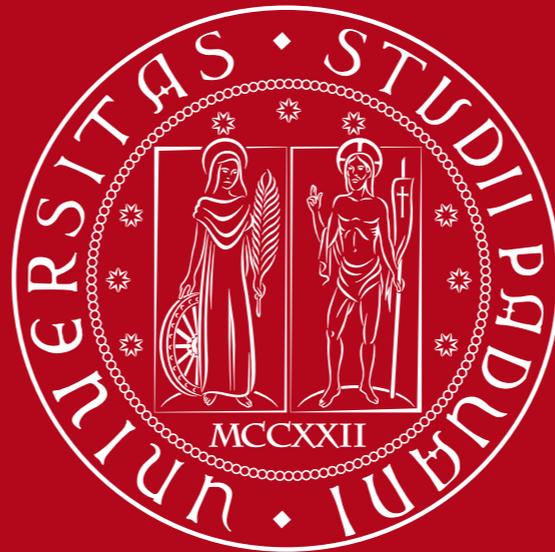


La complessità nelle reti ecologiche

1222 * 2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

auto-organizzazione e ottimalità



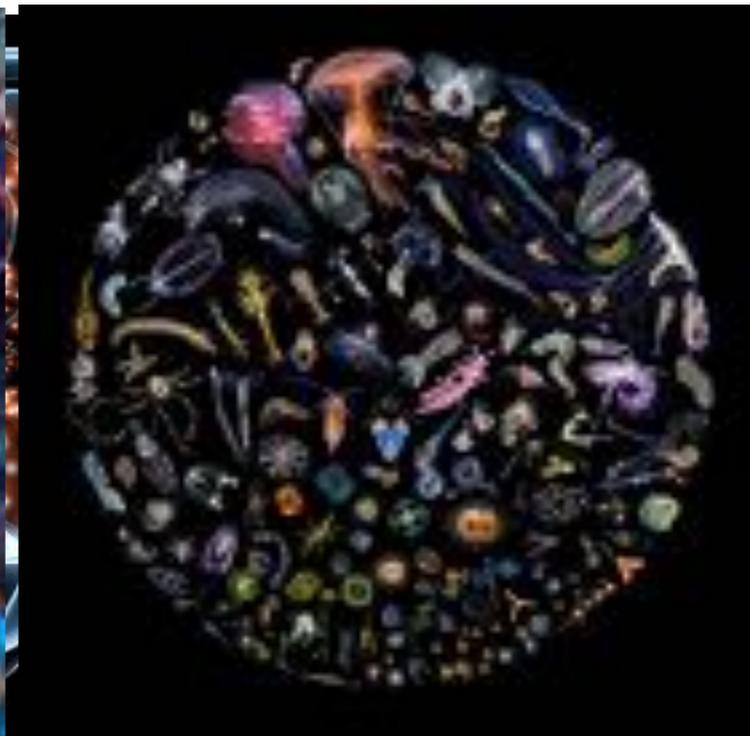
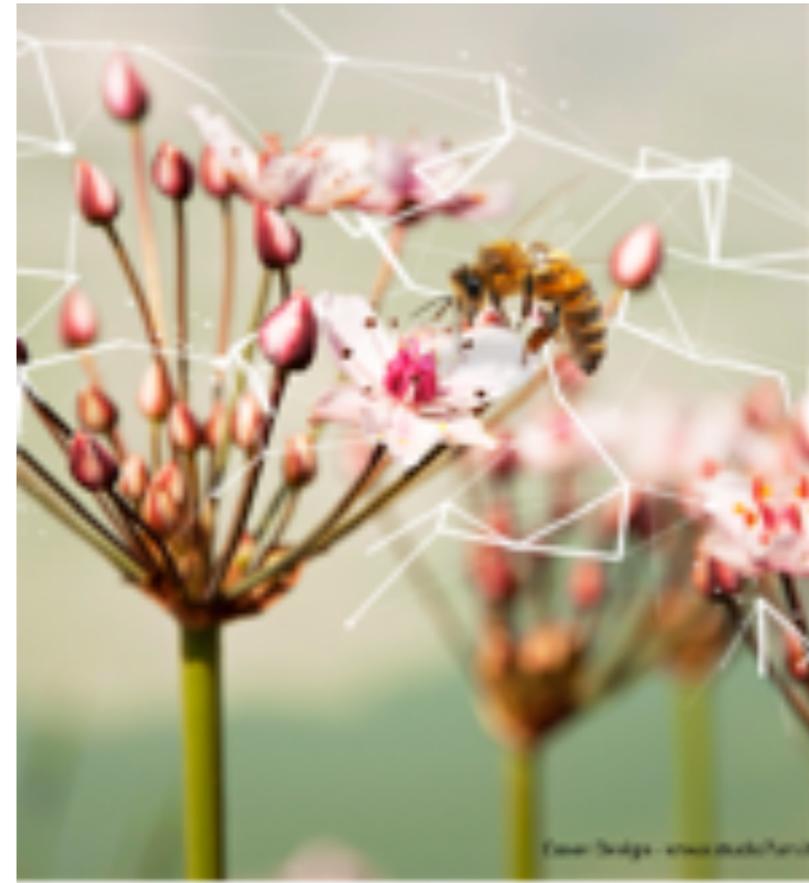
Dipartimento
di Fisica
e Astronomia
Galileo Galilei

XX edizione della Giornata Fermiana
@SamirSuweis, 8.02.2022

Auto-organizzazione e Interazione tra le specie



Come studiare "da Fisico" questi sistemi?



Piccolo pit-stop a Las Vegas



Gioco dei dati. Si lanciano due dadi. Si fa la somma tra i due numeri usciti. Vince chi ha puntato sulla somma esatta.

Su quale numero punti i tuoi 100\$?

www.wooclap.com/XJPEBX



L'approccio del fisico

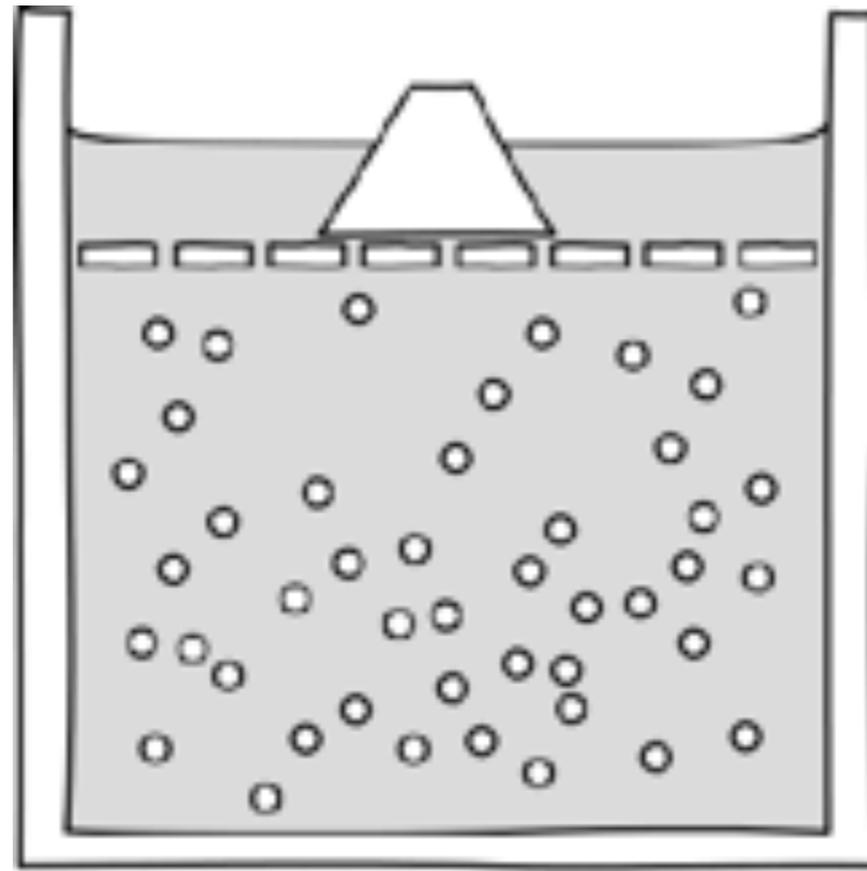
“Make everything as simple as possible,
but not simpler.”



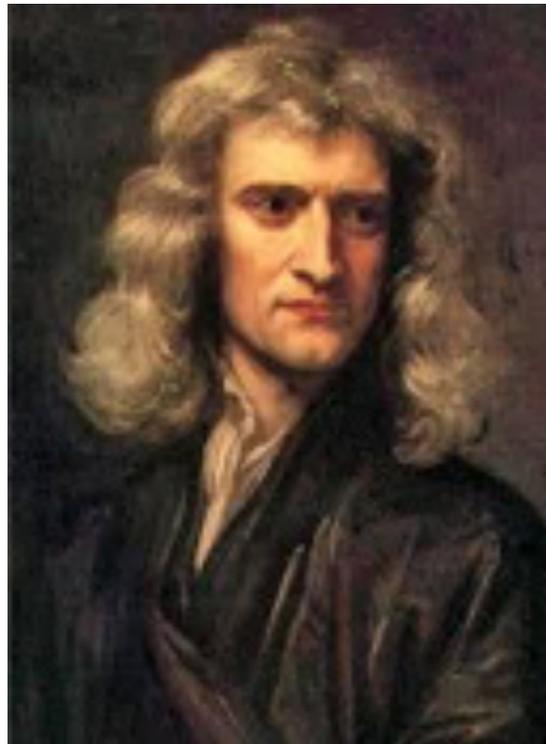
“You don't really understand something unless
you can explain it to your grandmother.”

A. Einstein

Come studiare sistemi a molti corpi?



10^{23} molecole



$$F=ma$$

Moto dei corpi:

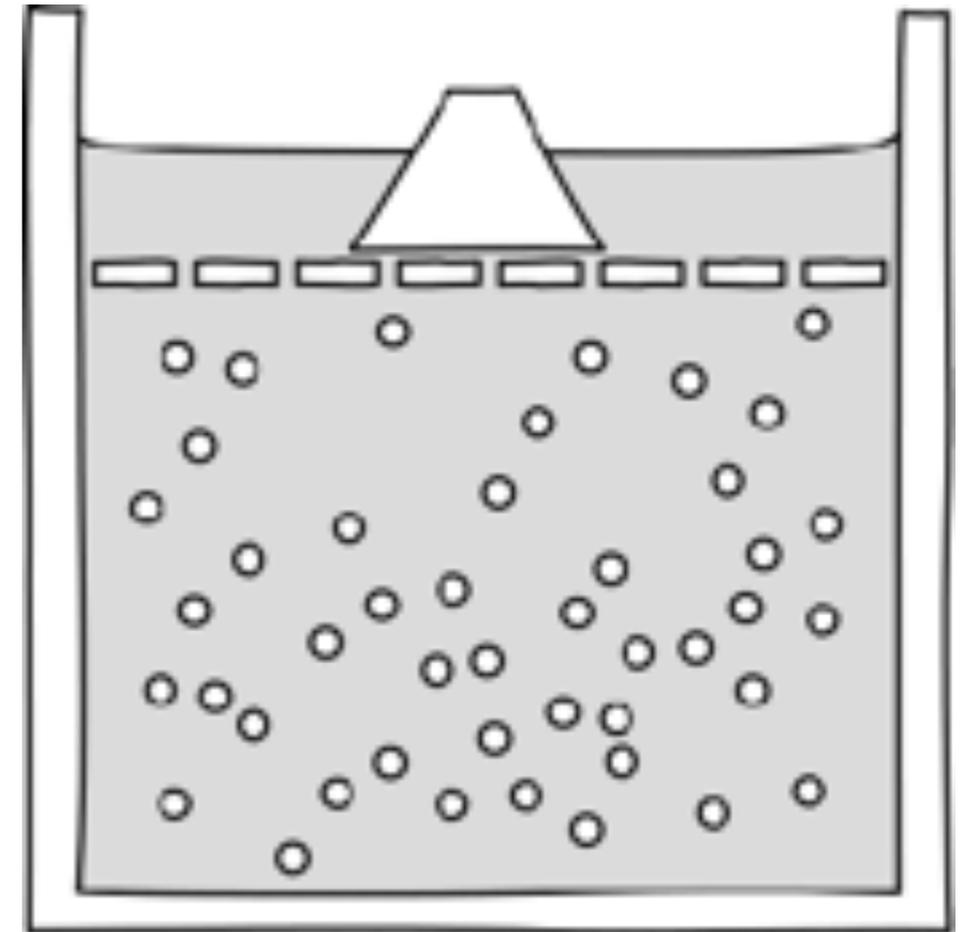
- 1 - è facile
- 2 - è (diventato) facile
- 3 - è impossibile

Come studiare sistemi a molti corpi?

N atomi di massa m , moto casuale

Atomi molto lontani tra loro
(no interazione)

Collisioni elastiche (conservazione E)



$$P \cdot v = R \cdot T$$

Specific volume

Absolute temperature

Absolute pressure

Gas constant

Come legare il micro al macro: la fisica statistica



Il legame è probabilistico

Considera N dadi, ogni dato può risultare in un numero tra 1 e 6. Lo spazio delle configurazioni è lo spazio di tutte le possibili combinazioni. Il macro stato è la somma di tutti gli N dati.

