

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

Gianandrea La Porta, Manuela Rebora

2025-06-30

Indice

1	Premessa	5
2	Introduzione	9
2.1	La rete ecologica	9
3	Metodologie	13
3.1	Approccio metodologico	13
4	Risultati	23
4.1	Quadro conoscitivo di base	23
4.2	Elaborazioni cartografiche	27
5	Disseminazione dei risultati	61
5.1	Eventi di disseminazione	62
6	Considerazioni conclusive	65
7	Programmazione 2025	69
7.1	Piano delle attività 2025	69
8	Allegato I	71
8.1	Diapositive delle presentazioni utilizzate durante gli eventi di disseminazione dei risultati della ricerca	72

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. Infatti, 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 l’affaticamento 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 stato associato a una riduzione della mortalità per cause respiratorie, cardiovascolari e per cancro e a un miglioramento della salute respiratoria e mentale.

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: i) supportare l’amministrazione nell’identificazione e il 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 re-

ti ecologiche attraverso la descrizione dei principali elementi costitutivi delle reti ecologiche rappresentati dai corridoi ecologici, dalle aree core e dagli habitat con funzione di margine. Verranno evidenziati i principali benefici per fauna e flora locali, prestando attenzione all'importanza della riduzione della frammentazione e al miglioramento della connettività tra gli habitat. Questa permeabilità del territorio è infatti la chiave per contrastare la frammentazione e giungere, nel medio-lungo termine, ad uno sviluppo urbano sostenibile e armonioso che valorizzi i servizi che la presenza di ecosistemi funzionali offre. Saranno inoltre presentate alcune elaborazioni cartografiche finalizzate alla messa in campo di buone pratiche di pianificazione a scala comunale.

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.

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

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

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

anismi 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. Per misurare la biodiversità è utile distinguere: - 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).

A partire dalle misure di ricchezza specifica e dai dati di abbondanza è possibile sviluppare ulteriori indici di eterogeneità e di diversità/dominanza, quali gli indici di Gini, Shannon e Simpson (Magurran 2004), che ci aiutano a descrivere in modo più approfondito la struttura e la complessità delle comunità biologiche presenti sul territorio. Sulla base di queste informazioni è possibile definire il set di specie target che strategicamente saranno prese in considerazione durante la progettazione della rete. In linea generale, è consigliabile selezionare queste specie in base a: - Sensibilità al processo di frammentazione; - Facilità di campionamento; - Diffusione sul territorio, con preferenza per le specie a distribuzione relativamente ampia; - Stretto legame con gli ambienti di riferimento.

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

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

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

2.1.1 Obiettivi della rete

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

1. sviluppare un più ampio sistema di connessioni che consideri congiuntamente il patrimonio naturale e culturale e che agisca per mantenere e ripristinare una condizione di naturalità diffusa degli spazi rurali e urbani;

2. ridurre la frammentazione territoriale e gli effetti dell'insularizzazione per le popolazioni animali, anche attraverso l'introduzione di misure normative da includere negli strumenti urbanistici ordinari;
3. rafforzare il grado di naturalità del territorio anche attraverso interventi sistematici di rimozione o attenuazione delle barriere d'ogni tipo ed in particolare per mitigare gli impatti ambientali prodotti dalle grandi infrastrutture;
4. supportare la realizzazione di un programma organico del verde urbano e periurbano in coerenza con le esigenze naturalistiche a margine delle infrastrutture e degli insediamenti.

Capitolo 3

Metodologie

3.1 Approccio metodologico

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



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

3.1.1 Sviluppo banca dati faunistica

In primo luogo sono state individuate le fonti più utili per inquadrare lo stato del territorio e descrivere le sue caratteristiche ecosistemiche. Tra queste, per estrapolare il quadro conoscitivo faunistico essenziale per la definizione delle future carte di idoneità, sono state utilizzate le informazioni pubblicate negli atlanti faunistici regionali, le schede dei formulari standard di Natura 2000 che riportano in dettaglio le caratteristiche aggiornate dei siti e delle loro comunità

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

Le informazioni raccolte hanno contribuito alla caratterizzazione della biodiversità locale e alla redazione della lista di specie presenti. L’inventario è costituito prevalentemente da specie di vertebrati, ma è stato integrato con osservazioni occasionali di invertebrati provenienti da banche dati aperte. 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 garta 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 l’applicazione delle norme ambientali, la valutazione degli impatti derivanti da interventi antropici e per 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

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).

della carta sono stati impegnati anche numerosi studenti delle scuole secondarie di secondo grado della città di Spoleto che nell'ambito delle loro attività PCTO con questa carta hanno testato le loro competenze in materia di software GIS e acquisito conoscenze pratiche nell'analisi territoriale, nella cartografia digitale e nelle metodologie di rilevamento ambientale.

Per descrivere le caratteristiche generali di questa carta sono state utilizzate metriche del paesaggio elaborate utilizzando il software FRAGSTATS (<https://www.fragments.org>). 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 = 1 quando siamo in presenza di una sola patch; quando siamo in presenza di habitat altamente frammentato e sottoposto a sprawl urbano il numero di patches è elevato.
- **Mean patch area (MPA):** indica la dimensione media delle patch, più le patches delle varie classi hanno una dimensione simile più i valori si assomigliano. Qualora si presentassero evidenti differenze di valore significa che siamo di fronte a un territorio eterogeneo;
- **Edge density (ED):** è la lunghezza di tutti bordi di una classe in relazione all'area totale di ogni classe del paesaggio. Il valore è uguale a 0 se è presente una sola patch, e cresce all'aumentare della frammentazione del paesaggio;
- **Largest Patch Index (LPI):** è uguale all'area della patch più grande di ogni tipo di classe del suolo;
- **Fractal Dimension Index:** è una “metrica della forma”, si basa sul perimetro della patch e sull'area della patch e descrive la complessità della patch;
- **Patch Cohesion Index:** esprime il grado di connessione naturale tra i tipi di paesaggio, un numero vicino allo zero indica che la classe è molto frammentata mentre un numero alto indica che sono molto collegate.

3.1.3 Carta di idoneità generale

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

Nel caso in esame, la carta di idoneità è stata elaborata a titolo esplorativo sulla base delle esigenze biologiche ed ecologiche del set di specie di vertebrati precedentemente selezionati per l’elaborazione della rete ecologica regionale (cfr. RERU) e tenendo conto delle categorie di uso del suolo aggiornate nel contesto comunale con la carta geobotanica. Per la realizzazione di questa carta generale sono stati impiegati dei modelli geostatistici a massima entropia noti anche come *Species Distribution Models* (SDM) in grado di quantificare la vocazionalità territoriale sulla base delle categorie ambientali (cfr. Maxent ==BIB==). 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 supportare 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 le potenzialità del territorio alla presenza delle specie è necessario trasformare questo valore in un indicatore più vicino alla realtà 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 (==BIB==). Anche il sistema costituita da parchi, giardini, viali alberati e tetti verdi, possono creare connessioni importanti per alcune specie in grado di adattarsi agli ambienti antropizzati. 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 (==BIB==). Questo processo di disgregazione 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. Ulteriore fattore di rischio è inoltre, 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 di questi effetti 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. In particolare, quelli che si manifestano attraverso varie modalità di sviluppo territoriale e dall'espansione della rete infrastrutturale. Associato al concetto della frammentazione c'è il suo complemento ovvero la 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 2000). 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 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 and Riitters, 2017). Questo approccio analitico

ha trovato applicazione in contesti istituzionali di rilievo, tra cui i rapporti ufficiali dell'USDA-Forest Service per il monitoraggio dello stato delle foreste e delle praterie, nonché nell'ambito del programma EnviroAtlas dell'EPA. Il processo algoritmico MSPA genera una mappa di sintesi che fornisce un quadro statistico completo dei pattern spaziali ambientali presenti nell'area di studio. Questa rappresentazione cartografica integra diverse tipologie di classi morfologiche e identifica i corridoi di connessione ecologica presenti nel territorio.

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

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

- **connettività** (foreground connectivity). Ci sono due possibili opzioni: una connettività a 8 celle, in cui a partire da una prima cella gli spostamenti sono consentiti in tutte le direzioni dello spazio, incluse diagonali e angoli; in alternativa si può utilizzare una connettività a 4 celle, in cui sono ammessi collegamenti soltanto per celle con un bordo in comune.
- **spessore del margine** (edge width), in cui si definisce l'estensione dei margini delle aree core sotto forma di aree di buffer.
- presenza (1) o assenza (0) di **zone di transizione** che attraversano le zone di margine.
- intext (0,1), che permette di separare le **porzioni esterne e interne**, dove le caratteristiche interne sono quelle racchiuse da una perforazione.

3.1.7 Marxan

Per consolidare il sistema della rete ecologica tra gli strumenti che verranno impiegati dal software Marxan (==BIB==). 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 costo minimo può riferirsi a quell’insieme di valutazioni di natura ecologica, sociale ed economiche finalizzate a ottenere una rappresentazione minima delle caratteristiche della biodiversità con il minor costo possibile. La logica è che è più probabile che vengano mantenuti gli elementi della rete se questi si dimostrano essere i più economici o i meno socialmente dirompenti. Lo scopo dell’utilizzo di questo set di algoritmi risiede nell’importanza di supportare il processo decisionale e fornire un punto di partenza solido e riproducibile per le discussioni sulla pianificazione. I risultati finali dovranno poi essere perfezionati dai decisori che hanno il compito di considerare l’intera gamma di fattori politici, socio-economici e pratici che influenzano l’attuazione della pianificazione.

Capitolo 4

Risultati

4.1 Quadro conoscitivo di base

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

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

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

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

4.1.1 Dati Faunistici

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

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

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

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

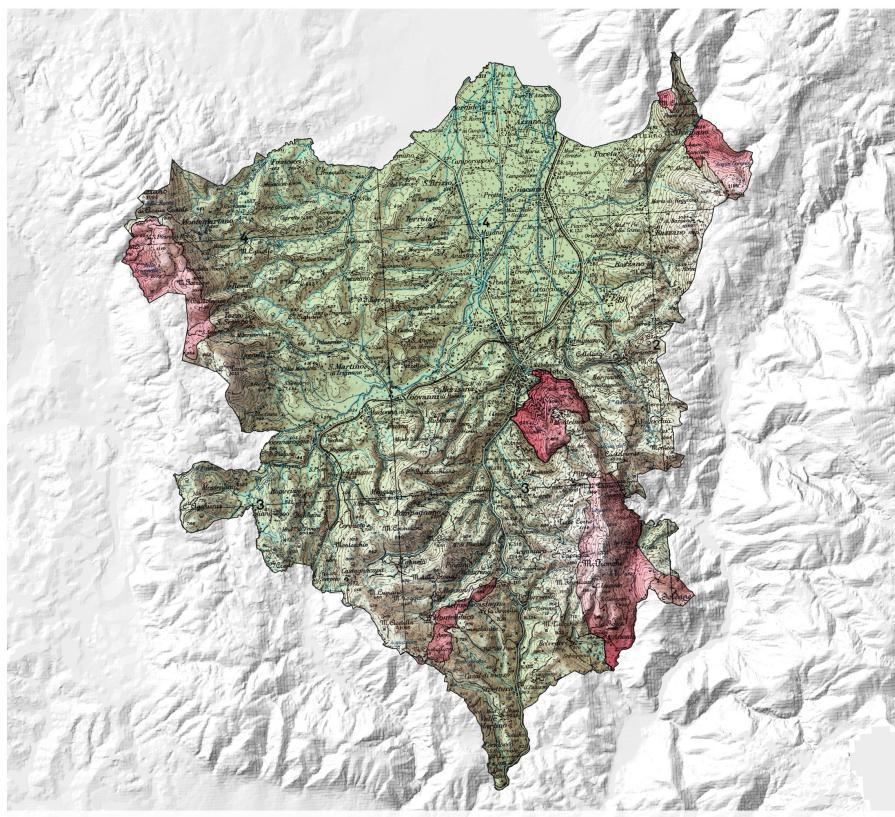


Figura 4.1: Il territorio spoletino. In tonalità rosse sono evidenziate le aree Natura 2000.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2 Elaborazioni cartografiche

4.2.1 Carta geobotanica

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

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

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

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

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

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

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

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

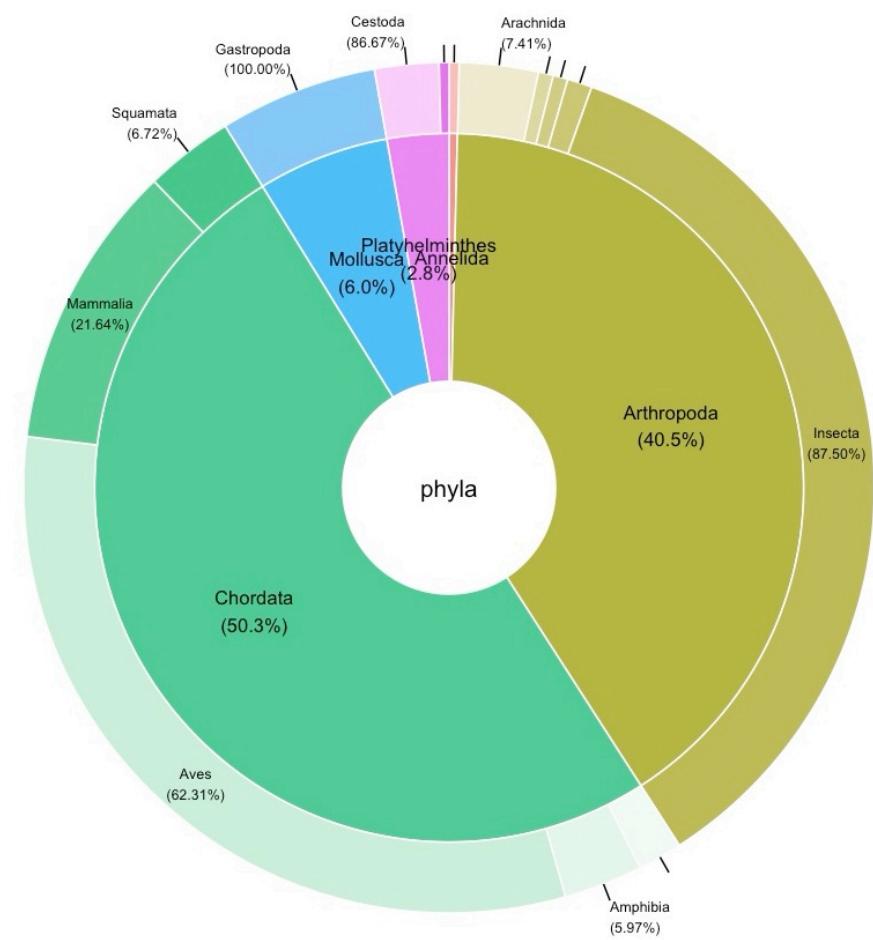


Figura 4.2: Distribuzione percentuale delle diverse specie disaggregate per Phylum e per Classe.

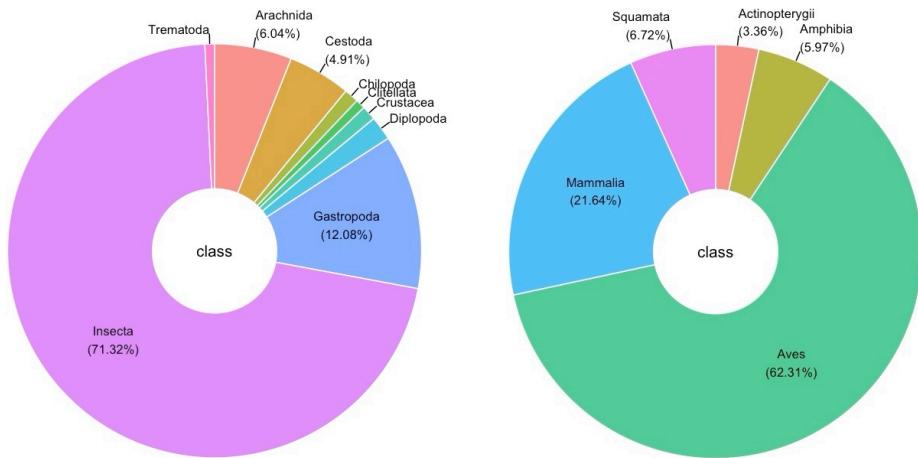


Figura 4.3: Distribuzione percentuale delle specie animali disaggregate per classe tra invertebrati (sinistra) e vertebrati (destra).

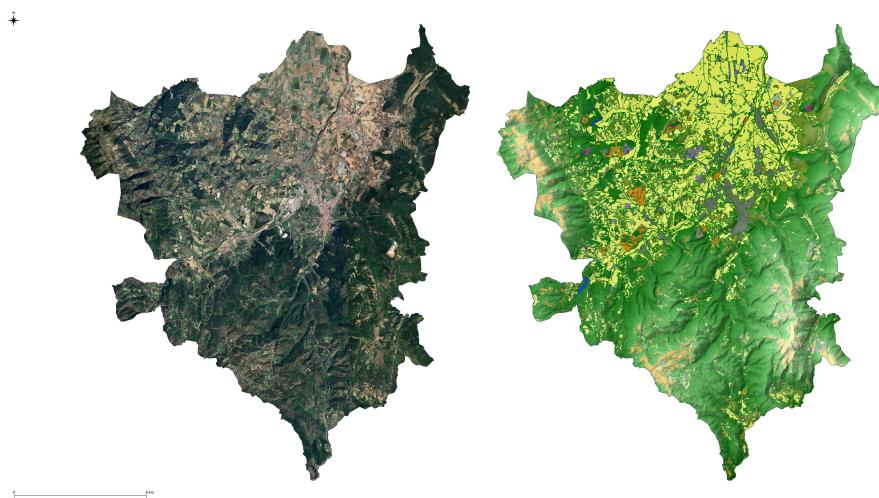


Figura 4.4: Ortofotocarta e Carta geobotanica e di uso del suolo aggiornata per il comune di Spoleto.

