



Analisi di Reti Trofiche

Utilizzo di tecniche non supervisionate per l'analisi di reti trofiche

Daniele Molinari

Progetto di Laboratorio di Intelligenza Artificiale

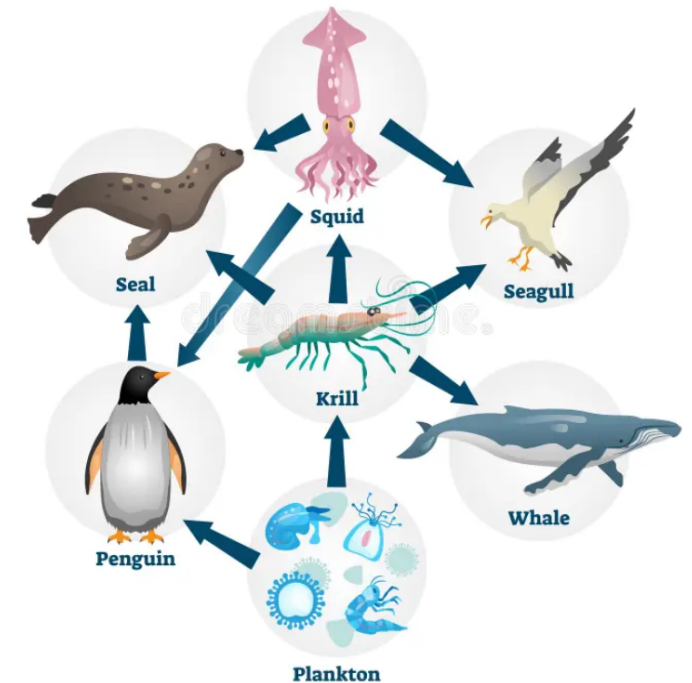
Introduzione

Le **reti trofiche** sono grafi diretti pesati che modellano le relazioni predatore-preda in un ecosistema:

- **Nodi** — Specie
- **Archi** — Flusso di energia (preda → predatore)
- **Pesi** — Intensità dell'interazione

Domanda centrale:

Cosa succede quando una specie si estingue? Come si propaga l'effetto nella rete?



Obiettivi del Progetto

Il progetto si articola in **due parti**:

1. **Analisi singola rete**: Simulare estinzioni a cascata e verificare se le comunità **compartimentalizzano** il danno
2. **Analisi Esplorativa**: Identificare pattern strutturali comuni tra 33 reti trofiche

Dataset: Web of Life — reti ecologiche reali da ecosistemi marini, fluviali e di lago

Il Modello Energetico (Bellingeri et al.)

Una specie si estingue quando l'energia in ingresso scende sotto una **soglia critica**:

$$E_{\text{corrente}} \leq th \times E_{\text{iniziale}}$$

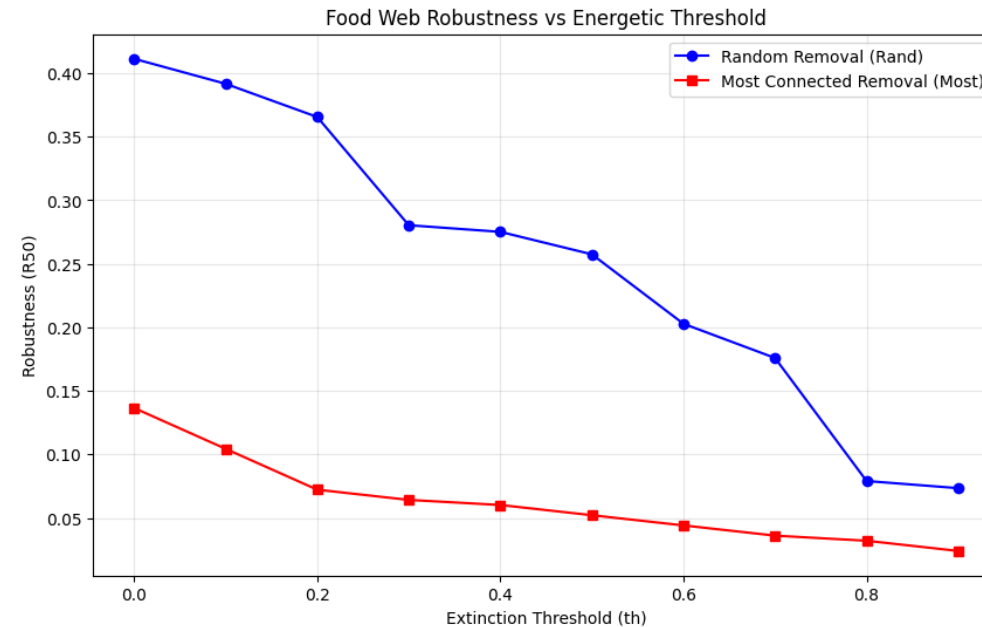
Quindi, ad esempio:

- $th = 0.5$: Estinzione se energia scende sotto il 50%
- th alto: Rete fragile
- th basso: rete robusta

Indice di Robustezza R_α

Una prima analisi di robustezza della rete è stata quella di quantificare quante **estinzioni primarie** sono necessarie per causare $\alpha\%$ di estinzioni totali:

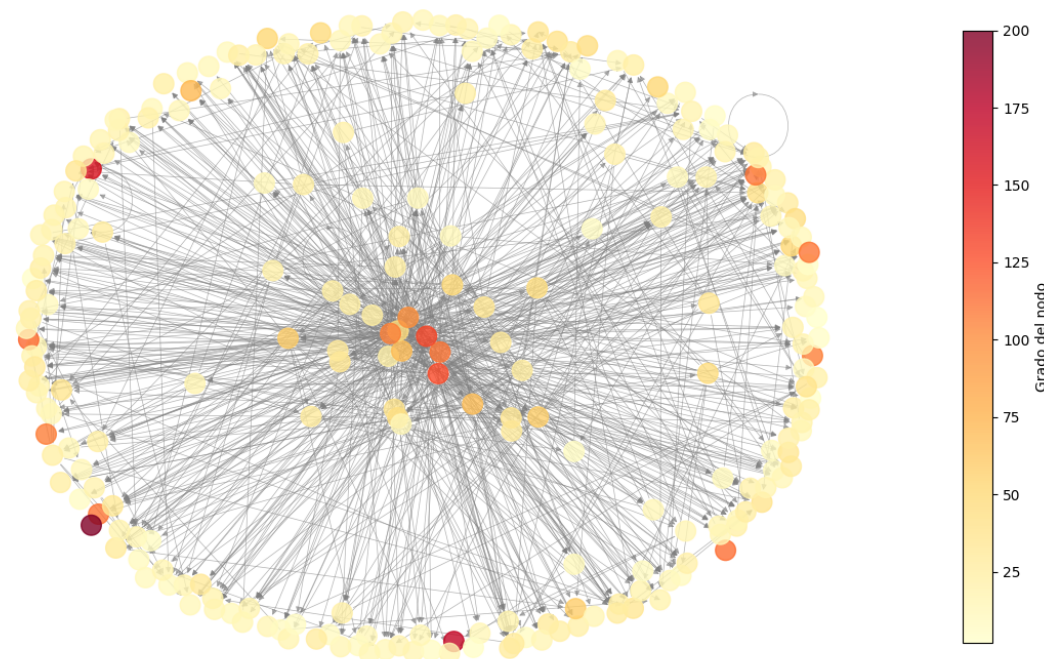
$$R_\alpha = \frac{E_{\text{primarie}}}{S}$$