Per esempio considerando 3 Dati

Stati microscopici

111 121 211 112 113 311 131 221 122 212 666

3 4 5 18



STATI MACROSCOPICI

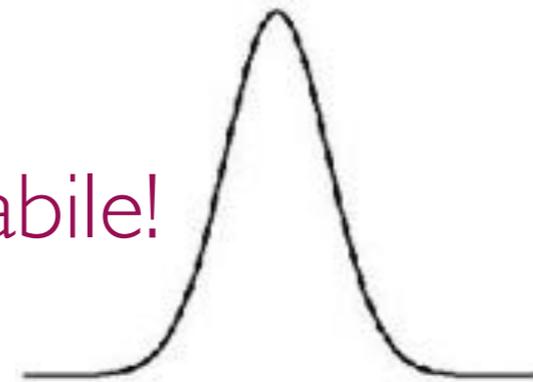
Stato macroscopico più probabile?



STATI MICROSCOPICI

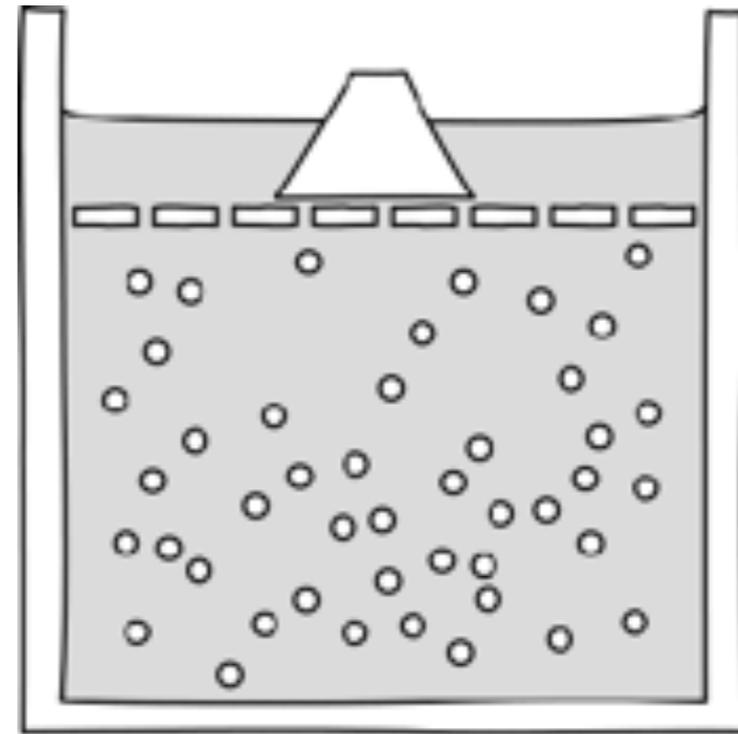
11 12 21 ... 15 51 24 42 33 16 61 34 43 25 52 ... 66

7 = stato macroscopico più probabile!



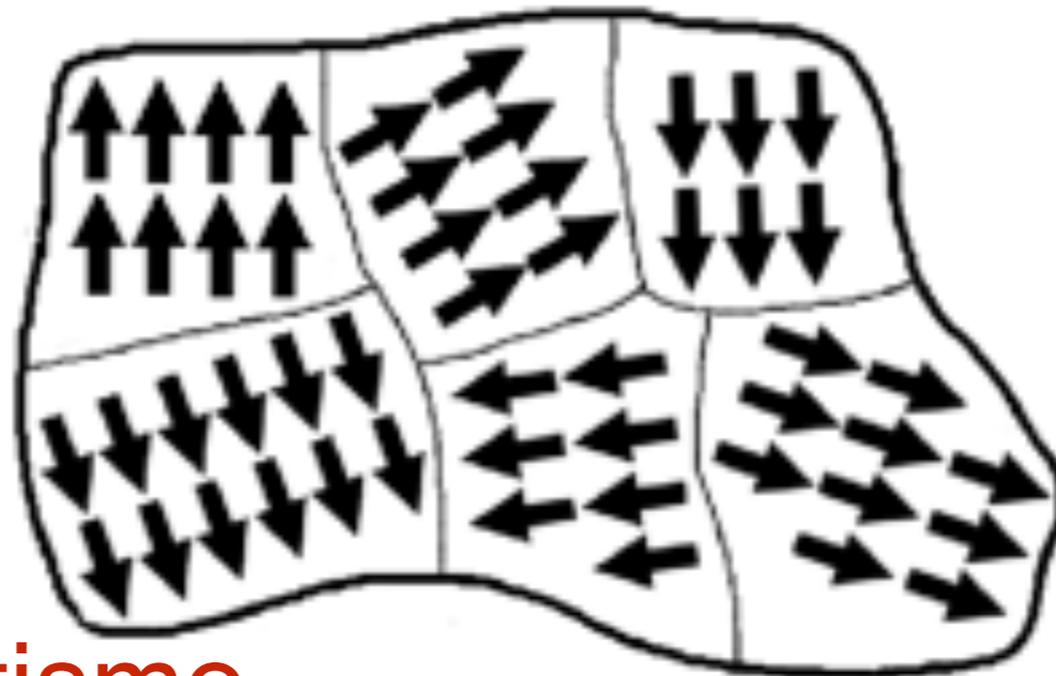
Immaginate 1000, 10000, 100000 dadi...tantissimi stati macroscopici sono completamente irrilevanti! Solamente per il “disordine”!

Come studiare sistemi complessi?



Modelli di particelle interagenti

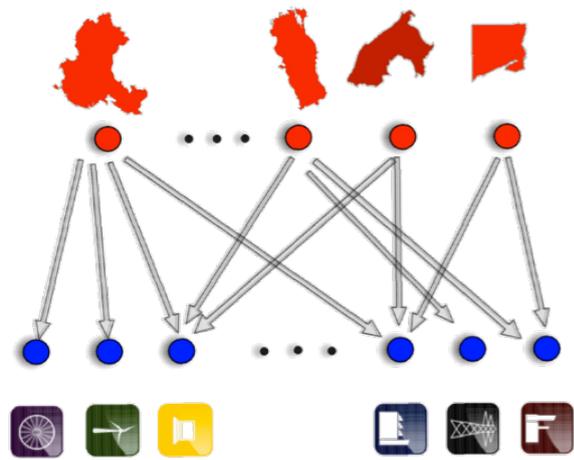
$$P V = n R T$$



Proprietà Emergenti

Ferromagnetismo

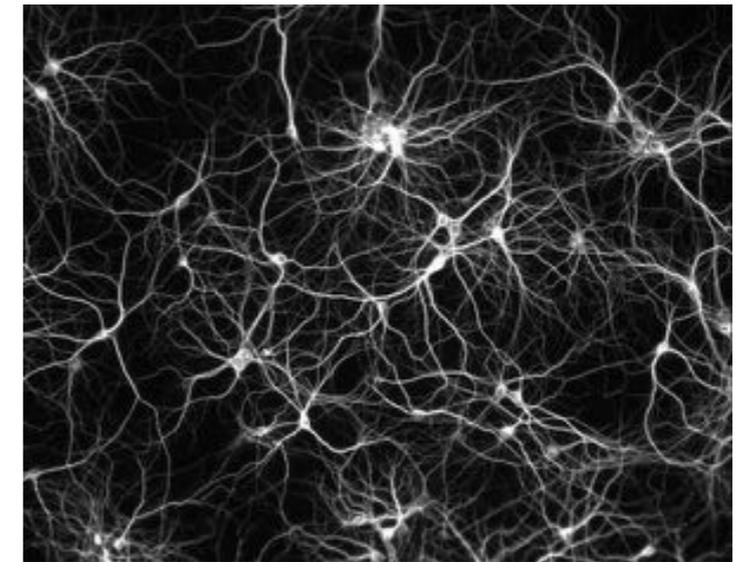
economia



materiali magnetici



rete neurale

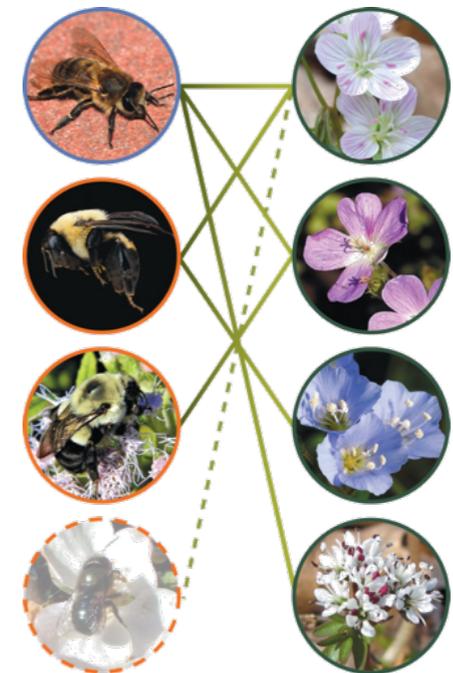


Cosa hanno in comune ?

ecosistemi (foreste)



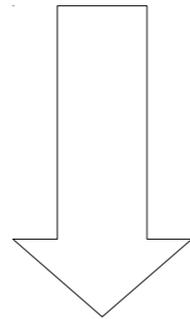
rete fiori-impollinatori



Thanks to Matteo Adorisio

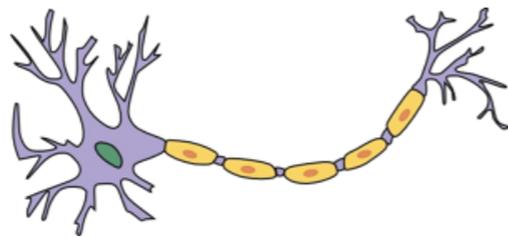
Caratteristica di un **sistema complesso**:

“many entities + interactions”



emergenza di **proprietà macroscopiche** non legate direttamente agli enti “microscopici”

Σ



\neq



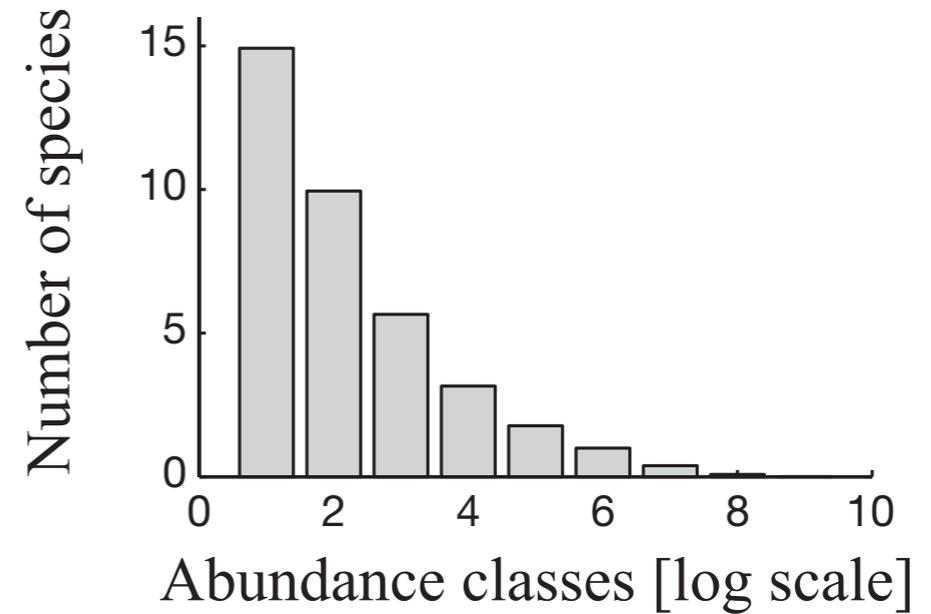
Come investigarle ?

