

Modelli di metapopolazione in entomologia applicata

Antonella Bodini

`antonella.bodini@mi.imati.cnr.it`

CNR-IMATI, Milano

G. Gilioli

Dipartimento GESAF,

Università Mediterranea di Reggio Calabria

J. Baumgärtner

Istituto di Entomologia Agraria,

Università di Milano

- Il concetto di **metapopolazione**
- Modelli di metapopolazione:
 - classici o *spazialmente impliciti*
 - *spazialmente espliciti*
- Condizioni per l'applicazione a metapopolazioni di *insetti*
- Applicazione al caso di
Traumatocampa pityocampa

Il contesto



“Habitat loss and fragmentation”

Il contesto

A marine theory that describes the effects of marine physical habitat fragmentation has not yet been developed (...)



...whereas fragmented reefs have scattered, intact patches separated by dead, simplified substrate such as this.

(Tioman island, Malaysia)



A reef not yet affected by fragmentation is continuous and has tremendous spatial complexity...

(Payar Island, Malaysia)

(...) check whether the novel insights from terrestrial metapop. biology have any bearing on marine conservation (...)

<http://folk.uio.no/tikverne/sea/intro.html>

Metapopolazione



Levins, 1969; p. 237: (...) *populations in which local extinctions are balanced by remigration from other populations.*

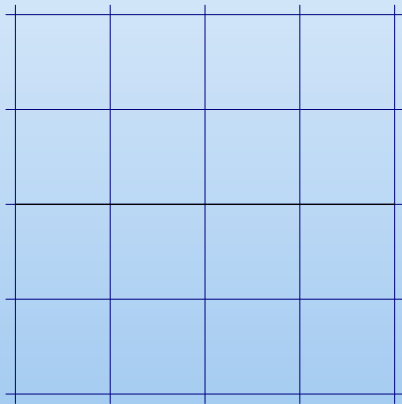
Hanski and Gilpin, 1991; p. 7: (...) *[s]et of local populations which interact via individuals moving among populations.*

Hanski and Simberloff, 1997; p. 11: *[s]et of local populations within some larger area, where typically migration from one local population to at least some other patches is possible.*

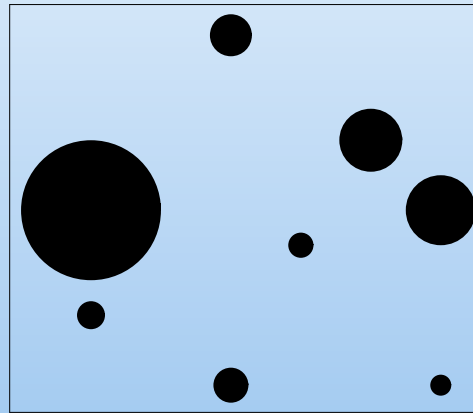
nessun riferimento alla struttura spaziale

Modelli

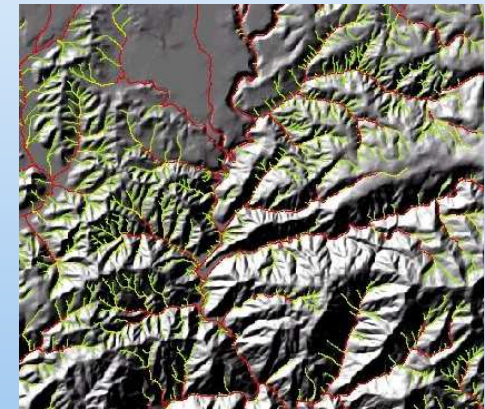
Theoretical ec.



Metapop. ec.



Landscape ec.

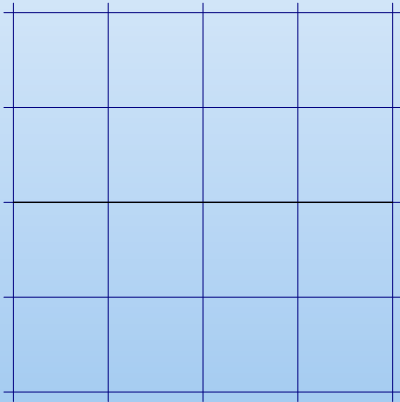


Modello di Levins: \swarrow infiniti patches, identici.

