



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea
Scienze Biologiche

I micromammiferi come bioindicatori e approfondimento sull'analisi delle borre
Small mammals as bioindicators and insight on bird pellets analysis

Tesi di laurea di:
Giacomo Ciferri

Docente referente:
Chiar. mo Prof.
Vincenzo Caputo Barucchi

Sessione Estiva
Anno Accademico 2025/2026

Indice

1. Introduzione ai micromammiferi

1.1 Chi sono micromammiferi?

pag. 4

1.2 Ruoli ecologici dei micromammiferi

pag. 6

2. I micromammiferi come bioindicatori

2.1 Perché i micromammiferi sono buoni indicatori della qualità ambientale?

pag. 8

2.1.1 Stretto rapporto consequenziale tra le variazioni di alcuni fattori ambientali e le densità di popolazione

pag. 9

2.1.2 Ampia diffusione geografica dovuta alla loro adattabilità e capacità riproduttiva

2.1.3 Fondamentale ruolo nella rete trofica: sono prede abituali di numerosi predatori

pag. 10

2.1.4 Sensibilità al disturbo antropico e alla frammentazione dell'habitat

2.1.5 Stretta dipendenza esistente tra alcune caratteristiche del territorio e la presenza di microteriofauna

pag. 11

2.1.6 Sono relativamente ben conosciuti dal punto di vista ecologico e tassonomico

pag. 12

2.1.7 Si campionano con facilità e con bassi costi con l'ausilio di trappole o di altre tecniche

2.1.8 Elevato numero di specie presenti sul territorio, capaci di occupare ogni possibile nicchia ecologica



2.2 Metodi di campionamento delle comunità di micromammiferi	pag.13
2.3 Utilizzo delle borre per studiare i micromammiferi	pag.15
2.3.1 Vantaggi nell'utilizzo delle borre	pag.16
2.3.2 Limiti nell'utilizzo delle borre	pag.17
2.3.3 Tecniche di elaborazione dei dati	pag.19
2.3.3.1 Indici specifici calcolabili dalle frequenze dei micromammiferi predati	pag.20
2.3.3.2 Indici classici adoperati in ecologia	pag.24
 3. Bibliografia	 pag.27

1. Introduzione ai micromammiferi

1.1 Chi sono i micromammiferi?

Ci sono più di 6492 specie di mammiferi sulla Terra (Burgin CJ, Colella JP, Kahn PL, Upham NS, 2018), e il conteggio è in continuo aggiornamento, con diverse nuove specie scoperte ogni anno.

Le espressioni “piccoli mammiferi” e “micromammiferi” possono essere utilizzate come sinonimi per indicare un insieme di mammiferi di taglia piccola, vi sono diverse definizioni proposte. Per Merritt *et al.* (2010) e Morand *et al.* (2006) i micromammiferi sono mammiferi il cui peso medio degli adulti non supera i 5kg , ma si può ulteriormente restringere la categoria fino a raggruppare specie il cui peso non eccede i 700 g (Wilson & Reeder, 2005) o i 120 g (Delany, 1974; questo criterio ristretto agli appartenenti ad Eulipotyphla, Afrosoricida, Macroscelidea e gli altri ordini prima appartenenti ad Insectivora, e Rodentia).

I micromammiferi considerati in questo elaborato appartengono esclusivamente ad Eulipotyphla e Rodentia, rispettivamente oltre 500 specie riconosciute (circa l'8,80% dei mammiferi) e oltre 2600 specie riconosciute (circa il 40,5% dei mammiferi), che insieme corrispondono a quasi il 50% di tutte le specie di mammiferi esistenti (IUCN SSC Small Mammal Specialist Group).

L'elevato numero di specie di questo gruppo testimonia il suo grande successo in termini evolutivi, favorito da alcune caratteristiche biologiche ed ecologiche peculiari.

Tra queste rivestono particolare importanza le ridotte dimensioni corporee, il metabolismo elevato, il rapido ciclo vitale e gli alti tassi riproduttivi. Tali caratteristiche conferiscono ai micromammiferi una straordinaria capacità di adattamento, consentendo loro di colonizzare praticamente ogni tipo di habitat terrestre, dalle regioni polari a quelle tropicali.

Questo gruppo comprende inoltre diverse specie che, nel corso della loro evoluzione, si sono adattate strettamente alla presenza umana, accompagnando l'uomo nella sua espansione attraverso il pianeta e colonizzando numerosi ambienti antropizzati.

Le piccole dimensioni permettono inoltre di sfruttare microhabitat e risorse alimentari non accessibili ad altri gruppi di vertebrati e di ridurre il rischio di predazione. Tuttavia, l'elevato rapporto superficie-volume comporta una notevole dispersione di calore e richiede un intenso metabolismo per mantenere costante la temperatura corporea. Per questo motivo molti micromammiferi devono alimentarsi quasi continuamente; il toporagno comune (*Sorex araneus*), ad esempio, può consumare quotidianamente una quantità di cibo pari all'80-90% del proprio peso corporeo (Churchfield, 1990).

La maggior parte dei micromammiferi è difficilmente osservabile in natura a causa delle abitudini prevalentemente notturne, della notevole mobilità e del comportamento elusivo (Negro M. 2013).

1.2 Ruoli ecologici dei micromammiferi

Dal punto di vista ecologico, i micromammiferi svolgono funzioni fondamentali per il mantenimento e il funzionamento degli ecosistemi. I Roditori, prevalentemente erbivori o granivori, si nutrono principalmente di erbe, semi, foglie, frutti, gemme, radici, germogli e cortecce, rappresentando una componente importante del flusso energetico degli ecosistemi terrestri. Sebbene una parte considerevole del materiale vegetale raccolto venga consumata immediatamente, molti roditori accumulano semi e altre risorse alimentari in depositi sotterranei da utilizzare durante i periodi di minore disponibilità trofica. Il sotterramento di tali riserve favorisce la germinazione dei semi non recuperati, contribuendo in modo significativo alla dispersione dei semi e ai processi di rinnovazione forestale.