Community Detection

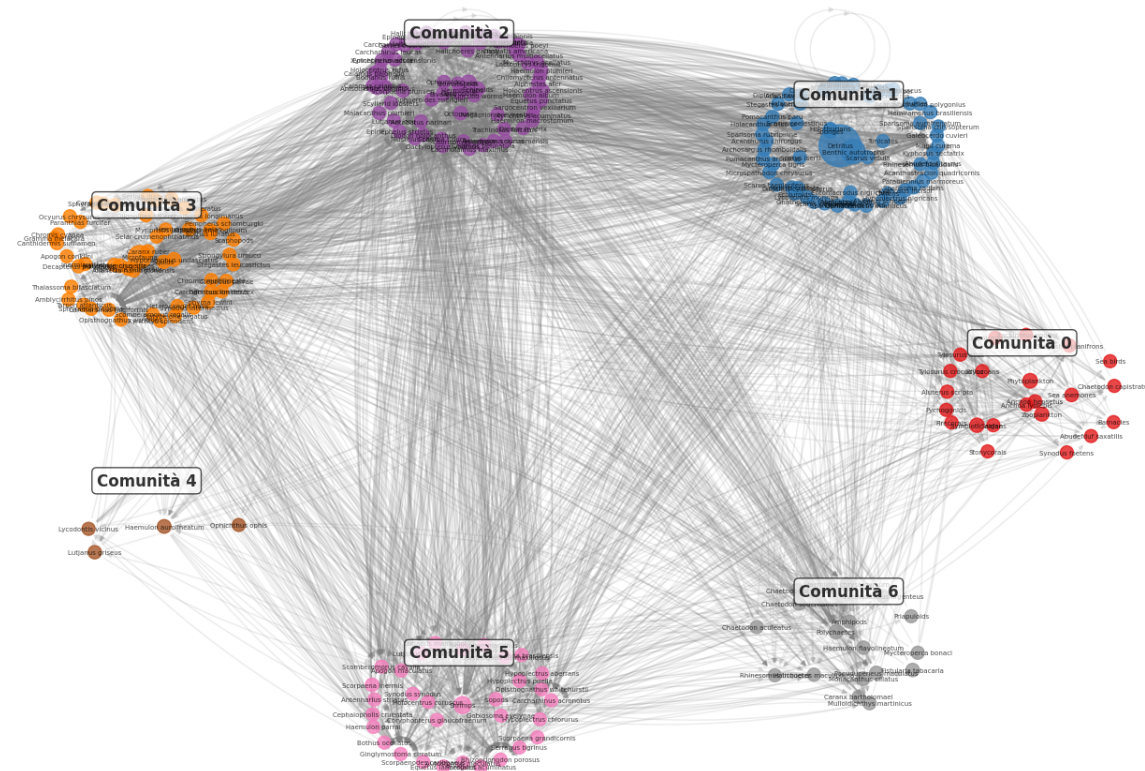
- **Ipotesi:** Le reti trofiche hanno struttura modulare.
Un'estinzione dovrebbe colpire principalmente la propria comunità.
- **Metodo:** Algoritmo di Louvain (massimizza la modularità)
- Sulla rete **FW_008** (Caribbean Marine Food Web):
 - 249 specie, 3313 interazioni
 - Modularità: 0.48
 - 7 comunità identificate

Rete Trofica (solo link più forti, soglia peso ≥ 0.05)



