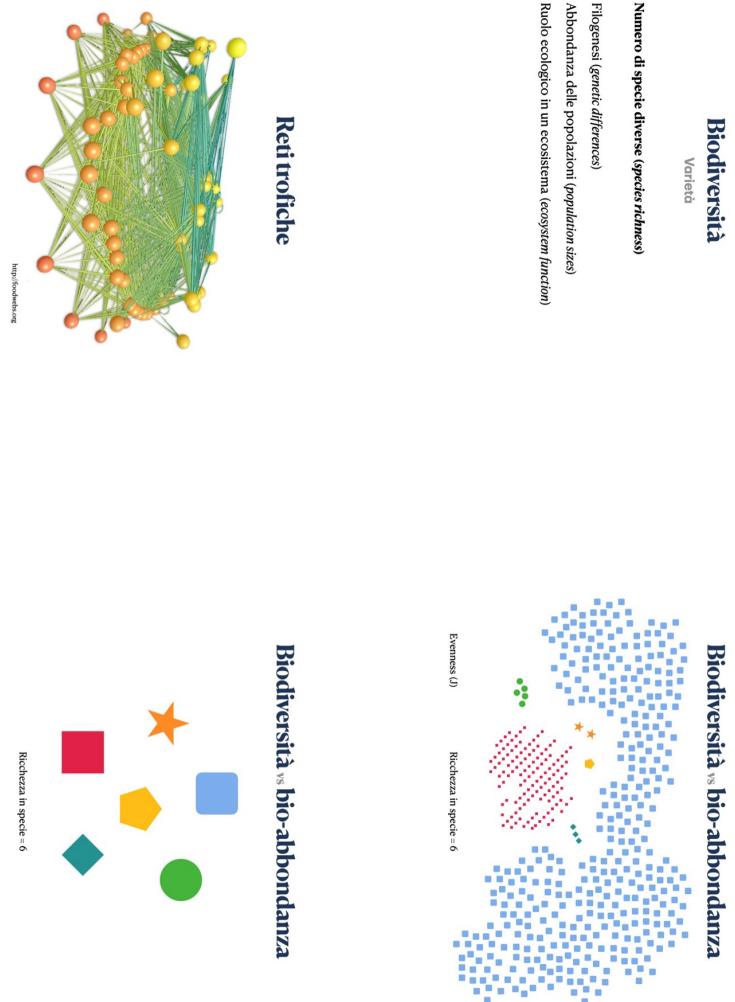
28%

Percent of species in risk of extinction



Rivet Popper theory

Paul R. Ehrlich and his wife Anne H. Ehrlich





Biodiversità vs bio-abbondanza

Cause della perdita di biodiversità

premature extinctions



-83%

Percent of insect species threatened of extinction

Bar-On et al. 2018

Sentieri Rete di Synthesis 2019

**Esempi**

perdita, riduzione e frammentazione dell'habitat



La **distruttione dell'habitat** è il processo attraverso il quale l'habitat naturale viene danneggiato o distrutto al punto da non essere più in grado di sostenere le specie e le comunità ecologiche che vi sono associate precedentemente.



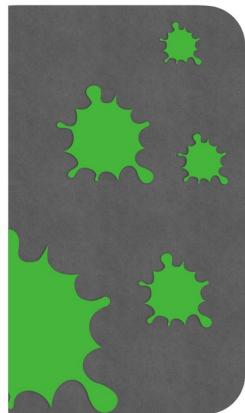
perdita, riduzione e frammentazione dell'habitat

Esempi

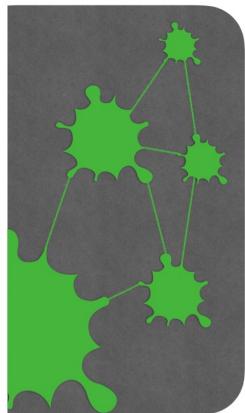


Le **distruzioni causate dall'industria**, attraverso l'impennaggio, i cambiamenti climatici, l'introduzione di specie invasive, la polizia, la frammentazione ecologica di una degli ecosistemi, nei quali gli habitat e i corioli si trovano in gruppi di isolati, ponendo gli animali in queste aree a maggior rischio di estinzione.

L'immagine causa danni all'ambiente attraverso l'impennaggio, i cambiamenti climatici, l'introduzione di specie invasive, la polizia, la frammentazione ecologica di una degli ecosistemi, nei quali gli habitat e i corioli si trovano in gruppi di isolati, ponendo gli animali in queste aree a maggior rischio di estinzione.



Come contrastare questi processi?
perdita, riduzione e frammentazione dell'habitat



Come contrastare questi processi?
perdita, riduzione e frammentazione dell'habitat



PCTO - REC Spoleto

Biodiversità e Reti Ecologiche

Il parco

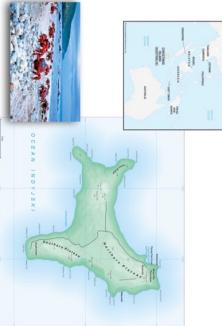
Gianandrea La Porta
22 novembre 2023

Agenda

40/100 milioni di granchi rossi

Christmas Island

- Frammentazione e Reti Ecologiche
- Software QGIS
- Diventare protagonisti

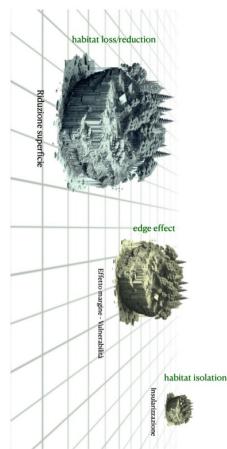


Guerrazza arida





Christmas Island



Frammentazione

patchiness - principali effetti

$$\Delta = 12.57$$



$r = 2$



$l = 3.54$

$\Delta = 12.57$

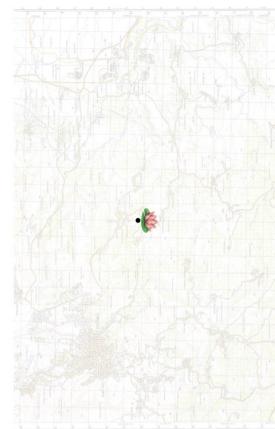
$l/M = 0.88$



Frammentazione

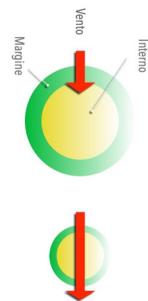
indice di forma - A/P

Come proteggere una specie

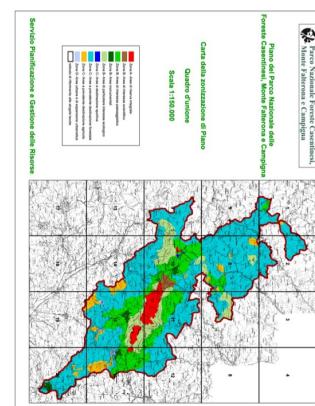
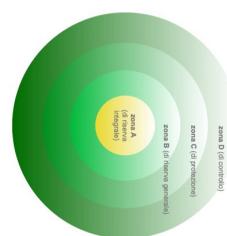


Edge and "Edge effect"

effetto di una perturbazione su patiti di diversa grandezza

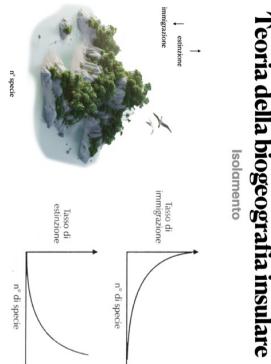
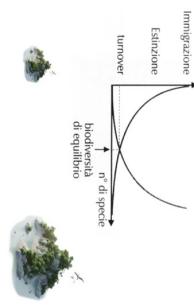