- 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%).

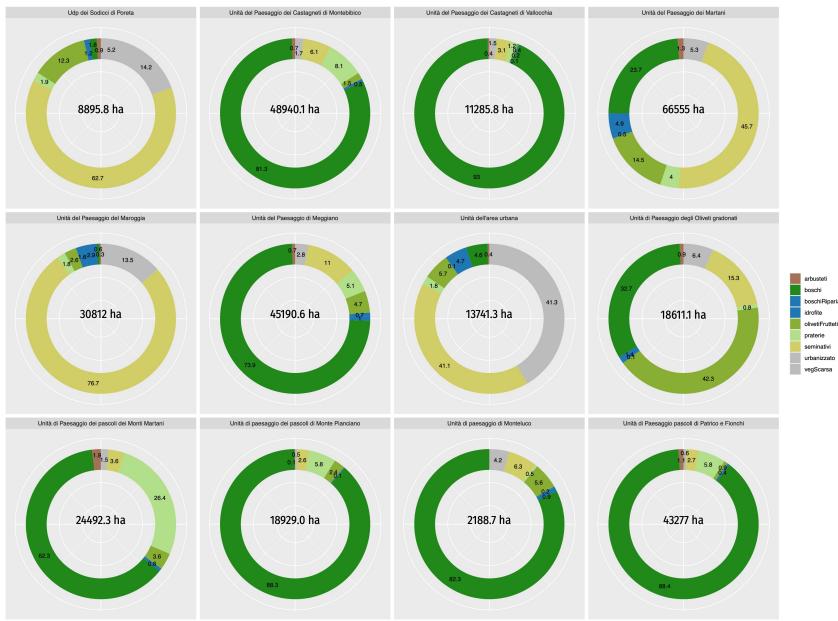


Figura 4.6: Tipizzazione degli usi del suolo delle diverse Unità di paesaggio.

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

antropico in cui si evidenzia un certo sprawl urbano. Queste indicazioni sono avvalorate anche dai bassi valori restituiti dall'indice di coesione, che presenta un valore medio ($\pm ds$) di 9.56 ± 0.365 in una scala compresa tra 0 e 100.

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

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

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

Class	Largest Patch Index (LPI)	Fractal Dimension Index	Patch cohesion index
11	1.122	1.109	9.916
12	1.229	1.134	9.937
22	31.351	1.114	9.984
23	0.102	1.111	9.720
31	0.178	1.120	9.860
40	0.186	1.171	9.796
52	0.030	1.116	9.653
61	0.037	1.106	9.224
62	0.016	1.121	9.421
70	0.010	1.136	8.537
91	0.865	1.113	9.874
92	0.058	1.153	9.702
93	0.025	1.101	9.544
94	0.049	1.119	9.542
101	0.082	1.054	9.688
102	0.015	1.132	9.221
111	0.049	1.141	9.676
120	0.003	1.134	8.629
130	0.152	1.101	9.751
141	12.789	1.108	9.971
142	0.025	1.101	9.304
151	0.041	1.110	9.460
152	0.012	1.109	9.163
160	1.139	1.103	9.849
170	0.120	1.086	9.606
180	0.012	1.088	9.210
191	0.043	1.087	9.458
200	2.004	1.087	9.911
210	0.052	1.082	9.689

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

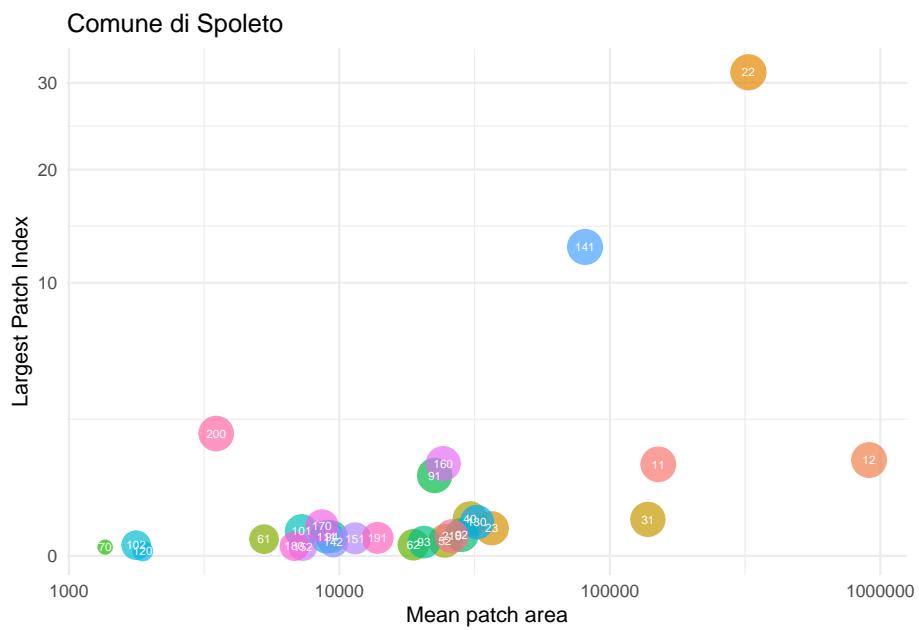


Figura 4.7: Plot degli Indici fragstats per Classe geobotanica. Il codice della Classe è riportato all'interno del singolo punto. La dimensione dei punti è proporzionale al valore del Patch cohesion index.

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

Cat. geo- bot	Landscape			Number						
	Land co- ver	Pro- por- tion	Edge length	Edge den- sity	Pat- ches	Patch den- sity	Greatest patch area	Smalles patch area	Mean patch area	Median patch area
11	100400	0.01	4140	0.00	2	0	100300	100	50200.00	50200
22	564700	0.04	38400	0.00	36	0	315700	100	15686.15	200
40	7300	0.00	980	0.00	4	0	4900	100	1825.00	150
61	24100	0.00	2220	0.00	6	0	11600	300	4016.67	2400
70	724500	0.05	141720	0.01	482	0	35200	100	1503.11	700
91	265000	0.02	18860	0.00	36	0	77100	100	7361.11	150
101	3200	0.00	440	0.00	2	0	2600	600	1600.00	1600
102	3900	0.00	820	0.00	3	0	3300	100	1300.00	500
111	6000	0.00	1240	0.00	9	0	3600	100	666.67	200
141	56487000.38		204480	0.01	85	0	2876200	100	66455.29	00000
142	44400	0.00	3480	0.00	7	0	17400	700	6342.86	4700
151	234600	0.02	19480	0.00	36	0	73200	800	6516.67	4150
152	123600	0.01	9140	0.00	19	0	22600	100	6505.26	5600
160	10325000.07		67480	0.00	119	0	218700	100	8676.47	2500
170	93000	0.01	10400	0.00	37	0	10400	600	2513.51	1900
180	3300	0.00	360	0.00	1	0	3300	3300	3300.00	3300
191	270900	0.02	12940	0.00	18	0	101200	100	15050.00	450
200	56672000.38		199060	0.01	312	0	4787700	100	18164.10	700
210	21000	0.00	720	0.00	1	0	21000	21000	21000.00	1000

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

Cat. geo- bot	Landscape			Patch						
	Land co- ver	Pro- por- tion	Edge length	Edge den- sity	Pat- ches	Patch den- sity	Greatest patch 10^6	Smalles patch area	Mean patch area	Median patch area
11	15598000047		277700	0.001	108	0.323	3821900	100	144425.9900	
12	72692000.022		77000	0.000	8	0.024	4297000	600	908650.044200	
22	14386320030		21026200.006		424	1.267	10953120000		339300.0200	
23	20134000.006		70400	0.000	55	0.164	355100	500	36607.310300	
31	691100	0.002	9640	0.000	5	0.015	621900	8200	138220.01600	
40	19394000.006		117080	0.000	65	0.194	649100	100	29836.94500	
52	122800	0.000	3900	0.000	5	0.015	104000	2800	24560.05400	
61	29142000.009		238000	0.001	552	1.649	129900	100	5279.3	2800

Cat. geo- bot	Land co- ver	Landscape			Patch					
		Pro- por- tion	Edge length	Edge.density	Numberden- of sity			Greatest patch area	Smalles patch area	Mean patch area
					Pat- x	10^6	area			
62	169100	0.001	9080	0.000	9	0.027	57500	3400	18788.9	12100
70	4513700	0.013	899740	0.003	3405	10.173	28200	100	1325.6	600
91	22732700	0.068	940880	0.003	1014	3.029	3024500	100	22418.8	3700
92	453000	0.001	19180	0.000	16	0.048	202600	200	28312.5	9050
93	205700	0.001	8120	0.000	10	0.030	88400	800	20570.0	10700
94	14703000	0.004	95160	0.000	157	0.469	173000	100	9365.0	2900
101	686500	0.002	30340	0.000	93	0.278	287000	100	7381.7	1200
102	302800	0.001	57480	0.000	172	0.514	52800	100	1760.5	400
111	415600	0.001	30600	0.000	47	0.140	171900	100	8842.6	900
120	41300	0.000	6000	0.000	22	0.066	10500	100	1877.3	1100
130	23543000	0.007	74160	0.000	73	0.218	532700	100	32250.7	8900
141	790452000	0.236	21411000	0.006	1010	3.017	44707200	100	78262.6	7100
142	591700	0.002	36220	0.000	61	0.182	87200	100	9700.0	6500
151	26000000	0.008	149720	0.000	212	0.633	143700	100	12264.2	6000
152	558300	0.002	40340	0.000	80	0.239	41300	200	6978.8	4200
160	231309000	0.069	905100	0.003	900	2.689	3980100	100	25701.0	5400
170	28658000	0.009	141200	0.000	308	0.920	418900	100	9304.5	2750
180	126300	0.000	8100	0.000	18	0.054	43100	1700	7016.7	4000
191	26504000	0.008	124940	0.000	197	0.589	151000	100	13453.8	7500
200	148915000	0.044	13878400	0.004	5622	16.796	1905100	100	2648.8	300
210	499900	0.001	14560	0.000	19	0.057	181200	100	26310.5	3800

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

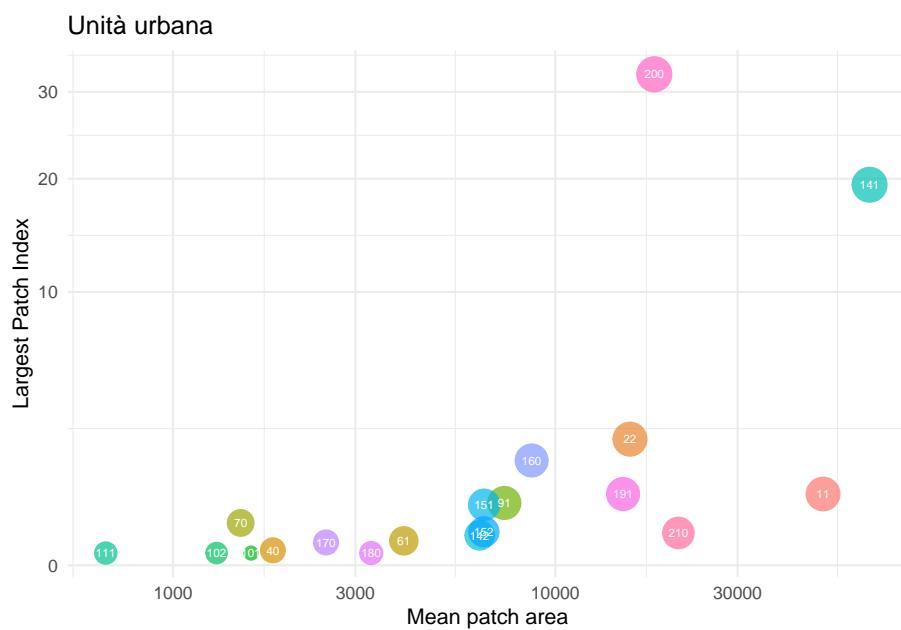


Figura 4.8: Plot degli Indici fragstats per Classe geobotanica in Unità urbana. Il codice della Classe è riportato all'interno del singolo punto. La dimensione dei punti è proporzionale al valore del Patch cohesion index.

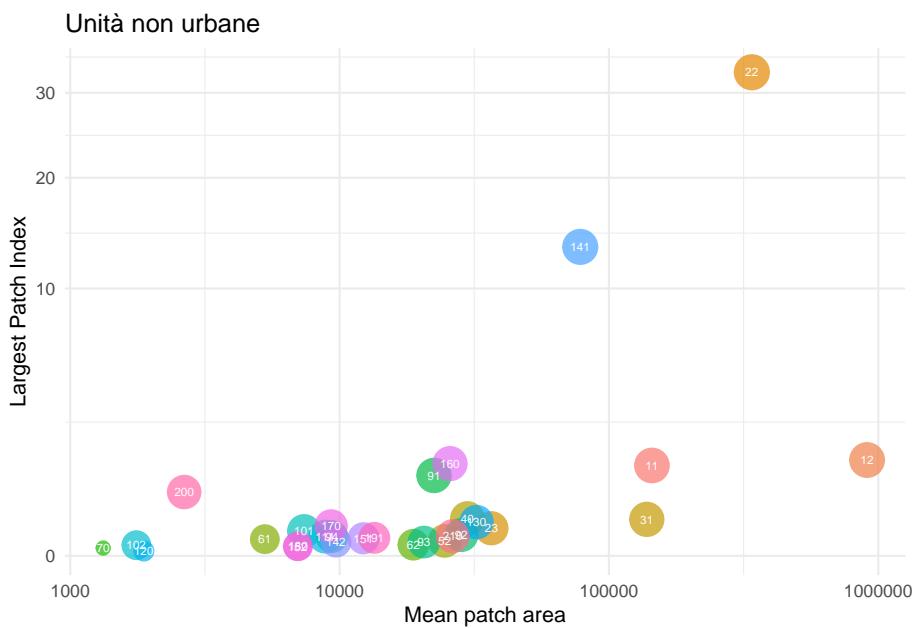


Figura 4.9: Plot degli Indici fragstats per Classe geobotanica nell'area non urbana. Il codice della Classe è riportato all'interno del singolo punto. La dimensione dei punti è proporzionale al valore del Patch cohesion index.

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

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

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

4.2.2 Carte di idoneità e della biopermeabilità

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

Ogni categoria geobotanica presenta caratteristiche specifiche in termini di:

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

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

Successive metodologie di analisi, come ad esempio la **Cost-distance analysis** (==BIB==) 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 o della **Graph theory** (==BIB==) che si occupa della modellazione del paesaggio come rete di nodi (habitat favorevoli) connessi da corridoi di diversa permeabilità, potranno suggerire strategie



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

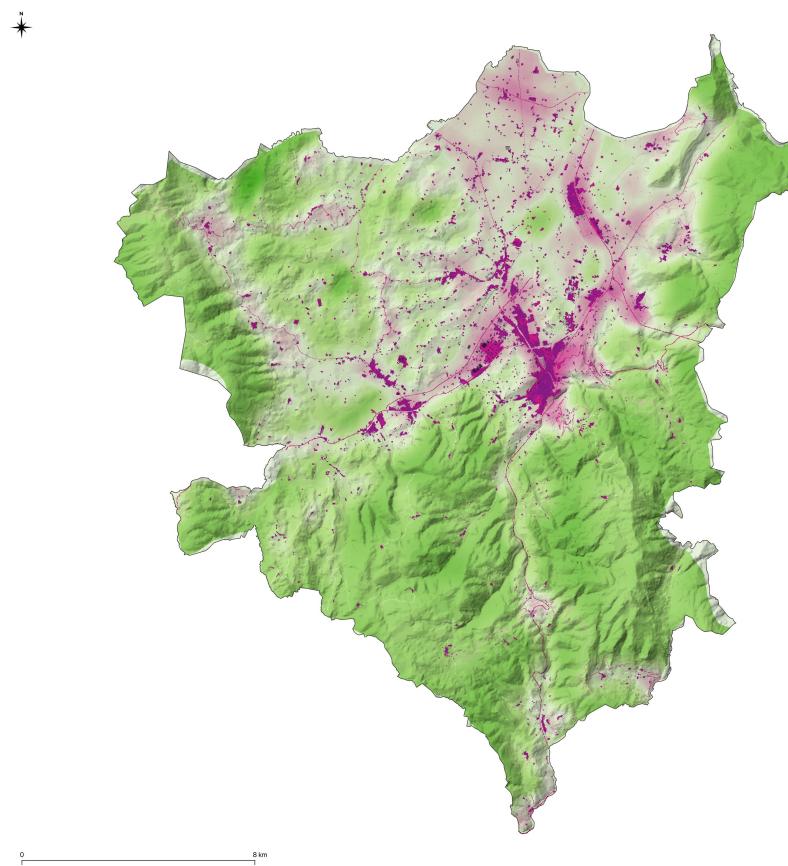


Figura 4.11: Esempio di carta della permeabilità tenuto conto dell'idoneità faunistica forestale e della presenza nel territori di elementi di permeabilità (es. corridoi fluviali) e di elementi di frammentazione (es. strade).

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

4.2.3 Analisi della frammentazione

Per approfondire la valutazione della continuità ecologica e del grado di frammentazione del territorio sono stati applicati tre indici specifici che misurano diversi aspetti della frammentazione paesaggistica. Gli indici sono: il Landscape Division, lo Splitting index e l'Effective meshsize (==BIB==). 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'indice 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

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

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

Tabella 4.13: Valori dell'indici 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

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

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

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

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

Tabella 4.15: Statistica descrittiva degli indici di frammentazione.