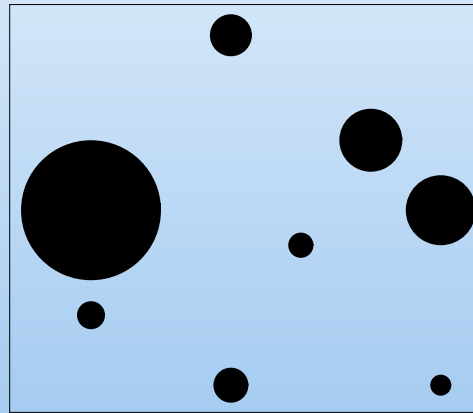
$$\frac{dp}{dt} = cp(1-p) - ep \quad \left\{ \begin{array}{l} p = \text{pr. of occupied sites} \\ e = \text{extinction rate} \\ c = \text{colonization rate} \end{array} \right.$$

Modelli

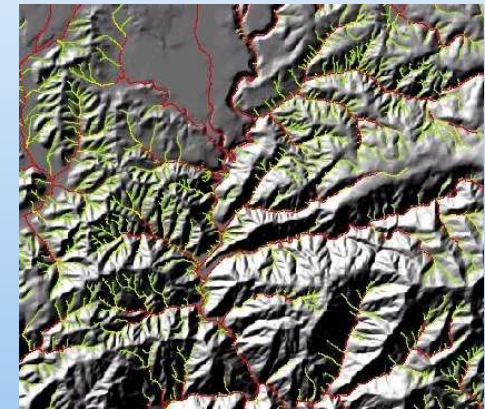
Theoretical ec.



Metapop. ec.



Landscape ec.

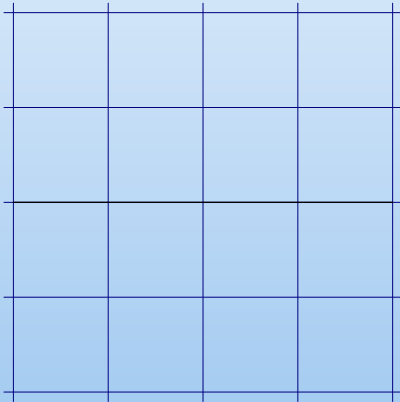


Landscape ecology:

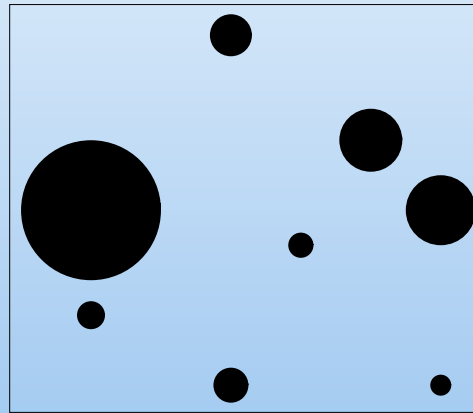
modelli basati su ampi dati di tipo fisico (digital elevation models, p. es.), implementati via GIS.
Minore enfasi sulle dinamiche della popolazione

Modelli

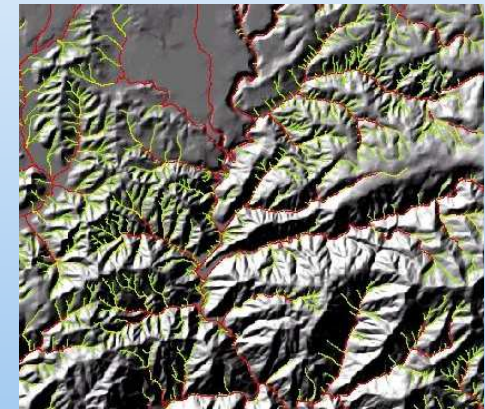
Theoretical ec.