La zonizzazione



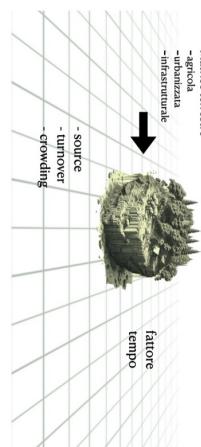
Teoria della biogeografia insulare

biodiversità di equilibrio



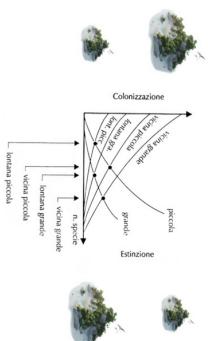
Teoria della biogeografia insulare

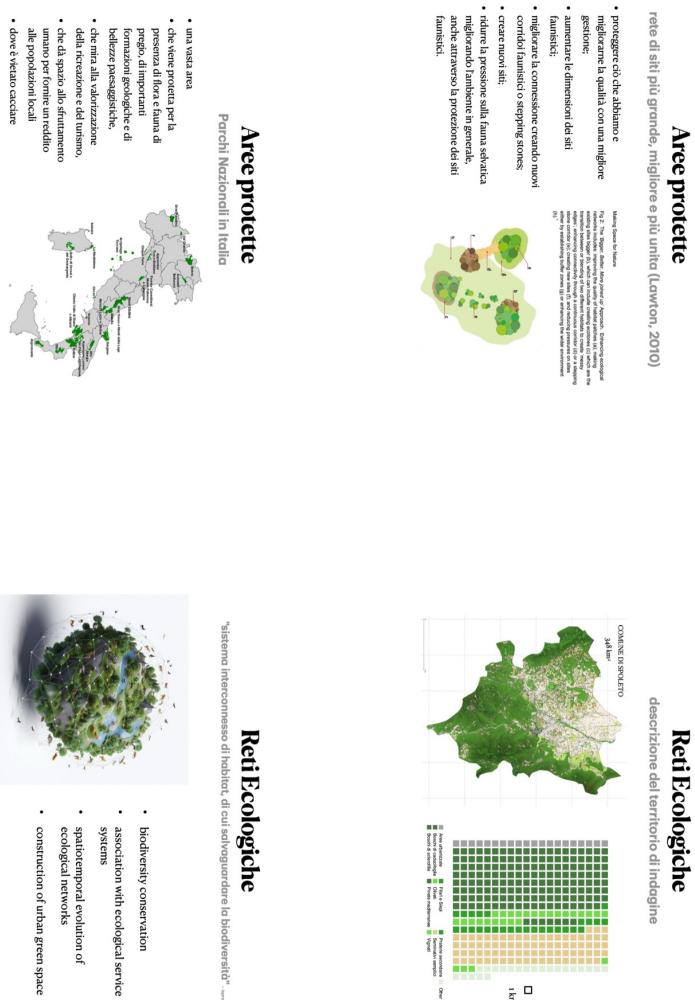
isole geografiche vs isole terrestri

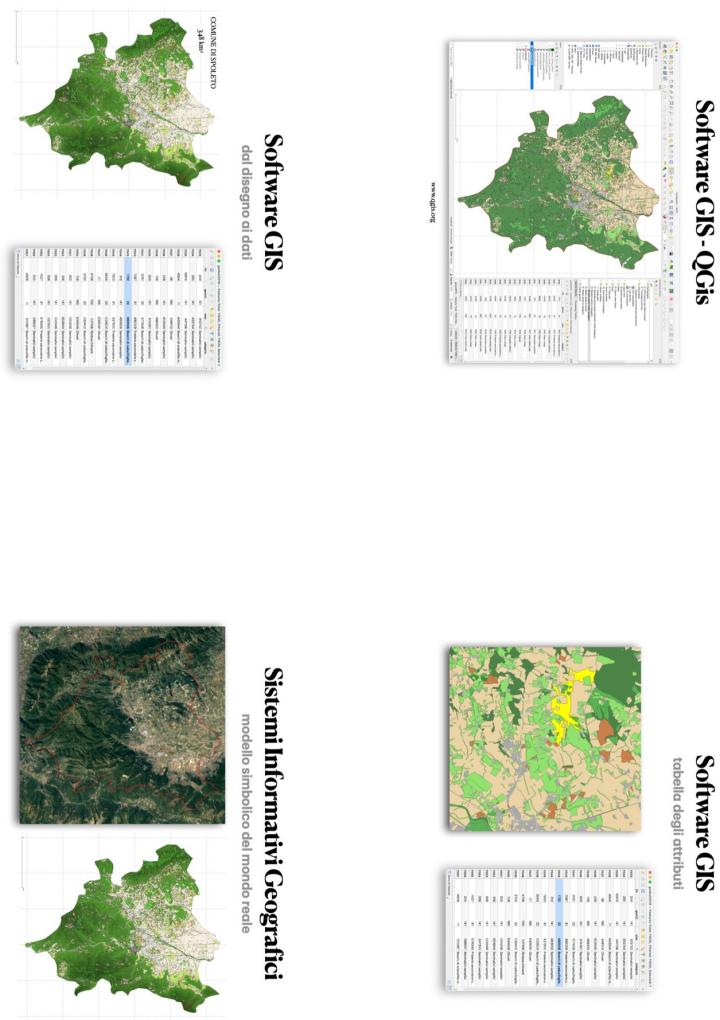


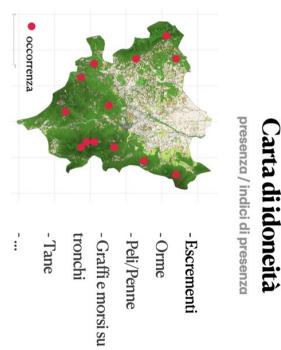
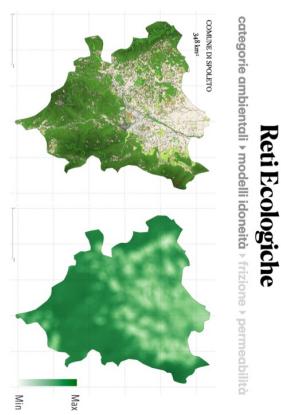
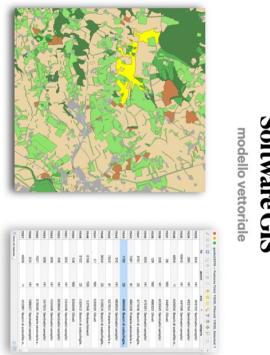
Teoria della biogeografia insulare

effetto della distanza e della dimensione









Software GIS

modello vettoriale

Agli oggetti spaziali sono associati attributi di qualunque tipologia, che specificano proprietà:

- qualitative
- quantitative
- spaziali

Carta di idoneità

presenza / indici di presenza

- Escrementi

- Orme

- Pelli/Penne

- Graffi e morsi su tronchi

- Tane

- ...

Software GIS

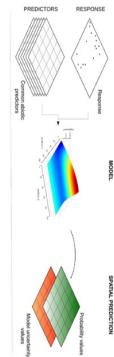
卷之三

la superficie del mondo reale viene suddivisa mediante una griglia a maglia regolare di qualificazione ad ogni cella della griglia viene assegnato un attributo



6DM - species distribution models

BDM - species distribution models



Climate data have been commonly used to predict potential species distributions across broad spatial scales (e.g., Franklin 2000; temperature, precipitation, solar radiation, soil moisture, topographic features, ...).

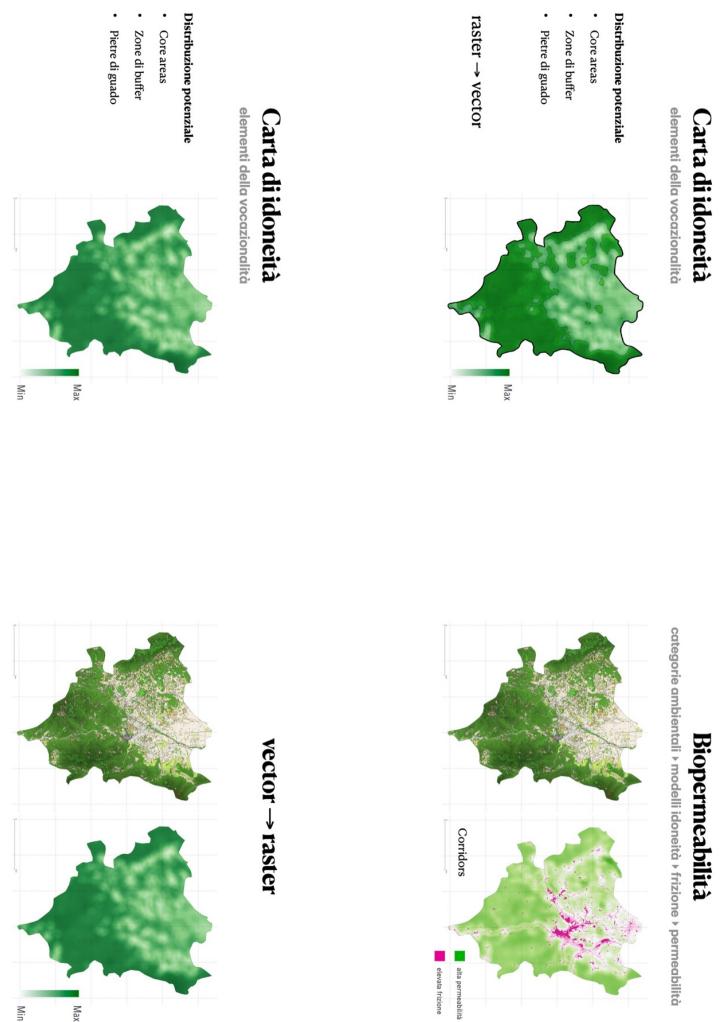
"Vegetation characteristics can be important predictors of species' habitat, acting as a proxy for sources of food availability or shelter."