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

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

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

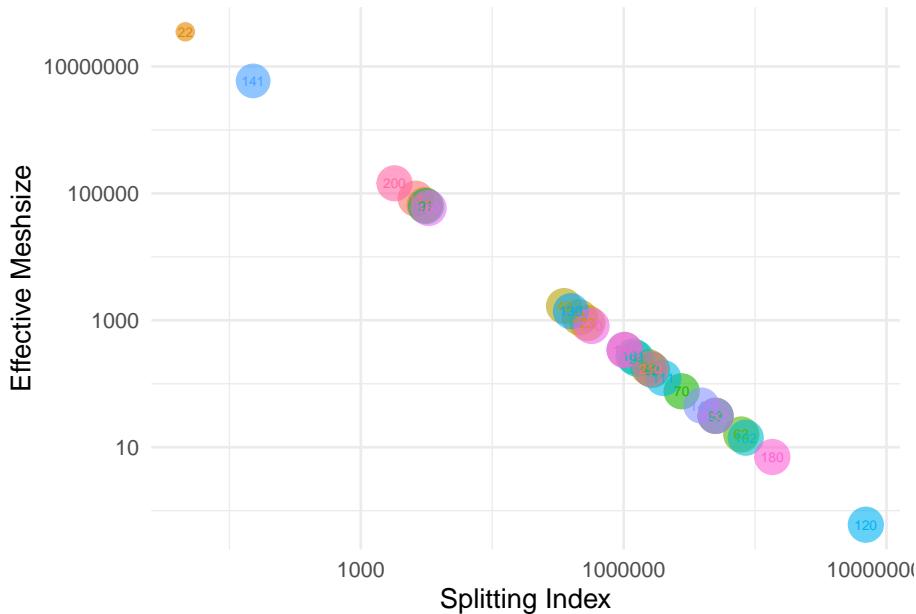


Figura 4.12: Relazione tra Splitting index ed Effective Meshsize. Con i colori e le etichette di testo sono evidenziate le diverse classi geobotaniche.

4.2.4 Morphological Spatial Pattern Analysis

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

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

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

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

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

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 Pat- ches		Landscape			
		Land cover	Pro- por- tion	Landscape divi- sion	Effective mesh size	Splitting index	
100	Background1	4773580	0.021	0.99999	1847.47	124628.96	
220	Background2	15054956	0.065	0.99994	14621.21	15747.51	
1	Branch	3447	0.021	1.00000	146.36	1573199.05	

Code	Class	Number of Patches		Landscape Proportion		Landscape division	Effective mesh size	Splitting index
		Land cover	Proportion					
101	Branch	456	336728	0.001	1.00000	2.55	90337629.04	
33	Bridge	743	3603264	0.016	1.00000	268.86	856372.24	
35	Bridge	1098	4699884	0.020	1.00000	346.43	664638.53	
133	Bridge	54	177772	0.001	1.00000	7.52	30610155.08	
135	Bridge	33	125048	0.001	1.00000	2.73	84403524.24	
137	Bridge	72	167972	0.001	1.00000	2.49	92301359.19	
17	Core	555	1629006960.708	0.85466	33464983.5488			
117	Core	41	51352	0.000	1.00000	1.64	140300693.50	
3	Edge	2701	18394992	0.080	0.99998	4193.94	54900.14	
103	Edge	48	93884	0.000	1.00000	2.17	106259923.10	
9	Islet	2068	3169908	0.014	1.00000	87.59	2628732.13	
109	Islet	86	67816	0.000	1.00000	0.85	271760067.21	
65	Loop	400	1651692	0.007	1.00000	106.83	2155286.51	
67	Loop	662	2453920	0.011	1.00000	95.10	2421150.40	
165	Loop	243	504308	0.002	1.00000	16.06	14332723.55	
169	Loop	393	1897672	0.008	1.00000	123.74	1860682.66	
105	Perforation	5350016	0.023	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).

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 proporzione 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. 4.17).

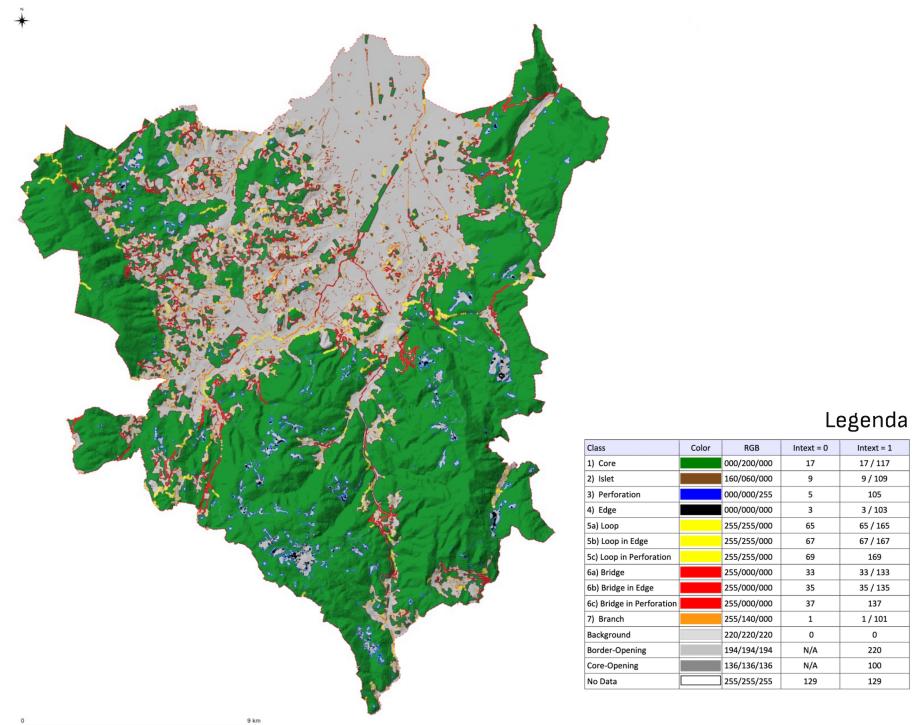


Figura 4.13: Mappa della distribuzione spaziale dei pattern morfologici identificati attraverso la riclassificazione delle categorie di uso del suolo. Nel modello presentato, la componente habitat è costituita dall'aggregazione di quattro tipologie territoriali fondamentali: le formazioni boschive, le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

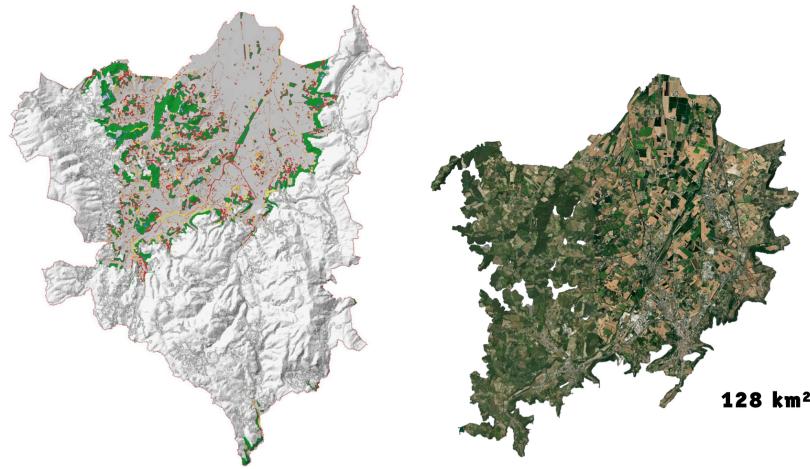


Figura 4.14: Mappa della distribuzione spaziale dei pattern morfologici nel piano collinare (per l'interpretazione dei colori vedi legenda figura sopra). A destra l'immagine satellitare dell'area.

Tabella 4.17: 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	Landscape 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	303736643.07	15
105	72	424575.0	0.009	1.00000	434548.40	105.62
165	16	26550.0	0.001	1.00000	19834089.66	2.31
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.

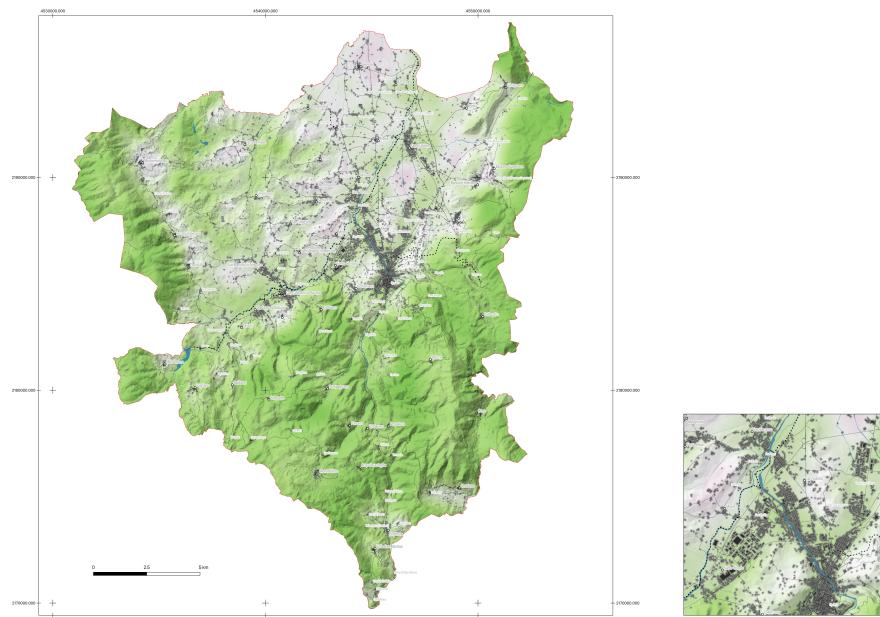


Figura 4.15: Mappa della vocazionalità

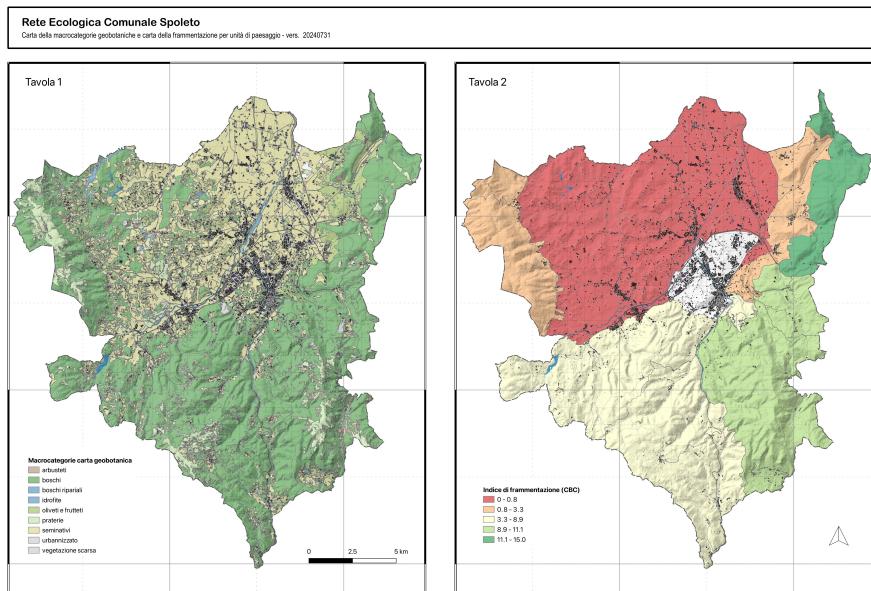


Figura 4.16: Mappa della frammentazione

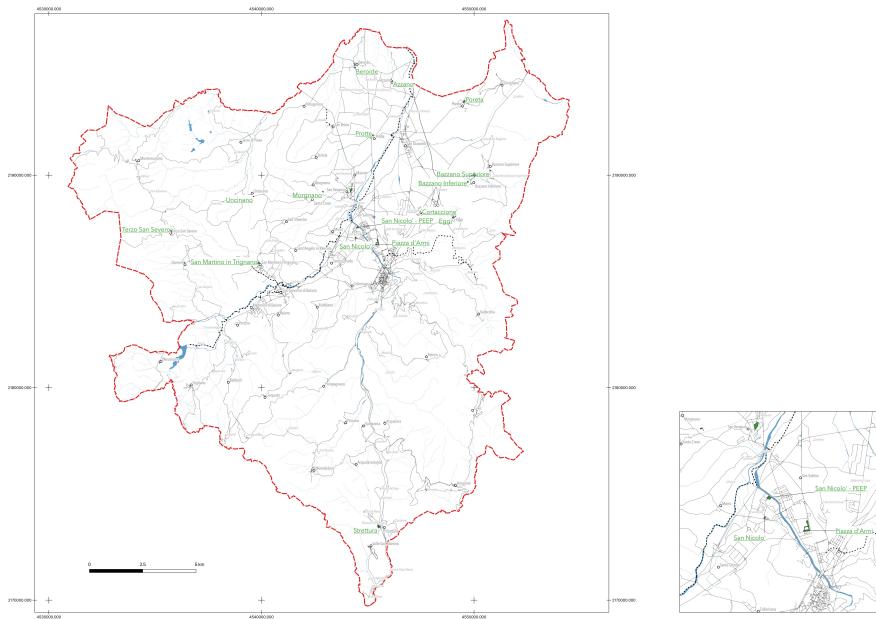


Figura 4.17: Mappa del verde attrezzato

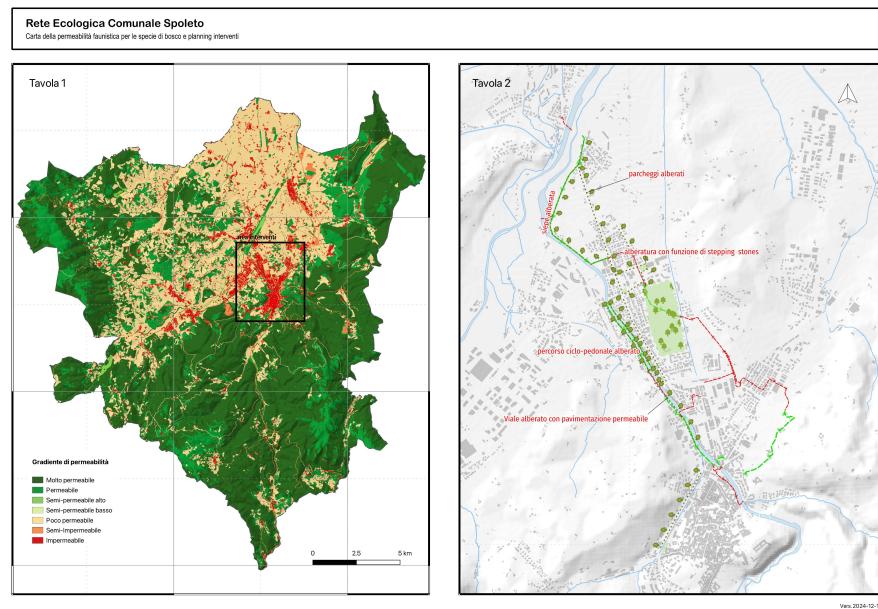


Figura 4.18: Mappa con focus sull'area di possibile intervento

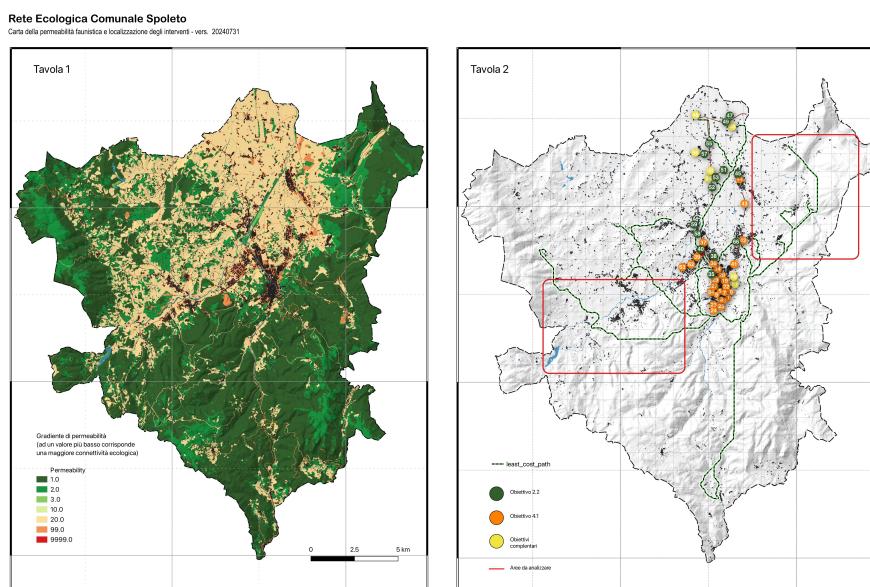


Figura 4.19: Mappa con interventi potenziali e linee di connessione faunistica potenziale