Patterns Emergenti in Ecologia

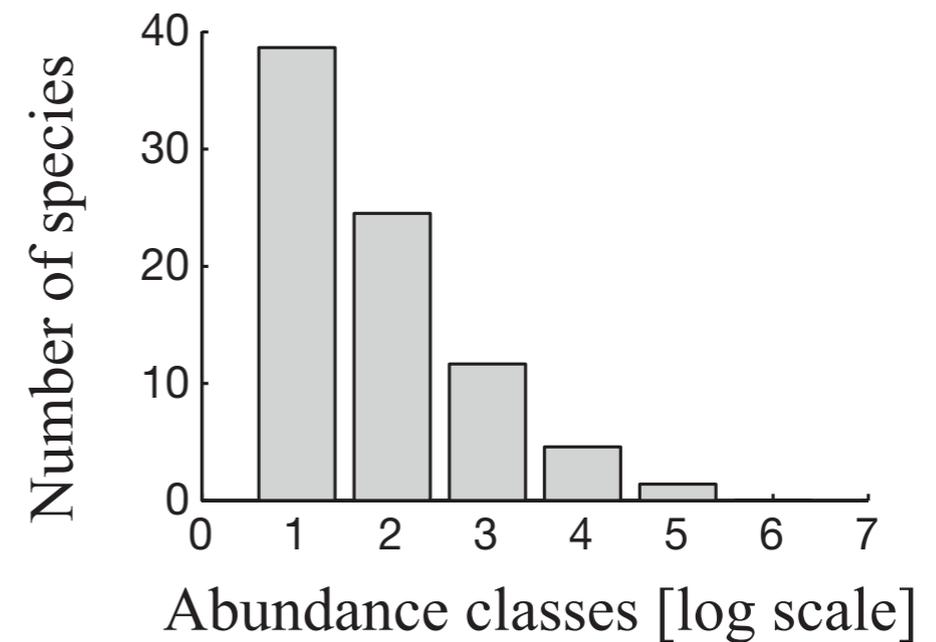
Abbondanza Relativa delle Species (RSA)



Coral Reefs

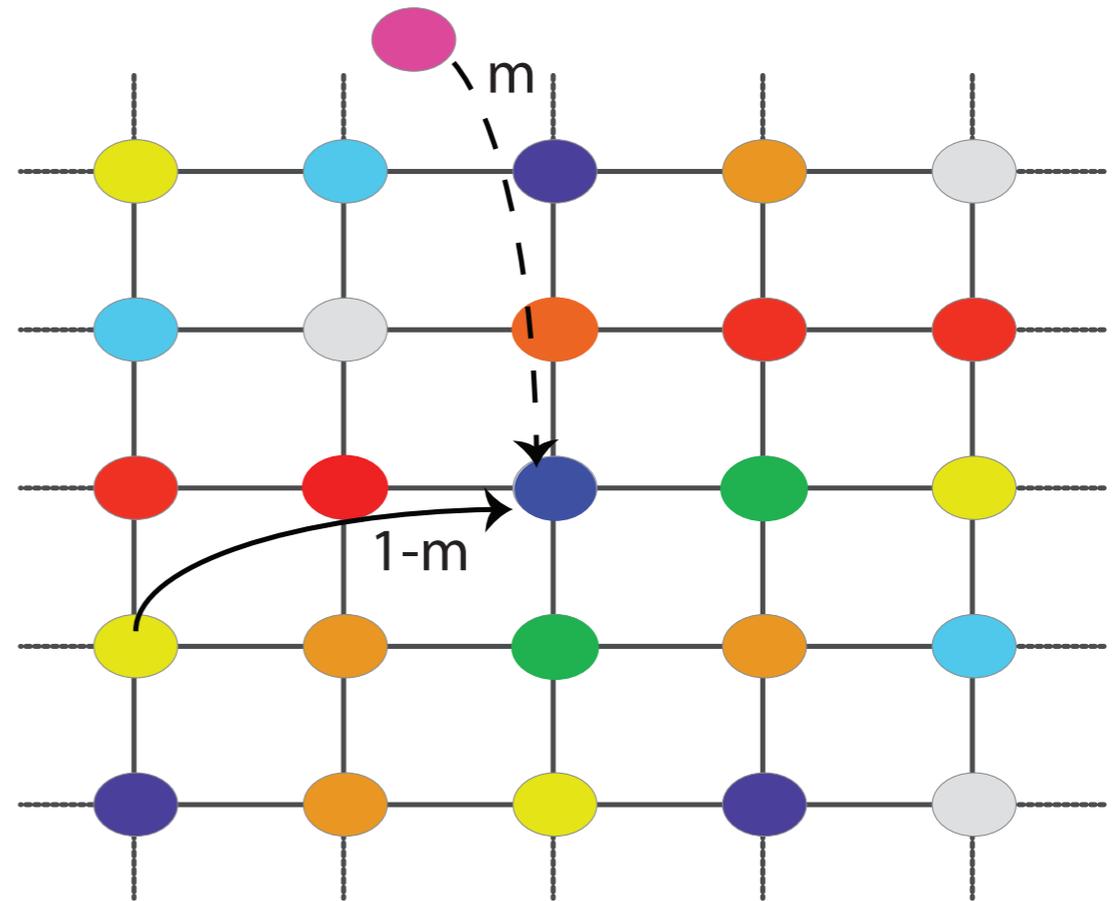


Tropical Forests



Il voter Model in Ecologia

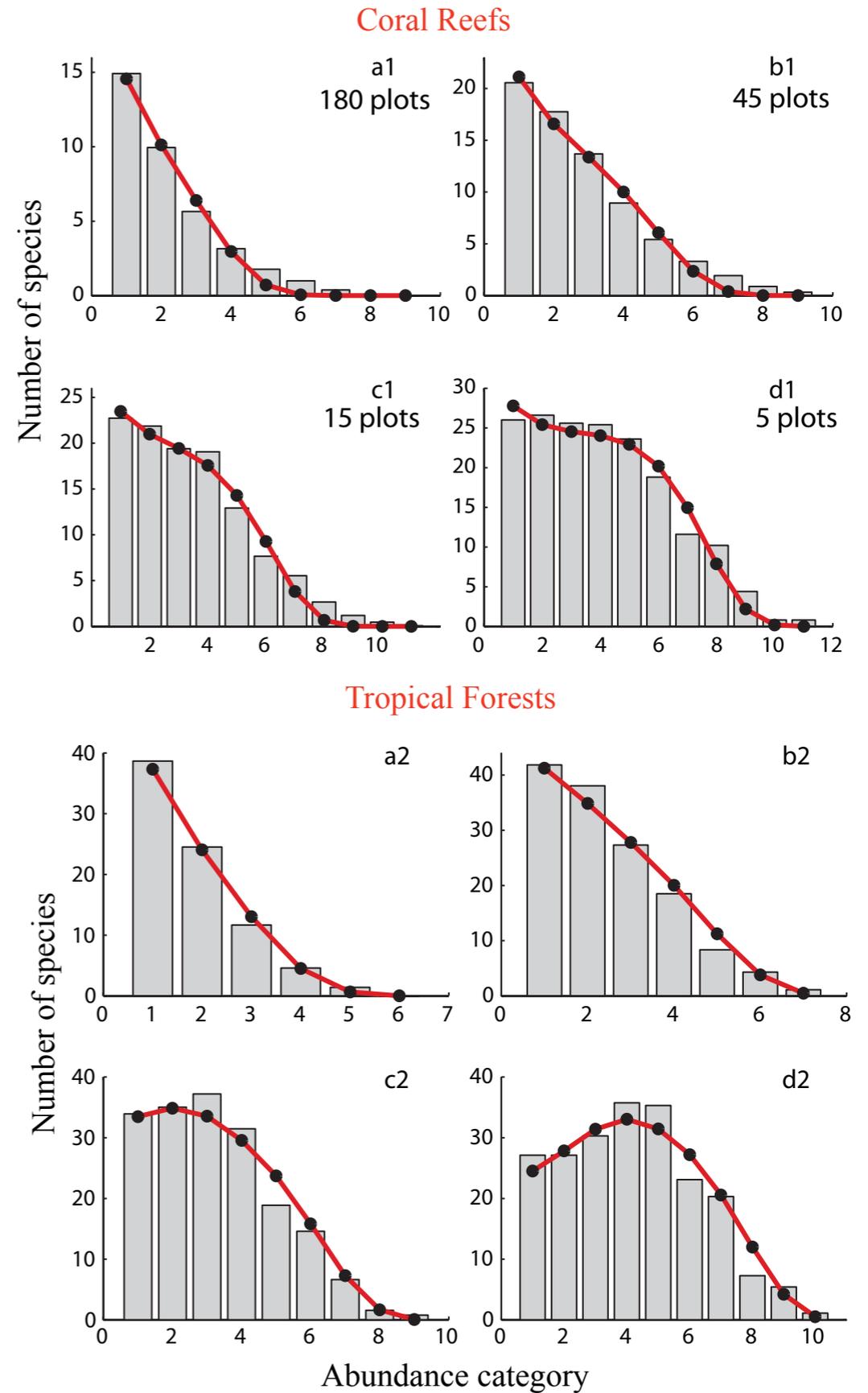
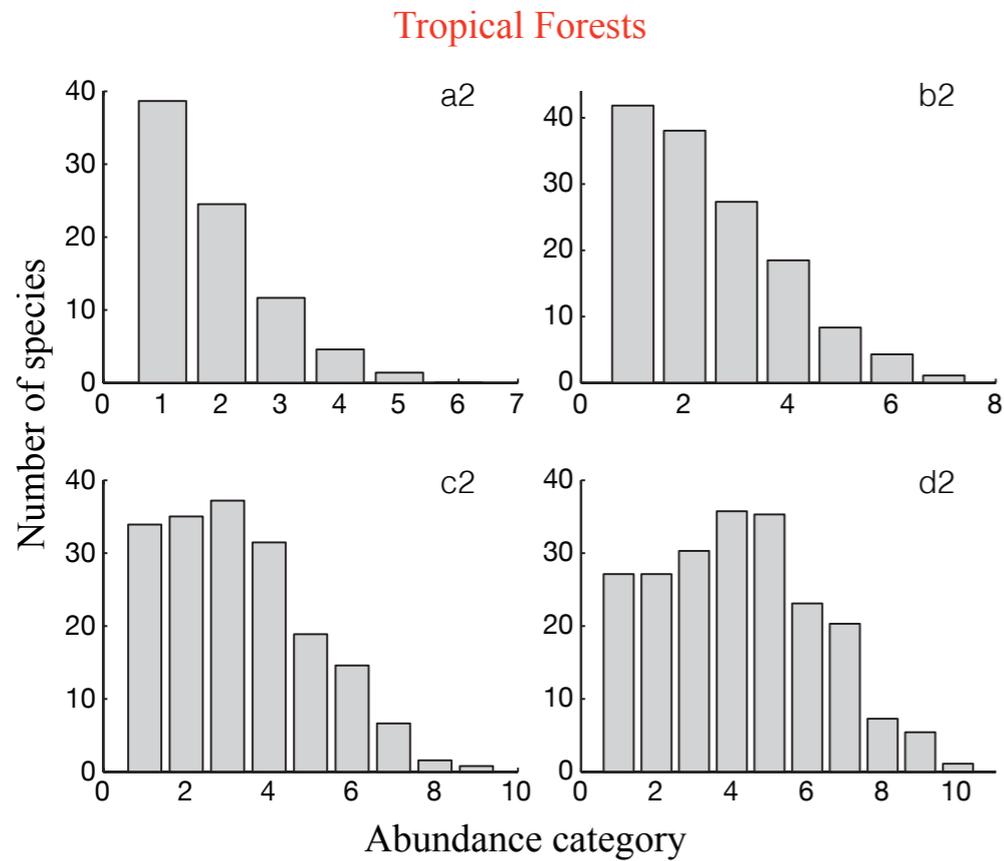
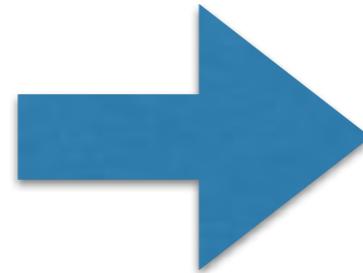
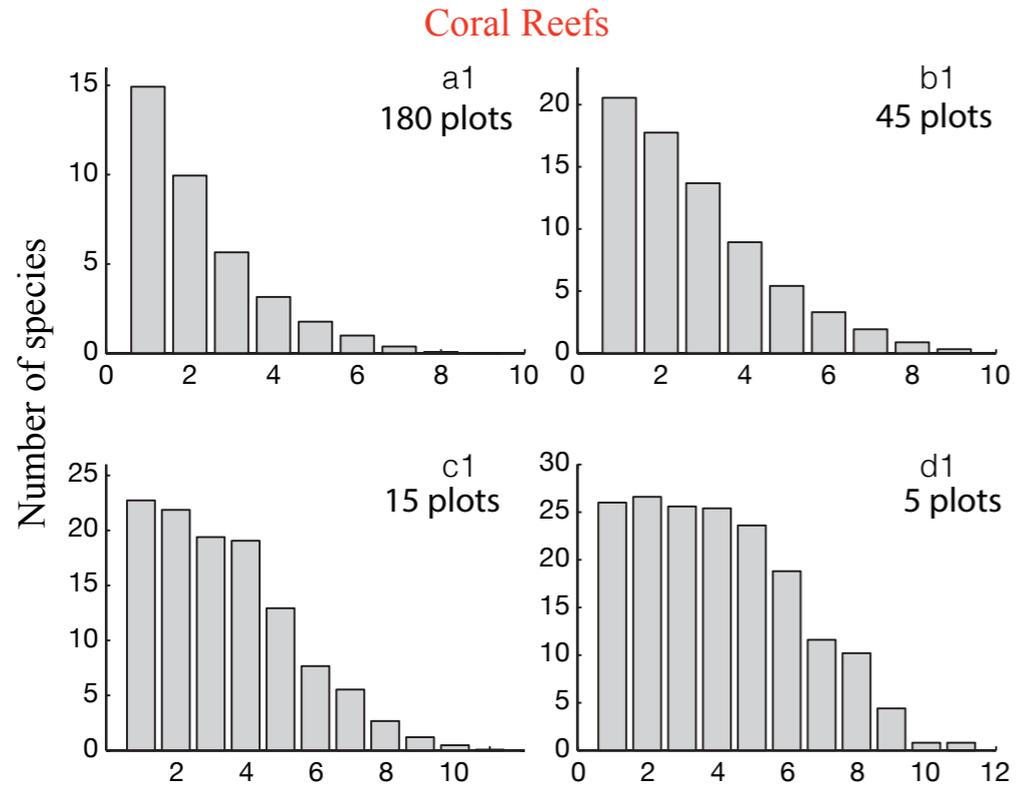
- Comunità di N individui and S specie (colori)
- Prendiamo a caso un individuo e lo facciamo “morire”.
- $1-m$: lo rimpiazziamo con un altro individuo nel sistema a caso
- m : lo rimpiazziamo con un individuo di una nuova specie