I micromammiferi svolgono inoltre un ruolo anche nella diffusione di spore di funghi, briofite e licheni, e favoriscono la rinnovazione della biodiversità boschiva. Alcune specie possono contribuire anche all'impollinazione. Tra queste, il moscardino (*Muscardinus avellanarius*), che si nutre frequentemente di fiori e può favorire il trasferimento del polline durante l'attività alimentare, svolgendo in parte una funzione normalmente attribuita agli insetti impollinatori.

Mentre i Roditori si alimentano prevalentemente di materiale vegetale e solo occasionalmente di invertebrati, la dieta degli Eulipotifli è essenzialmente carnivora. Queste specie esercitano un'importante azione di controllo sulle popolazioni di invertebrati del suolo. Il toporagno nano (*Sorex minutus*), ad esempio, può consumare quotidianamente quantità molto elevate di insetti, contribuendo alla regolazione delle loro popolazioni.

Particolarmente rilevante è la loro attività di scavatori e rimescolatori del terreno. Molte specie realizzano sistemi di gallerie che possono raggiungere alcune decine di centimetri di profondità. Tale attività determina profonde modificazioni della struttura del suolo, favorendo la disgregazione delle particelle, l'aumento della capacità di ritenzione idrica, la circolazione dell'ossigeno negli strati più profondi e i processi di decomposizione e rimineralizzazione della sostanza organica. Inoltre, il trasporto di particelle e minerali tra i diversi orizzonti del terreno contribuisce alla redistribuzione dei nutrienti e al miglioramento della fertilità del suolo.

Il rimescolamento del terreno è quindi anche un efficace mezzo per il rinnovamento della vegetazione, oltre alla brucatura selettiva svolta dalle specie erbivore (come le arvicole), che può favorire alcune specie erbacee piuttosto di altre intervenendo sulla composizione floristica di una zona.

I micromammiferi occupano inoltre una posizione centrale nelle reti trofiche terrestri e rappresentano una delle principali fonti alimentari per numerosi vertebrati predatori, tra cui rapaci diurni e notturni, ofidi, canidi, felidi e mustelidi. Per alcune specie, come donnola ed ermellino tra i Mustelidi e numerosi Strigiformi, tra cui il barbagianni, essi costituiscono una componente fondamentale o addirittura predominante della dieta. La disponibilità di micromammiferi può quindi influenzare in modo significativo la densità e la distribuzione delle popolazioni dei predatori che da essi dipendono. Per tale motivo la microteriofauna è coinvolta nella maggior parte degli scambi energetici tra i diversi livelli delle reti trofiche e svolgendo un ruolo chiave nella stabilità degli ecosistemi forestali.



2. I micromammiferi come bioindicatori

2.1 Perché i micromammiferi sono buoni indicatori della qualità ambientale?

I piccoli mammiferi appartenenti agli ordini Rodentia e Eulipotyphla possiedono determinate caratteristiche che li rendono buoni bioindicatori. Avendo piccoli home range (o aree familiari, ovvero l'area totale attraversata da un individuo nel corso delle sue attività, non è un'area esclusiva difesa da un individuo, ma si sovrappone spesso alle aree familiari di altri individui della stessa specie), elevati tassi riproduttivi, e dipendendo da caratteristiche dell'habitat su piccola scala, sono altamente sensibili ai cambiamenti delle condizioni ambientali. Pertanto, variazioni nella diversità, abbondanza e composizione delle comunità di piccoli mammiferi possono fornire segnali precoci di degrado ecosistemico, perdita di biodiversità e cambiamenti funzionali.

2.1.1 Stretto rapporto consequenziale tra le variazioni di alcuni fattori ambientali e le densità di popolazione;

I piccoli mammiferi sono caratterizzati da un elevato tasso riproduttivo, una breve durata della vita e rapidi tassi di turnover delle popolazioni. Questi tratti consentono alle popolazioni di micromammiferi di rispondere rapidamente ai cambiamenti ambientali, spesso entro una singola stagione riproduttiva. Tale plasticità demografica rende i micromammiferi ideali per rilevare variazioni a breve termine della qualità dell'habitat. Crolli o esplosioni demografiche possono rivelare stress ambientali sottostanti prima che questi diventino osservabili in taxa longevi come uccelli o grandi mammiferi. Diversi studi hanno confermato che il monitoraggio delle popolazioni di piccoli mammiferi fornisce un efficace sistema preventivo di allerta per i cambiamenti ecosistemici.

2.1.2 Ampia diffusione geografica dovuta alla loro adattabilità e capacità riproduttiva;

L'adattabilità di alcune specie di micromammiferi a differenti habitat e il loro alto tasso riproduttivo li porta ad avere un'ampia diffusione geografica, questo li rende più disponibili per studi a livello di popolazione rispetto ad altri gruppi di animali.

2.1.3 Fondamentale ruolo nella rete trofica: sono prede abituali di numerosi predatori (serpenti, rapaci diurni e notturni, mammiferi carnivori e onnivori);

I piccoli mammiferi occupano posizioni centrali nelle reti trofiche, agendo sia come consumatori primari sia come prede per un'ampia gamma di predatori. Le perturbazioni delle comunità di piccoli mammiferi possono quindi avere effetti a cascata sugli ecosistemi, influenzando le popolazioni dei predatori, le dinamiche delle comunità vegetali e il ciclo dei nutrienti. Le interazioni trofiche che coinvolgono i piccoli mammiferi sono particolarmente sensibili al degrado dell'habitat. Ad esempio, il declino delle specie preda tra i roditori a seguito della deforestazione è stato associato al declino di carnivori come *Mustela* spp. e di rapaci come il barbagianni (*Tyto alba*). Parallelamente, la riduzione dell'abbondanza dei piccoli mammiferi può determinare variazioni nei tassi di consumo dei semi, alterando la successione delle comunità vegetali.