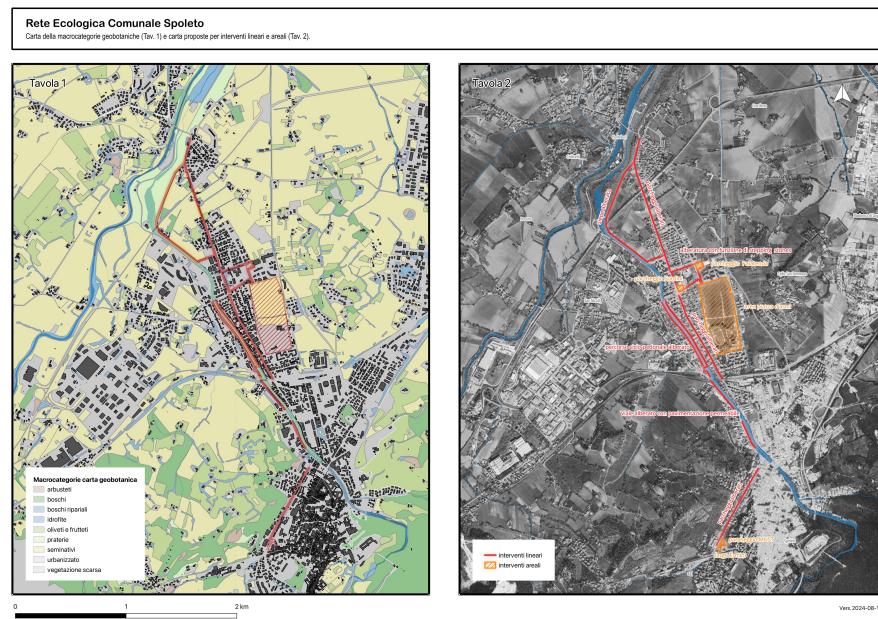


Figura 4.20: Mappa interventi lineari e areali potenziali

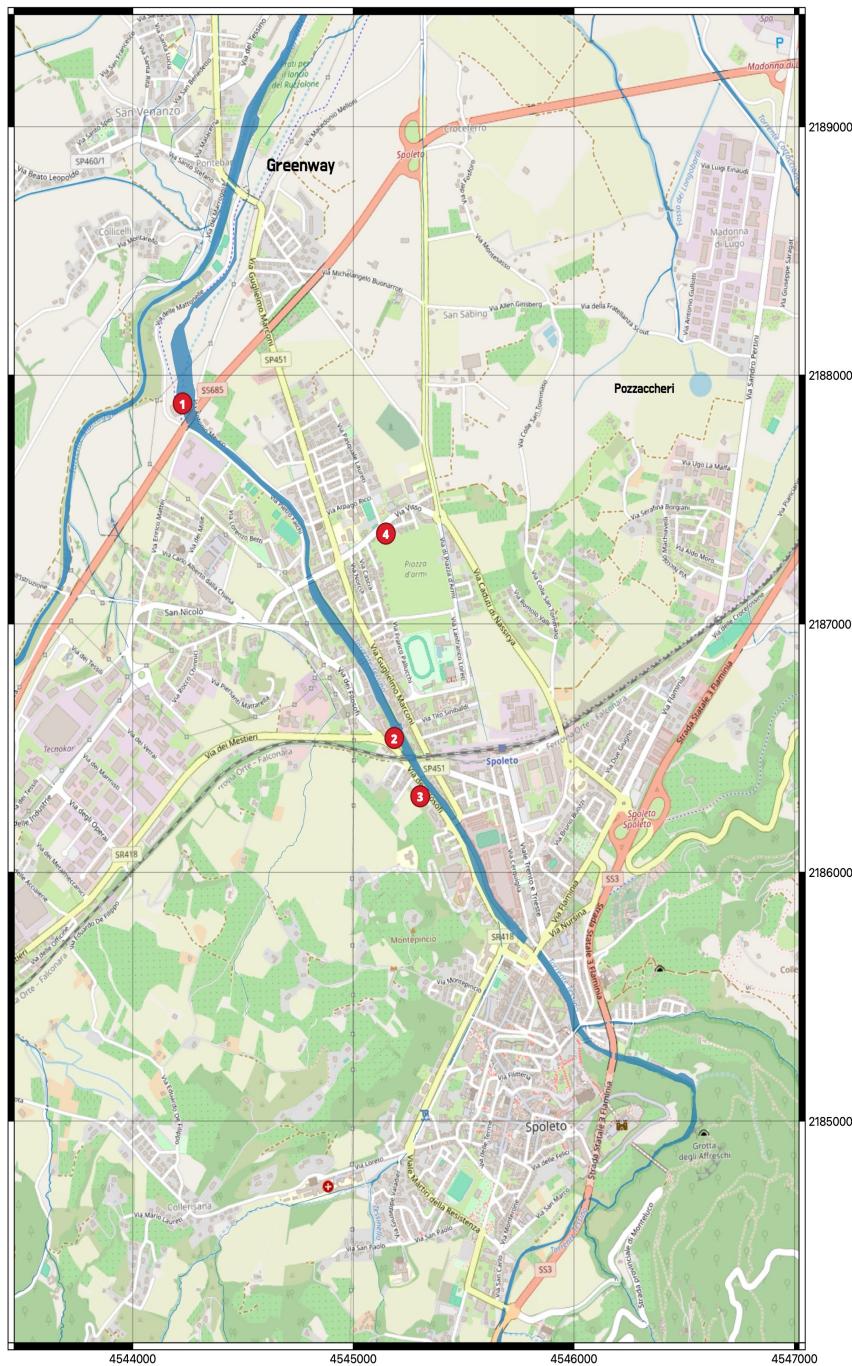


Figura 4.21: Mappa di possibile convergenza e sinergia tra le attività in programmazione per Agenda Urbana e con il progetto lifeIMAGINE

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.

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

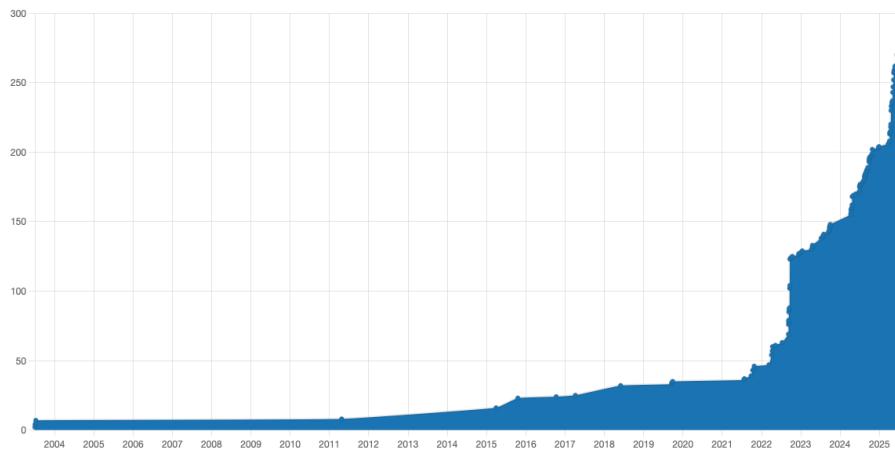


Figura 5.1: Trend delle segnalazioni naturalistiche pervenute all'interno della piattaforma di scienza partecipata [Observation.org](<https://observation.org>) (giugno 2025)

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

5.1 Eventi di disseminazione

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

- attività PCTO, ovvero Percorsi per le Competenze Trasversali e l’Orientamento, con le scuole secondarie di secondo ordine (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 (==BIB==). Benché la diversità specifica nelle città risulti generalmente ridotta rispetto agli habitat naturali, è stata documentata la presenza di un numero considerevole di specie (==BIB==). 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). Una recente meta-analisi condotta su un ampio 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 (==BIB==).

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 prudentiale 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 (cfr. ==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 un 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, la concentrazione delle Islet in clusters piuttosto che in frammenti completamente dispersi. Questa particolare configurazione offre opportunità concrete per strategie di riconnessione 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 il 2025 ha lo scopo di proseguire lo studio dei pattern del territorio 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:

- **Proseuzione delle analisi dei Pattern Morfologici e Priorizzazione degli Interventi.** Tale attività prevede la mappatura e lo studio di approfondimento delle caratteristiche morfologiche del territorio per identificare le aree strategiche per la creazione di corridoi ecologici. Questa analisi permetterà di suggerire una gerarchia di interventi basata 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, garantendo l'integrazione degli obiettivi di sostenibilità ambientale e di tutela delle biodiversità nelle politiche di sviluppo territoriale, anche tenendo conto delle componenti 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, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi di conservazione e miglioramento degli ecosistemi urbani e periurbani municipali.

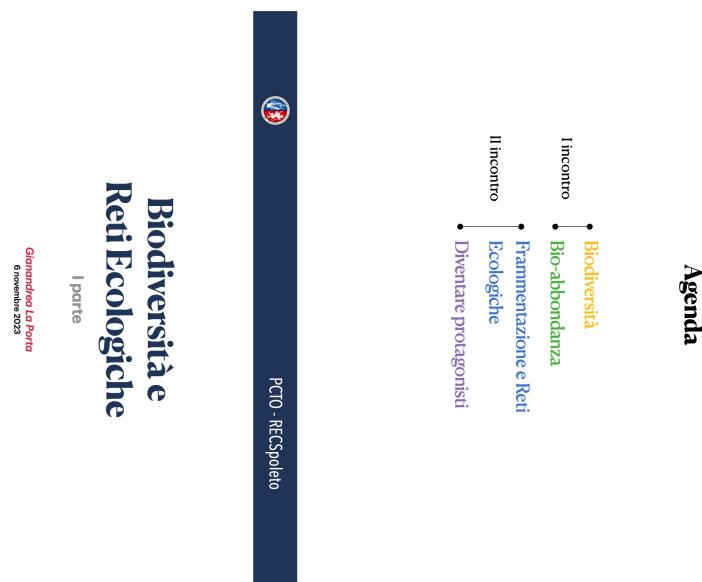
- **Sviluppo di un Abaco degli Interventi.** Consisterà nella progettazione di un repertorio tecnico standardizzato di interventi per la definizione di linee guida operative relative alla riqualificazione e manutenzione urbana, fornendo indicazioni pratiche in linea con gli obiettivi di progettazione 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 Diapositive delle presentazioni utilizzate durante gli eventi di disseminazione dei risultati della ricerca

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



8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI



Thylacinus cynocephalus Harris, 1808

titacino - tigre della Tasmania



piccione migratore o colomba migratrice

Ectopistes migratorius (Linnaeus, 1766)

-182
specie

di uccelli dal 1500 ad oggi (16%)

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

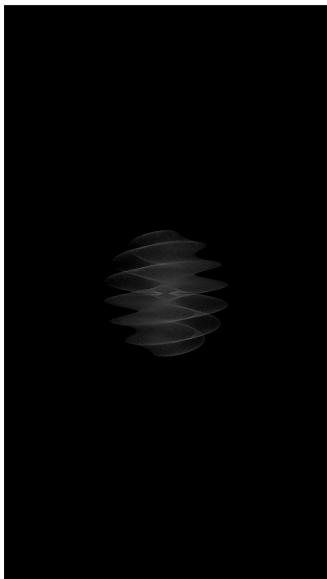
Biodiversity

britannica.com

Italy
% sp vegetal
% sp animal
EU



Biodiversity hot-spot



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

Ecologia



Home savana

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

Ecologia



area agricola

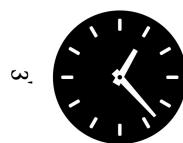
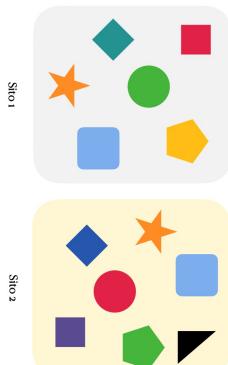


Biodiversità

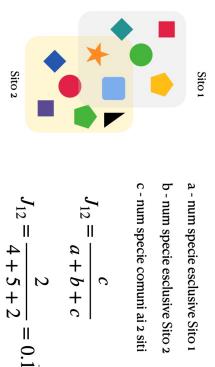
Ricchezza in specie = 6

8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI

Confrontare la biodiversità



Confrontare la diversità biologica



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

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

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

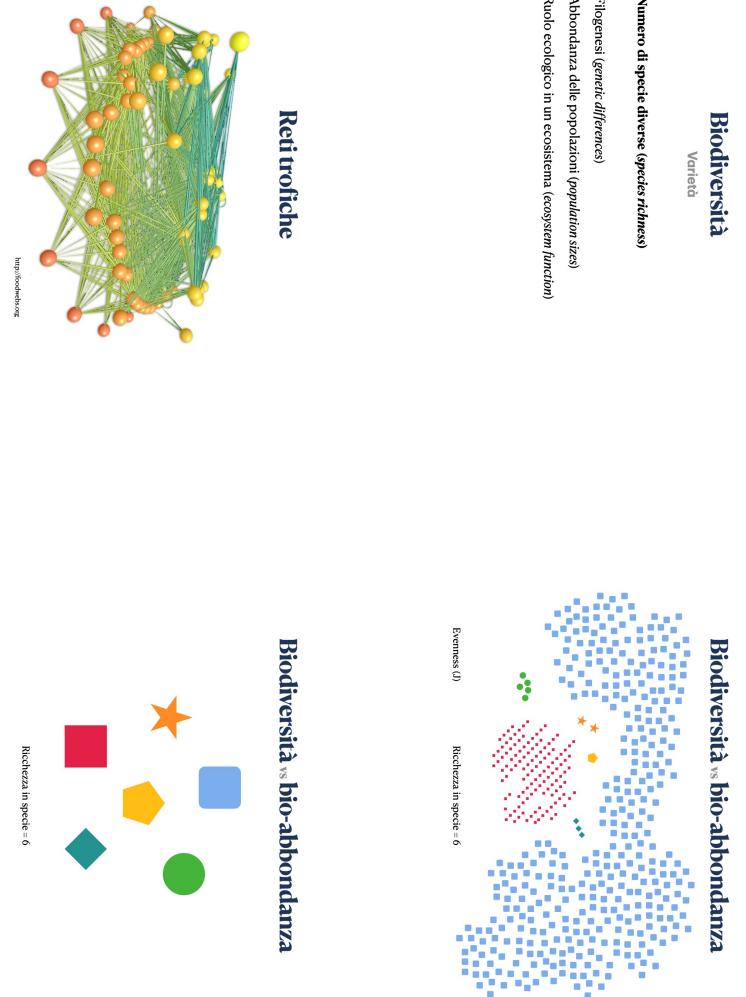
$$J_{12} = \frac{c}{a+b+c}$$

$$J_{12} = \frac{2}{4+5+2} = 0.1\bar{8}$$



8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI





8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI



Biodiversità vs bio-abbondanza

Cause della perdita di biodiversità

premature extinctions



41%

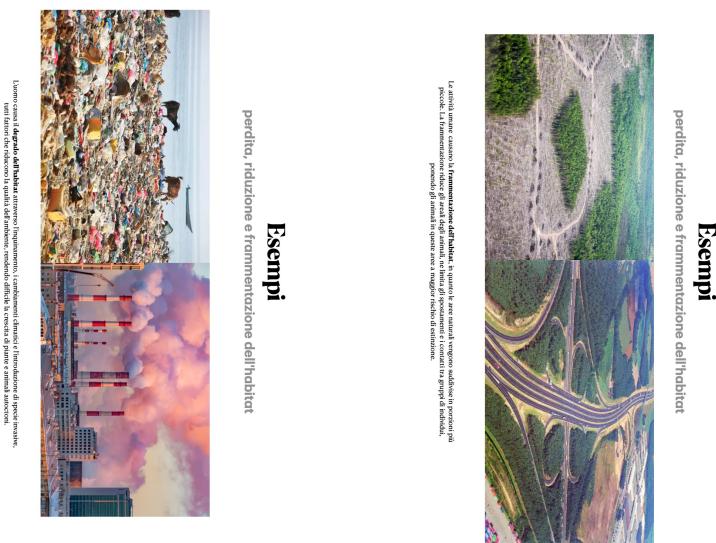
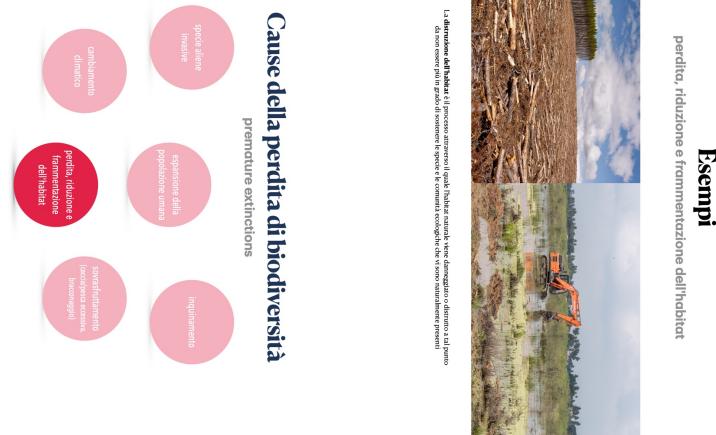
Percent of insect species threatened of extinction

ScienceDirect © 2018 Elsevier B.V.