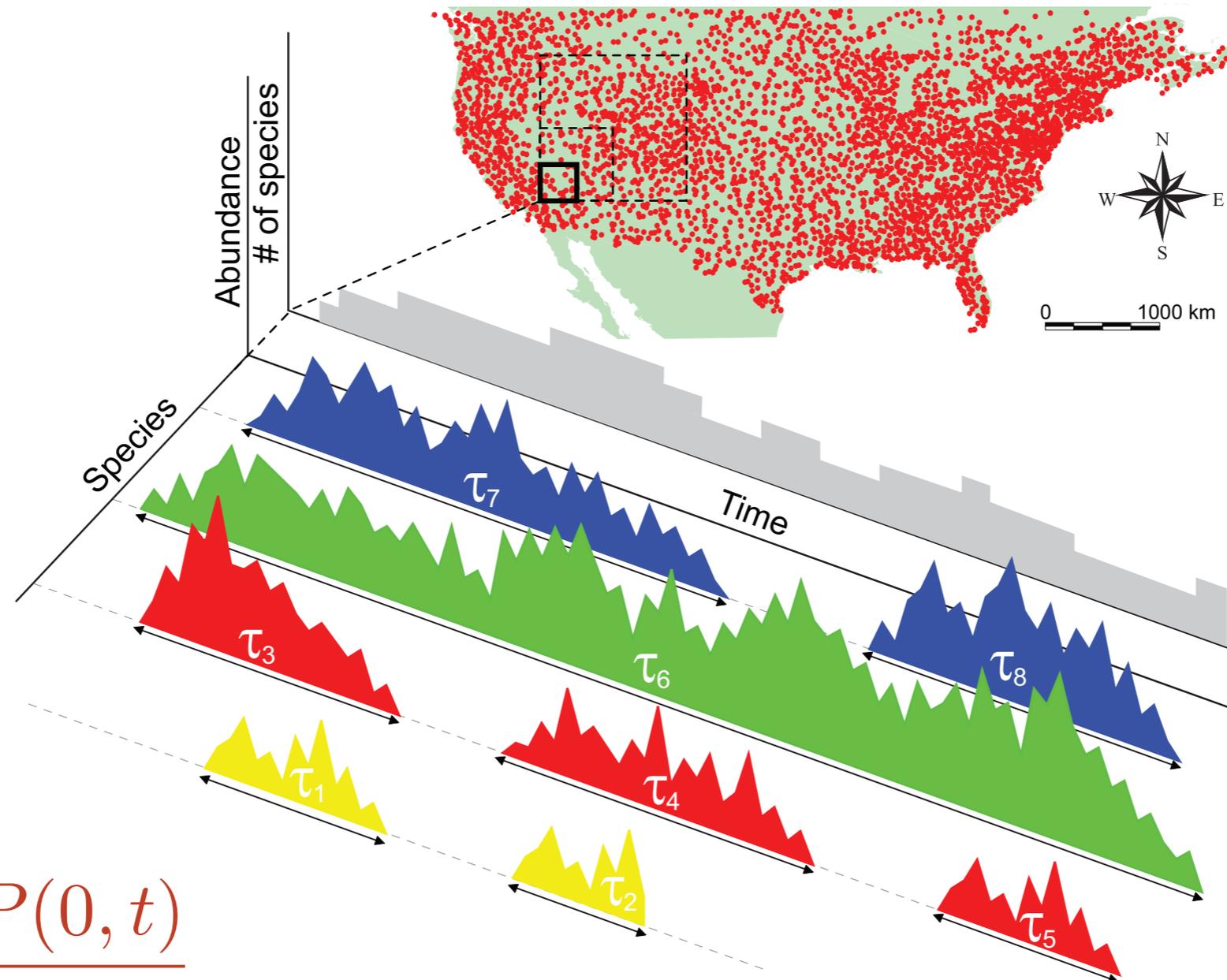
$$\frac{dP_n(t)}{dt} = b_{n-1}P_{n-1}(t) + d_{n+1}P_{n+1}(t) - (b_n + d_n)P_n(t)$$

Parametri: b_n/d_n e $m = b_0$

Risultati



Tempi di persistenza delle specie

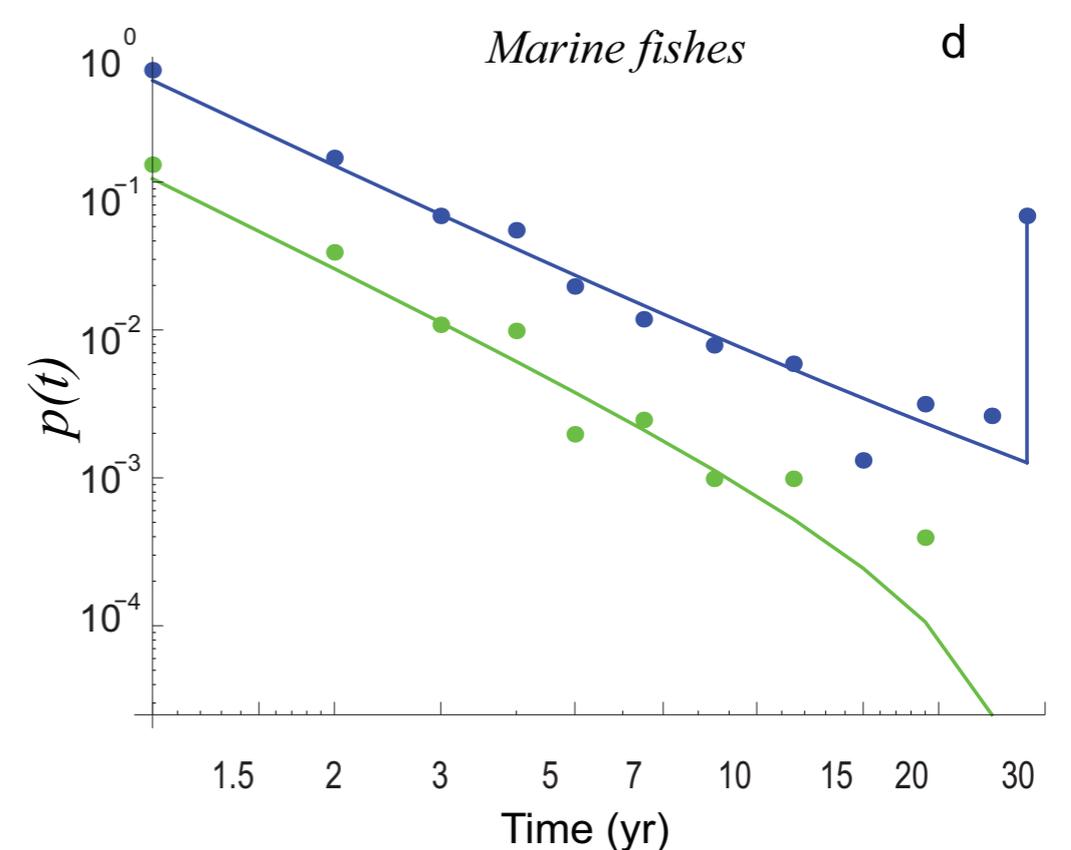
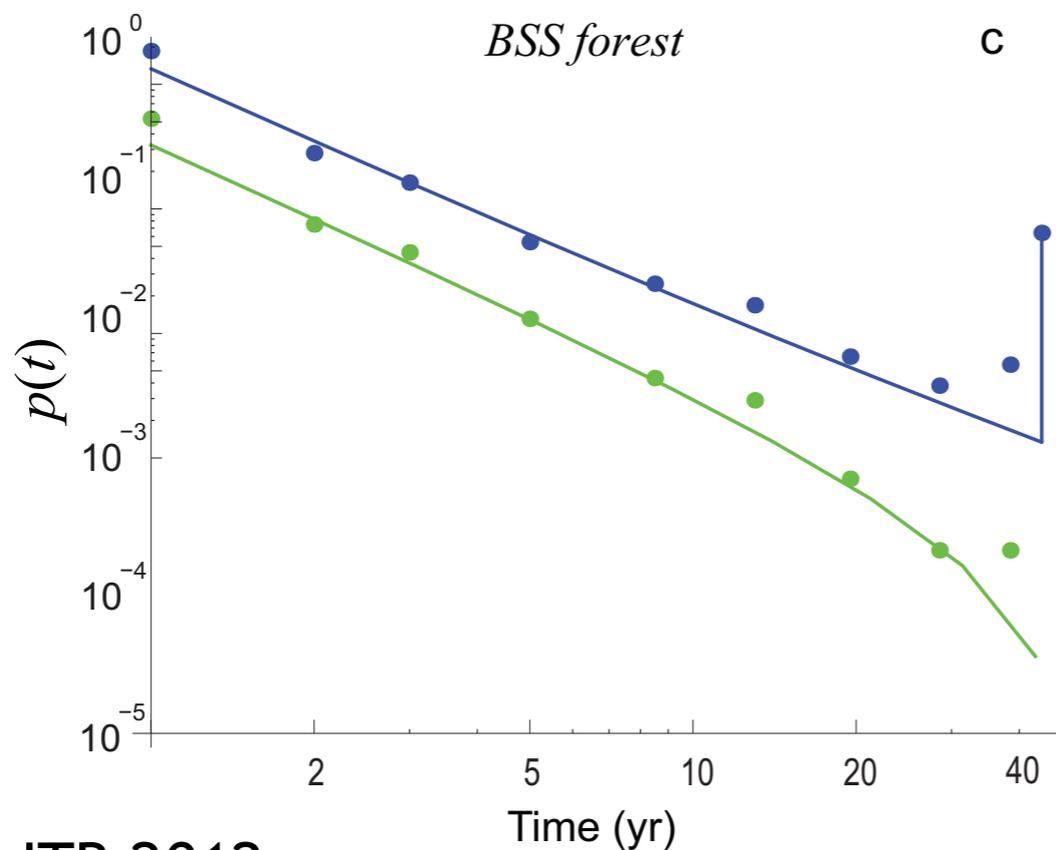
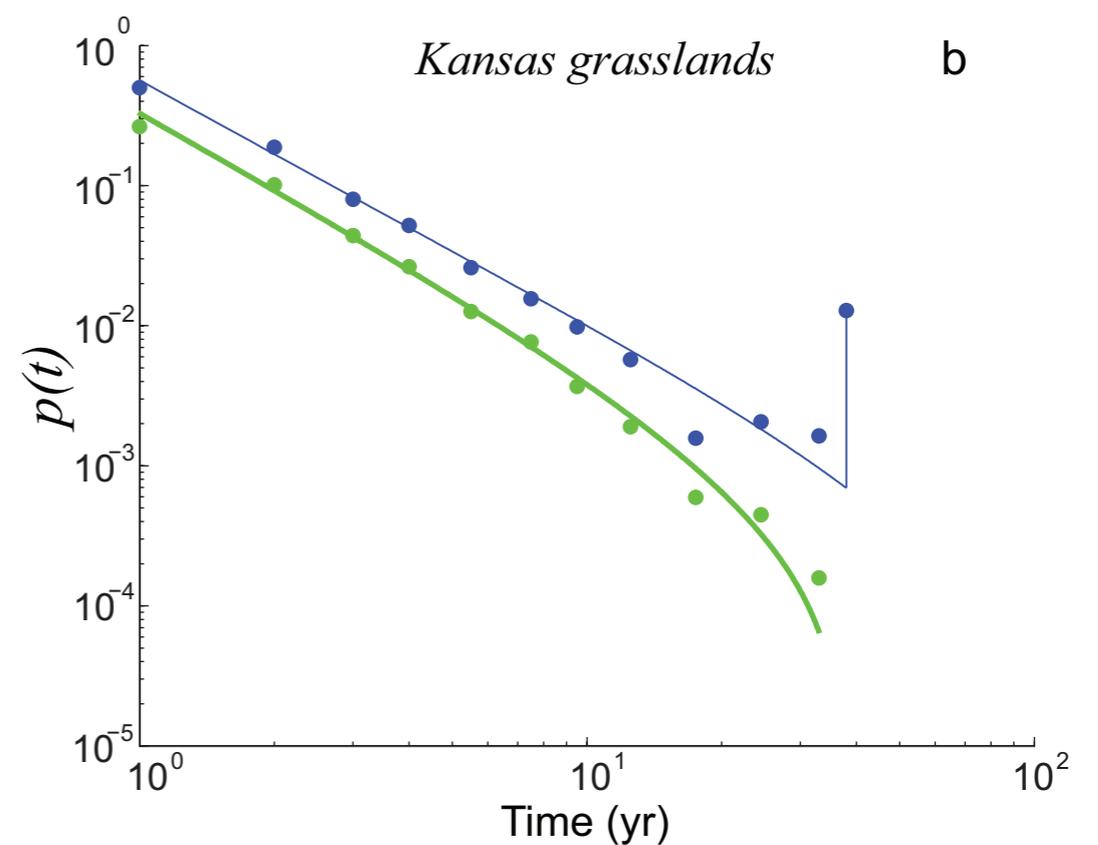
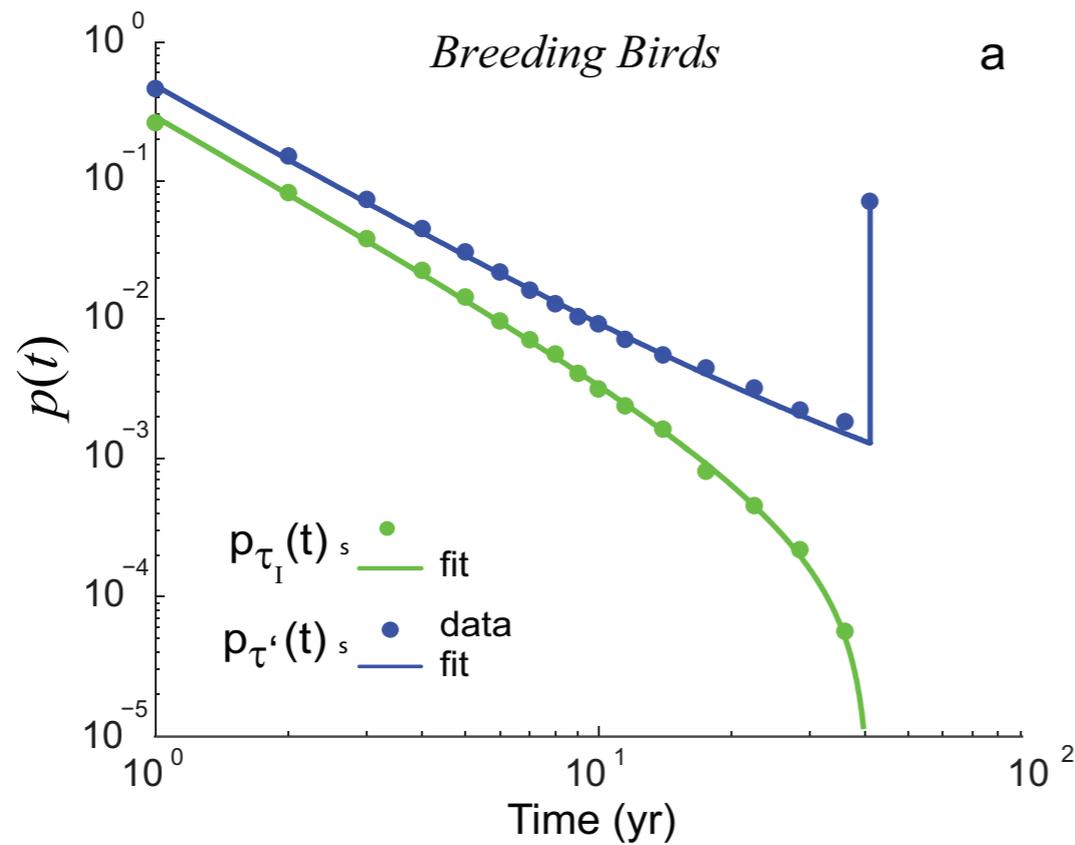