Metapop. ec.



Landscape ec.



↑
**Modelli spazialmente espliciti:
conciliare demografia e spazialità**

Prendere decisioni sulla gestione dell'habitat richiede l'uso di modelli realistici che permettano di fare previsioni specifiche sugli effetti della distruzione dell'habitat, della frammentazione dell'habitat rimanente, della variazione della connettività ...

Incidence Function Model



Hanski, 1994

Modello markoviano:

$$E_i = \begin{cases} (A_0/A_i)^x & \text{if } A_i > A_0 \\ 1 & \text{if } A_i \leq A_0 \end{cases}, \quad C_i = (1 + (y/S_i)^2)^{-1}$$

A_i = patch area, A_0 = area critica;

x “reflects the severity of environmental stochasticity”;

y “describes the colonization ability of the species”;

α = tasso di mortalità dei migranti

$\delta_j \in \{0, 1\}$ = assenza/presenza

$S_i = \sum \{ \delta_j \exp(-\alpha d_{ij}) A_j : j \neq i \}$ connettività

Incidence Function Model



Hanski, 1994

Modello markoviano:

$$E_i = \begin{cases} (A_0/A_i)^x & \text{if } A_i > A_0 \\ 1 & \text{if } A_i \leq A_0 \end{cases}, \quad C_i = (1 + (y/S_i)^2)^{-1}$$

$$\Rightarrow P_i = C_i / (E_i + C_i) \quad \Leftarrow$$

probabilità media di lungo termine
che il patch i -mo sia occupato

- Hilker, Hinsch, Poethke, 2006
Parametrizzare un *Incidence Function Model* utilizzando i risultati di un *Individual Based Model*
- Ovaskainen and Hanski, 2004
Conciliare “patchy population” e “metapopulation” approssimando un *Individual Based Model* con *Incidence Function Model*
- Harding and McNamara, 2002
Generalizzazione del modello di Levins

Applicazioni

- insetti: Glanville fritillary butterfly, *Melitaea cinxia*, Hanski
- uccelli: European nuthatch, *Sitta europea*, ter Braak *et al.*, 1998
- mammiferi: American pika, *Ochotona princeps*, Moilanen *et al.*, 1998



CONSERVAZIONE



Requisiti ...



perchè si possa parlare di **metapopolazione**:

- small body size
- high rate of population increase
- short generation time
- high habitat specificity

Murphy *et al.*, 1990

Requisiti...



per l'applicazione del **modello di Hanski**:

- quasi-stable equilibrium
- local dynamics occur fast in comparison with metapop. dynamics
- hosts are distributed as discrete patches
- substantial risk of extinction for local populations
- availability of empty patches for colonization
- asynchronous fluctuations of local populations.

Hanski, 1994; 1997

Tscharntke and Brandl, 2004

Traumatocampa pityocampa



DATI:

- 32 patches
- $A_i \in (0.02, 1.63) Km^2; (0.25 \pm 0.35)$
- $d_{ij} \in (0.41, 27.8) Km; (8.5 \pm 6.2)$
- $\alpha = 2.3$
- $A_0 = 0.0004 Km^2$
- soglia (= 1) per presenza/assenza
- dati raccolti in 3 anni consecutivi

FOCALI: si concentrano sulle area a maggior interesse turistico o con insediamenti umani.

Considerano:

- disinfestazione
- protezione da re-infestazione, creando cinture libere dal pest

GENERALI CON SFORZO COSTANTE:

considerano un ugual numero di patches target, di volta in volta con diversa disposizione spaziale

GENERALI CON SFORZO VARIABILE:

variazione nel numero di siti trattati, per la valutazione della relazione tra l'efficacia e lo sforzo dell'intervento.