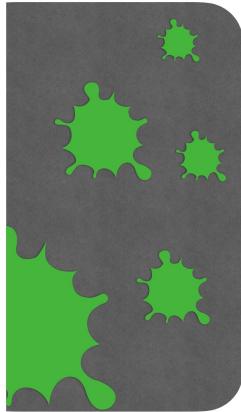
-83%

Percent of wild mammal biomass

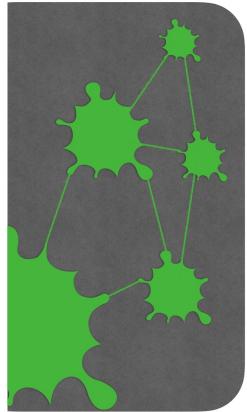
Burkman et al., 2018



8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI



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



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

Biodiversità e
Reti Ecologiche

Il parte

Giovanni Paolo La Pergola

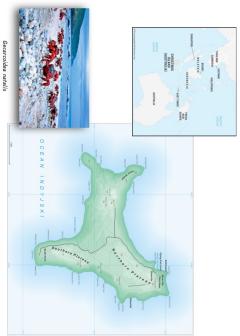
22 novembre 2023

PC10 - RECsSpoleto

• Fragmentazione e Reti Ecologiche

• Software QGIS

• Diventare protagonisti



Christmas Island



Christmas Island

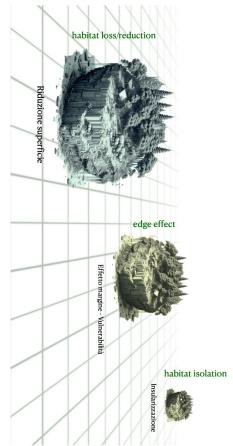
40/100 milioni di granchi rossi

8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI



Christmas Island

40/100 milioni di granchi rossi



Frammentazione

patchiness - principali effetti

Frammentazione

indice di forma - A/P

$$\Lambda = 12.57$$



$$I = 3.54$$

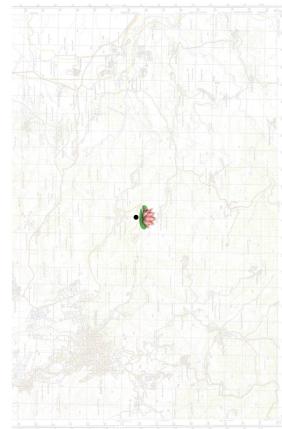
$$P = 12.57$$

$$A = 14.18$$

$$IM = 0.88$$

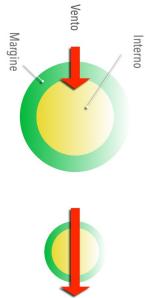


Come proteggere una specie

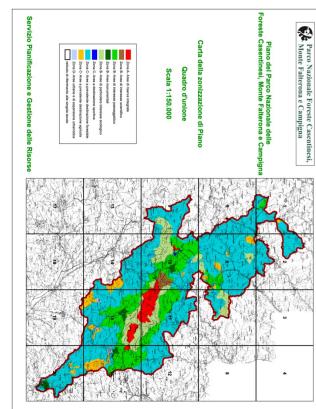
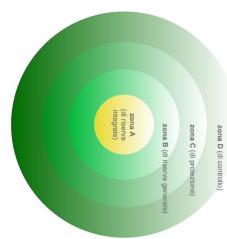


Edge and "Edge effect"

effetto di una perturbazione su patch di diversa grandezza



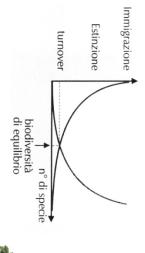
La zonizzazione



8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI

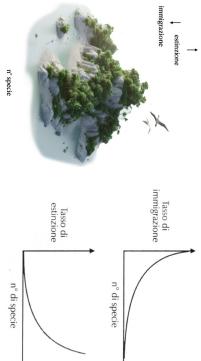
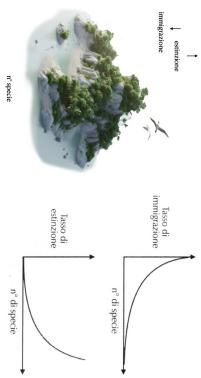
Teoria della biogeografia insulare

biodiversità di equilibrio



Teoria della biogeografia insulare

isolamento



Teoria della biogeografia insulare

[isole geografiche vs isole terrestri]

Matrice terrestre

- agricola

- urbanizzata

- infrastrutturale

source

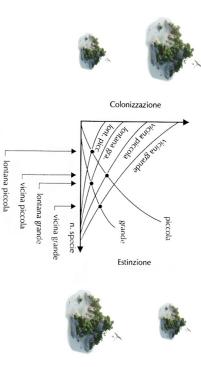
- turnover

- crowding



Teoria della biogeografia insulare

effetto della distanza e della dimensione



Arese protette

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

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

- aumentare le dimensioni dei siti funzionali;

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

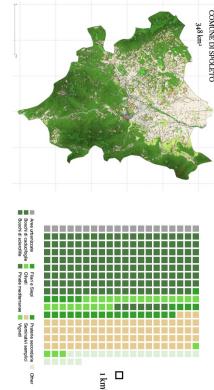
- creare nuovi siti;

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



Reti Ecologiche

descrizione del territorio di indagine



Aree protette

Parchi Nazionali in Italia

- una vasta area che serve proteggiere per la presenza di flora e fauna di pregio, di importanti formazioni geologiche, di bellezze paesaggistiche, che mira alla valorizzazione della crescita e del turismo,

- che dà spazio allo sfruttamento umano per fornire un reddito alle popolazioni locali

- dove è vietato cacciare

<https://www.mnat.gov.it>

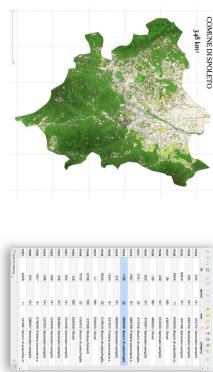


Reti Ecologiche

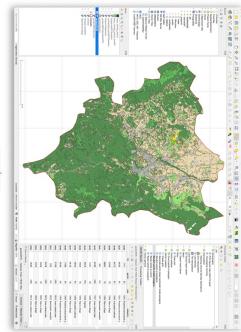
"sistema interconnesso di habitat, di cui salvaguardare la biodiversità"

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

8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI



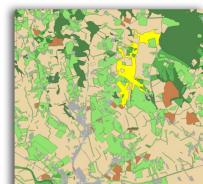
Software GIS
dal disegno ai dati



Software GIS - QGis

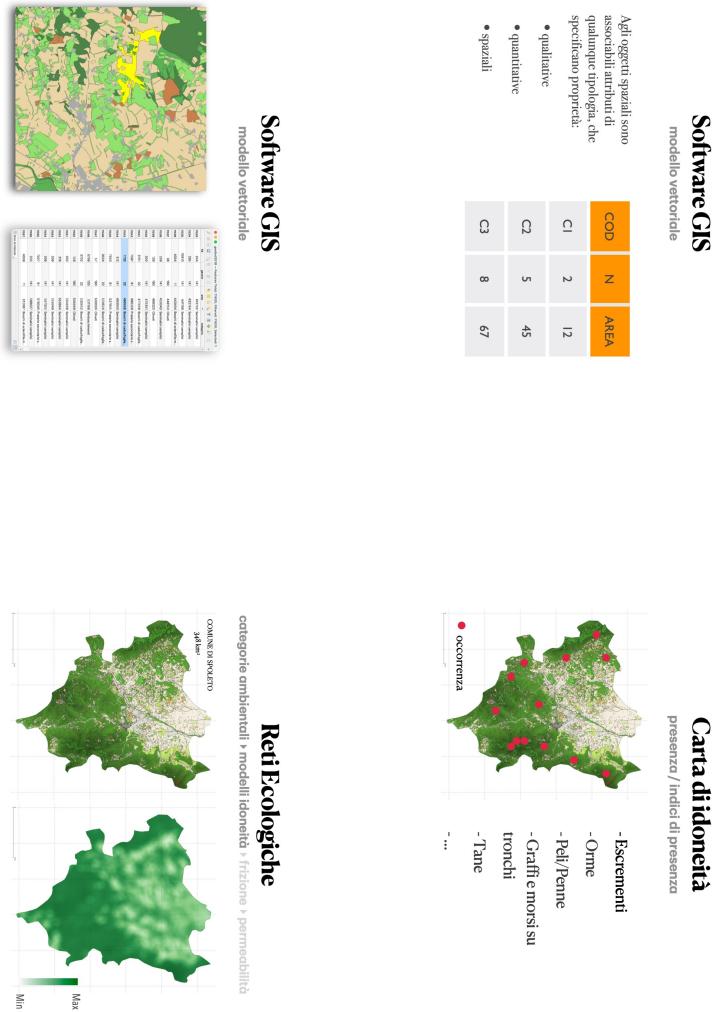


Sistemi Informativi Geografici
modello simbolico del mondo reale

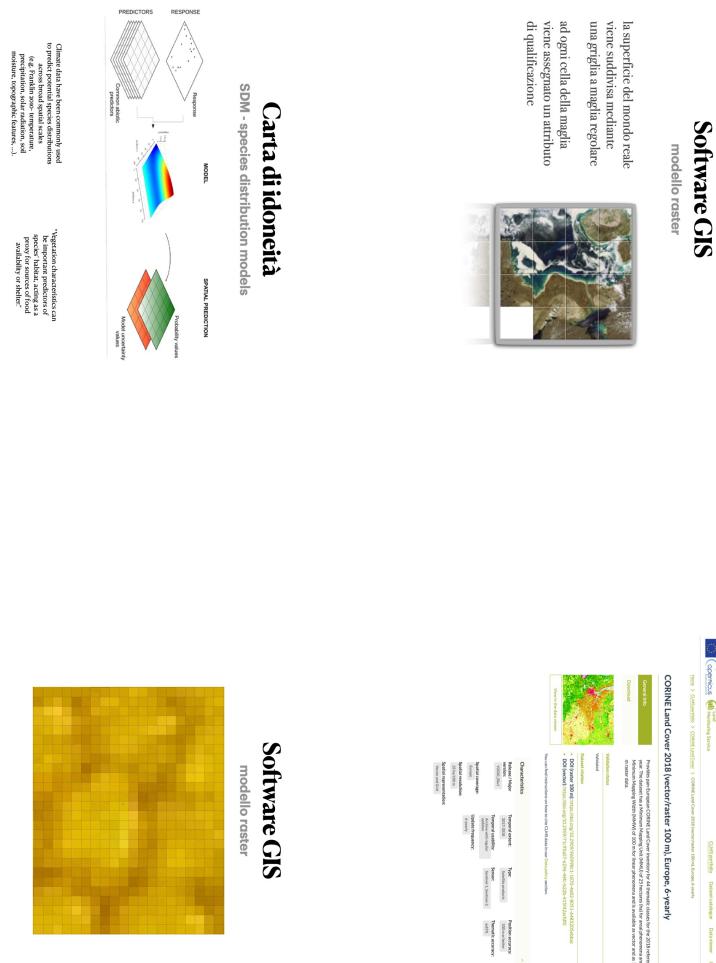


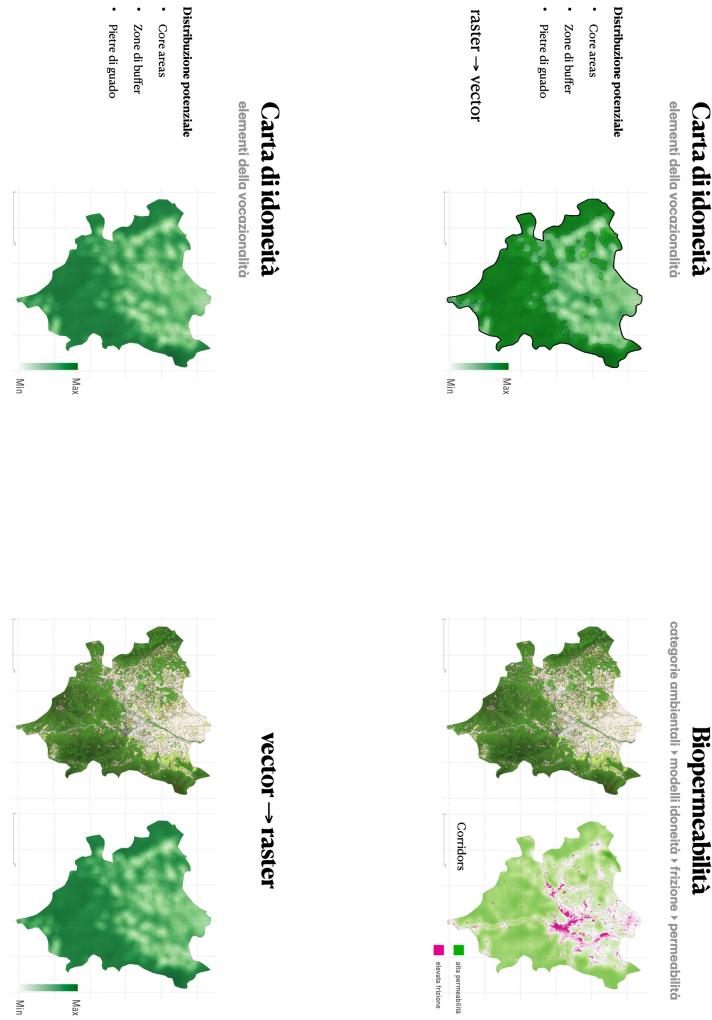
Software GIS
tabella degli attributi



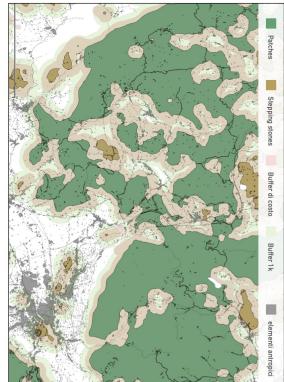


8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI





8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI



- corridoi urbani vs corridoli ecologici
 - bordi stradali
 - rotonde
 - filari alberati
 - margini ferrovieri
 - fossi e torrenti
 - verde urbano



Reti ecologiche e verde urbano

In aree urbane non sono deserti ecologici

- corridoli urbani vs corridoli ecologici
 - bordi stradali
 - rotonde
 - filari alberati
 - margini ferrovieri
 - fossi e torrenti
 - verde urbano



Reti ecologiche e verde urbano

In aree urbane non sono deserti ecologici

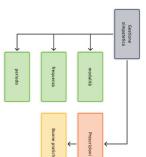
- corridoli urbani vs corridoli ecologici
 - bordi stradali
 - rotonde
 - filari alberati
 - margini ferrovieri
 - fossi e torrenti
 - verde urbano



Rendere più verdi le città

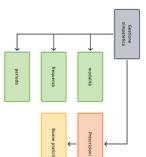
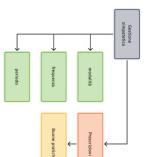
IS ◊ - senso di benessere, migliore attenzione

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



Gestione simpatetica

Servizi ecosistemici di una foresta urbana



Slides
gianandrea.laporta@unipg.it



<https://tinyurl.com/yrdku8t>

<https://tinyurl.com/abzqmw>

Programma attività

Aula informatica - DIGIPASS Spoleto

✓ Incontro #1 ◎ 3h

Introduzione a QGIS e Concetti di Sistemi Informativi Territoriali

✓ Incontro #2 ◎ 3h

Lavorare con Dati e Strumenti di Analisi in QGIS

✓ Incontro #3 ◎ 3h

Progettazione di Mappe e Output Cartografici

8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI QGIS

PCTO - RECSpoleto

Software GIS e Rete Ecologica Comunale

I incontro

Gianandrea La Porta & Federico Andreini
22 gennaio 2024

Agenda

I incontro	Introduzione a QGIS Presentazione del software QGIS e delle sue funzionalità principali Progettazione della Rete Ecologica Comunale Analisi dei dati geospatiali Creazione di un nuovo progetto Caricamento di dati geospatiali Discussione sull'importanza dei GIS in diverse settori (ambiente, urbanistica, ecologia, ecc.)
II incontro	
III incontro	

QGIS

A Free and Open Source Geographic Information System

Show your QGIS love with Map from our shapes

www.qgis.org

QGIS Tutorials

QGIS Training Manual

QGIS Esercitazioni e Suggerimenti

Impostazione carta di base e caricamento layer

primi passi in QGIS

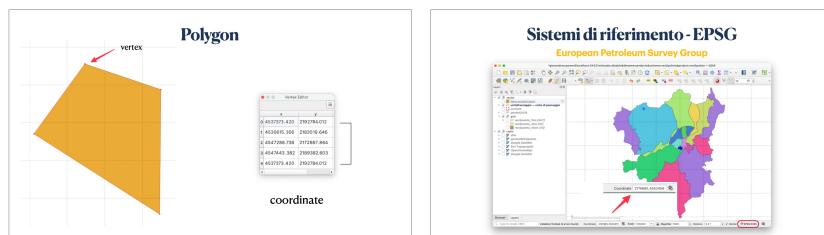
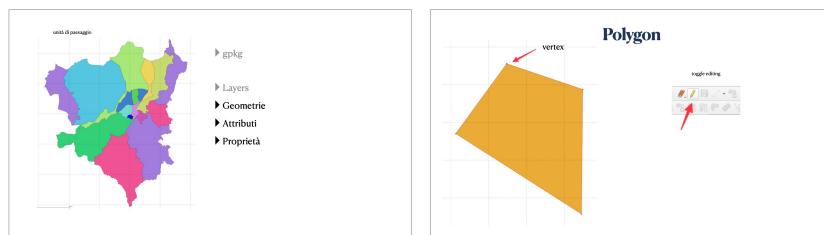
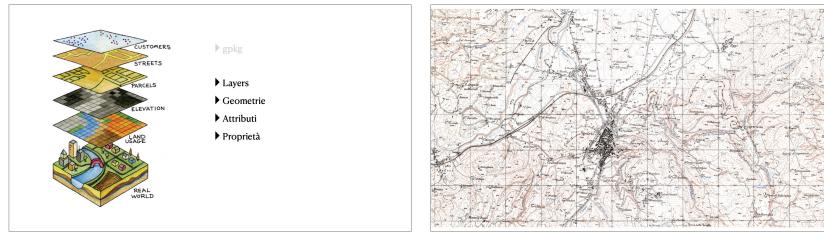
- ▶ XYZ Tiles
- ▶ OpenStreetMap
- ▶ Browser
 - ▶ caricare layer 'unità di paesaggio'
- ▶ Scale
 - ▶ impostare la scala numerica a 1:125.000
- ▶ EPSG
 - ▶ 3035 (ETRS89)

Barra degli strumenti

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)



8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI

Sistemi di riferimento - EPSG
European Petroleum Survey Group

Coordinate geografiche → Coordinate cartografiche
 ϕ, λ → y, x

Polygon

Polygon

Polygon

Temporary Scratch layer
aggiungi un nuovo layer

Temporary Scratch layer
aggiungi un nuovo layer

► punta dove vuoi inserire un vertice (nodo)
► per terminare click con tasto destro del mouse

Challenge #1
delineazione 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



8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI

Proprietà
modificare la simbologia delle geometrie vettoriali

Proprietà

Challenge #2
delimitazione sentiero su Greenway e conteggio alberi

in 15 minuti di tempo:

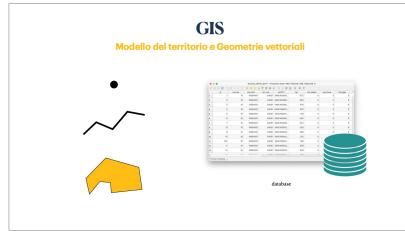
- trova la Greenway
- imposta la scala di visualizzazione a 1:500
- carica Google Satellite
- delimita il tracciato
- segna i punti degli alberi

Challenge #2
delimitazione sentiero su Greenway e conteggio alberi

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali

- **strutture fisiche:** persone, edifici, strade, ferrovie, fiumi...
- **eventi:** incidenti stradali, manifestazioni, atti criminosi...
- **entità giuridiche, amministrative:** Comuni, Regioni, circoscrizioni...
- ...