2.1.4 Sensibilità al disturbo antropico e alla frammentazione dell'habitat;

I piccoli mammiferi rispondono rapidamente a disturbi antropici quali disboscamento, agricoltura, costruzione di strade ed espansione urbana. La frammentazione degli habitat comporta tipicamente il declino delle specie specialiste, in particolare quelle dipendenti da condizioni forestali o da praterie. Le specie generaliste, come il topo domestico (*Mus musculus*) e il ratto grigio (*Rattus norvegicus*), spesso dominano nei paesaggi fortemente disturbati, portando a un'omogeneizzazione biotica. Gli effetti margine (edge effect) associati alla frammentazione dell'habitat includono l'aumento del rischio di predazione, l'alterazioni dei microclimi e l'invasione di specie aliene, che ulteriormente perturbano la struttura delle comunità di micromammiferi. Studi hanno mostrato che la ricchezza di specie e l'equitabilità (indice che misura quanto gli individui di una comunità ecologica sono distribuiti equamente tra le diverse specie) spesso diminuiscono con l'aumento dell'isolamento e dell'intensità del disturbo. Di conseguenza, il monitoraggio dei cambiamenti nella diversità delle comunità di micromammiferi fornisce informazioni sull'integrità dell'habitat a scala di paesaggio, e può guidare strategie di conservazione e gestione del territorio.

2.1.5 Stretta dipendenza esistente tra alcune caratteristiche del territorio e la presenza di microteriofauna (sensibilità a qualità del suolo, cambiamenti idrologici, architettura vegetale e microhabitat);

I piccoli mammiferi mostrano forti preferenze per specifiche architetture vegetali (organizzazione spaziale e alla composizione delle piante all'interno di un ecosistema) e microhabitat, spesso legati alle loro esigenze alimentari e antipredatorie. Roditori come le arvicole (*Microtus* spp.) e i topi cervini (*Peromyscus* spp.) mostrano variazioni nell'uso dell'habitat in base a cambiamenti nell'altezza della vegetazione, nella densità e nella composizione specifica. I toporagni (*Sorex* spp.), che dipendono da lettiera umida e copertura del suolo densa, diminuiscono significativamente in risposta all'apertura della copertura forestale o all'essiccamento del suolo a seguito di deforestazione. La presenza di tronchi caduti, detriti legnosi, lettiera di foglie e sottobosco, influenza direttamente la ricchezza e l'abbondanza dei piccoli mammiferi. La perdita della complessità vegetazionale verticale e orizzontale dovuta a silvicoltura intensiva, agricoltura o urbanizzazione porta a una omogeneizzazione delle comunità di piccoli mammiferi, favorendo spesso le specie generaliste rispetto a quelle specialiste. Pertanto, il monitoraggio delle risposte dei piccoli mammiferi ai cambiamenti della vegetazione offre una misura robusta della qualità dell'habitat, con la struttura delle comunità che spesso rispecchia l'integrità degli ecosistemi.

Le proprietà del suolo, tra cui la permeabilità, la materia organica presente e la compattazione, sono determinanti fondamentali nella distribuzione e nella sopravvivenza dei micromammiferi. Le specie fossorie, come le talpe e le arvicole, richiedono suoli specifici per la costruzione dei nidi e la ricerca del cibo nelle gallerie. Processi di degrado come la compattazione del suolo dovuta al pascolo del bestiame, l'erosione o l'alterazione dei regimi idrologici riducono l'idoneità dell'habitat per molti mammiferi fossori e semi-fossori.

Inoltre, la disponibilità d'acqua influenza l'abbondanza di specie insettivore e granivore, soprattutto in ambienti aridi e semi-aridi. Cambiamenti nei livelli delle falde acquifere e l'essiccamento delle zone umide dovuti al cambiamento climatico o all'estrazione antropica sono stati associati a collassi delle comunità di piccoli mammiferi. Pertanto, le variazioni nelle associazioni di piccoli mammiferi possono fungere da proxy della salute del suolo e dell'integrità idrologica, entrambe componenti fondamentali dello stato complessivo degli ecosistemi.

2.1.6 Sono relativamente ben conosciuti dal punto di vista ecologico e tassonomico;

2.1.7 Si campionano con facilità e con bassi costi in termini di materiale mediante l'ausilio di trappole a vivo (Sherman , Longworh) o di altre tecniche;

Fig. 1 Modello “Longworth”