$$p_{\tau}(t) = \frac{dP(0, t)}{dt}$$

$$p_{\tau}(t) = Ct^{-\alpha} e^{-\nu t}$$

*Possiamo predire l'esistenza
di nuovi patterns?*

Un nuovo pattern emergente!



Dalle foreste ai batteri

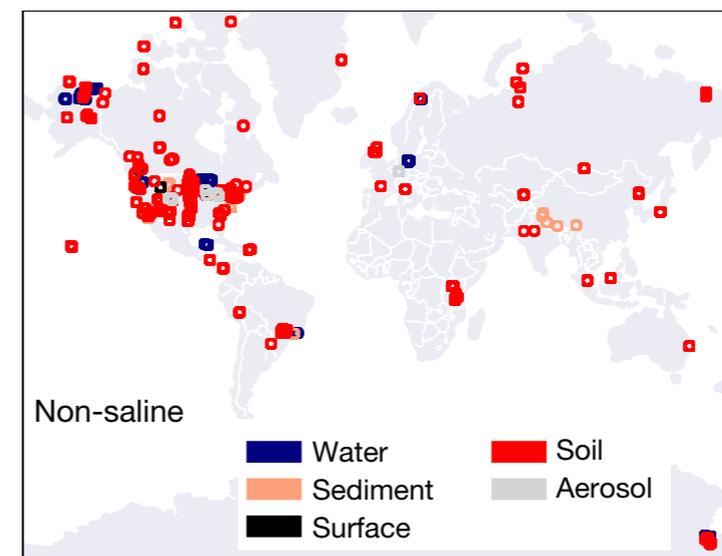
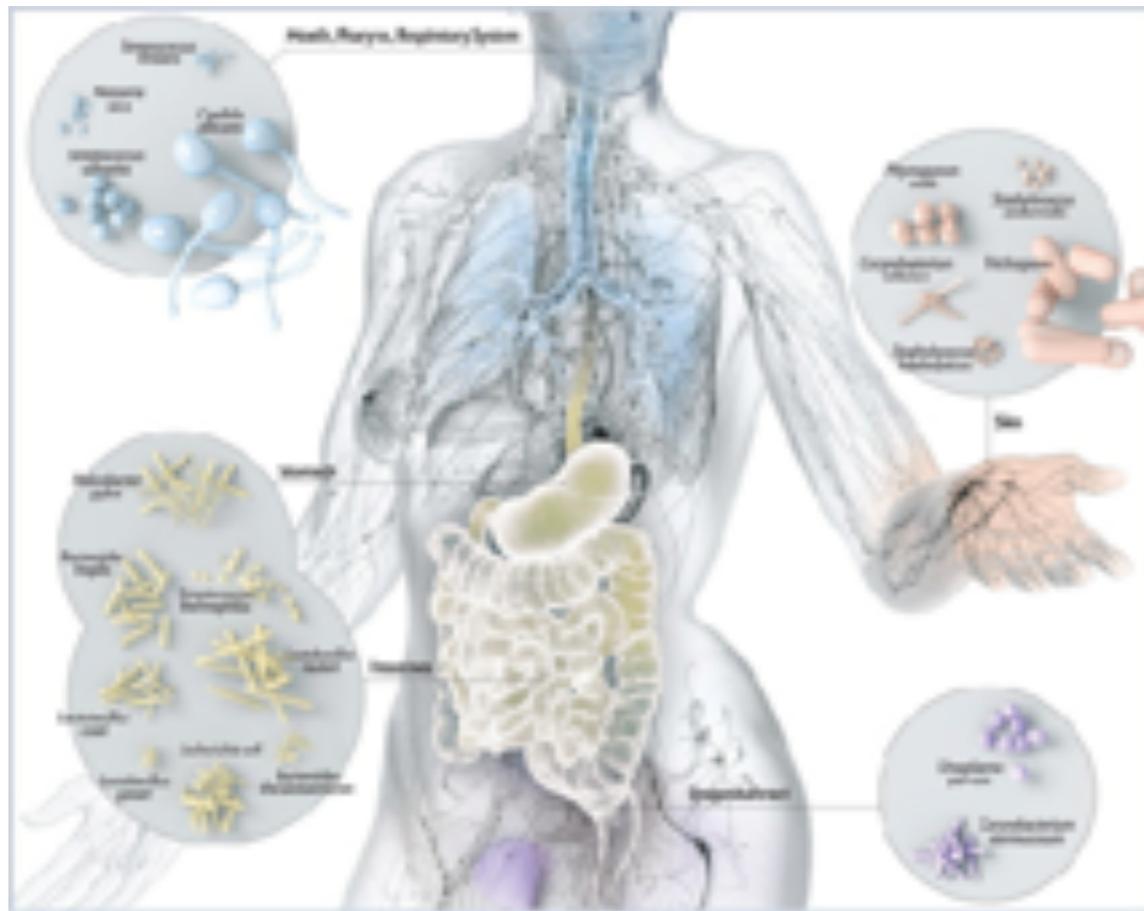
ARTICLE

OPEN

doi:10.1038/nature24621

A communal catalogue reveals Earth's multiscale microbial diversity

Il microbioma umano





Reti ecologiche



$S=A+P$ specie
 C =densità di
connessioni



Iwdb
Interaction Web DataBase

[home](#) [resources](#) [contribute data](#) [pics](#) [blog](#) [who we are](#)

Available datasets:



Host-parasite



Plant-ant



Plant-herbivore



Plant-pollinator

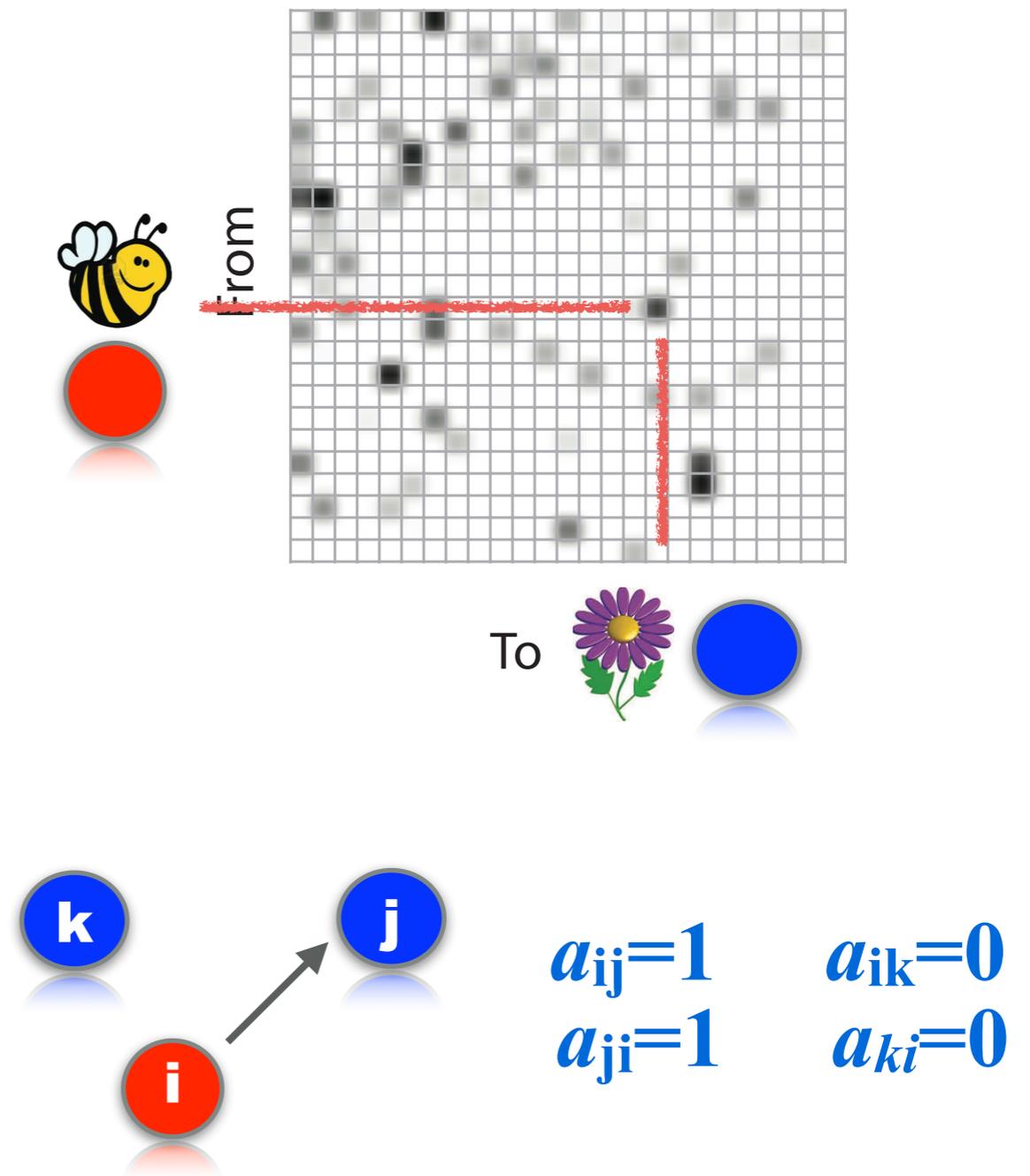


Cosa è una rete (network)?