Software GIS
modello raster

Model Raster



Home > Customers > Global Unicenter > OnlineCardOne 2010 (Customer Name: Global Unicenter)





- corridoli urbani vs corridoi ecologici
 - bordi stradali
 - rotaie
 - filari alberati
 - margini ferroviari
 - fossi e torrenti
 - verde urbano
- *Think global, act local*



Reti ecologiche e verde urbano

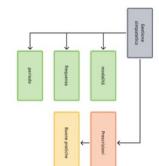
Le aree urbane non sono deserti ecologici



Rendere più verde le città

15 ◊ - senso di benessere, maggiore attenzione

- All for One Health
- rhs.org.uk - *plants for wildlife*
 - uccelli, invertebrati, lepidotteri,...
 - benefici per animali insettivori
 - legno morto e saproxiici



Gestione simpatetica

Servizi ecosistemici di una foresta urbana



Slides

gianandrea.laporta@unipi.it

<https://tinyurl.com/yyp7dsk><https://tinyurl.com/yb7jrmw>**Programma attività**

Aula informatica - DIGIPASS Spoleto

Incontro #1: ④ 3h

Introduzione: QGIS/Concetti di Sistemi Informativi Territoriali

Incontro #2: ④ 3h

Lavorate con Date e Strumenti di Analisi in QGIS

Incontro #3: ④ 3h

Progettazione di Mappe e Output Cartografici

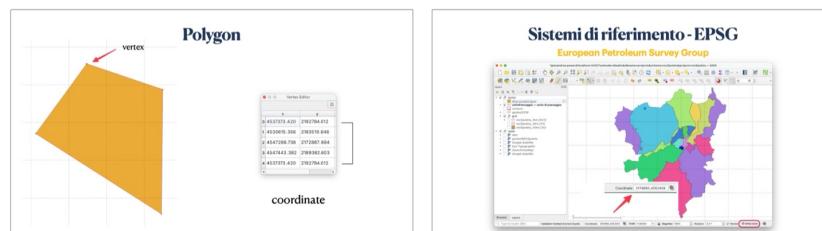
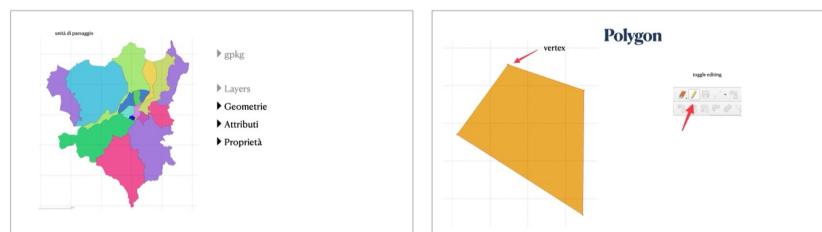
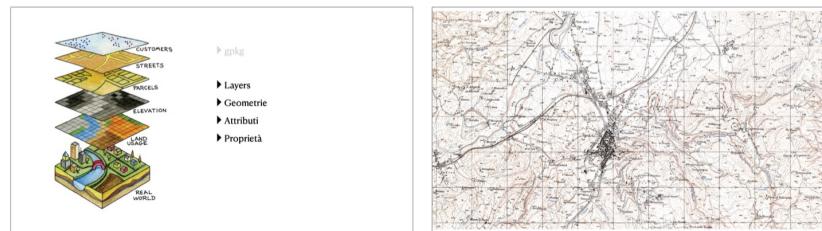
Agenda	
I incontro	Introduzione a QGIS e presentazione del servizio QGIS e delle sue funzionalità principali. Introduzione alle reti ecologiche: storia di QGIS, presentazione degli strumenti e dei processi per la creazione di reti ecologiche. Analisi della rete ecologica di Perugia.
II incontro	Oscarsione sull'importanza del GIS in diversi settori (ambiente, urbanistica, integrazione, ecc.).
III incontro	

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

Analisi



Sistemi di riferimento - EPSG
European Petroleum Survey Group

Coordinate geografiche → Coordinate cartografiche

φ, λ y, x

Polygon

The first diagram shows a globe icon labeled "Coordinate geografiche" with coordinates φ, λ . An arrow points to a map icon labeled "Coordinate cartografiche" with coordinates y, x . The second diagram shows two polygons on a grid. The word "vertex" is written above one vertex of each polygon, with red arrows pointing to them.

Polygon

The third diagram shows two polygons on a grid. The word "vertex" is written above one vertex of each polygon, with red arrows pointing to them.

Temporary Scratch layer
aggiungi un nuovo layer

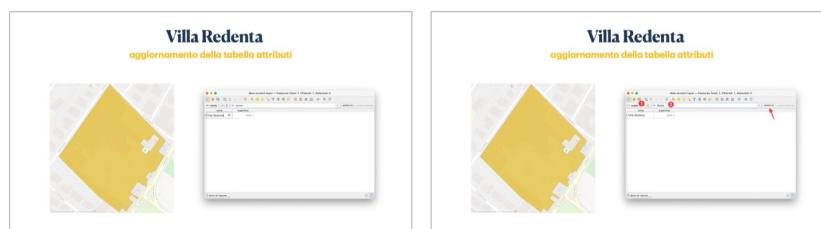
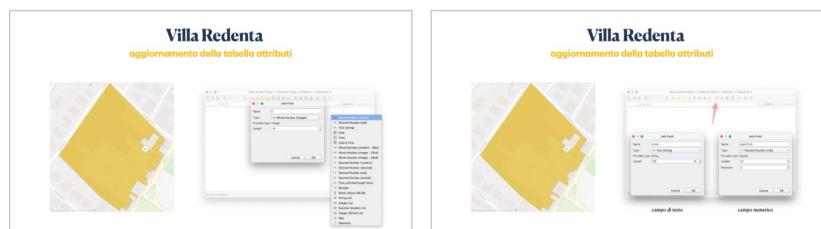
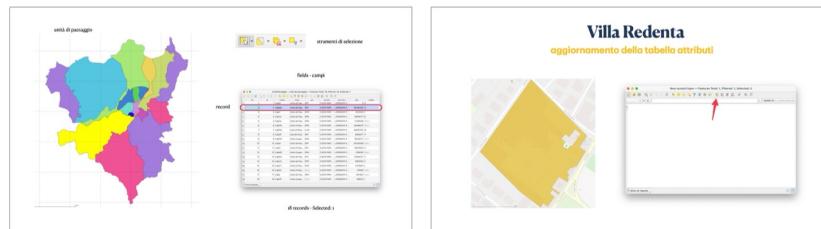
Temporary Scratch layer
aggiungi un nuovo layer

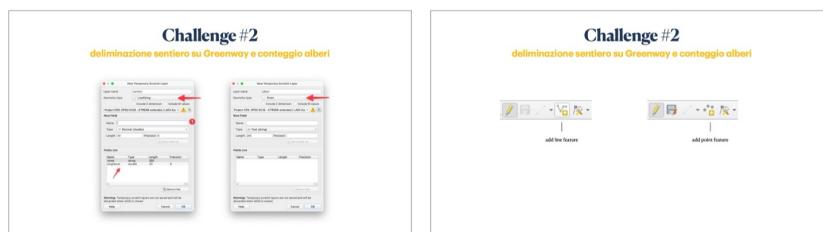
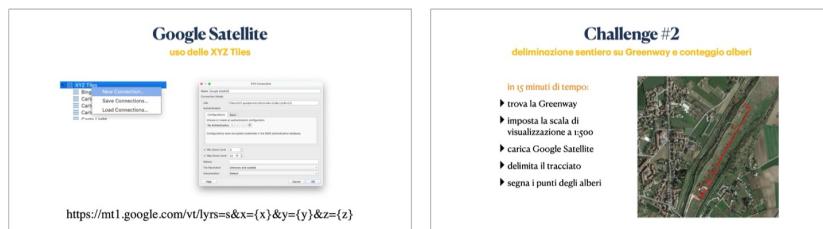
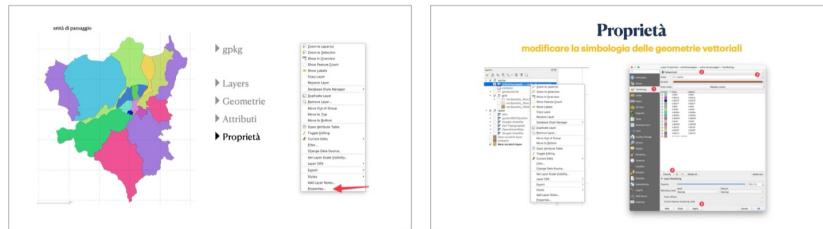
Challenge #1
delimitazione del perimetro del giardino di Villa Redenta

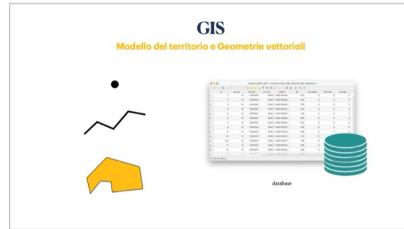
in 6 minuti di tempo:
 ▶ trova Villa Redenta
 ▶ imposta la scala di visualizzazione a 1:500
 ▶ crea un nuovo layer
 ▶ delimita l'area
 ▶ come creare un buco?

Advanced Digitizing Toolbar
strumenti avanzati per il perfezionamento delle geometrie

The screenshots show the QGIS interface. The left one shows the "Temporary Scratch layer" dialog and the toolbar with a red arrow pointing to the "add polygon" tool. The right one shows a map view with a polygon selected and the "Advanced Digitizing Toolbar" open, highlighting the "add ring" and "release feature" buttons.







PCTO - RECSpoleto

Software GIS e Rete Ecologica Comunale

Il incontro

Gianandrea La Porta & Federica Andreini
23 gennaio 2024

Agenda

I incontro

Introduzione a QGIS•Presentazione del software QGIS e delle sue funzionalità principali•Struttura intera di QGIS•panorama degli strumenti e dei pannelli•Orientarsi in un nuovo progetto•Caricamento di dati propri.