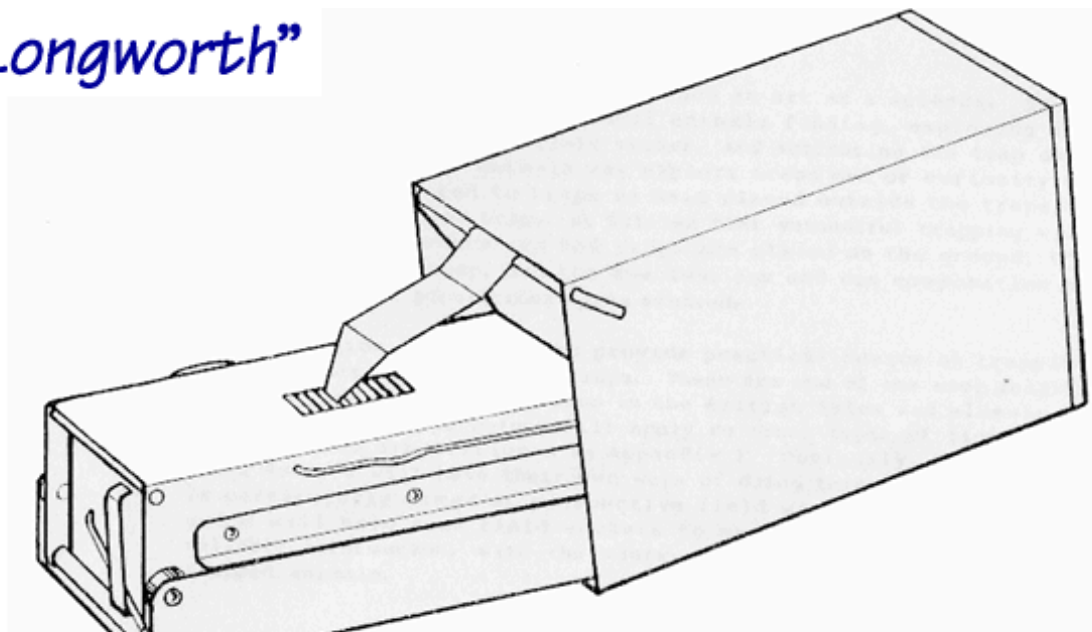
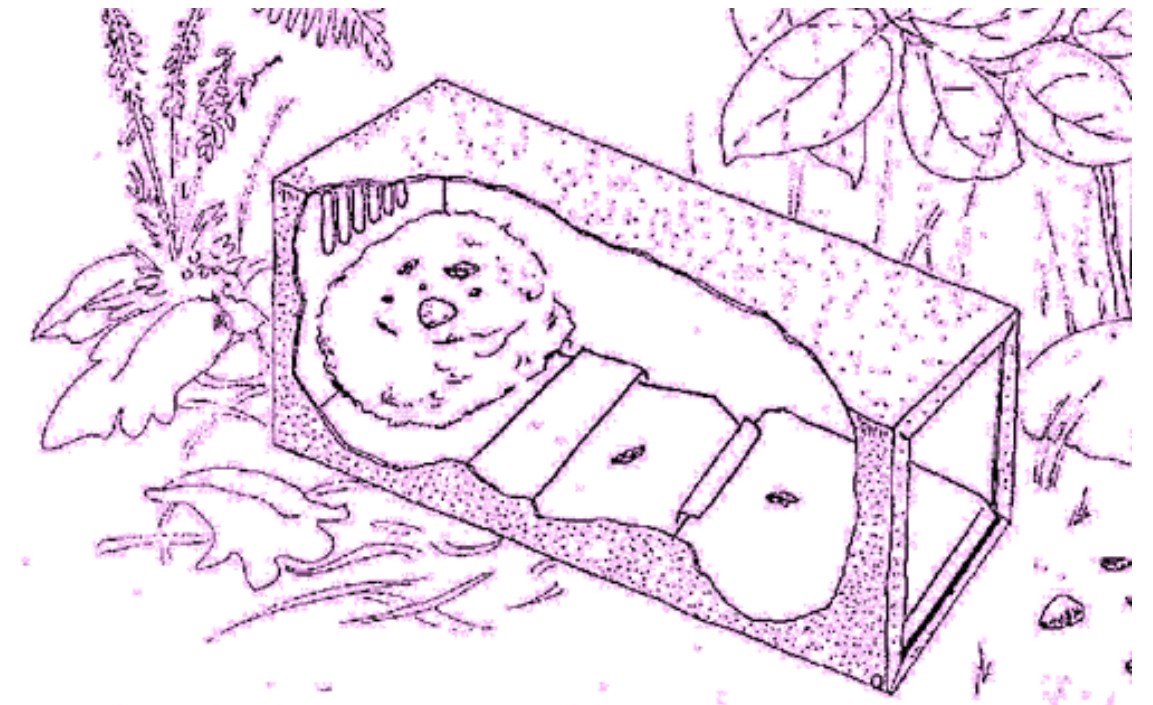


Fig. 2 Modello “Sherman”



2.1.8 Elevato numero di specie presenti sul territorio, capaci di occupare ogni possibile nicchia ecologica;

2.2 Metodi di campionamento delle comunità di micromammiferi

Il monitoraggio delle comunità di micromammiferi richiede differenti approcci metodologici in base all'ecologia delle specie, alle caratteristiche dell'habitat e agli obiettivi della ricerca. È stato sviluppato un ampio ventaglio di tecniche per raccogliere dati sulla diversità delle specie, sull'abbondanza, sulle attività degli individui e sulle dinamiche di popolazione. La selezione di metodologie appropriate è fondamentale per garantire valutazioni accurate, affidabili ed eticamente corrette delle comunità di micromammiferi.

Il trappolaggio “a vivo” (live trapping) rimane uno dei principali metodi per lo studio dei piccoli mammiferi terrestri e si avvale di trappole Sherman (**Fig. 2**), Havahart, Longworth (**Fig. 1**), trappole a caduta (pitfall) (**Fig. 3**) e altre per catturare gli animali arrecando il minimo danno possibile. Il tipo di trappola, le strategie di posizionamento di quest'ultima e il tipo di esche da utilizzare sono tutte scelte basate sul comportamento delle specie da studiare (ad esempio le loro preferenze alimentari), al fine di massimizzare l'efficienza di cattura e ridurre al minimo lo stress degli animali. I protocolli di campionamento prevedono generalmente la disposizione delle trappole lungo griglie (**Fig. 4**) o transetti (**Fig. 5**), consentendo la valutazione della densità di una specie in un territorio o la sua ricchezza di specie, i protocolli di cattura-marcatura-ricattura, basati sull'impiego di marcatori auricolari, trasponder passivi integrati (Passive Integrated Transponders, PIT tag) o marcatura mediante tosatura del pelo, permettono di stimare in modo robusto i principali parametri demografici attraverso vari modelli. La replicazione temporale del campionamento è indispensabile per tenere conto delle variazioni circadiane e stagionali dei livelli di attività. Tuttavia, la cattura “a vivo” rimane una metodologia impegnativa in termini di tempo e di risorse, fortemente influenzata dalle condizioni meteorologiche e potenzialmente soggetta a distorsioni nella rilevazione di alcuni gruppi tassonomici.