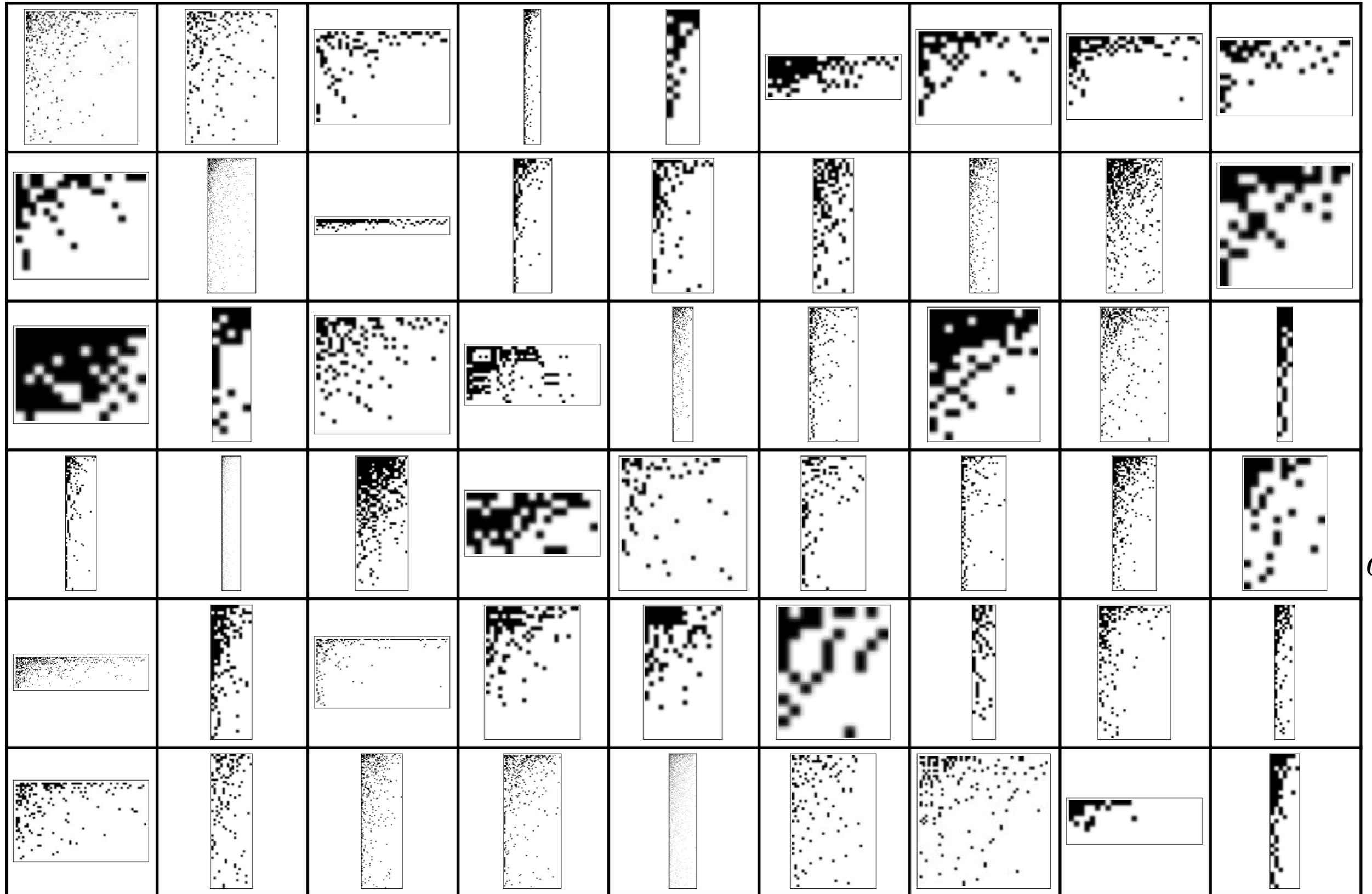
GRAFO BIPARTITO



Matrice (tabella) di adiacenza: A
Se "pesata" M matrice di interazione

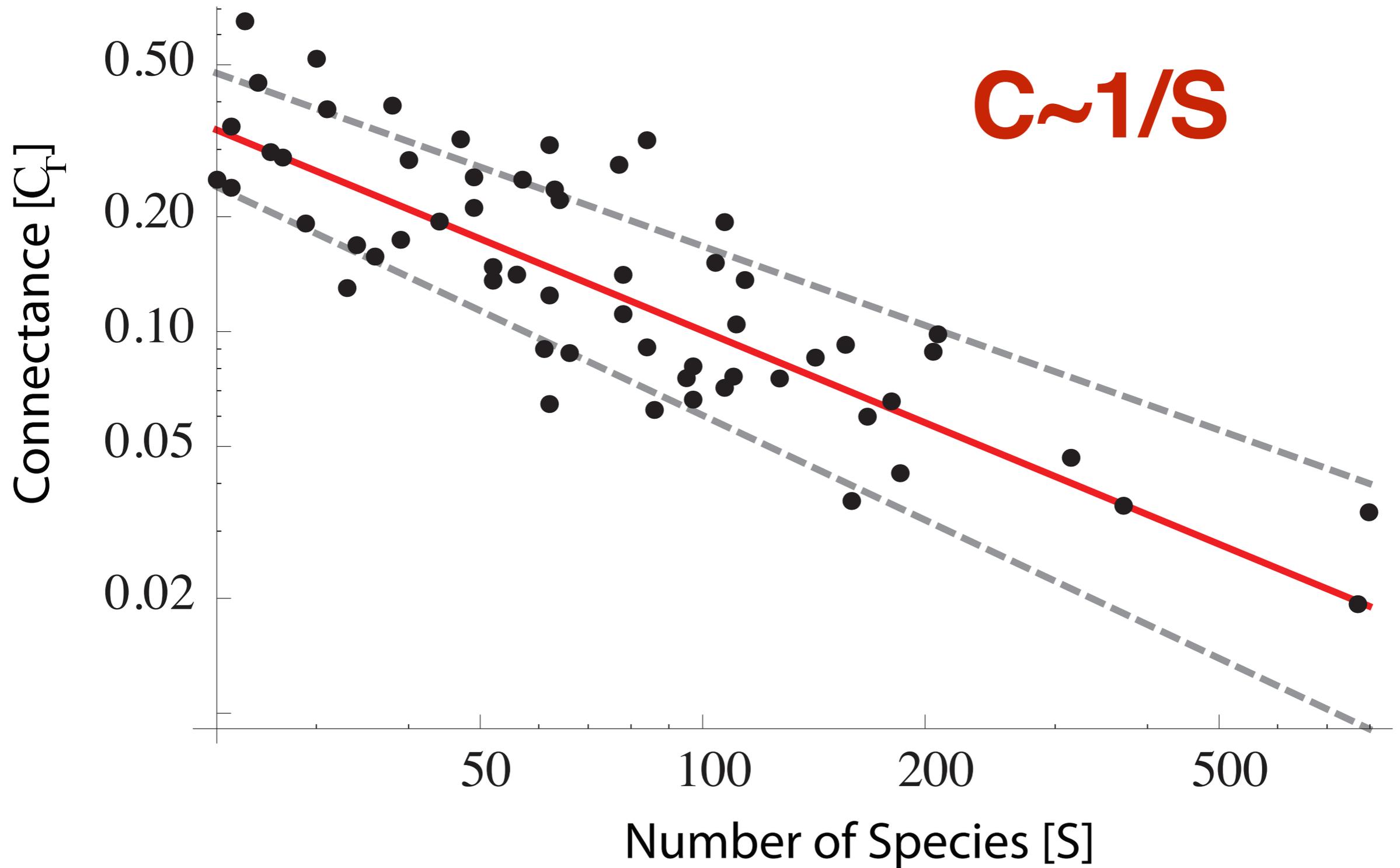


Ancora patterns emergenti!



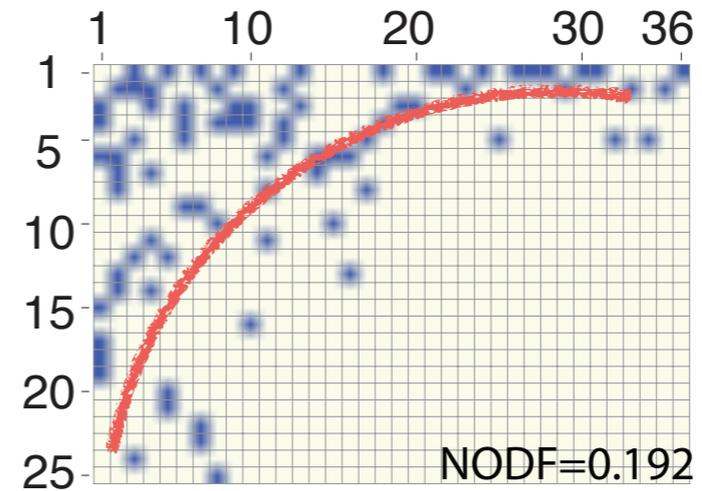
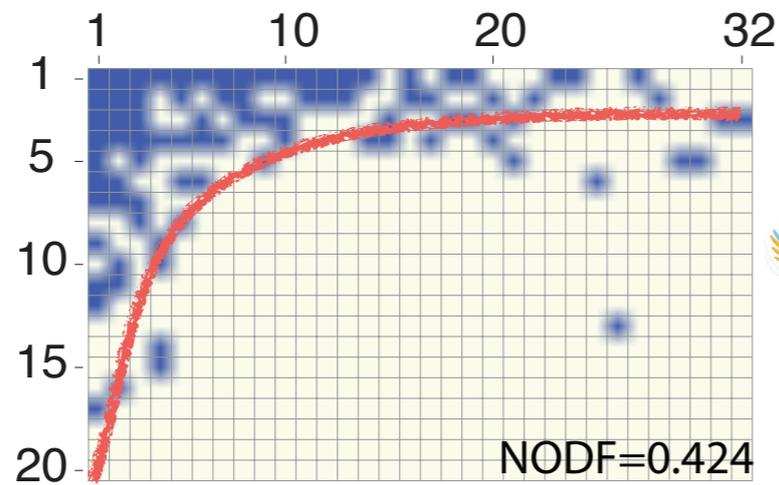
$P A$
 a_{ij}

Ancora patterns emergenti!



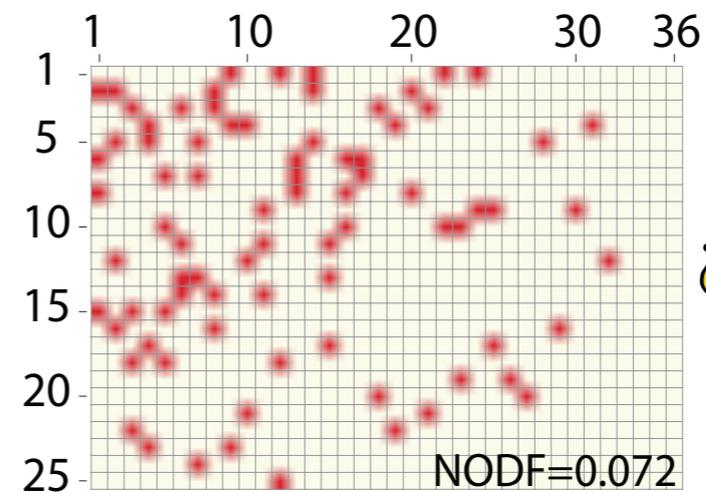
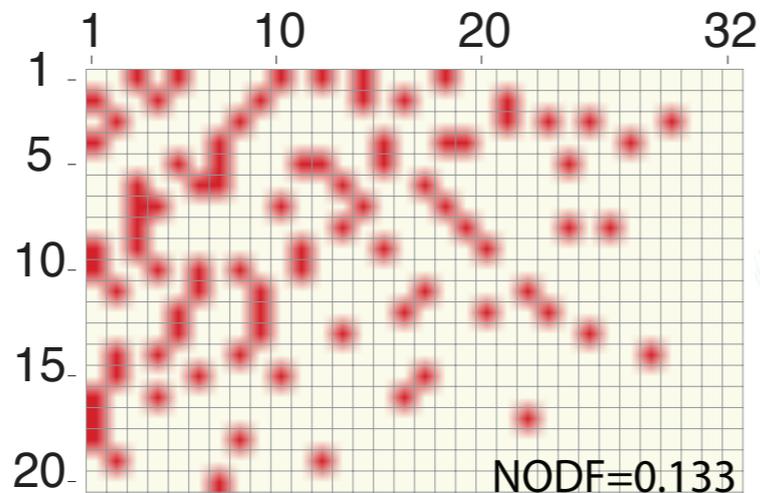
Un'occhiata da più vicino