Software GIS e Rete Ecologica Comunale

II incontro

Giamandrea La Porta & Federica Andreini
29 gennaio 2024

Agenda

I incontro

Introduzione a QGIS
Presentazione del software QGIS e delle sue funzionalità principali.
Panoramica sui dati QGIS.
Panelli "Creazione di un nuovo progetto".
Creazione di dati propri.
Discussione sull'applicazione di GIS in diversi settori (ambiente, urbanistica,...

II incontro

Creazione e Analisi dei Dati
Introduzione dei dati in input all'interno di un progetto QGIS.
Elementi di selezione e rimozione degli attributi.
Strategie e stile dei dati vettoriali e raster.
Creazione e modifica di dati vettoriali.
Discussione sull'applicazione di GIS in diversi settori (ambiente, urbanistica,...

III incontro

Challenge #1

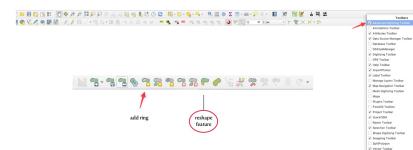
delimitazione del perimetro del giardino di Villa Redenta

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

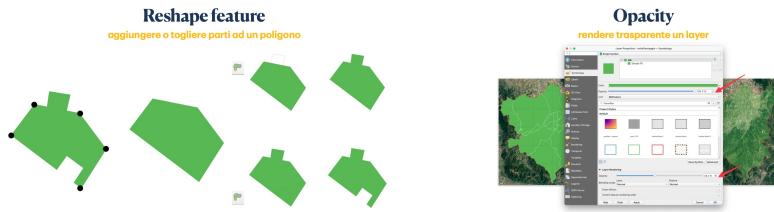


Advanced Digitizing Toolbar

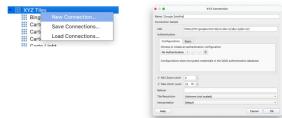
strumenti avanzati per il perfezionamento delle geometrie



8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI INFORMAZIONI



Google Satellite
uso delle XYZ Tiles



Salvare un progetto
salvare la visualizzazione corrente e i layer caricati



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

Salvare un layer
salvare le modifiche di una geometria



Salvare un layer temporaneo
salvare/esportare un layer e i dati associati



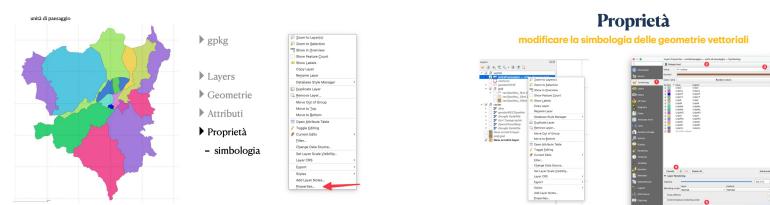
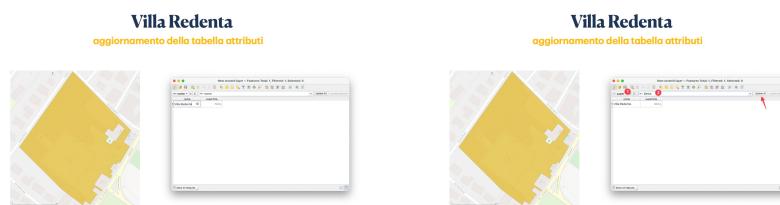
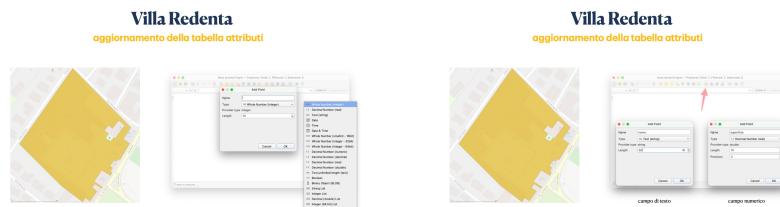
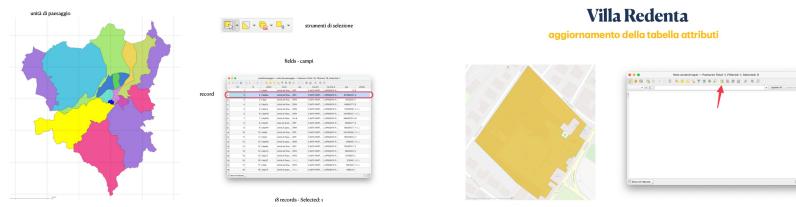
- ▶ gpkg
- ▶ Layers
- ▶ Geometrie
- ▶ Attributi
- ▶ Proprietà



tabella degli attributi

ID	Codice	Nome	Cognome	Età
1	1	John	Doe	30
2	2	Jane	Doe	25
3	3	Mike	Smith	40
4	4	Sarah	Johnson	35
5	5	David	Williams	28
6	6	Alice	Harris	32
7	7	Bob	Smith	38
8	8	Eve	Johnson	22
9	9	Frank	Williams	45
10	10	Gina	Harris	33
11	11	Henry	Smith	29
12	12	Irene	Johnson	37
13	13	James	Williams	42
14	14	Karen	Harris	26
15	15	Liam	Smith	31
16	16	Mia	Johnson	24
17	17	Noah	Williams	39
18	18	Olivia	Harris	27
19	19	Samuel	Smith	41
20	20	Sophia	Johnson	21
21	21	Taylor	Williams	34
22	22	Ulysses	Harris	23
23	23	Vivian	Smith	36
24	24	Walter	Johnson	28
25	25	Xavier	Williams	44
26	26	Yara	Harris	20
27	27	Zoe	Smith	38

6 records



8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI

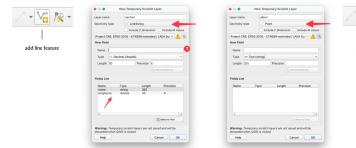
Challenge #2

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
- 

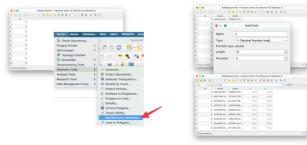
Challenge #2

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	
albero	cipresso
edifato	castagno
animale	albero
toponimo	pioppo
tappa	pioppo

descrizione	specie
albero	cipresso
edifato	castagno
animale	albero
toponimo	pioppo
tappa	pioppo

castagno	pioppo	albero
1	0	1
1	0	1
0	1	1
0	1	1
0	1	1

GIS

Modello del territorio e Geometrie vettoriali



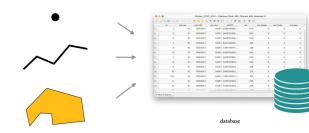
GIS

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



8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI REC

Filtrare le informazioni
Query builder - selecting data

concat(species,comune)

Challenge #4
Analisi dati spaziali a criteri multipli

In 7 minuti di tempo:

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

PCTO - RECSpoleto

Software GIS e Rete Ecologica Comunale

III incontro

Gianandrea La Porta & Federico Andreini
25 gennaio 2024

Agenda

- | | |
|--------------|---|
| I incontro | Introduzione a QGIS e presentazione del software QGIS e delle sue funzionalità principali. Creazione di un nuovo progetto Cartamento dei dati propri. |
| II incontro | Gestire e analisi dei dati: strutturazione dei dati in base all'elenco di un progetto QGIS. Strumenti di selezione e interrogazione degli attributi. Metodologia e stile dei dati vettoriali e rassegna sui modelli di dati vettoriali. Creazione di una nuova cartografia con QGIS e applicazione agli strumenti di analisi spaziale di QGIS. Calcolo di aree e lunghezze. |
| III incontro | Elementi di topologia e strumenti relativi a QGIS. Creazione di una nuova carta di uso del suolo e gestione delle geometrie e degli attributi. |

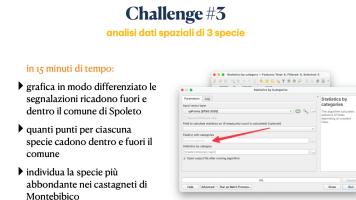
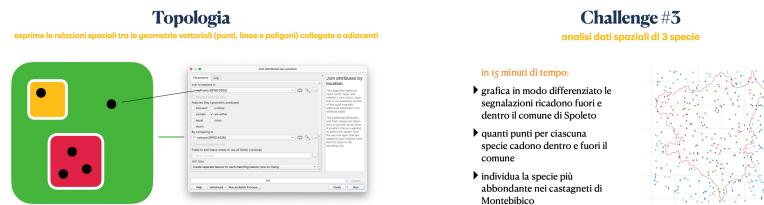
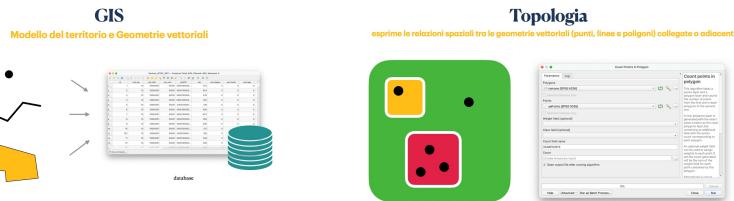
GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali

dimensionale

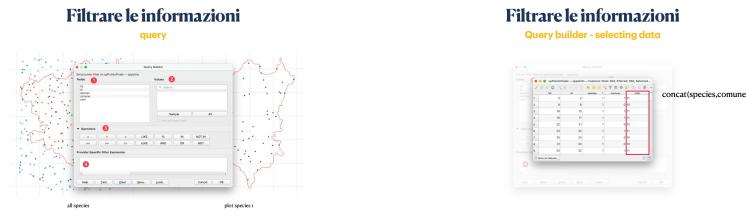
uni dimensionale

tri-dimensionale

GIS
Modello del territorio e Geometrie vettoriali



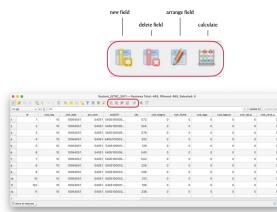
8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI



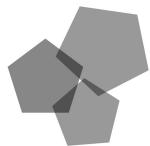
Challenge #4 analisi dati spaziali a criteri multipli

in 7 minuti di tempo:

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

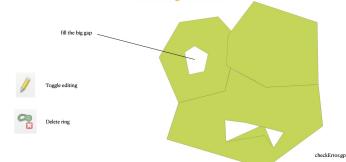


Topologia controllo geometrie



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

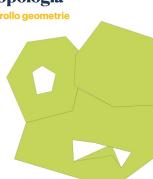
Topologia controllo geometrie



Topologia controllo geometrie

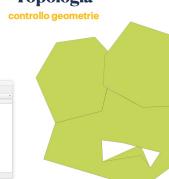


topology checker

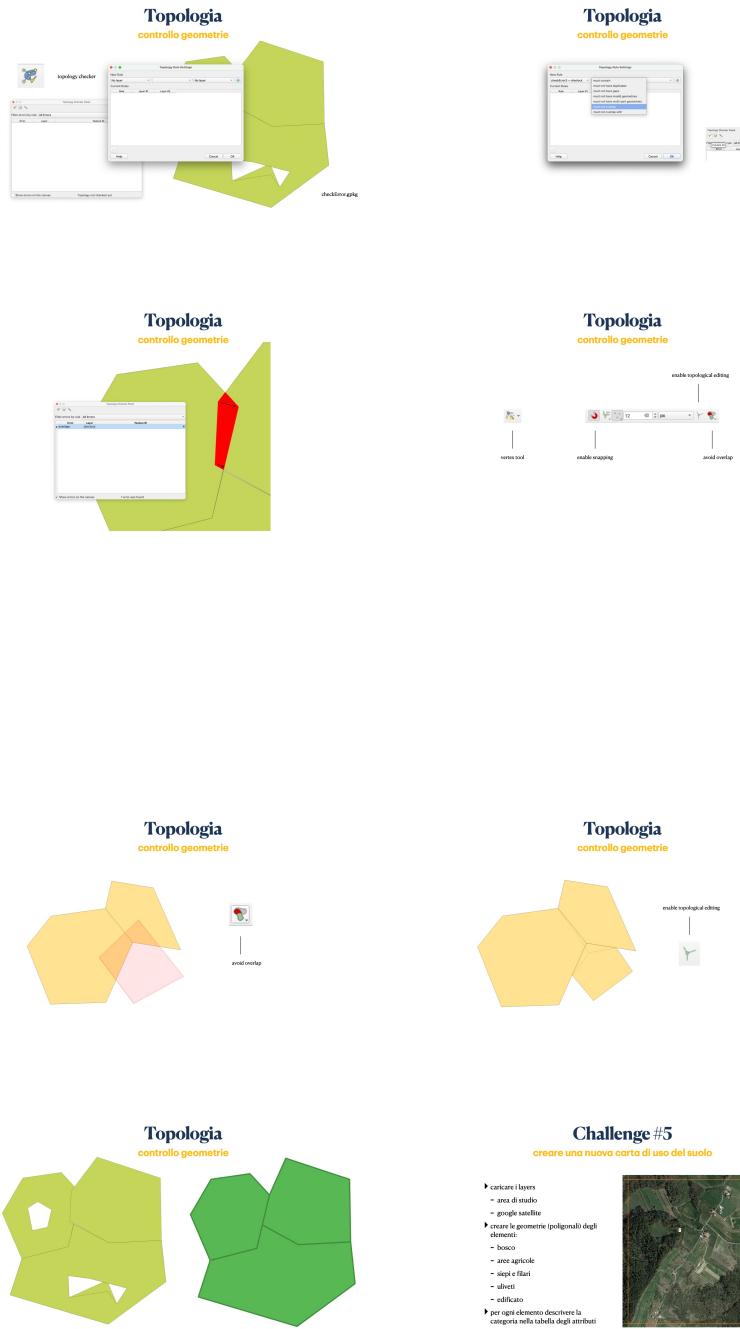


checkringgap

Topologia controllo geometrie



checkringgap



8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI CS



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/>

Comune di Spoleto

Diventare un citizen scientist
monitoraggio della fauna minore

Museo delle Scienze e del Territorio
Spoleto, 26 luglio 2024

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

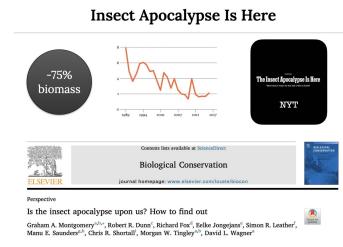
Gianandrea La Porta
gianandrea.laporta@unipi.it

#1 diventare uno scienziato

Marie Skłodowska Curie

6 steps

```
graph TD; A[Observation] --> B[Question]; B --> C[Hypothesis]; C --> D[Experiment]; D --> E[Analysis]; E --> F[Conclusion];
```



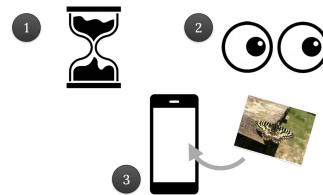
Da spettatore a protagonista: diventare un citizen scientist

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

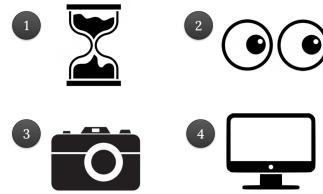


KEEP AN OPEN MIND

Diventare un citizen scientist



Diventare un citizen scientist



Metadati

- Data
- Località (coordinate geografiche)
- Specie
- info opzionali
 - studio biologico
 - numero esemplari
 - comportamento

Orthetrum brunneum

Observation.org



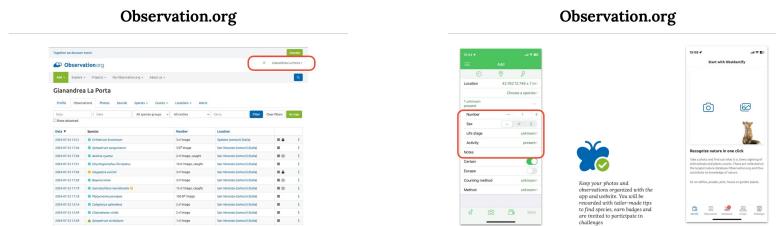
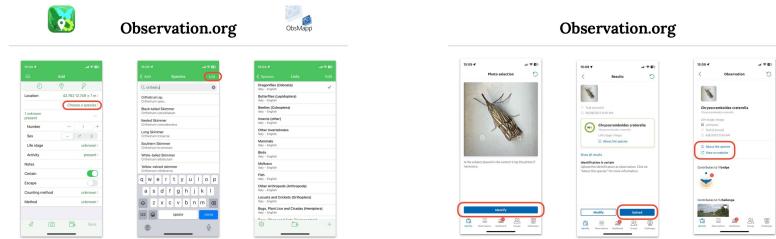
Metadati