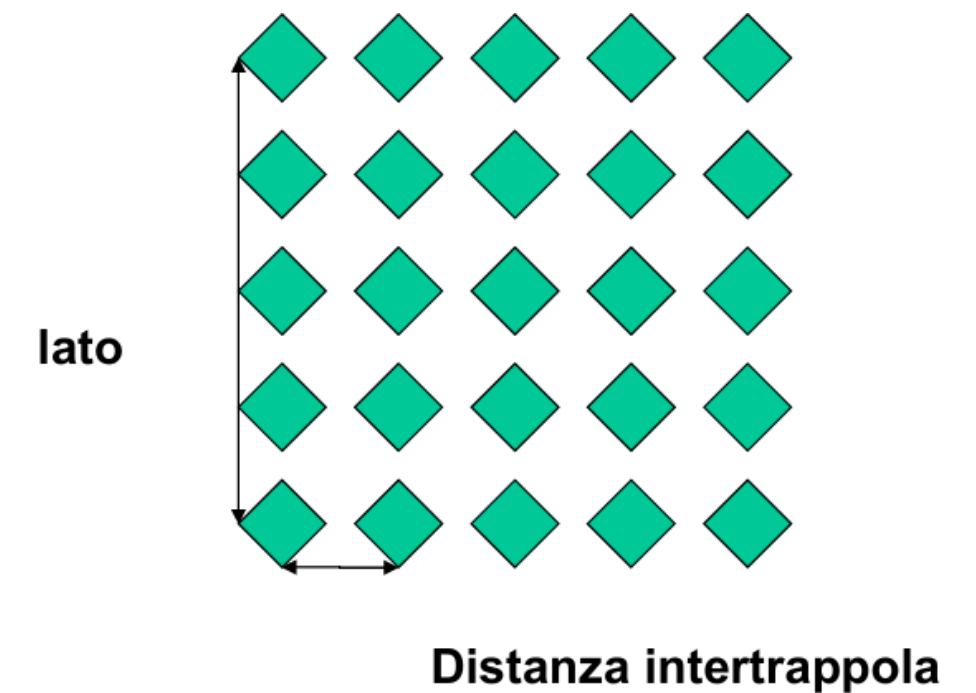


Fig. 4 Griglia

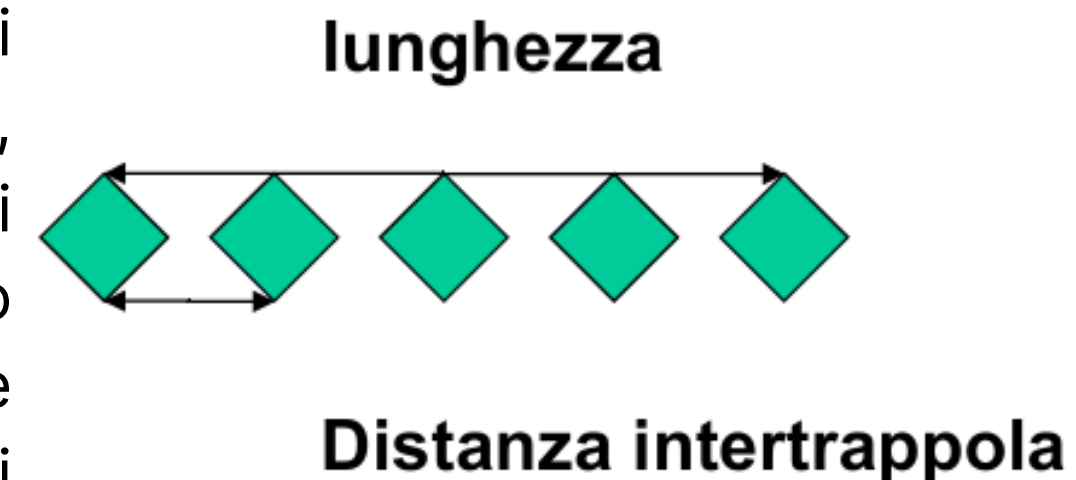
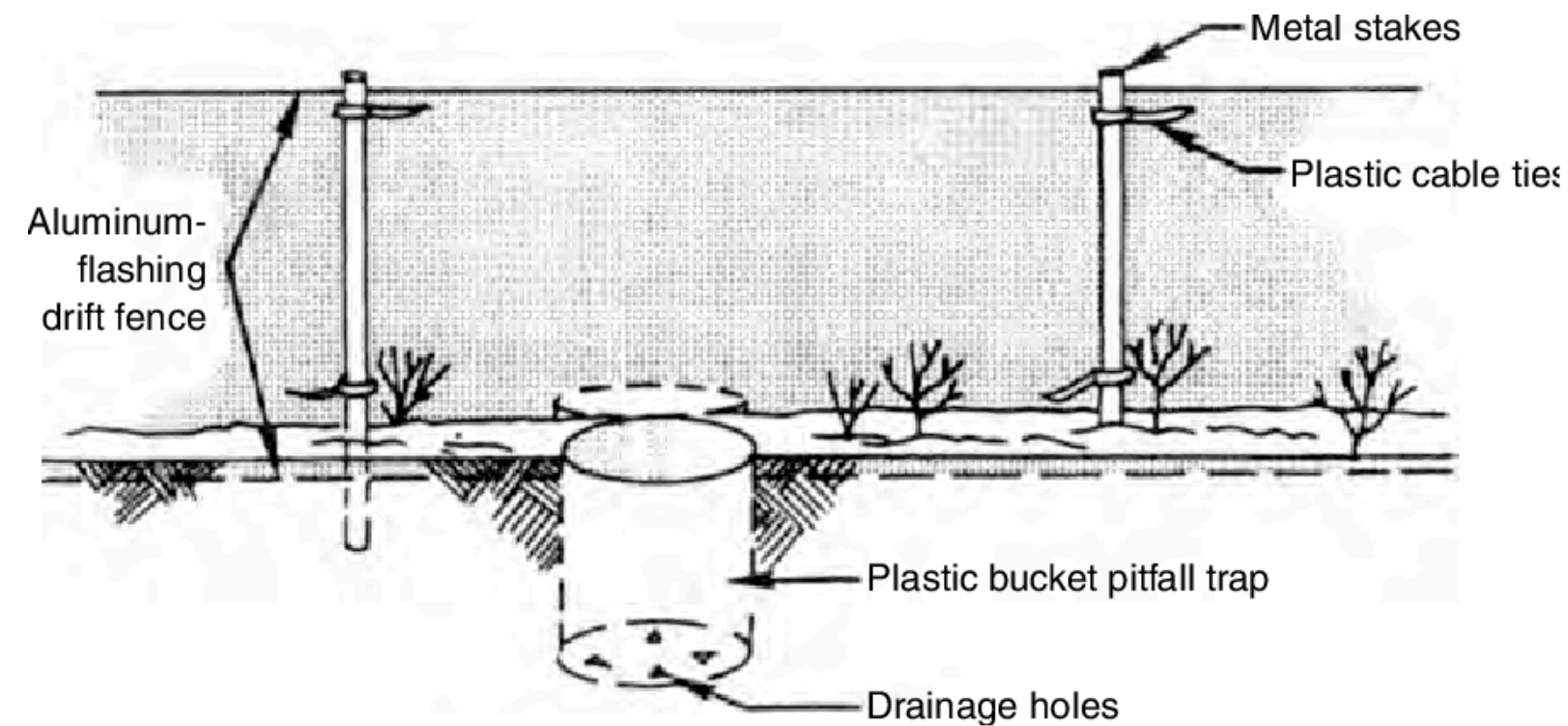