*Avian fruit web in Puerto Rico
Carlo, et al.*



*Plant Pollinator web in Chile
Arroyo, et al.*

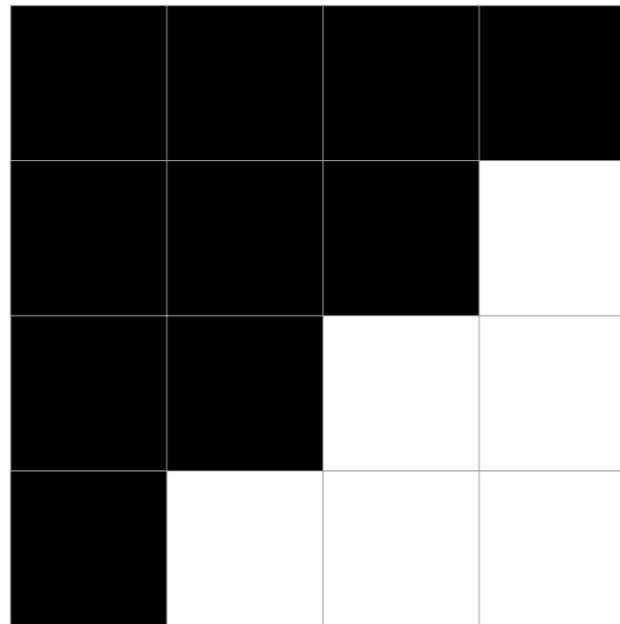
Random same S,C



Random same S,C

Annidamento \rightarrow NODF

Misurare l'annegamento



Overlap

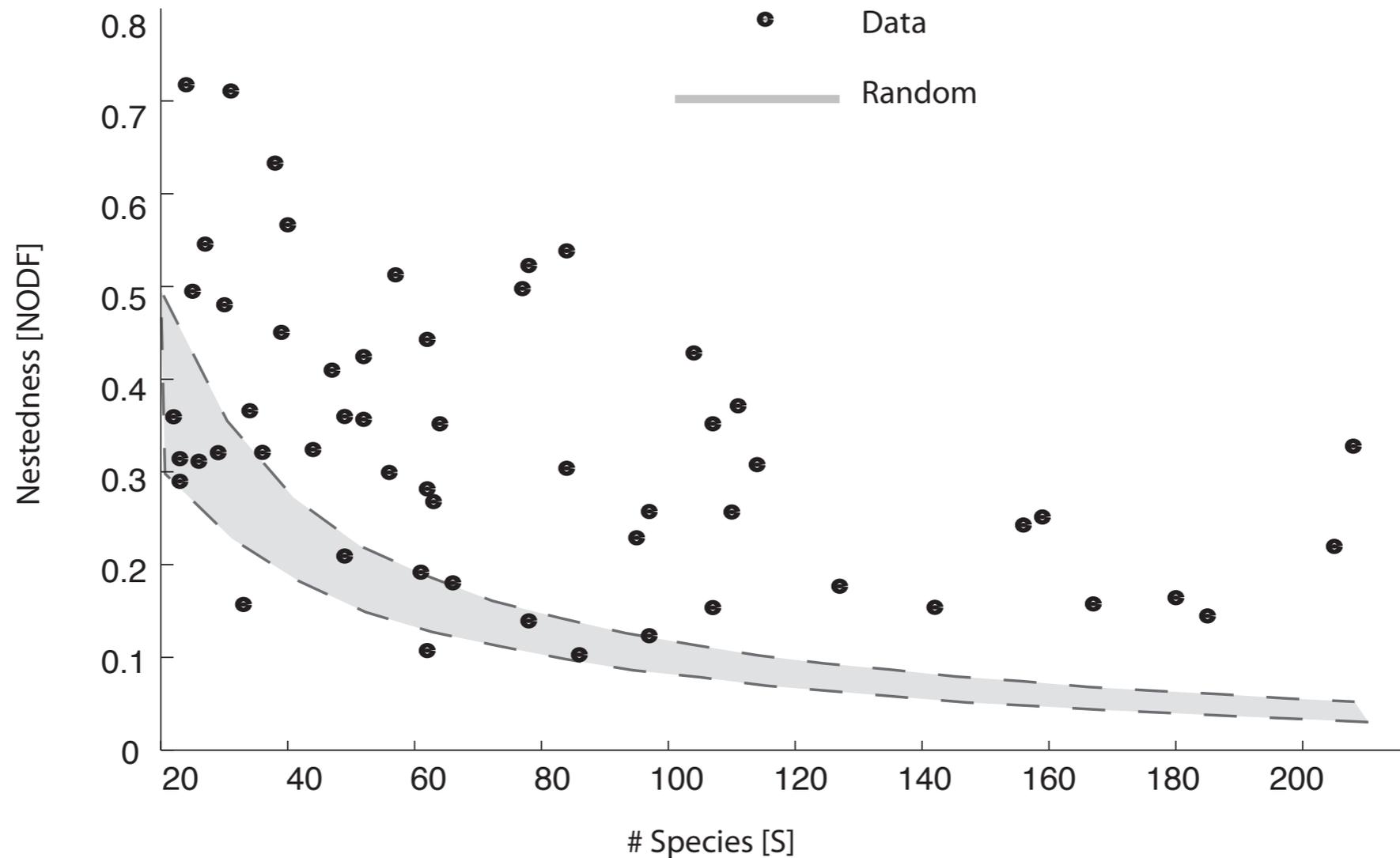
$$O_{ij}^P \equiv \sum_k a_{ik}^{PA} a_{jk}^{PA}$$

Numero di patterns in comune che la i-esima e la j-esima pianta (o pollinatore) condividono

NODF

Dati vs Casualità

Modello "nullo": teniamo fissi S e C,
e disponiamo le connessioni in modo casuale



Perchè questa proprietà emergente?

Che vantaggio hanno le specie ad auto-organizzarsi in quel modo?

Qualche strategia di adattamento o ricerca di cibo?

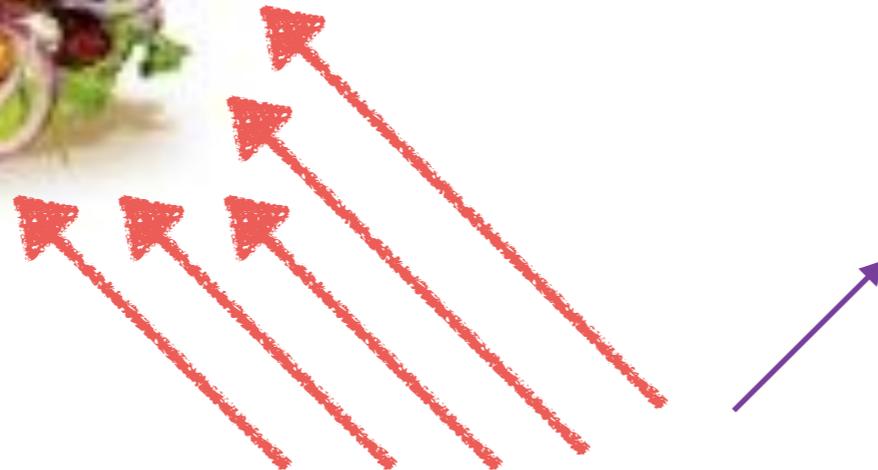
LETTER

doi:10.1038/nature12438

Emergence of structural and dynamical properties of ecological mutualistic networks

Samir Suweis¹, Filippo Simini^{2,3}, Jayanth R. Banavar⁴ & Amos Maritan¹

La mia strategia



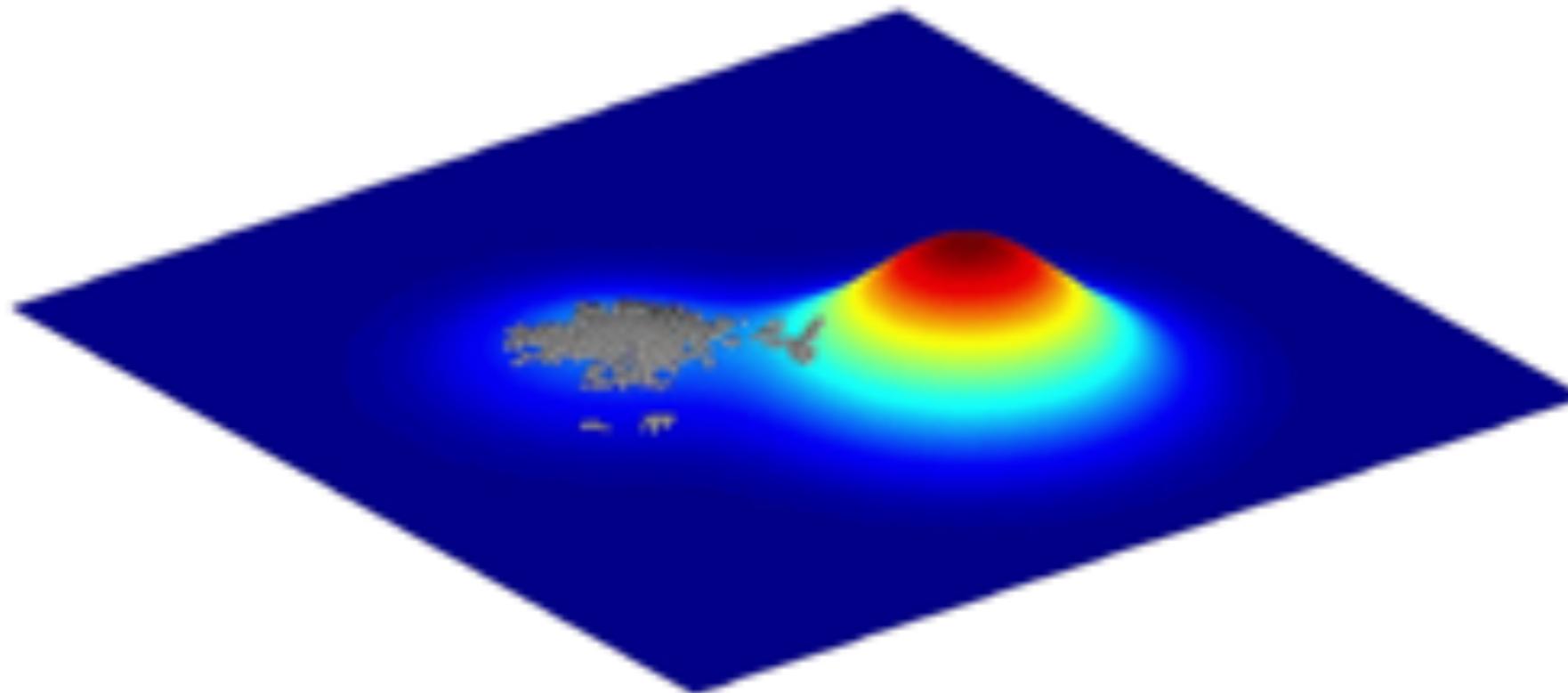
Stessa idea!



Principio di ottimizzazione

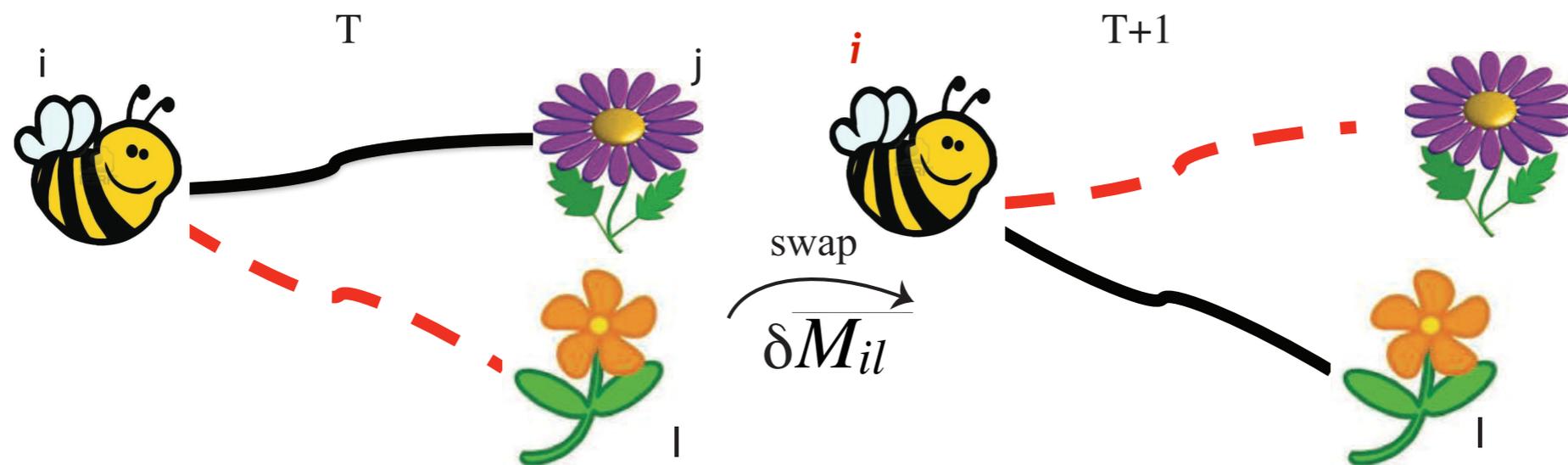
- Variabile che indica le popolazioni delle specie $x = \{x_1, x_2, \dots, x_S\}$
- Matrice di interazione M scelta a caso
- Modello dinamico per l'evoluzione della popolazione data M

$$\frac{dx_i}{dt} = x_i \left(\alpha_i - \sum_j^S M_{ij} x_j \right) \equiv f_i(\vec{x})$$



Implementazione del principio di Ottimizzazione

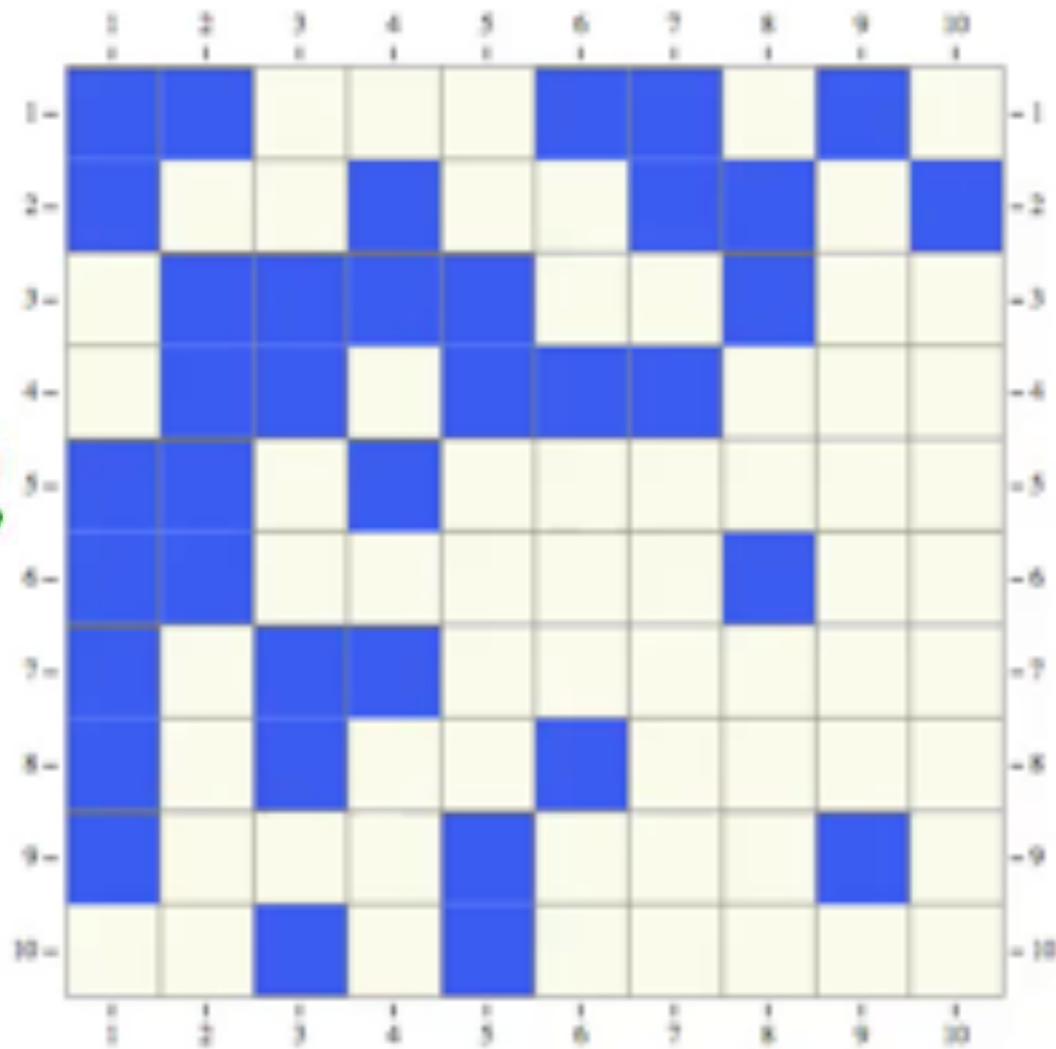
Iniziamo con popolazioni a caso e M a caso