•Caratteristiche della Rete Ecologica Comunale (RECS) e introduzione agli strumenti di analisi spaziale in QGIS•Calcolo di area e lunghezza,

II incontro

Gestione e Analisi dei Dati•Organizzazione dei dati in layer all'interno di un progetto QGIS•Strumenti di selezione e interpretazione degli strumenti di analisi spaziale•Analisi spaziale di dati vettoriali: punti, linee, poligoni, strumenti di Analisi Territoriale•Introduzione agli strumenti di analisi spaziali in QGIS•Calcolo di area e lunghezza

III incontro

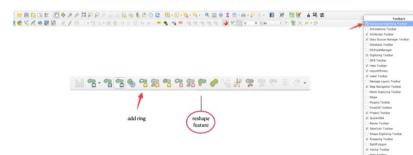
Challenge #1
delimitazione del perimetro del giardino di Villa Redenta

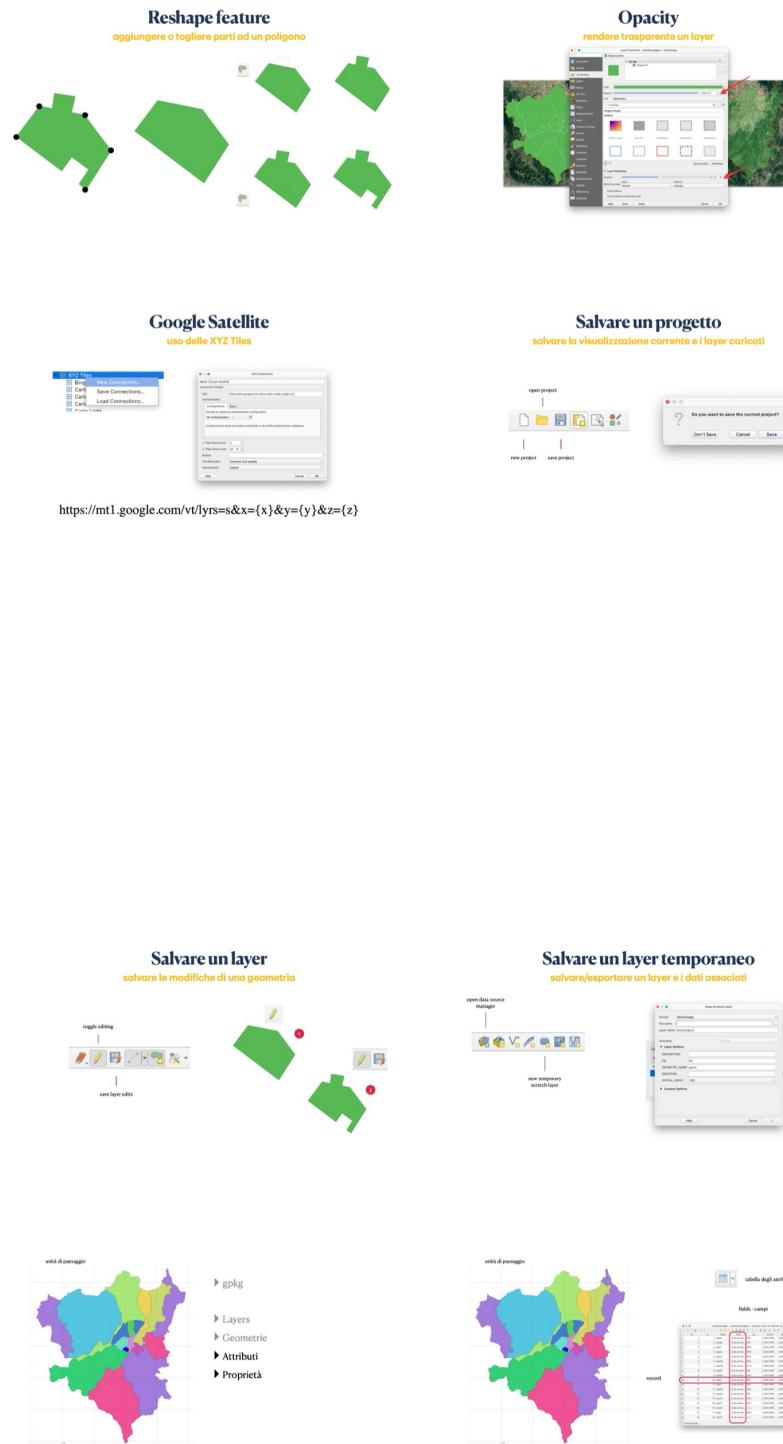
in 6 minuti di tempo:

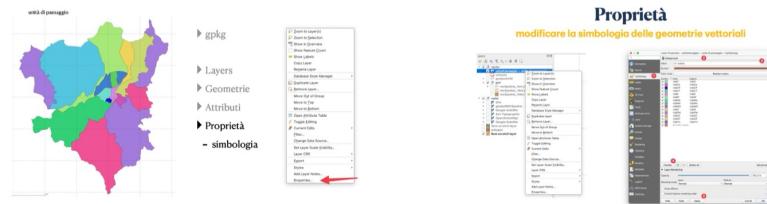
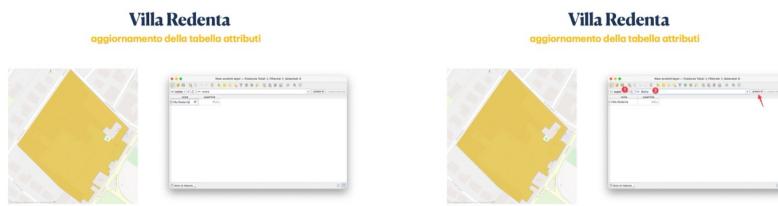
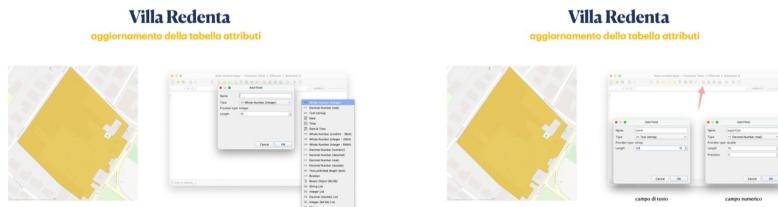
- ▶ trova Villa Redenta
- ▶ imposta la scala di visualizzazione a 1:300
- ▶ crea un nuovo layer
- ▶ delimita l'area
- ▶ come creare un buco?

Advanced Digitizing Toolbar

strumenti avanzati per il perfezionamento delle geometrie







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	descrizione	specie	castagno	pioppo	albero
albero	albero	castagno	1	0	1
edificato	albero	castagno	1	0	1
animale	albero	pioppo	0	1	1
toponimo	albero	pioppo	0	1	1
tappa	albero	pioppo	0	1	1

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali

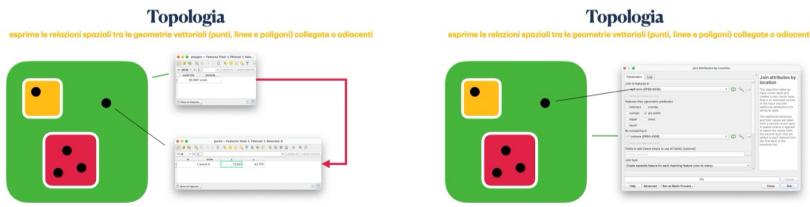


GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali



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

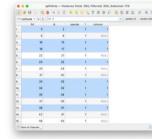


Challenge #3

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 #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



Filtrare le informazioni

query



Filtrare le informazioni
Query builder - selecting data

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

Agenda

I incontro	Introduzione a QGIS e funzionalità principali. Creazione di un progetto.
II incontro	Gestione e Analisi dei Dati. Organizzazione dei dati in layer all'interno di un progetto QGIS. Strumenti di selezione e interrogazione degli oggetti vettoriali. Creazione di nuovi layer e modelli di dati vettoriali: punti, linee, poligoni. Invertori di Analisi Territoriale. Introduzione agli strumenti di analisi spaziale in QGIS: Calcolo di aree e lunghezze.
III incontro	Elementi di topologia e strumenti relativi in QGIS. Creazione di una nuova cartina di uso del territorio e gestione delle geometrie e degli attributi.