Fig. 5 Transetto

Le tecniche di campionamento passivo, tra cui le fototrappole dotate di sensori a infrarossi e le piastre per impronte rivestite di fuliggine o inchiostro, rappresentano valide alternative non invasive per il rilevamento di specie notturne o particolarmente elusive, consentendo l'analisi di varie attività dei micromammiferi. Tali metodologie possono tuttavia presentare una ridotta probabilità di rilevamento nel caso o di specie molto piccole o di specie criptiche (geneticamente distinte ma morfologicamente molto simili). Le trappole a caduta (pitfall traps), frequentemente abbinate alle barriere di deviazione (drift fences), costituiscono uno strumento particolarmente efficace per il campionamento dei piccoli mammiferi terricoli e dei toporagni, intercettandone gli spostamenti sulla superficie del suolo. Questo approccio consente di campionare per periodi prolungati; tuttavia, qualora le trappole non vengano adeguatamente gestite, possono verificarsi episodi mortalità degli animali catturati. Per tale motivo risultano indispensabili dei controlli frequenti e, all'interno della trappola, del cibo, dell'acqua da bere e un rifugio contro le intemperie.

**Fig. 3 Trappola a caduta
“pitfall” con “drift fences”**



Negli ultimi anni le tecniche molecolari hanno notevolmente ampliato le possibilità offerte dal monitoraggio non invasivo. L'impiego di trappole per la raccolta dei peli, campioni fecali e tracce di saliva consente infatti l'identificazione delle specie e lo svolgimento di analisi di genetica di popolazione mediante genotipizzazione dei microsatelliti e sequenziamento del DNA mitocondriale. Parallelamente, il campionamento del DNA ambientale (eDNA) da campioni di suolo, acqua o aria permette di effettuare indagini di presenza o assenza di una specie senza la necessità di osservare direttamente gli individui, incrementando l'efficacia del rilevamento anche in habitat remoti o difficilmente accessibili. Permangono tuttavia problematiche quali la degradazione del DNA, la ridotta probabilità di rilevamento delle specie rare e il rischio di contaminazione dei campioni, al fine di garantire l'affidabilità dei risultati.

2.3 Utilizzo delle borre per studiare i micromammiferi

Un metodo indiretto per lo studio delle comunità di micromammiferi è l'analisi delle borre (**Fig. 6**), ammassi più o meno appallottolati vomitati da vari gruppi di uccelli e contenenti le parti non digerite delle loro prede come ossa, peli, piume, ali e zampe di insetti, frammenti di conchiglie, scaglie di pesci, squame di lucertole e serpenti e altro ancora. Lo studio dei popolamenti di micromammiferi è possibile in quanto tale gruppo viene predato in gran quantità da diverse specie di rapaci diurni e notturni, in particolare questi ultimi annoverano specie che dipendono dalla predazione di micromammiferi per il loro successo riproduttivo. Quindi, considerando che i micromammiferi sono molto difficili da rilevare sul campo, chi si occupa del loro studio può trovare molte risposte analizzando le borre dei rapaci notturni, questo argomento sarà approfondito nel prossimo paragrafo. (L'analisi delle borre degli uccelli: metodiche, applicazioni e informazioni. Un lavoro monografico. 37 (72): 106-120, 2011 Picus, A. Nappi & "L'analisi delle borre dei rapaci notturni per studiare i micromammiferi", Bollettino Sezione Campania ANISN, A. Nappi).

Lo studio dei micromammiferi estratti dalle borre permette di acquisire conoscenze sia a livello qualitativo che a livello quantitativo, consentendo di elaborare tutti gli indici ecologici che si adoperano per valutare lo stato di salute dell'ambiente. Ad esempio, se in un territorio sono presenti solo poche specie come i ratti (*Rattus* spp.) questo si troverà in uno stato di salute peggiore rispetto ad un altro con un maggior assortimento di specie. Nel momento in cui questi dati sono espressi matematicamente sono molto utili per la gestione ambientale.



Fig. 6 esempi di borre e resti ossei estratti

2.3.1 Vantaggi nell'utilizzo delle borre

- grande numero di prede rinvenibili in tempi brevi e studiabili (in un ciclo annuale medio di un sito di nidificazione si rinvencono circa 200 borre l'anno; nei siti di sosta notturna di un individuo se ne rinvencono circa la metà);
- è un metodo semplice ed economico, specialmente rispetto alla trappolatura diretta dei micromammiferi;
- si ottengono facilmente le parti craniche delle prede, fondamentali per la classificazione del materiale, già "preparate" dai succhi digestivi del predatore;
- i rapaci predano un gran numero di specie, in particolare alle nostre latitudini, il rapace più eurifago (il più generalista, che preda il maggiore numero di specie di micromammiferi) è il barbagianni *Tyto alba* seguito dall'allocco *Strix aluco*. Talvolta risultano d'aiuto la civetta *Athene noctua* e il gufo comune *Asio otus* (più stenofagi, ovvero meno generalisti), e informazioni utili possono scaturire anche dalle borre dei rapaci diurni. Il ricercatore può quindi imbattersi in quasi tutte le specie note in una data regione.
- è un metodo incruento, nessun animale viene ferito o ucciso;

2.3.2 Limiti nell'utilizzo delle borre

Come già affrontato nel capitolo: “2.2 Metodi di campionamento delle comunità di micromammiferi”, le metodiche usate per rilevare la presenza di determinati gruppi di animali sul campo sono svariate, e la migliore applicabilità di una rispetto all'altra dipende da vari fattori che devono essere valutati di volta in volta. Quando ci si accinge ad effettuare un censimento faunistico c'è da valutare quale delle tecniche possibili è in grado di fornire il maggior numero di informazioni in quella specifica situazione. Quindi anche il censimento dei micromammiferi per analisi delle borre non è esente da limiti che devono essere valutati. In sintesi sono:

- **Quantità del campione.** Per fare in modo che specie più rare risultino presenti nelle borre e che i dati siano soddisfacenti da un punto di vista quantitativo e qualitativo, è auspicabile che il materiale raccolto non sia molto esiguo. Ad esempio, è stato individuato un minimo di 175 individui come campione sufficiente ad offrire dati non influenzati da variazioni stagionali nella dieta dei rapaci notturni (Contoli, 1986), questo per ottenere lo spettro alimentare di un uccello dalla sola analisi delle borre.
- **Scelte individuali del predatore.** Alcuni strigiformi si cibano solo di un paio di specie di roditori prendendo occasionalmente altri micromammiferi; questo, oltre a far appurare con difficoltà la presenza di altre specie, non fornisce buoni dati quantitativi. Anche la competizione con altri predatori, conspecifici o extraspecifici, influenza le scelte individuali. La dieta infine è soggetta a variazioni stagionali (problema superabile con campione sufficiente di borre).
- **Digestione di parte delle ossa** con conseguente difficoltà di rilevare parte delle prede



- **Rottura selettiva da parte di alcuni predatori (es. allocco) dei crani più piccoli**
- **Differente distribuzione ecologica di predatori e prede** con relativa difficoltà o impossibilità di rilevare alcune specie di micromammiferi (ad esempio, l'Allocco non è reperibile in assenza di boschi maturi, e il Barbagianni, dal suo canto, non frequenta zone di bosco fitte e chiuse, così come non si spinge oltre i 1000 m).
- **Possibilità di trovare nelle borre dei micromammiferi estranei alla località dove esse sono state raccolte.** Questo può essere dovuto sia ad un'introduzione volontaria o accidentale del micromammifero che ad una cattura effettuata dal rapace lontano dalla località di rinvenimento della borra magari durante migrazioni o erratismi; di tali situazioni ci si può accorgere se la preda in esame non frequenta l'ambiente o l'area geografica considerati.
- **Nel territorio in esame mancano gli strigiformi** (e quindi i campionatori) o è troppo **difficile reperire le borre.**
- **Alcune entità microteriologiche non** possono essere **identificate con certezza attraverso** i soli **resti ossei**. Ha una certa rilevanza nel sottogenere *Sylvaemus* del genere *Apodemus*, in quanto i suoi rappresentanti appartenenti, nell'Italia peninsulare, a due specie (*A. Sylvaemus sylvaticus* e *A. S. flavicollis*) spesso sono una frazione notevole nella dieta degli strigiformi più studiati nel settore. Il problema è nell'importanza e nella chiarezza dei caratteri diagnostici noti.
- **L'estensione del territorio di caccia deve essere sufficiente** perché sia possibile una discriminazione delle differenti cenosi di micromammiferi sottoposte a predazione. L'area unitaria da considerare deve oscillare da 1 a qualche chilometro quadrato, problema che si riscontra maggiormente nell'Italia peninsulare e insulare, ove sono rare le vaste estensioni omogenee dal punto di vista geomorfologico, climatologico, vegetazionale e dell'uso del suolo.

2.3.3 Tecniche di elaborazione dei dati

Terminate le fasi di riconoscimento e di conteggio delle prede, i dati devono essere sintetizzati. Si può iniziare a compilare una lista dei taxa predati specificando, per ognuno, il numero di individui, la frequenza percentuale sul totale e il contributo in biomassa

Biomassa = [(somma dei pesi di tutti gli individui di un taxon) / (biomassa totale)] x 100

Si possono calcolare anche i seguenti rapporti:

a) **Pasto medio in grammi** = biomassa totale / numero di borre

b) **Numero medio di prede per pasto** = numero di prede / numero di borre

c) **Peso medio delle prede** (Contoli, 1975 a) = biomassa totale / numero di prede

d) **Indice di importanza globale della preda "i"** (Herrera, 1978) $IGR_i = (P_{Ni} + P_{Bi}) \times P_{Fi}$; dove P_{Ni} = percentuale numerica sul totale delle prede; P_{Bi} = percentuale di biomassa sul totale delle prede; P_{Fi} = frequenza nelle borre, ottenuta dalla formula: [(numero di borre contenenti il taxon "i") / (numero di borre totale)] x 100

e) **Indice di frequenza nelle diete** (Nappi & Mastrorilli, 2003) = [(numero di diete in cui è presente una dieta) / (numero di diete esaminate)] x 100. Se si dispone di più diete e si vuole confrontare l'importanza di un determinato taxon al loro interno

2.3.3.1 Indici specifici calcolabili dalle frequenze dei micromammiferi predati

Indici di Termoxerofilia (Contoli, 1980)

TX = Crocidurini / Soricidi → questa versione è più stabile rispetto alle variazioni stagionali, ed è applicabile sia nell'Europa continentale che nelle isole

TX = (*Suncus* / Soricidi) + [(*Mus* + *Rattus rattus*) / Roditori] → anch'essa applicabile sia sulle isole sia sul continente, ma è meno stabile rispetto alle variazioni stagionali, per cui va usato su raccolte per lo meno annuali

TX = (*Suncus* + *Crocidura suaveolens* / Soricidi) + [(*Mus* + *R. rattus* + *Muscardinus*) / Roditori] → assai precisa in molti casi, ma questa versione non può essere utilizzata nelle zone insulari

Sono basati sulla tendenza di alcuni taxa a frequentare zone umide o aride, calde o fresche, e pertanto possono indicare il grado termoigrometrico di una stazione. Viene misurata la frequenza delle specie più termoxerofile.

Indici Agronomico-Ambientali

$A' = \text{Cricetidi} / \text{Muridi}$ (Contoli, 1980)

$A' = (\text{Cricetidi} - \textit{Clethrionomys glareolus}) / \text{Muridi}$

Formulati tenendo conto che, generalmente, i Cricetidi risultano più diffusi negli ecosistemi prativi mentre i Muridi in quelli boschivi pertanto, in alcune situazioni, è opportuno escludere dalle arvicole l'arvicola rossastra *Clethrionomys glareolus*, vista la sua ecologia.