Strategie



<i>anno 1</i>	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	...
<i>anno 2</i>	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	...
<i>anno 3</i>	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	...
<i>anno 4</i>	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	...
<i>anno 5</i>	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	...
<i>anno 6</i>	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	...

$$S_i = \sum \{ \delta_j \exp(-\alpha d_{ij}) A_j : j \neq i \}$$

⇒ **AZIONE SULLA MIGRAZIONE** ⇐

DATI + $k \times$ STRATEGIA, $k = 0, 1, 2, 3$

$$P_i = C_i / (C_i + E_i)$$

$$E_i = \begin{cases} (A_0/A_i)^x & \text{if } A_i > A_0 \\ 1 & \text{if } A_i \leq A_0 \end{cases}, \quad C_i = (1 + (y/S_i)^2)^{-1}$$

$$S_i = \sum \{ \delta_j \exp(-\alpha d_{ij}) A_j : j \neq i \}$$

Baumgärtner, Bodini, Gilioli *et al.*, 2006

$$\sum \log(1 - P_i)$$

**Distanza della distribuzione del pest
dalla situazione di estinzione totale**

STRATEGIE FOCALI

<i>31.73</i>	dati + 1s	dati + 2s	dati + 3s
SF1	33.15	34.05	34.71
SF2	30.30	29.48	34.71
SF3	25.99	23.01	*

$$\sum \log(1 - P_i)$$

**Distanza della distribuzione del pest
dalla situazione di estinzione totale**

S. GENERALI A SFORZO VARIABILE

<i>31.73</i>	dati + 1s	dati + 2s	dati + 3s
SV1	33.36	34.39	35.09
SV2	30.39	29.62	29.12
SV3	28.72	27.05	25.98
SV3.1	27.77	25.62	24.27
SV3.2	28.64	26.94	25.85

$$\sum \log(1 - P_i)$$

**Distanza della distribuzione del pest
dalla situazione di estinzione totale**

S. GENERALI A SFORZO COSTANTE

<i>31.73</i>	dati + 1s	dati + 2s	dati + 3s
SG1	31.90	32.01	32.11
SG2	32.28	32.62	32.85
SG3	31.87	31.96	32.02

Bibliografia essenziale



Levins R., (1969) Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bull. Entomol. Soc. Am.* 15, 237–240

Hanski I., Gilpin M.E. (1991) Metapopulation dynamics: Brief history and conceptual domain. *Biol. J. Linn. Soc.*, 42, 3–16.

Hanski I. (1994) A Practical Model of Metapopulation Dynamics. *J. Anim. Ecol.*, 63, 151–162

Hanski I. (1997) Metapopulation Dynamics: from concepts and observations to predictive models. In **(HG)**

Hanski I., Gilpin M.E. (1997) **(HG)** *Metapopulation Biology: Ecology, Genetics and Evolution*. San Diego, Academic.

Hanski I., Simberloff D. (1997) The metapopulation approach, its history, conceptual domain and application to conservation. In **(HG)**

Bibliografia essenziale



Ovaskainen O., Hanski I. (2004) From Individual Behavior to Metapopulation Dynamics: Unifying the Patchy Population and Classic Metapopulation Models. *Am. Nat.*, 164, 364–377

Hilker F.M., Hinsch M., Poethke H.J. (2006) Parametrizing, evaluating and comparing metapopulation models with data from individual-based simulations. *Ecol. Model.*, 199, 476–485

Harding K.C., McNamara J.M. (2002) A Unifying Framework for Metapopulation Dynamics. *Am. Nat.*, 160, 173–185.

Bibliografia essenziale



Murphy D.D., Fraes K.E., Weiss S.B. (1990) An environment-metapopulation approach to viability analysis for a threatened invertebrate. *Conserv. Biol.*, 4, 41–51

Tscharntke T., Brandl R. (2004) Plant-Insect Interactions in fragmented landscapes. *Annual Review of Entomology*, 49, 405–430 .

Baumgaertner J., Bodini A., Gilioli G., Hartmann J., Weidmann P. (2006) Conservation of amphibians in the alpine Rhine valley: a proposal. *CNR-IMATI Technical Report 06.1*.