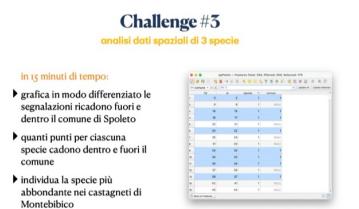
Software GIS e Rete Ecologica Comunale

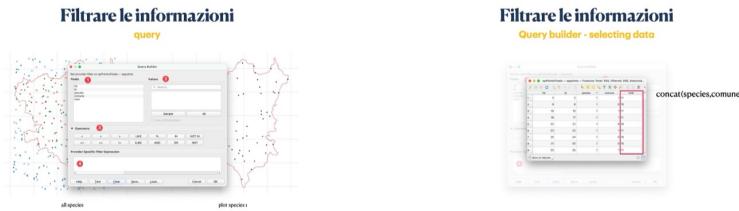
III incontro

Gianandrea La Porta & Federico Andreini
29 gennaio 2024

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali





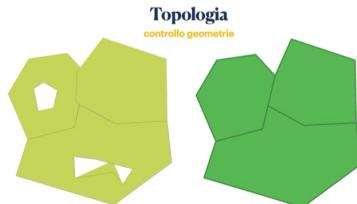
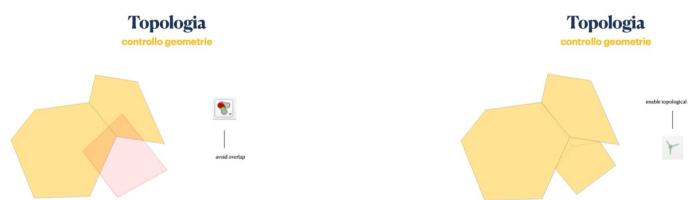
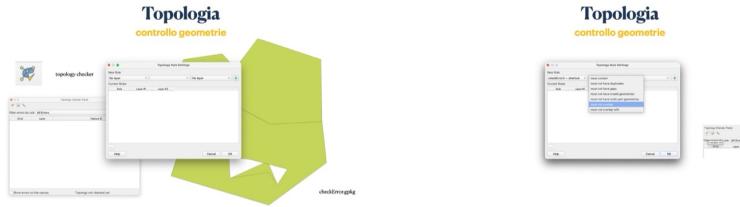
Challenge #4
analisi dati spaziali o criteri multipli

in 7 minuti di tempo:

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

The image shows a screenshot of the QGIS interface. It features a map of the 'Monti Martani' landscape unit, which is divided into various green and yellow regions. A legend on the left indicates that yellow areas represent agricultural zones. A specific yellow-highlighted area is shown in more detail, likely representing the results of the spatial analysis described in the challenge.





Challenge #5

creare una nuova carta di uso del suolo



- ▶ caricare i layers
 - area di studio
 - google satellite
- ▶ creare le geometrie (poligoni) degli elementi
 - bosco
 - aree agricole
 - strade e filari
 - abeti
 - edifici
- ▶ 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

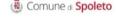
La Citizen science è qualsiasi attività che coinvolge il pubblico nella ricerca scientifica.



Welcome to the european citizen science platform.
<https://eu-citizen.science/>

Diventare un citizen scientist
monitoraggio della fauna minore

Comune di Spoleto




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



Mariie Skłodowska Curie



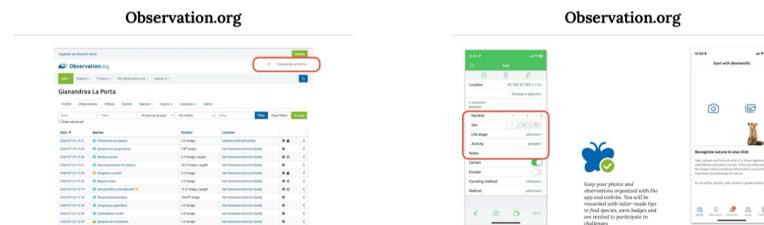
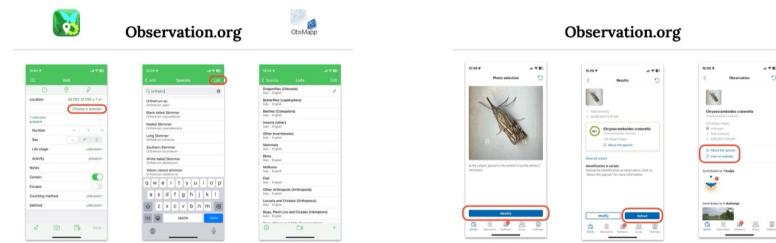


Observation.org



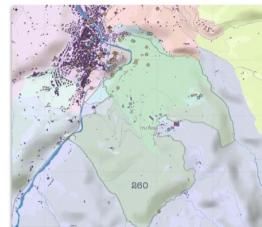
Applicazioni per smartphone



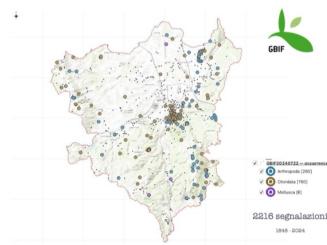
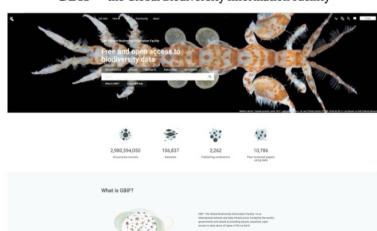


Backstage - processo di validazione

- gruppo di validatori
 - codice di comportamento
 - controllo di tutti i dati in archivio
- ▼ punto critico della CS



GBIF – the Global Biodiversity Information Facility





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

FAUNA 2024 SPOLETO
Fauna in campagna: biodiversità e paesaggio rurale

Qian Xuān
(1660-1720)

utenza di prevenire la
fertilità dei raccolti;
attraverso abbondanza
di libellule

Ciclo di vita complesso (CLC)