Indici di Livello Trofico (Contoli, 1980)

I.L.T. = “Carnivori” / Totale mammiferi

I.L.T. = “Insettivori” / Roditori

I.L.T. = “Insettivori” / Totale mammiferi

Per “carnivori” si intendono gli ordini degli Eulipotifli, dei Chirotteri e dei Carnivori. Considerando che i taxa presenti al numeratore appartengono, nella piramide alimentare, ai livelli di consumatori uguali o superiori al secondo, sono quelli che maggiormente risentono delle alterazioni ambientali, per cui valori elevati di questo indice rivelano un buono stato di salute dell’area in esame.

Indice di Valutazione Ambientale (Cantini, 1991)

$$\text{V.A.} = (\text{"Insettivori"} + \text{Carnivori} / \text{Totale piccoli mammiferi}) - (\textit{Sciurus vulgaris} + \textit{Chionomys nivalis} + \textit{Apodemus flavicollis})$$

E' una variante degli indici precedenti dove però vengono incluse due specie di Carni vori (ermellino *Mustela erminea* e donnola *M. nivalis*) ed escluse, di contro, tre specie di roditori; può avere applicabilità negli ecosistemi alpini.

2.3.3.2 Indici classici adoperati in ecologia

Indici di Diversità Biotica

Esprimono per ogni dieta la ricchezza di specie e la ripartizione delle prede tra queste od anche, in un certo senso, l'entropia della cenosi predata. Qui riporto due esempi.

Nello specifico, l'**indice di Shannon** (H' , Shannon & Weaver, 1949) con i suoi derivati (cfr. Odum, 1973) è l'indice di ricchezza specifica, ovvero il numero di diverse specie in un sistema. Considera sia il numero di specie presenti, sia la distribuzione degli individui tra le specie:

$$SHDI = 1 - \sum_{i=1}^N p_i \times \ln p_i$$

dove “N” è il numero di specie e “ p_i ” l'abbondanza proporzionale della specie i-esima. L'indice misura la probabilità che un individuo preso a caso dalla popolazione appartenga ad una specie differente da una specie estratta in un precedente prelievo ipotetico. Maggiore è il valore di SHDI, maggiore è la diversità. Il suo valore risulta compreso tra 0 e, teoricamente, infinito ($+\infty$).

L'indice di Simpson (SIDI, Simpson, 1949) è definito come:

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^N p_i \times p_i$$

L'indice di Simpson quantifica l'uniformità, ovvero indica l'equità delle abbondanze proporzionali delle diverse specie in un sistema (Tuomisto, 2012). Compreso tra 0 e 1, definisce la probabilità che due individui equivalenti di un gruppo, selezionati casualmente, appartengano a diverse specie (o taxon).

Entrambi questi indici aumentano in situazioni in cui il numero di specie aumenta (ricchezza), l'equità della distribuzione degli individui tra le varie specie aumenta (uniformità), o una combinazione di entrambi.

Indici di Affinità Faunistica

Un indice di affinità faunistica fornisce informazioni qualitative sulla somiglianza tra due comunità faunistiche.

Qui riporto l'indice più utilizzato, ovvero quello di Sorensen.

L'**indice di Sørensen** (Sørensen 1948; Koleff et al. 2003) misura il grado di similarità tra due comunità. Si definisce come:

$$CC = \frac{2C}{(A + B)}$$

Dove CC sta per Coefficiente di Comunità. Fissato C = specie in comune, A = totale specie comunità 1, B = totale specie comunità 2.

3. Bibliografia

- A. Nappi, L'analisi delle borre dei rapaci notturni per studiare i micromammiferi, Bollettino Sezione Campania ANISN, 2000.
- A. Nappi, L'analisi delle borre degli uccelli: metodiche, applicazioni e informazioni. Un lavoro monografico. Picus, 37(72): 106–120, 2011.
- A. Nappi, I micromammiferi: storie, vita, curiosità. Perché una mostra con questo titolo?. ANISN, XIII Convegno Nazionale, 2004.
- Ayodele, A. (2025). Small mammal communities as indicators of habitat health: A review. Texas A&M University, Texas, USA.
- Burgin, C. J., Colella, J. P., Kahn, P. L., & Upham, N. S. (2018). How many species of mammals are there? Journal of Mammalogy, 99(1), 1–14.
- Contoli, L. (1986). Sistemi trofici e corologia: dati su Soricidae, Talpidae ed Arvicolidae d'Italia predati da Tyto alba (Scopoli 1769).
- Contoli, L. (1980). Borre di Strigiformi e ricerca teriologica in Italia. Natura e Montagna 3: 73–94
- Delany, M. J. (1974). The Ecology of Small Mammals.
- Ferrari, G. La comunità di micromammiferi in un ambiente che cambia: un caso studio nelle Alpi Centrali Italiane (A.A. 2015/2016). Università di Parma.



- IUCN SSC Small Mammal Specialist Group.
- Merritt, J. F., et al. (2010). The Biology of Small Mammals.
- Morand, S., et al. (2006). Micromammals and Macroparasites: From Evolutionary Ecology to Management.
- Negro, M. (2013). Utilizzo dei micromammiferi come bioindicatori ambientali nel SIC dell'Alta Val Sessera.
- Paniccia, C. Small Mammals in a Changing Landscape: Monitoring Communities from Local to Large Scale (A.A. 2017/2018). Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio.
- Savegnago, V. Micromammiferi come indicatori dello stato di qualità forestale e sistema di monitoraggio dei cambiamenti catastrofici nel Parco Nazionale Dolomiti Bellunesi (A.A. 2019/2020). Università degli Studi di Padova.
- Università degli Studi dell'Insubria. Pianificazione del rilevamento delle peculiarità ambientali al fine di evidenziare elementi naturalistici di pregio.
- Wilson, D. E., & Reeder, D. M. (2005). Mammal Species of the World.