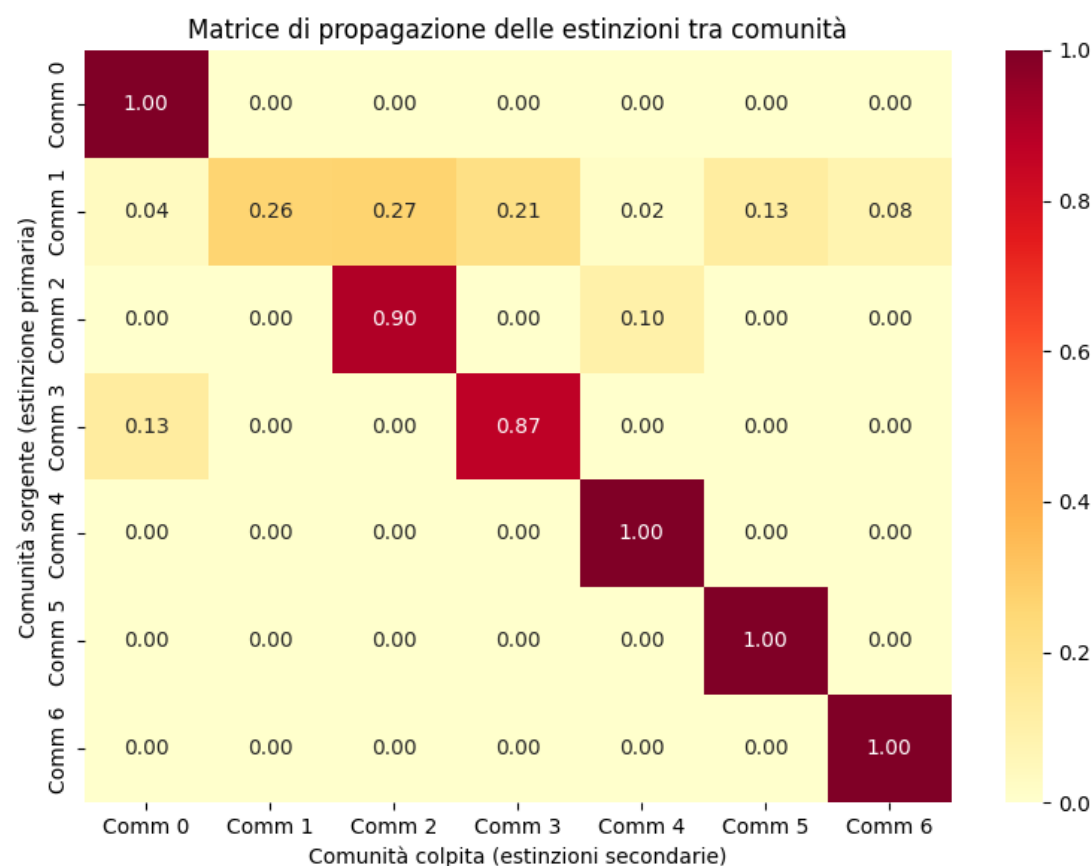
Visualizzazione delle Comunità

Rete Trofica con Comunità (Modularità: 0.480)



Propagazione delle Estinzioni

Nella seguente **heatmap** è possibile vedere come sono distribuite le estinzioni secondarie causate dalle estinzioni primarie.



Parte 2: Analisi Esplorativa

Obiettivo: Identificare pattern comuni tra **33 reti trofiche** da ambienti diversi. Per farlo verifichiamo la formazione di cluster naturali.

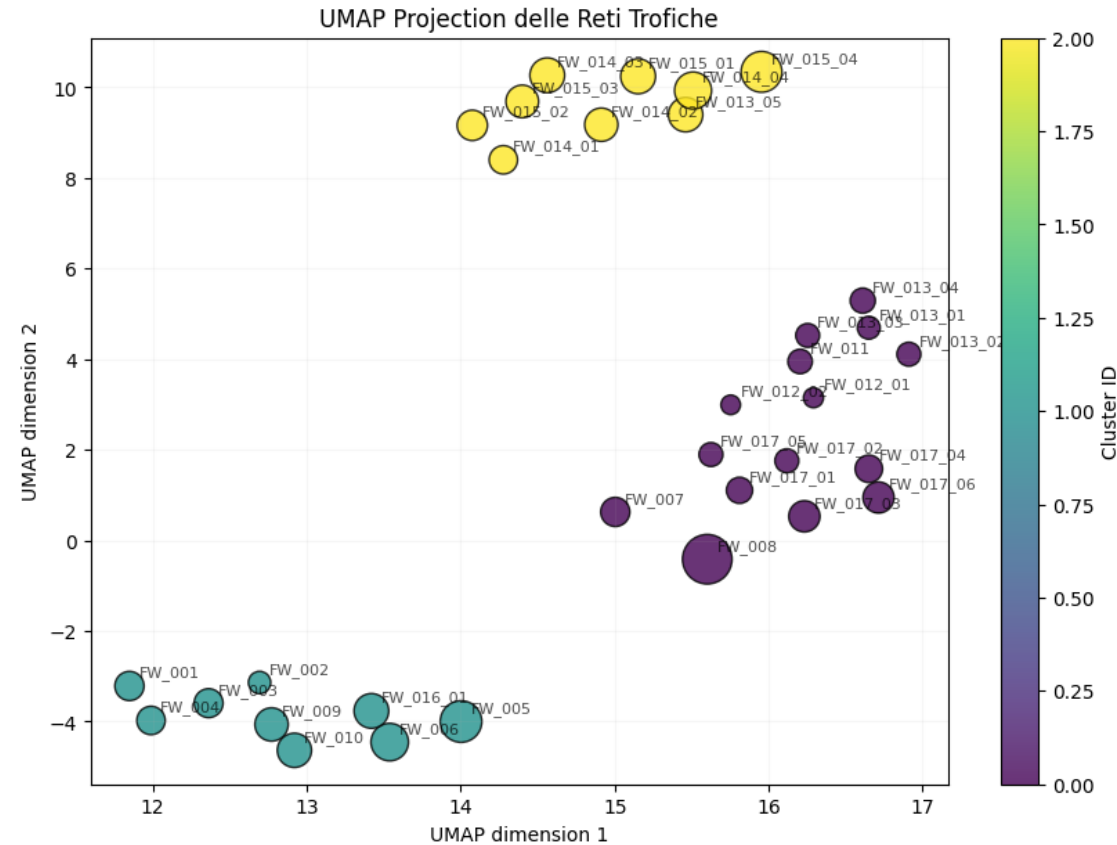
Feature estratte per ogni rete:

Feature	Cosa misura
Size	Numero di nodi nella rete (specie)
connectance	Densità dei link (L/S^2)
modularity	Struttura a comunità
avg_energy_flow	Intensità media delle interazioni
auc_robustness	Fragilità globale (area sotto curva impatto)

Pipeline di Clustering

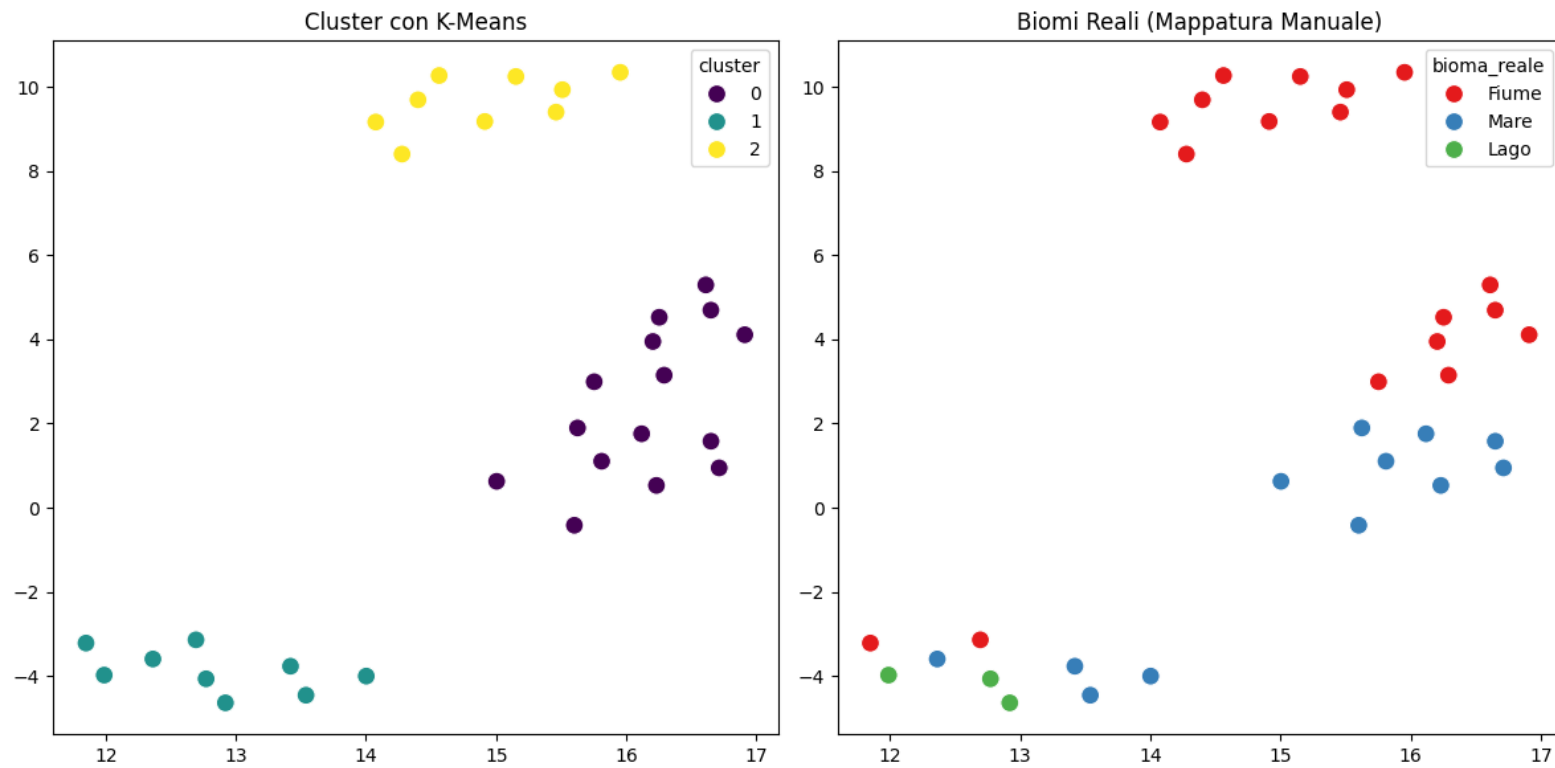
1. **StandardScaler** — normalizzazione delle feature
2. **UMAP** — riduzione dimensionale (preserva struttura locale)
3. **K-Means** — clustering con scelta automatica di K