3 fasi

Libellule - Odonati

FAUNA 2024 SPOLETO
Fauna in campagna: biodiversità e paesaggio rurale

6406 specie
EU

146

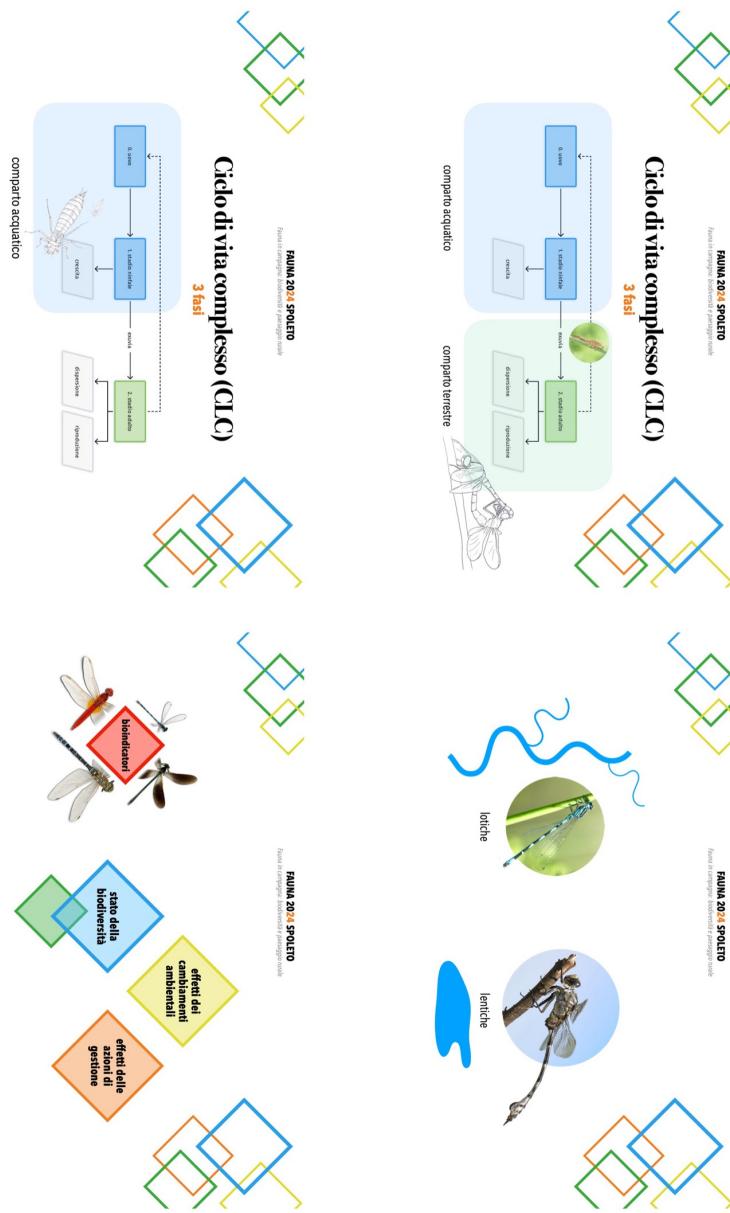
95 Italia

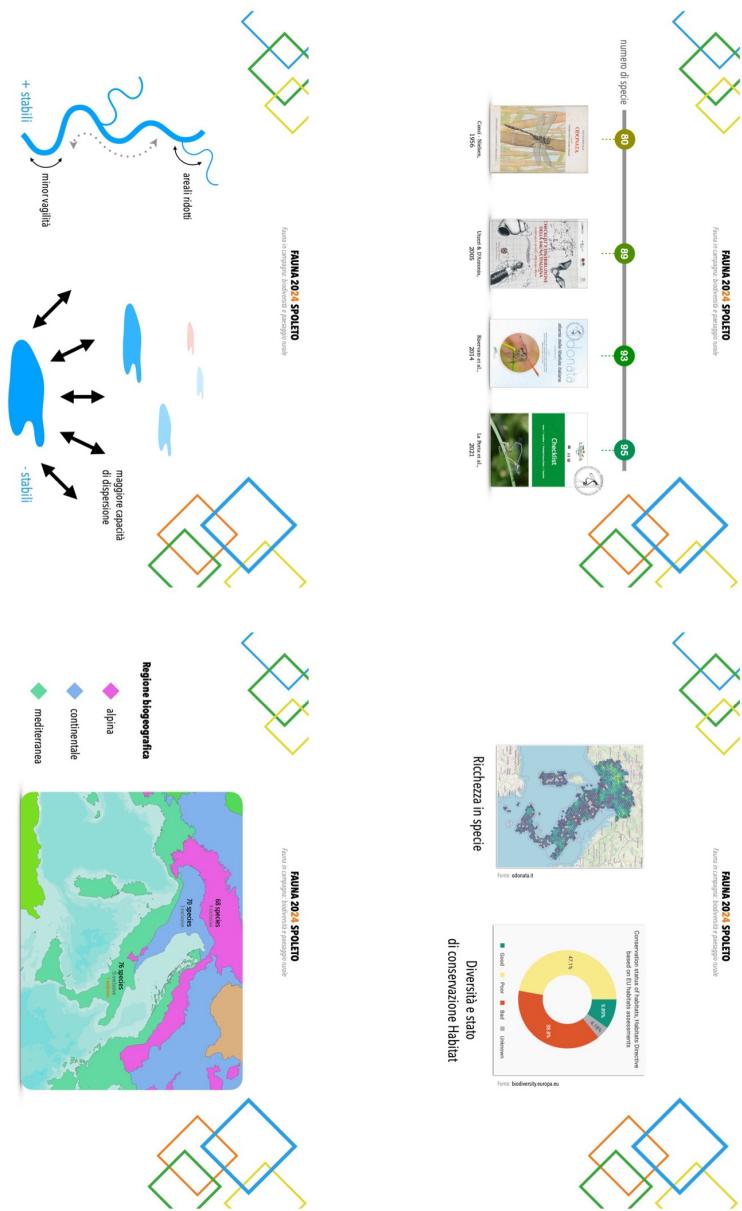
55 Umbria

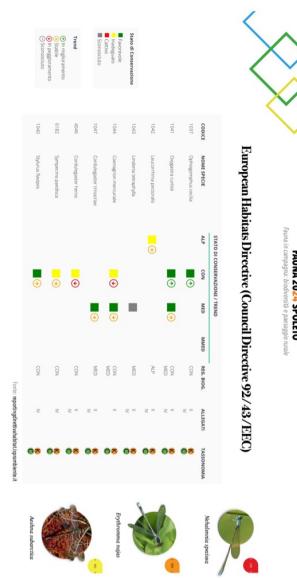
Sappatuta
Autumnalis
(Diptera)