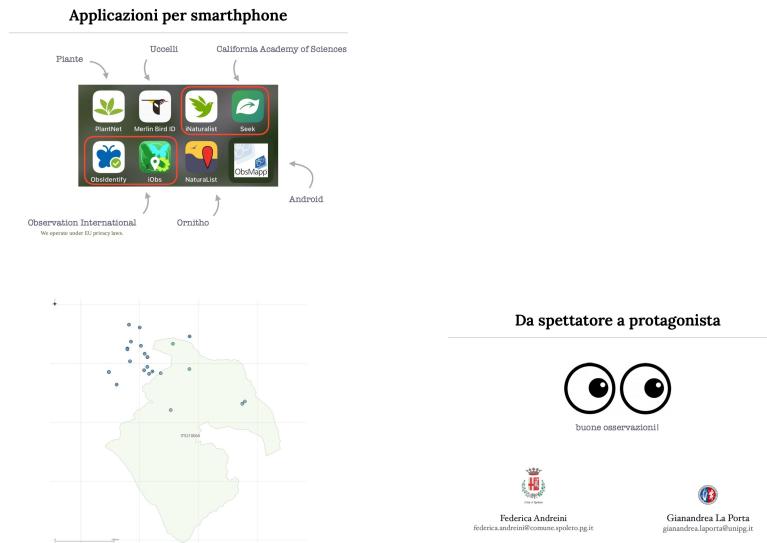
- Data
- Località (coordinate geografiche)
- Specie
- info opzionali
 - studio biologico
 - numero esemplari
 - comportamento

Applicazioni per smartphone



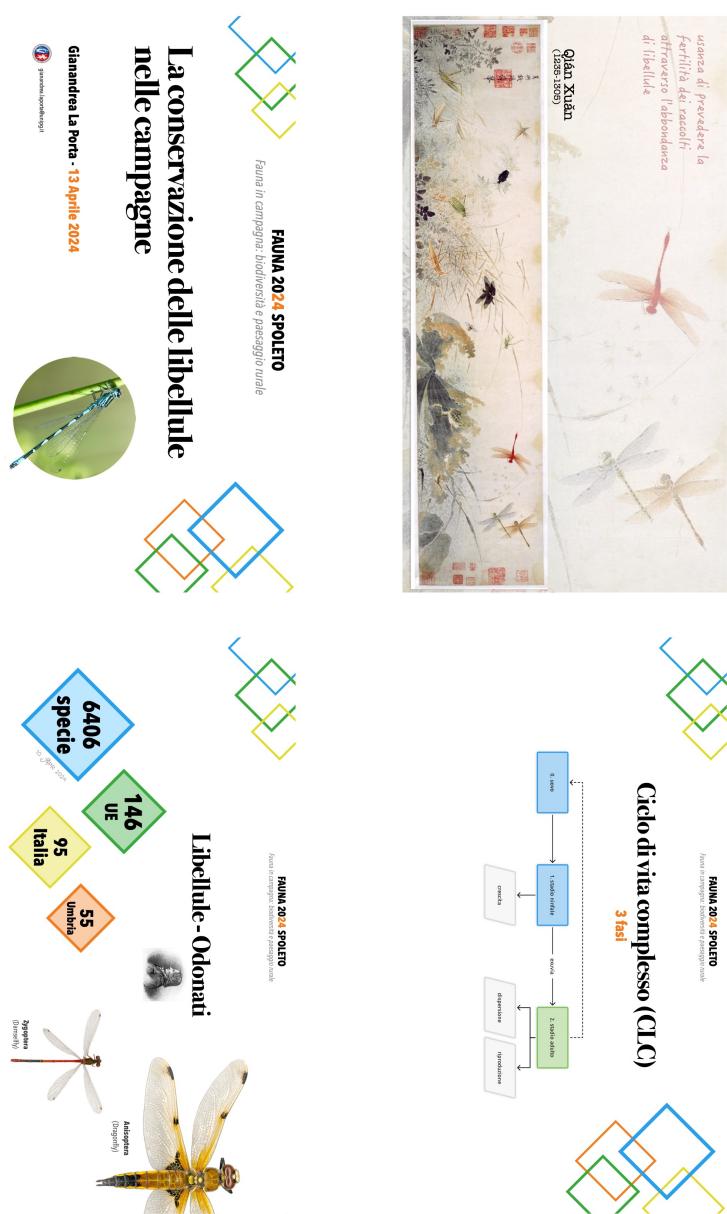
8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI

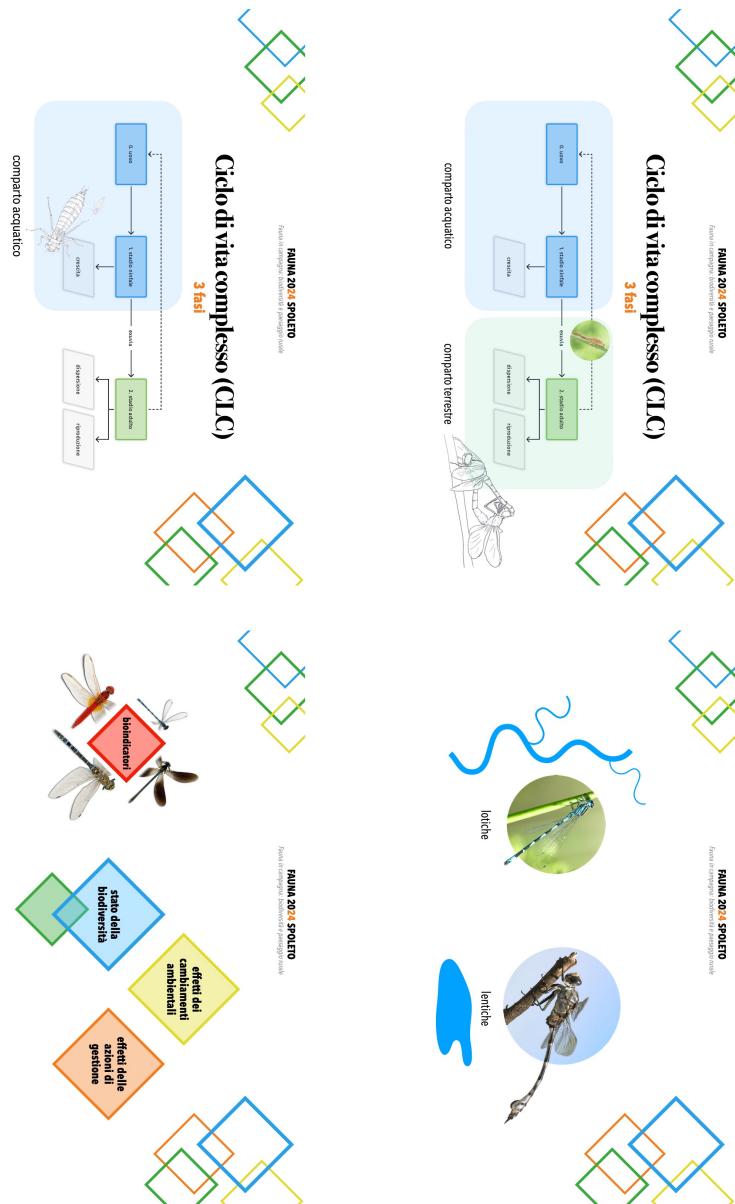




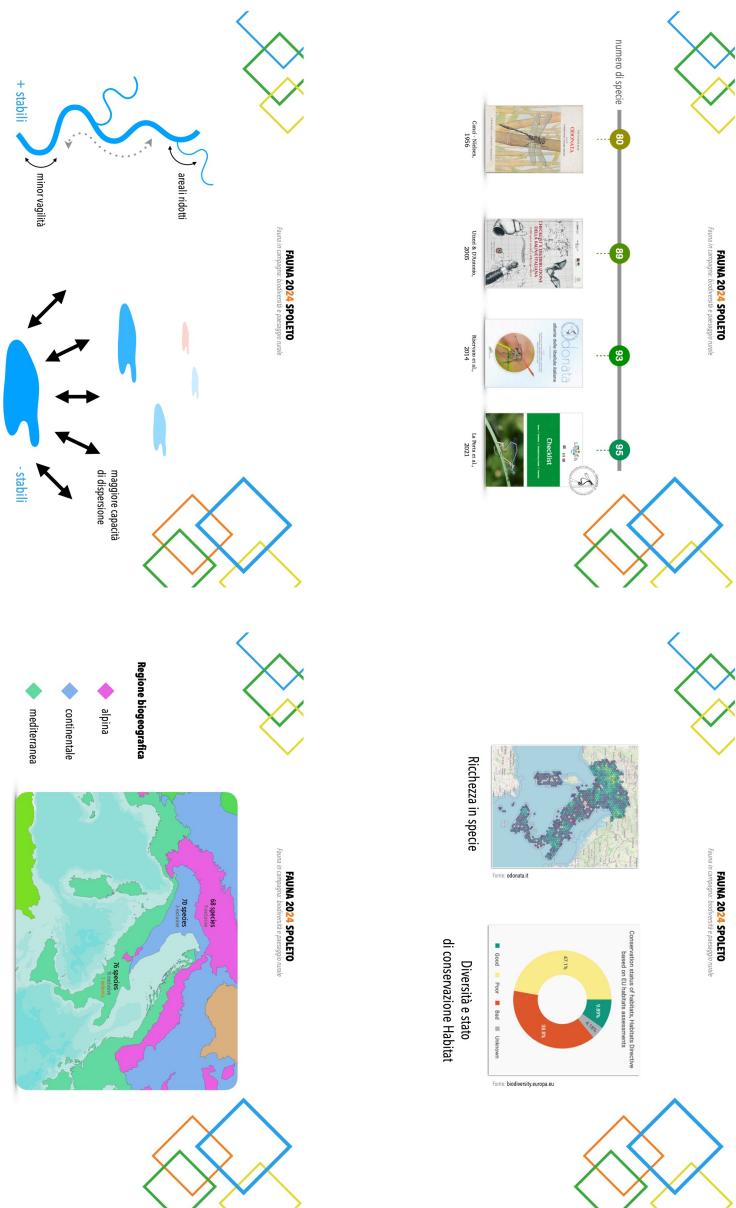
8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI

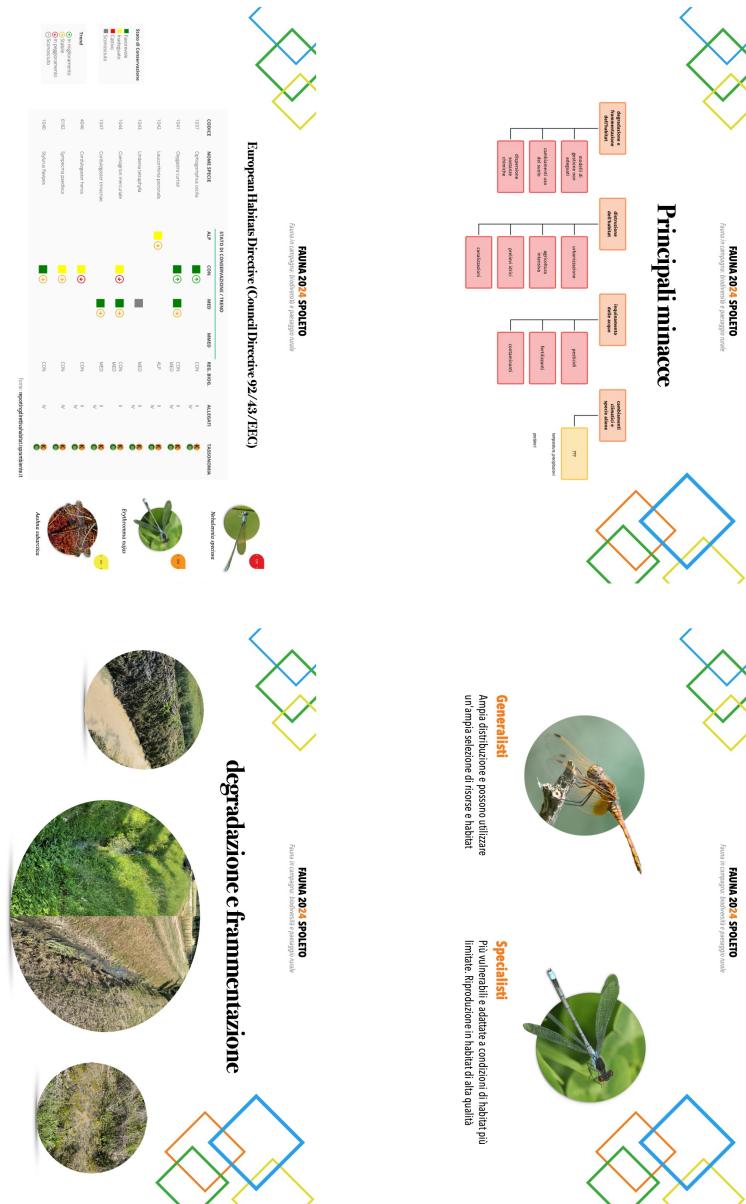
8.1.3 Convegno Fauna 2024 con contributo dal titolo: La conservazione delle libellule nelle campagne



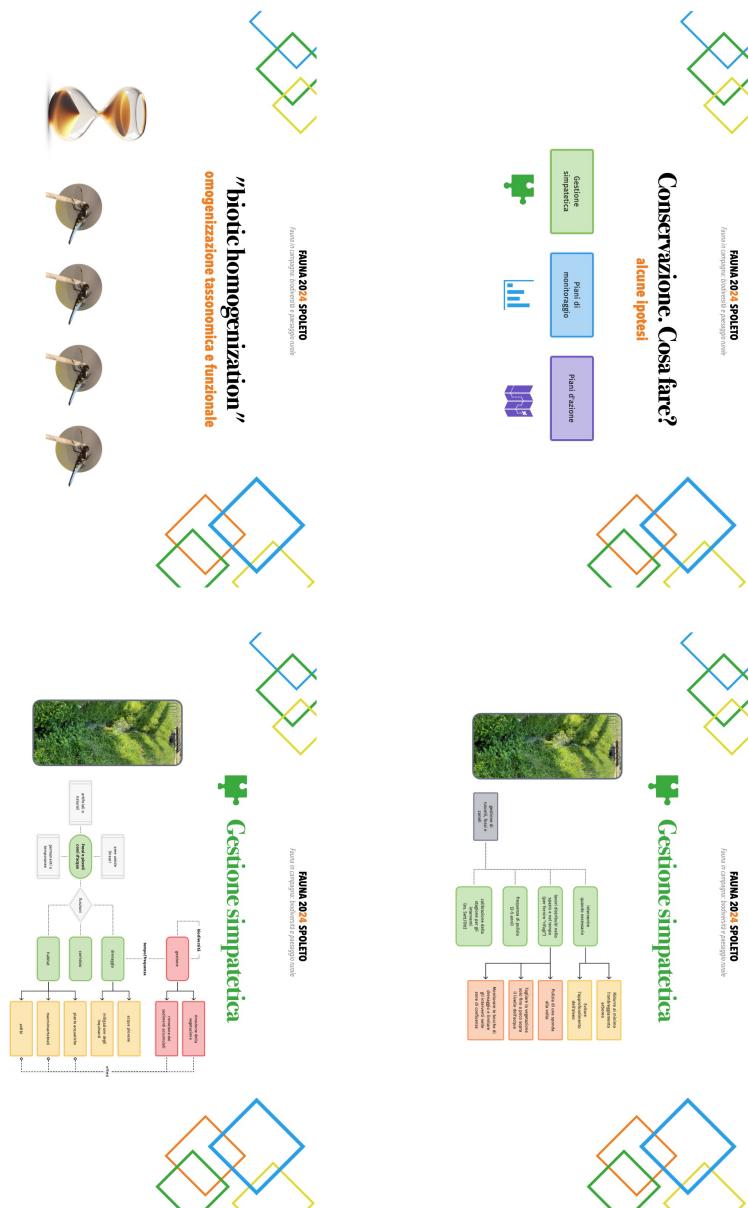


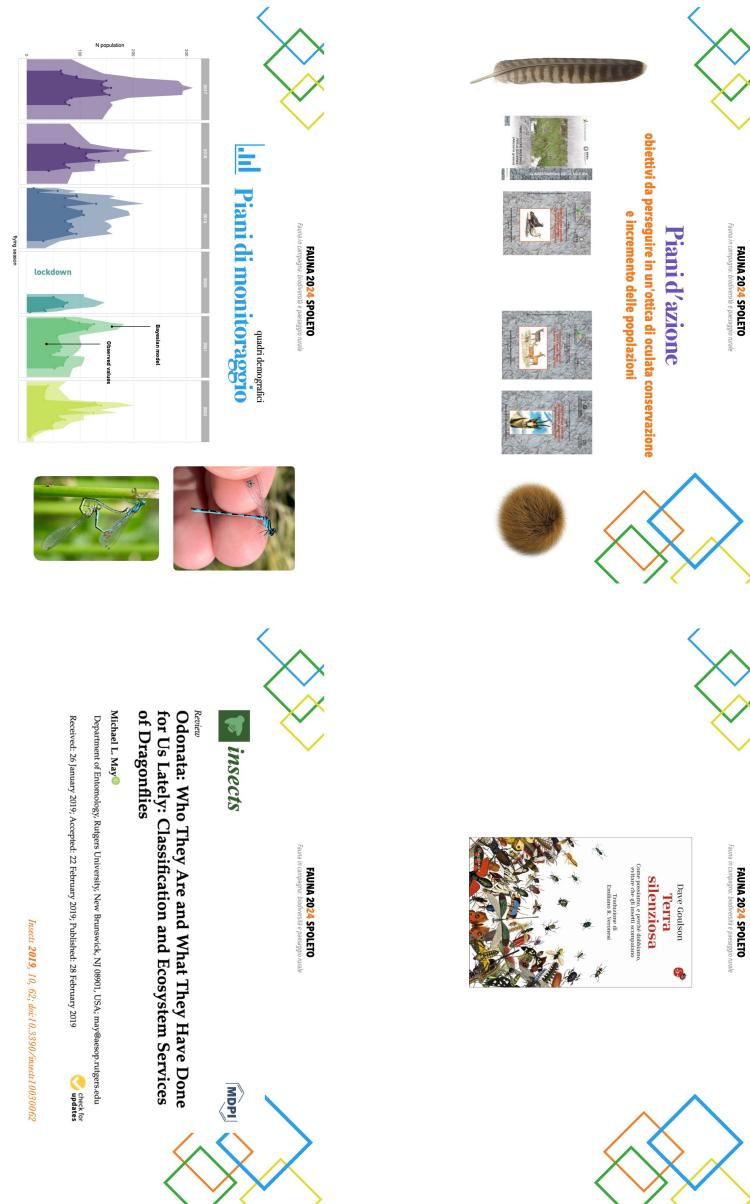
8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI