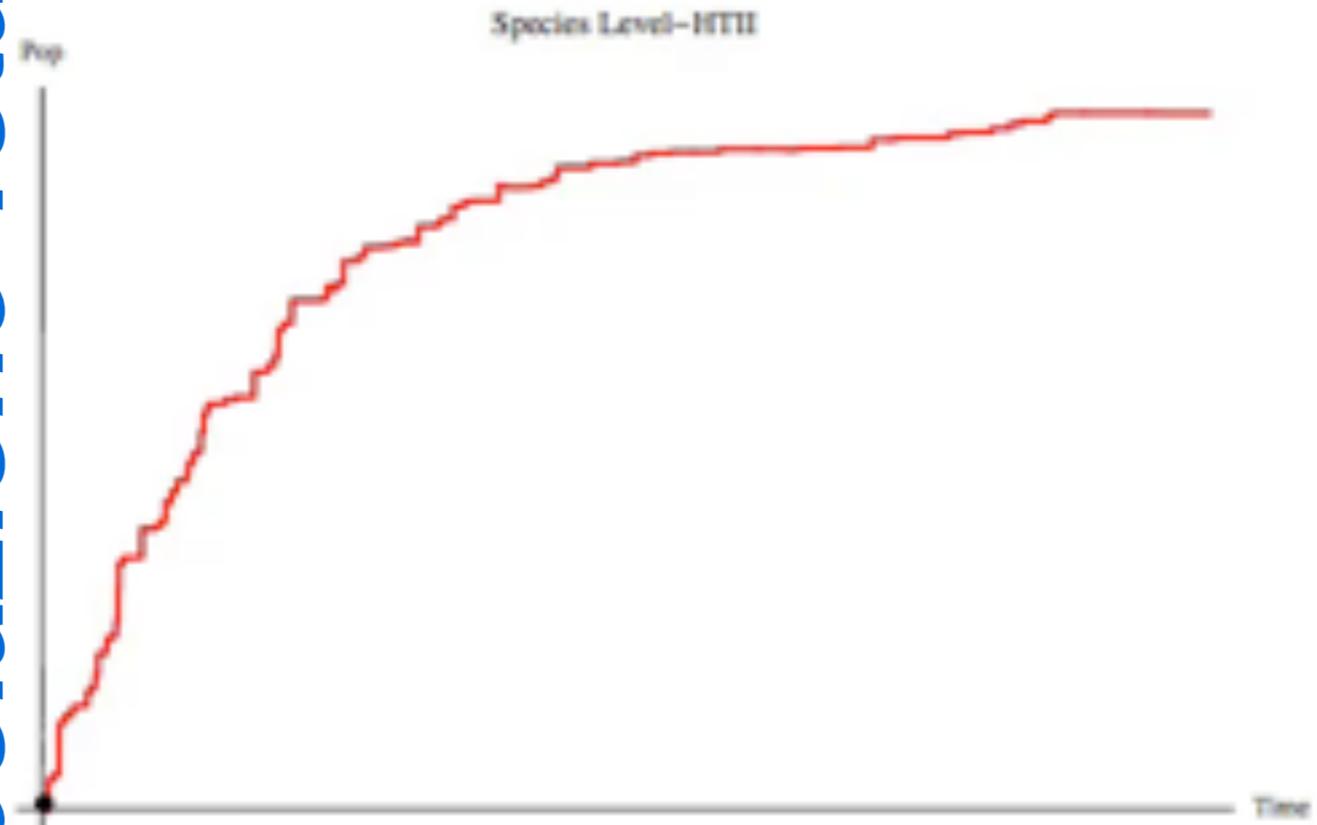
**Strategia: se mangio meglio
cambio fiore!**

$$M \Rightarrow M'$$
$$\text{if } x_i'^* > x_i^*$$

Simulazione del modello: Emergenza di annidamento



Popolazione Totale



Time steps

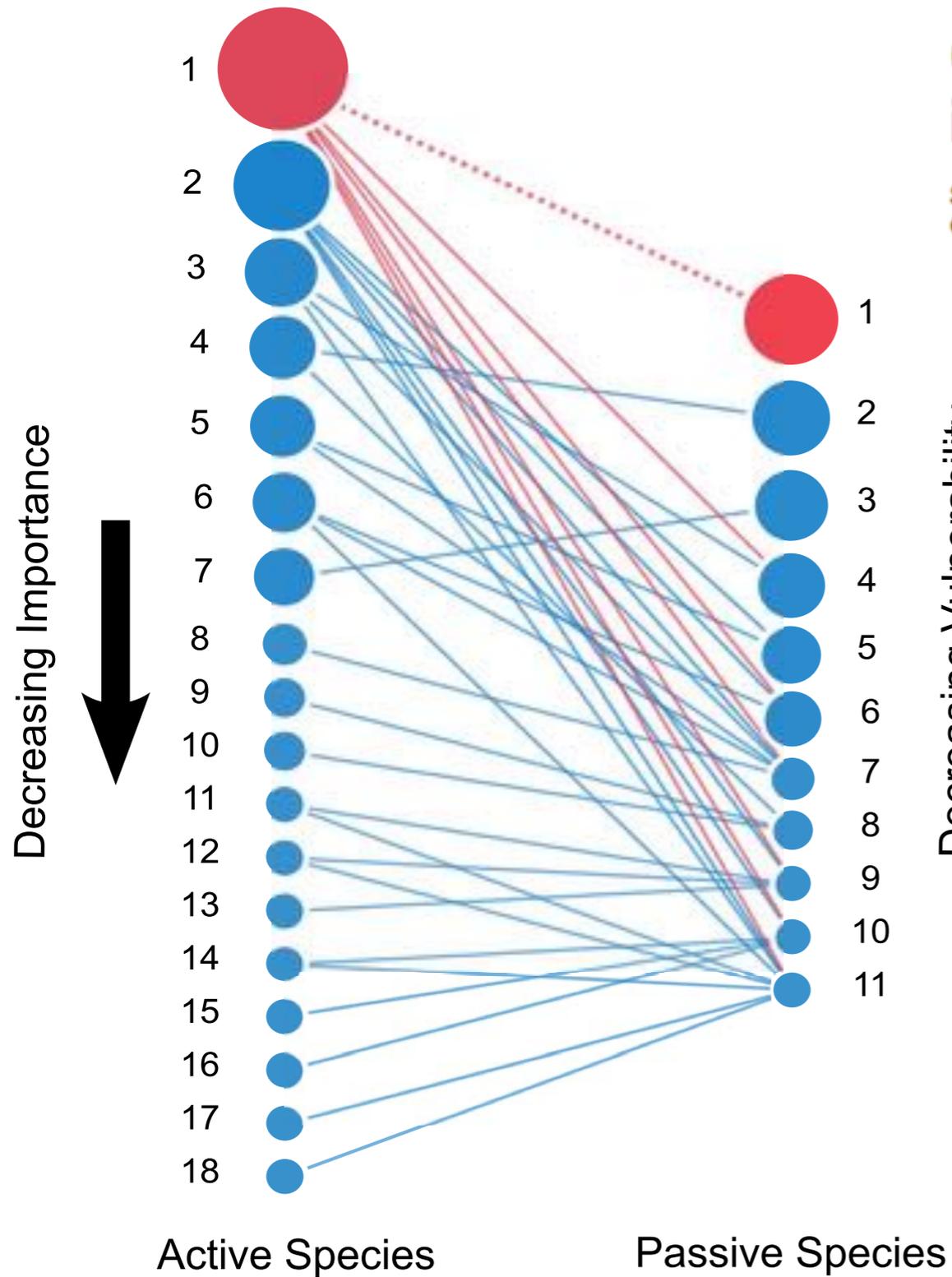
Perchè studiare questi sistemi?

Servizi ecosistemici



- Circa 1/3 of del cibo è prodotto grazie all'azione degli impollinatori.
- Ci sono più di 20,000 differenti specie di api
- Circa il 75% dei campi coltivati (tra cui caffè, molti frutti, mandorle e cioccolato) dipende dall'impollinazione
- I servizi annui prodotti dall'impollinazione sono valutati 10 miliardi\$

Declino di biodiversità e cascata di estinzioni



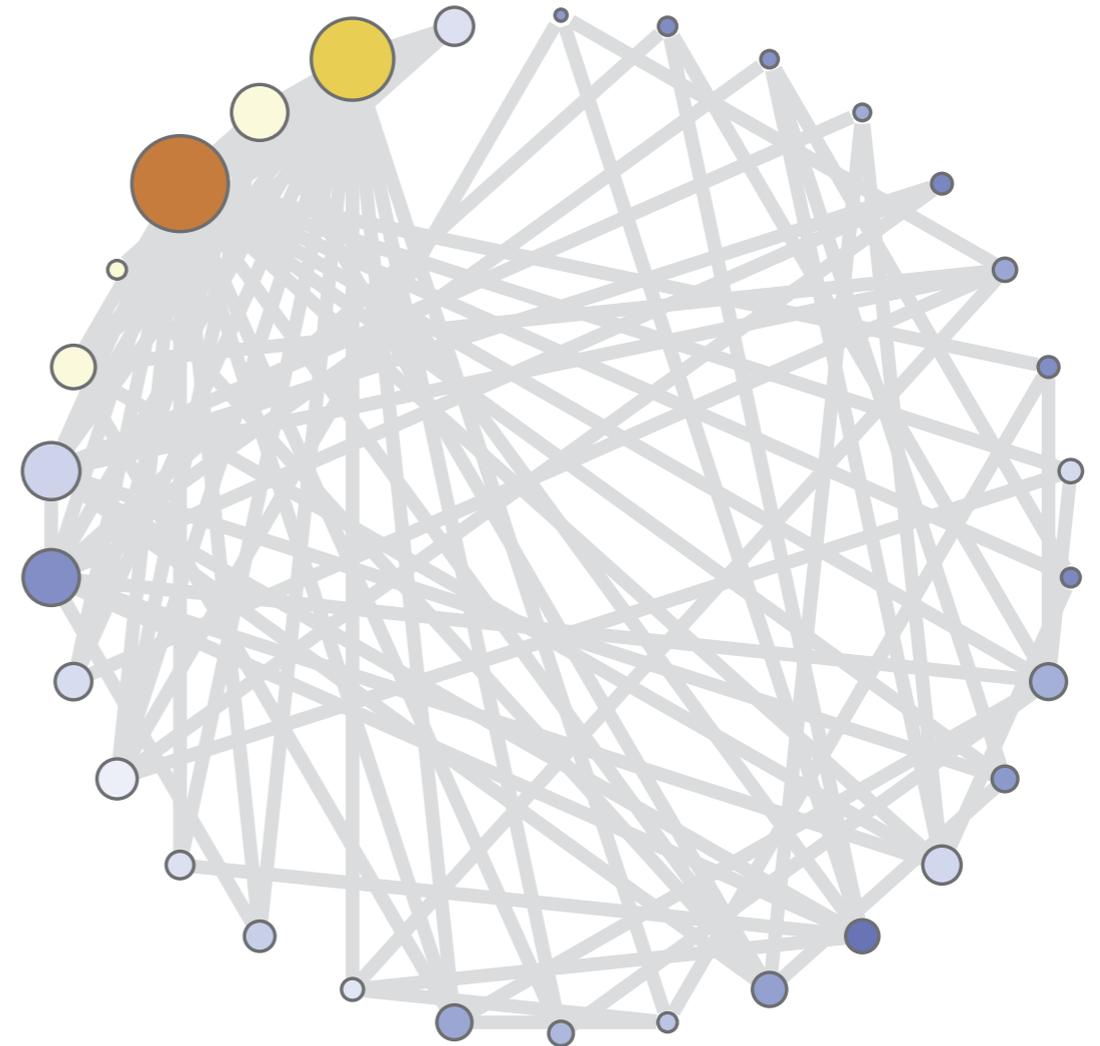
Review

Cell

Global pollinator declines: trends, impacts and drivers

Simon G. Potts¹, Jacobus C. Biesmeijer², Claire Kremen³, Peter Neumann⁴, Oliver Schweiger⁵ and William E. Kunin²

Decreasing Vulnerability



Come I lupi hanno cambiato i fiumi



**GRAZIE A VOI PER L'ATTENZIONE
E A TUTTI I MIEI COLLABORATORI!**



www.liphlab.com



@LIPh_Lab