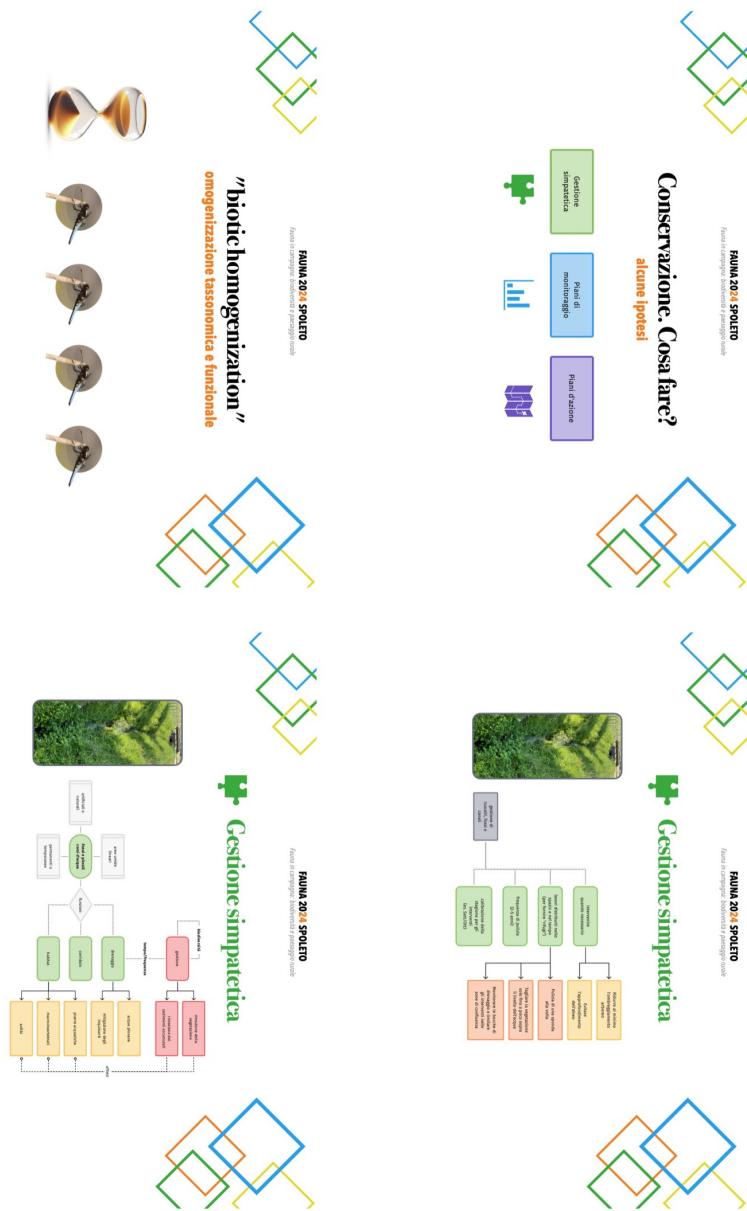
Gianandrea La Porta - 13 Aprile 2024

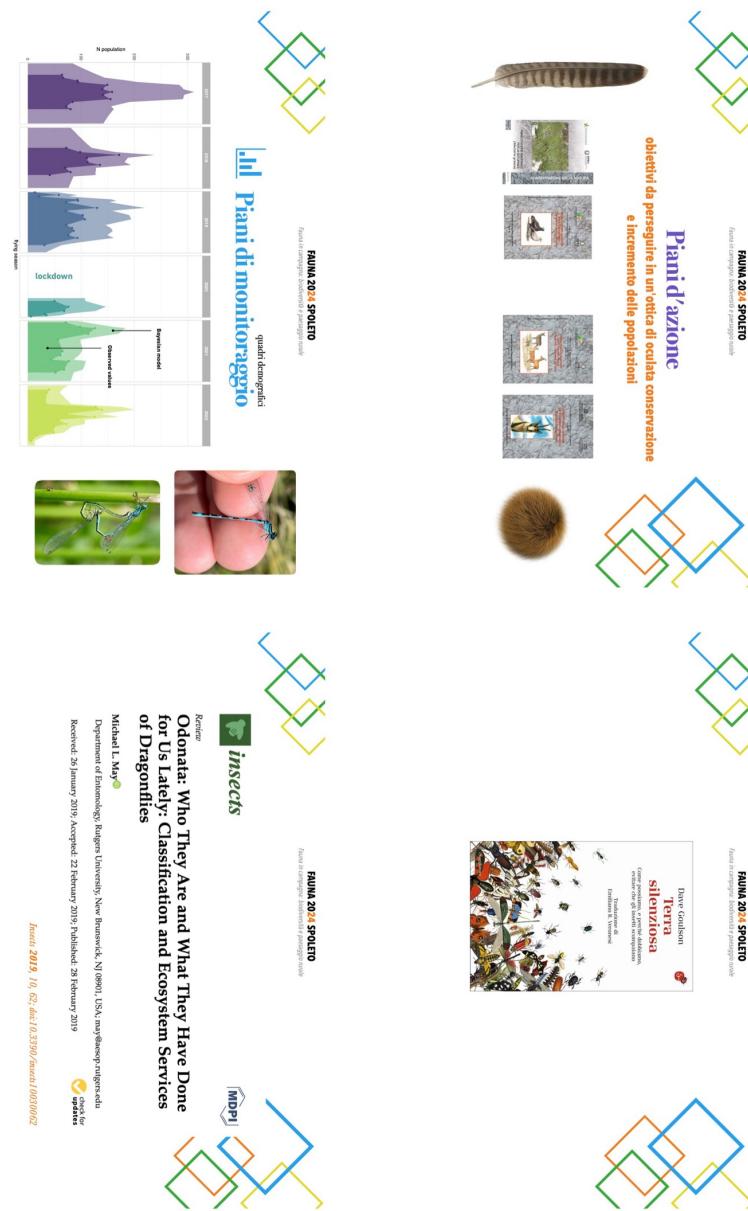
www.laporta.it













FANNA 2014 SPRINT

www.odonata.it

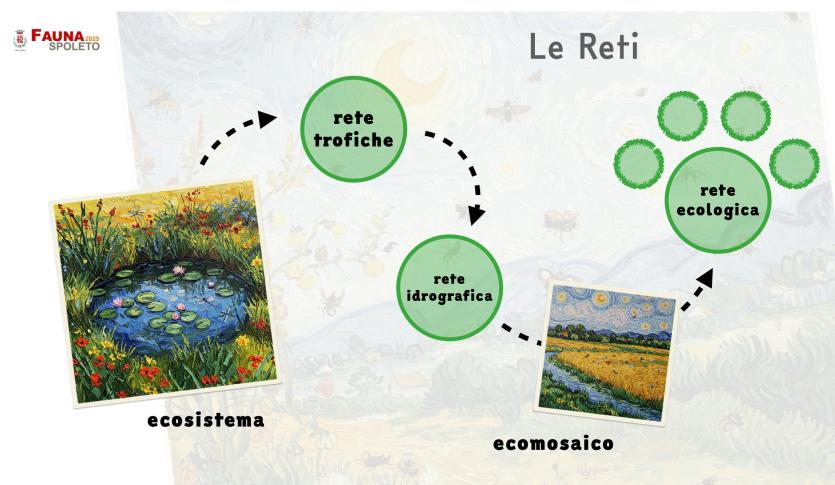
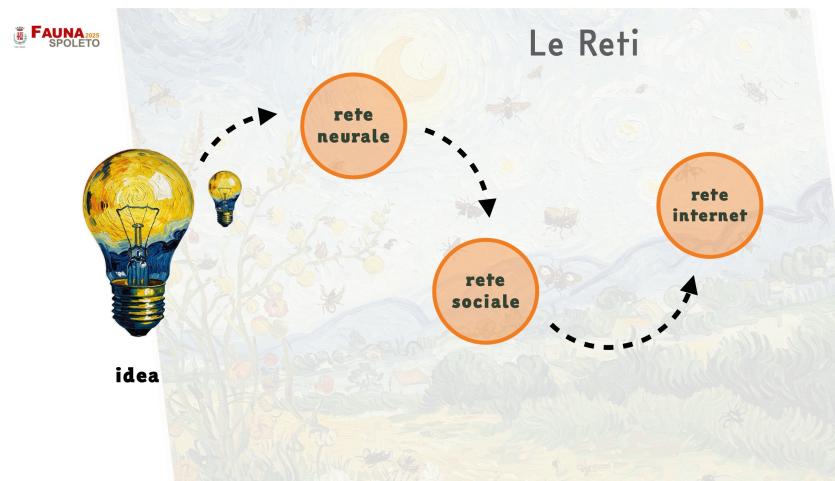


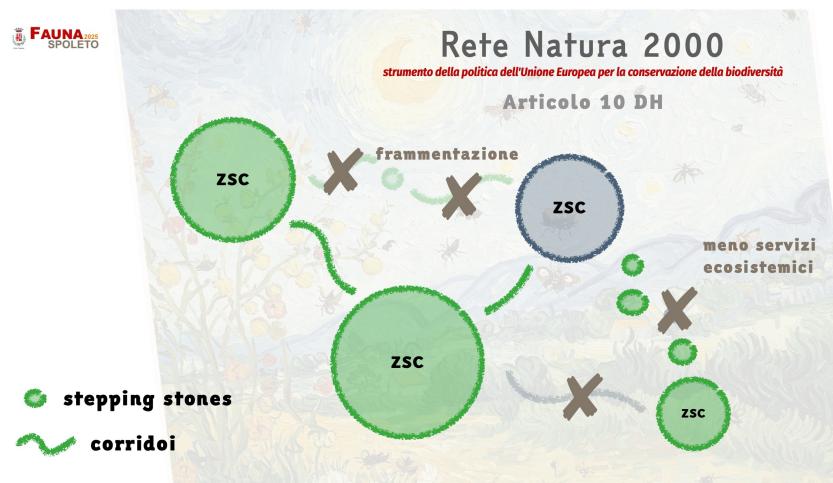
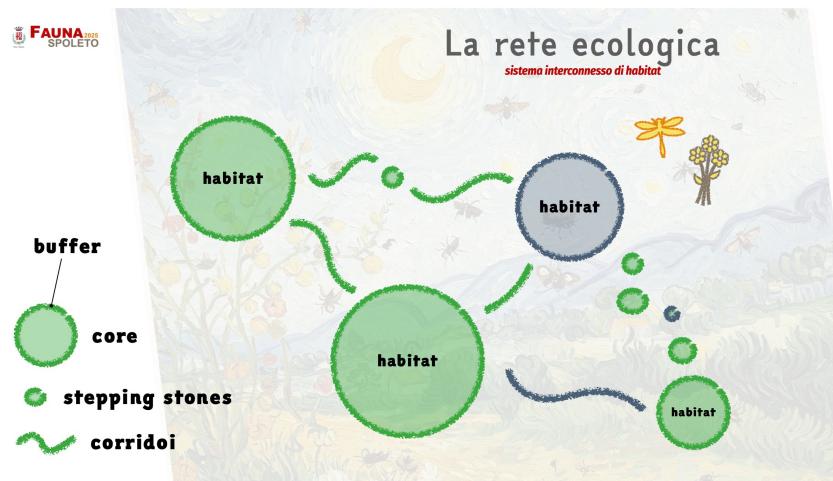

2014

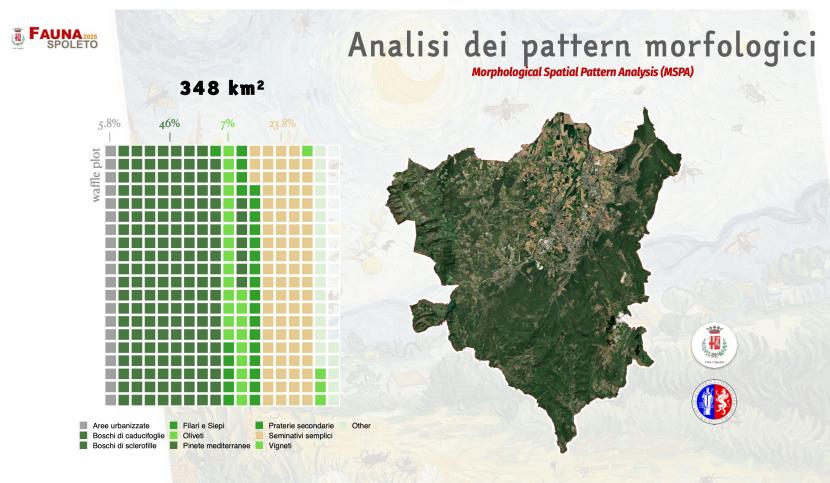
Tavola 2. Elenco delle libellule italiane minacciate			
Family	Name scientifica	Name comune	Categoria lista Rossa
Coenagrionidae	Enallagma cyathigerum	Buccione	R1
Coenagrionidae	Enallagma signatum	Cicala reale	CR
Coenagrionidae	Synlestes perplicatus	Libellula del pugnace	CR
Coenagrionidae	Dythemis velox	Orfeo maggiore	EN
Aeshnidae	Aeshna mixta	Libellula orsa	EN
Aeshnidae	Aeshna cyanea	Libellula orsa	EN
Aeshnidae	Aeshna isoceles	Libellula tagliatore	EN
Aeshnidae	Aeshna mixta	Libellula orsa	EN
Aeshnidae	Aeshna isoceles	Libellula tagliatore	EN
Aeshnidae	Aeshna mixta	Libellula orsa	EN
Aeshnidae	Aeshna isoceles	Libellula tagliatore	EN
Coenagrionidae	Ischnura elegans	Dragoletto rosso	VU
Coenagrionidae	Ischnura hastata	Dragoletto rosso	VU
Coenagrionidae	Ischnura aurora	Dragoletto rosso	VU
Lestidae	Coenagrion mercuriale	Calopteryx alata	EN

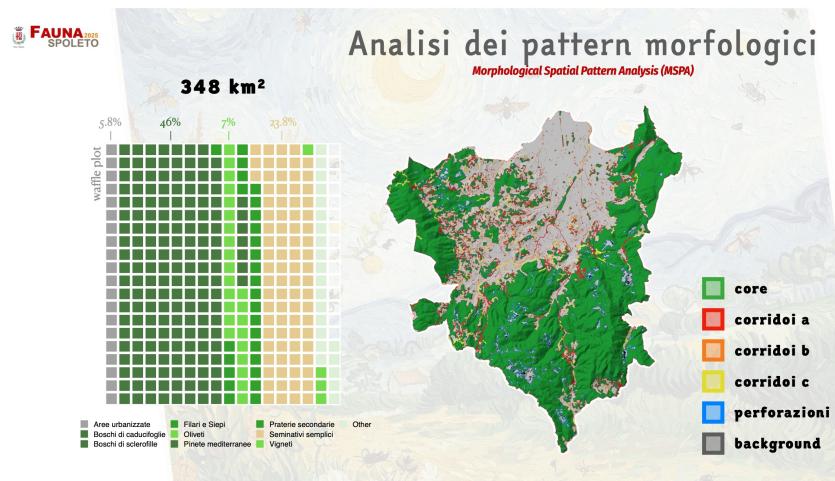
8.1.4 Convegno Fauna 2025 con contributo dal titolo: Fauna e Reti ecologiche: progettare connessioni per la biodiversità