Scelta di K: Silhouette Score $\rightarrow K_{opt} = 3$



Biomi vs Cluster

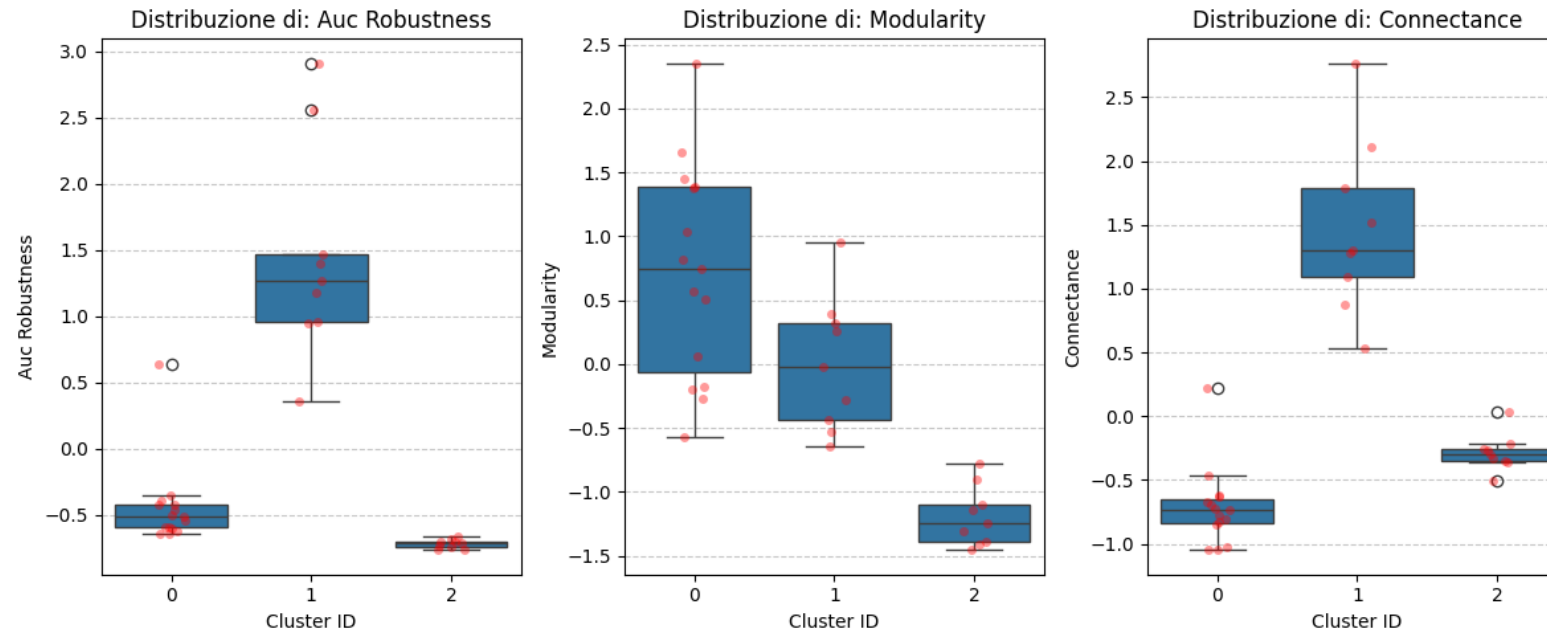
Ipotesi: I cluster corrispondono ai biomi (mare, fiume, lago)?