8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI FAUNA





8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI



FUNIBA 2014 - RAVENNA

www.odomata.it

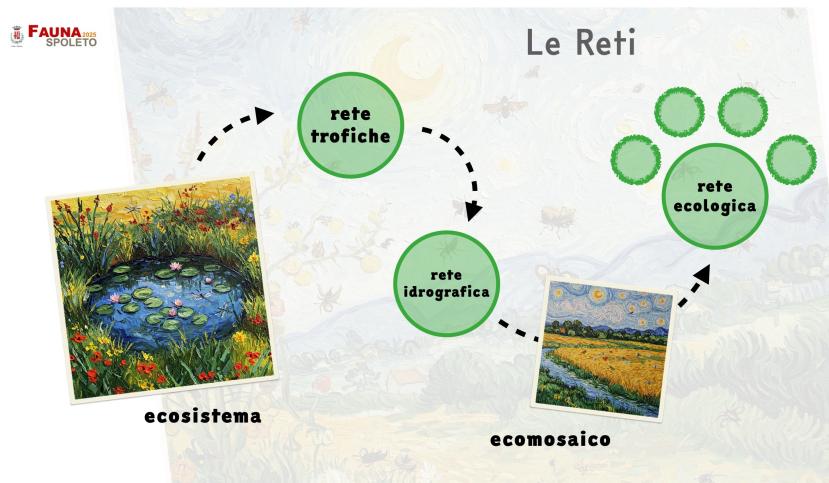
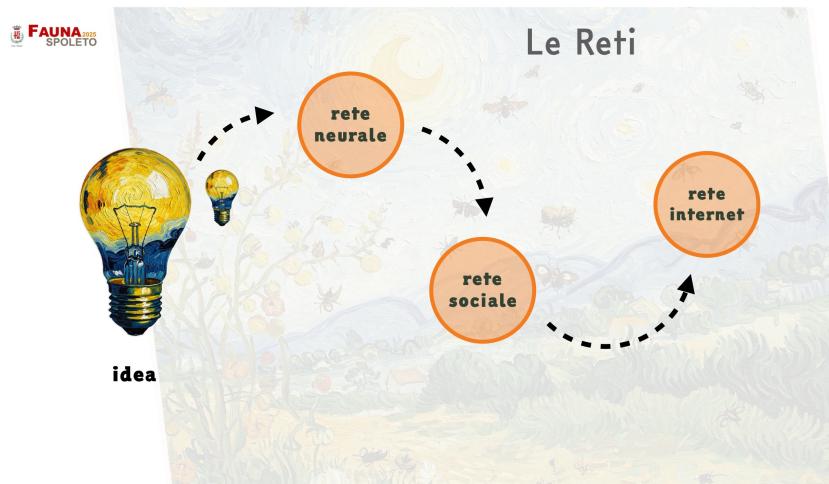


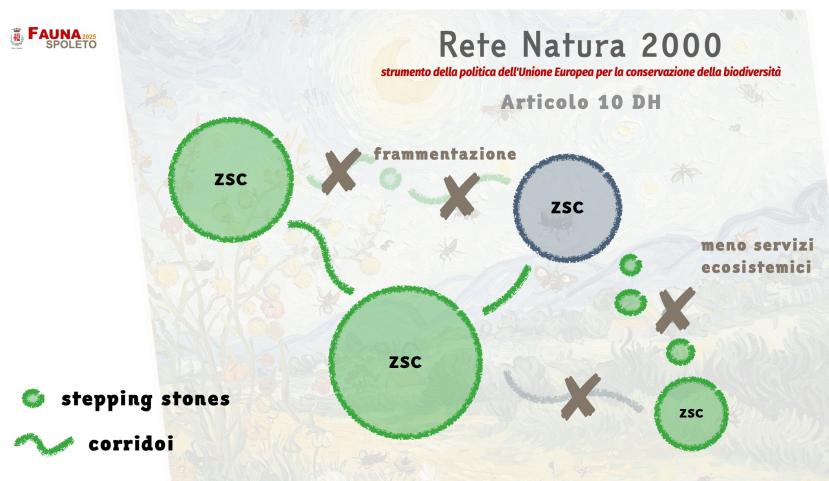
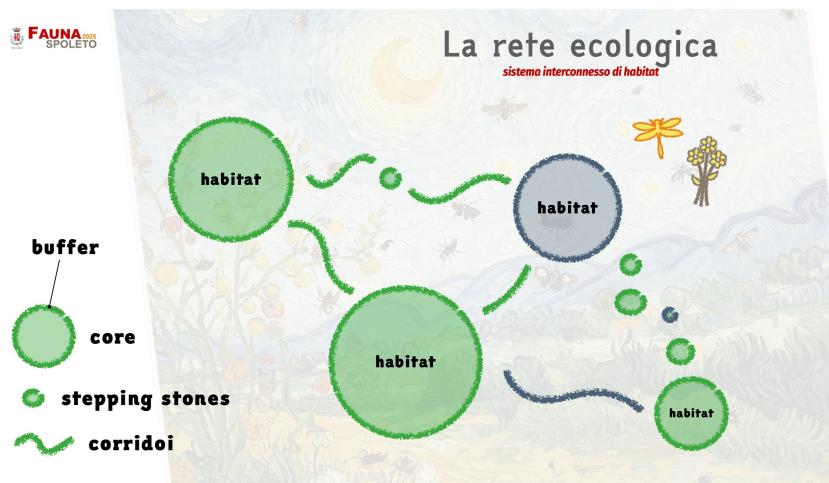
Tabella 4. Elenco delle libellule italiane minacciate				
Famiglia	Nome scientifico	Nome comune	Categoria IUCN	2014
Coenagrionidae	Erythrommalia laeta	Libellula rosso-	NE	
Coenagrionidae	Synlestes sanguineus	Libellula sanguina	LC	
Coenagrionidae	Synlestes laetans	Libellula laetana	LC	
Coenagrionidae	Synlestes weiskei	Libellula weiskei	EN	
Coenagrionidae	Leptogaster marginata	Libellula marginata	EN	
Coenagrionidae	Ischnura elegans	Libellula elegante	EN	
Coenagrionidae	Ischnura graellsii	Libellula graellsii	EN	
Aeshnidae	Aeshna grandis	Dragonfly King	EN	
Aeshnidae	Aeshna isoceles	Dragonfly Isoceles	EN	
Aeshnidae	Aeshna mixta	Dragonfly Mixta	EN	
Aeshnidae	Aeshna cyanea	Dragonfly Cyanea	EN	
Aeshnidae	Aeshna subarctica	Dragonfly Subarctica	EN	

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

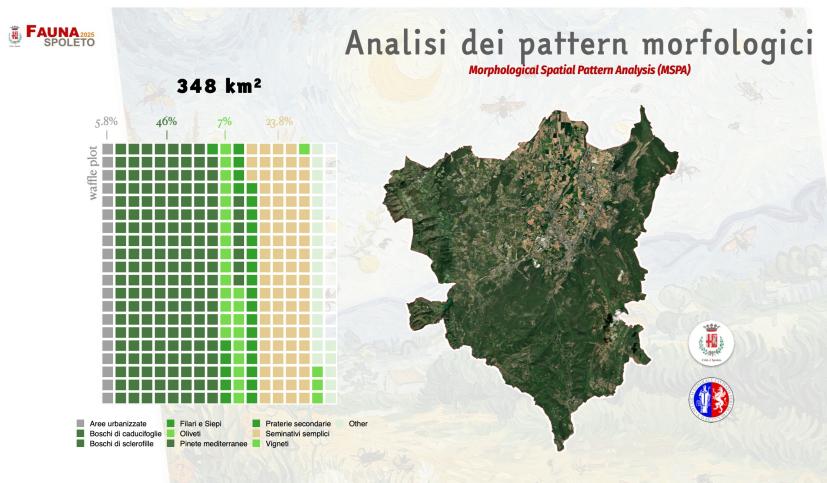


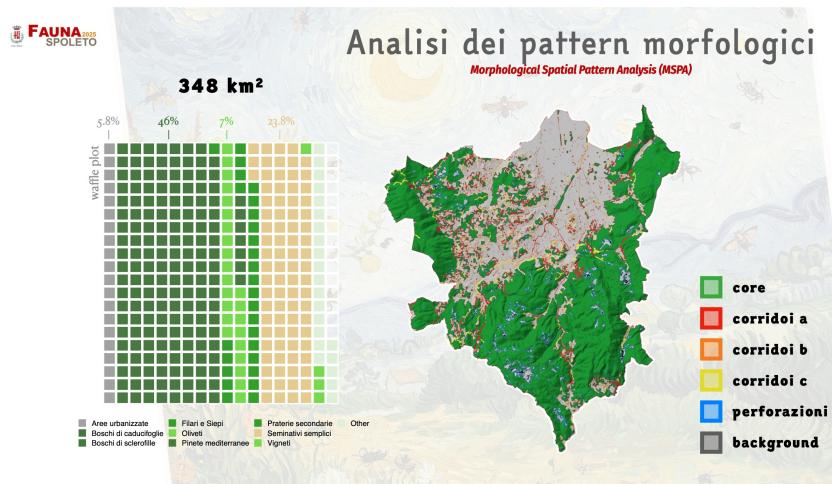
8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI FAUNA SPOLETO



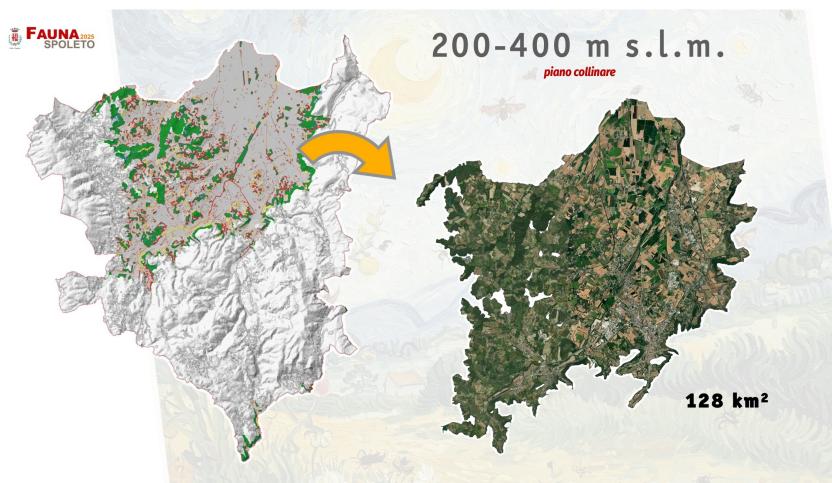
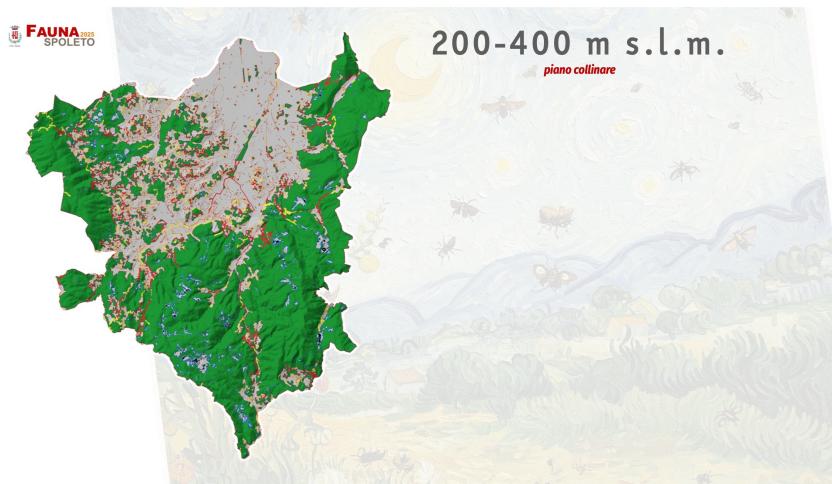


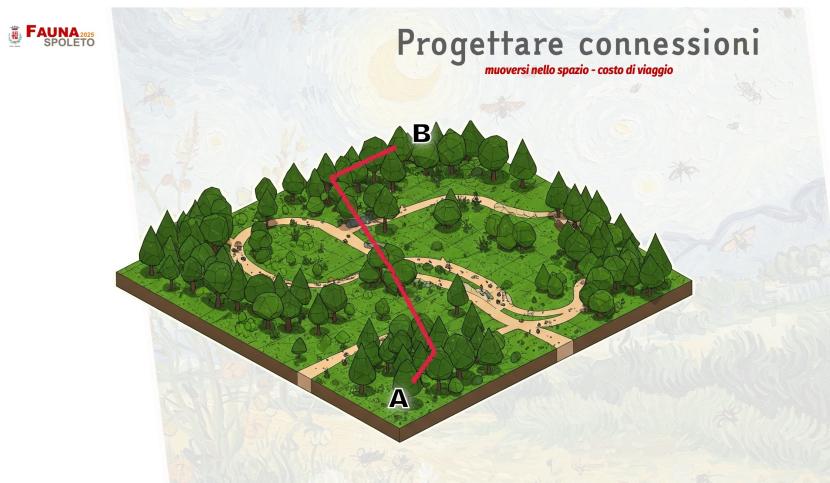
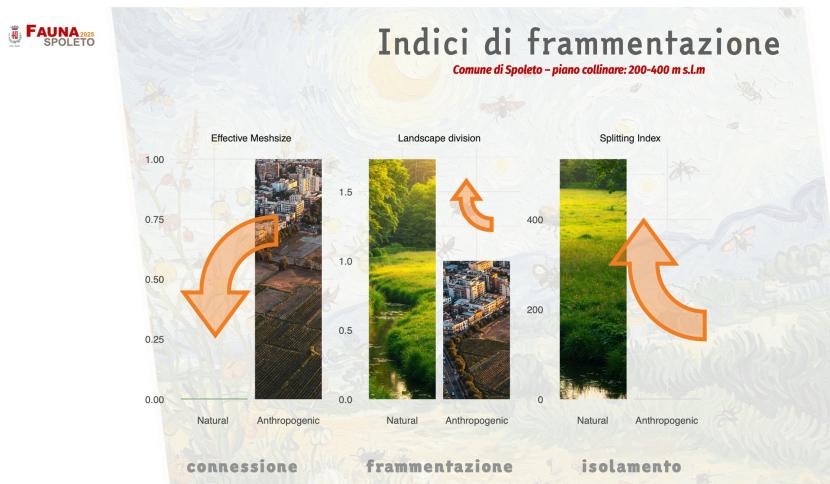
8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI FAUNA SPOLETO



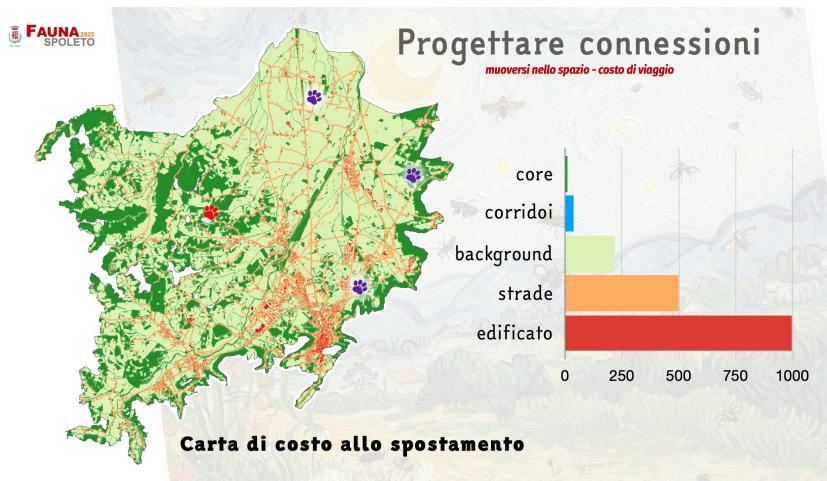


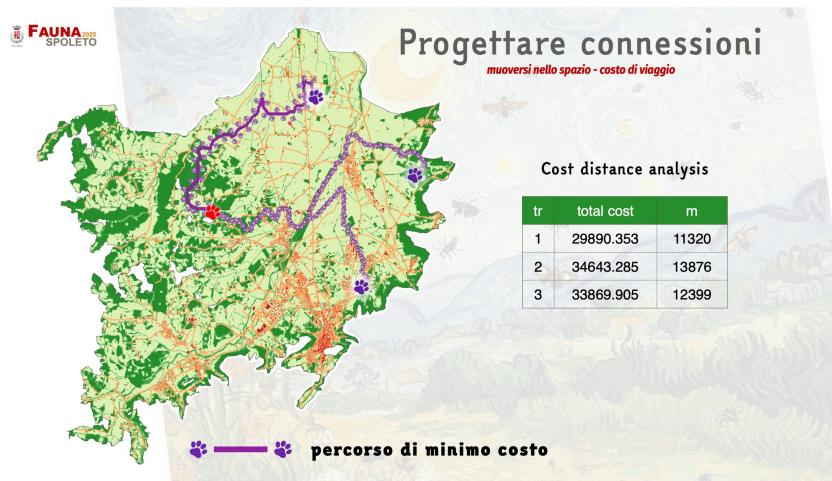
8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI





8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI FAUNA SPOLETO





8.1. DIAPOSITIVE DELLE PRESENTAZIONI UTILIZZATE DURANTE GLI EVENTI DI DISSEMINAZIONE DI FAUNA SPOLETO 2025