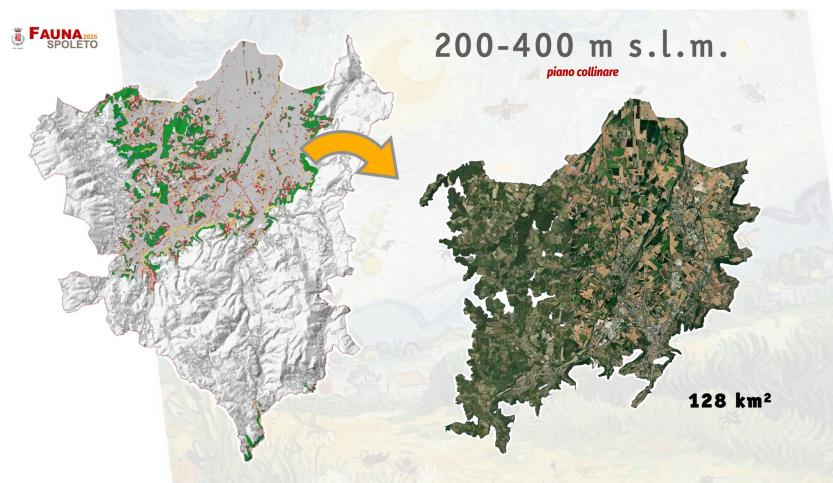
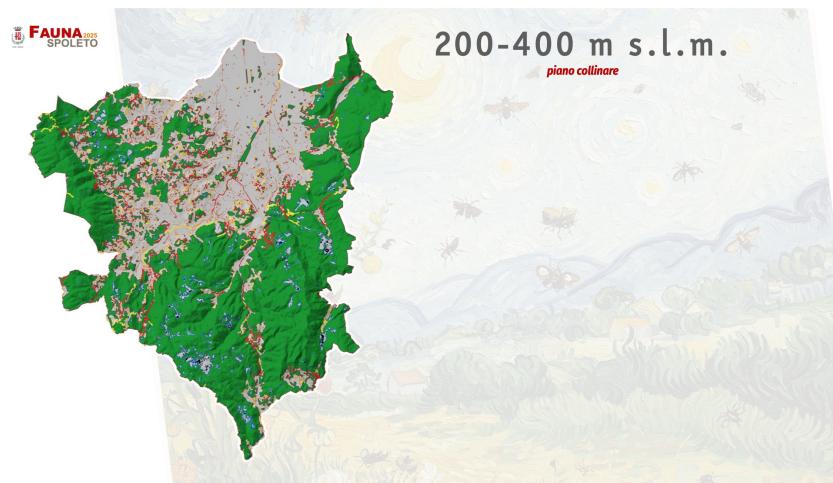


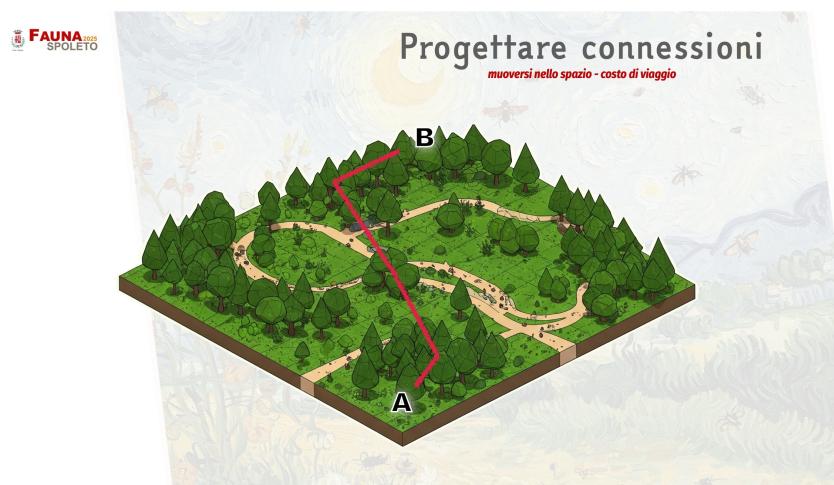
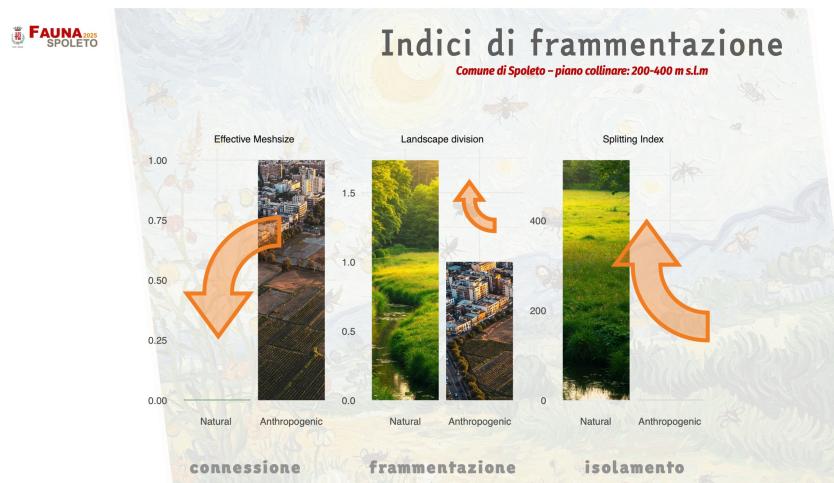


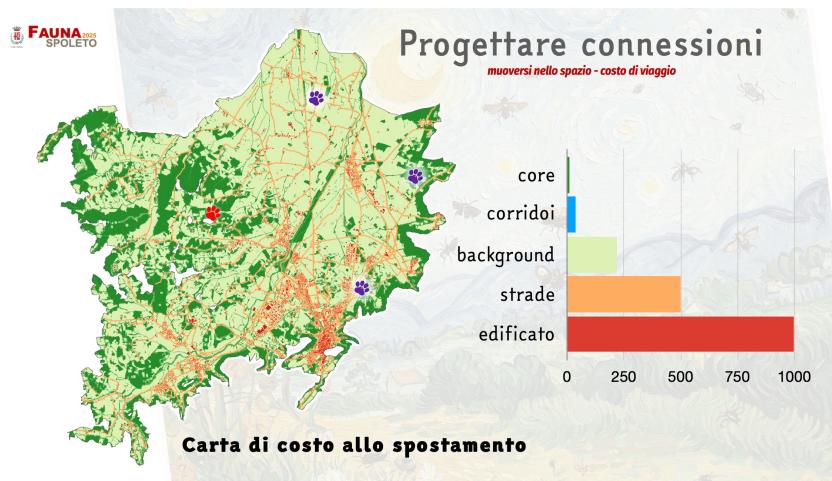


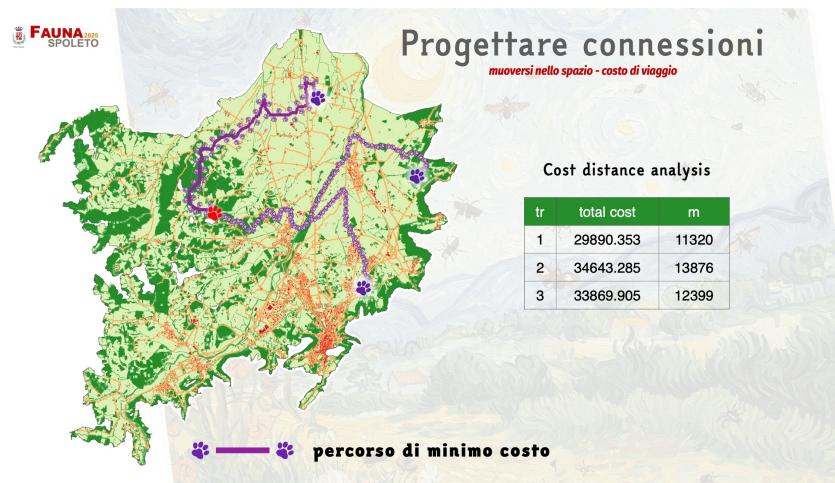


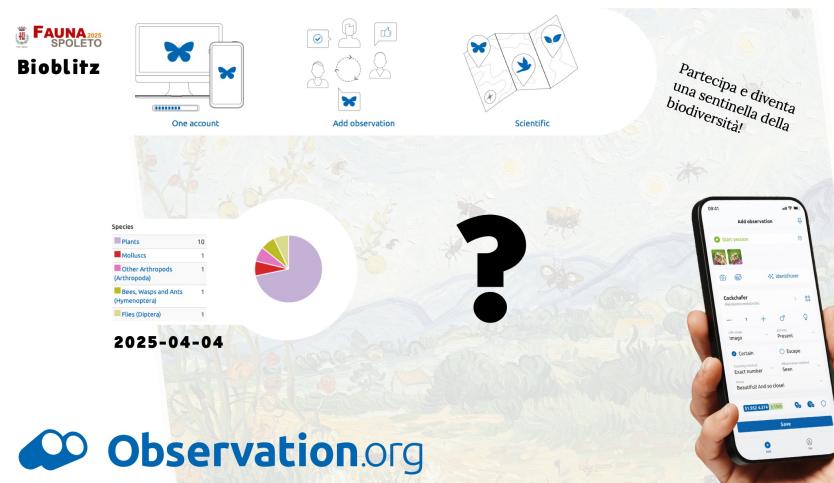












Bibliografia

- 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). *Marxan 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 Environment*, 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 Fi-

- lho, 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.