Risultato: No. Reti di ambienti diversi finiscono nello stesso cluster.

Interpretazione dei Cluster

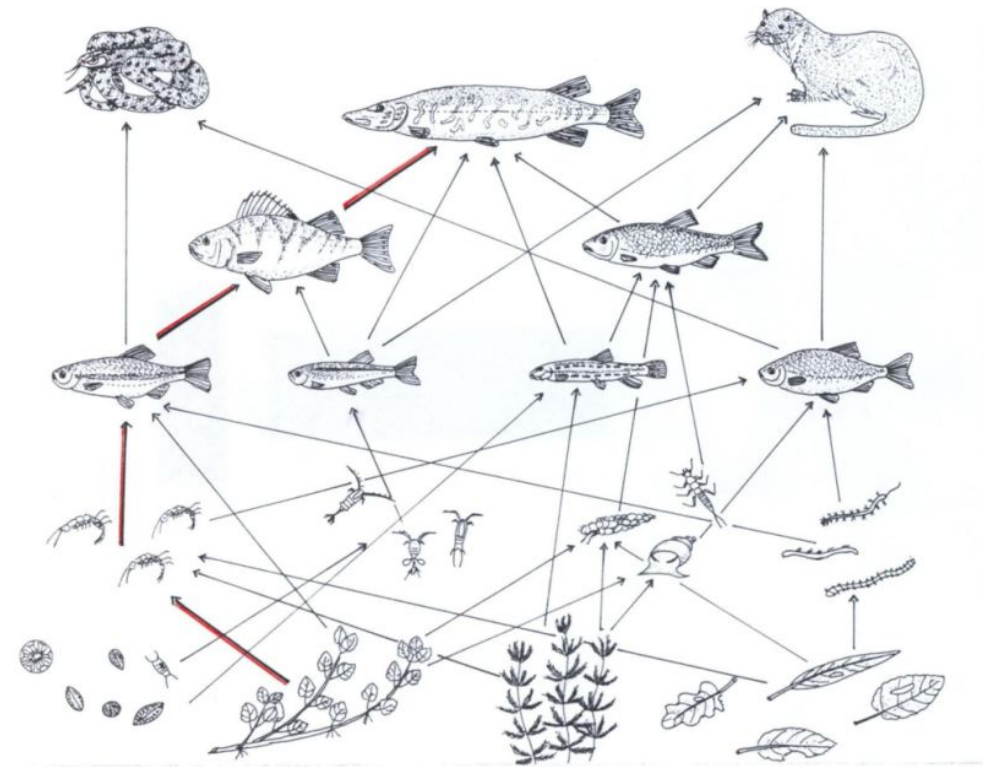
- **Cluster 0:** Bassa connettività, modularità media e Robusto
- **Cluster 1:** Alta connettività, bassa modularità e Fragile
- **Cluster 2:** Alta modularità, estinzioni localizzate e Intermedio



Conclusioni

I risultati indicano che reti con simili livelli di modularità e connettività tendono a condividere anche livelli simili di fragilità, evidenziando un pattern strutturale coerente tra organizzazione topologica e robustezza della rete.

Implicazione: La protezione delle specie hub e il monitoraggio della struttura topologica sono priorità per la conservazione.





GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Repository: github.com/osryde/trophic_graph_analysis

Demo: Vediamo un esempio di rete poco connessa