

Un approccio numerico alla biogeografia delle caverne italiane

1. INTRODUZIONE

Nella loro *Theory of insular Biogeography* (1967), R.H. Mac Arthur e E.O. Wilson osservano come l'eterogeneità delle condizioni ambientali possa generare condizioni di insularità anche all'interno delle aree continentali. Questa constatazione invita ad applicare i modelli interpretativi e previsionali della biogeografia insulare anche al di fuori dello studio del popolamento di isole in stretto senso geografico, purché i popolamenti in esame si distribuiscano, nello spazio, in aree definite e circoscritte, separate l'una dall'altra da estensioni di diversa natura.

In tal senso Poulson & Culver (1969) hanno proposto una prima applicazione della *insular biogeography* allo studio del popolamento di un sistema di grotte (quello del Mammoth Cave National Park), assimilato ad un arcipelago di cui le «isole» sono le singole grotte; analogo sforzo è stato condotto da Vuilleumier (1973) per la fauna cavernicola del Canton Ticino, dopo che il medesimo autore si era cimentato in un'analisi «insulare» di un'altra situazione continentale, vale a dire dell'avifauna dei páramos delle Ande settentrionali (Vuilleumier 1970).

Ricondurre le grotte a isole e i massicci carsici ad arcipelaghi può sembrare semplicistico, essendo le grotte collegate tra loro da sistemi di comunicazione sotterranei, inaccessibili all'esplorazione, ma altrettanto vale, in fondo, per ogni altro tipo di «isole», tra le quali possono migrare propaguli di specie animali o vegetali.

La convinzione che la teoria di Mac Arthur e Wilson posseda un notevole valore euristico non ci impedisce di avanzare riserve sul suo effettivo ambito di applicabilità nè di credere che sia pos-

sibile utilizzarla *accanto a* criteri biogeografici più tradizionali, anziché *in alternativa* ad essi. A nostro avviso, la teoria della biogeografia insulare può dirci molte cose sulle affinità e differenze di popolazione fra le diverse isole di un singolo arcipelago, ma non ci permette di chiarire le differenze complessive che esistono fra arcipelaghi differenti, in cui (tra l'altro) eventi geologici o paleoclimatici recenti possono aver lasciato tracce diverse e riconoscibili, sui popolamenti attuali.

Abbiamo ritenuto opportuno, pertanto, applicare i concetti e i modelli dell'*insular biogeography* al popolamento di tre sistemi di grotte, situati in aree le cui vicende quaternarie sono state (in maniera documentabile) ben differenti, al punto da doversi riflettere sui popolamenti cavernicoli. Ci si riprometteva così di valutare fino a che punto si spingesse, a livello interpretativo, l'analisi «insulare» e se essa non lasciasse dietro di sé un «residuo» non interpretato, passibile invece di interpretazione in chiave «storica».

2. MATERIALI E METODI

Abbiamo messo a confronto il popolamento delle caverne di tre aree appartenenti all'Italia fisica, vale a dire il Canton Ticino (già preso in esame da Vuilleumier 1973), il Savonese e le Prealpi Trevigiane. I tre «arcipelaghi» messi a confronto sono sufficientemente isolati e lontani tra loro da garantire indipendenza delle rispettive storie di popolamento, ma non tanto da impedirne una comparazione: essi poggiano inoltre su matrici stratigrafiche simili (calcaree: solo il fondo della grotta del Capo di Varigotti N. 138 Li. poggia direttamente su uno strato di quarzite) e per ciascuno di essi è stato studiato un numero abbastanza simile di «isole». La documentazione zoologica sulla base della quale abbiamo operato la nostra elaborazione è offerta da Franciscolo (1955) per il Savonese, da Strinati (1966) per il Canton Ticino e da Paoletti (1978) per le Prealpi Trevigiane.

Nelle Tabelle I, II e III riassumiamo, per ciascuna grotta, i dati faunistici ed ecologici che sono serviti di base per la successiva analisi numerica. Precisiamo qui la natura delle variabili considerate, indicando fin d'ora che la prima (nelle sue varianti a, b₁, b₂, b₃, c) è stata considerata sempre quale variabile dipendente nelle regressioni calcolate, mentre le successive (2 ÷ 8) hanno sempre avuto per noi

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O
1 Ti. Grotta del Tesoro	21	12	5	3	7	1	580	40000	3	5	4	2	1
2 Ti. Gr. di Carabbia I	2	1	1	0	1	0	600	196	3	5	1	1	1
3 Ti. Gr. di Carabbia II	2	1	1	0	0	0	610	144	3	5	1	1	1
4 Ti. Gr. di Carabbia III	5	5	0	0	3	0	610	169	3	5	1	1	1
6 Ti. Gr. dei Tre Buchi	12	4	7	1	1	1	570	1600	2	9	1	2	1
7 Ti. Tanone	20	13	6	1	3	1	550	320	2	9	1	2	1
8 Ti. Bøggia	31	16	8	7	8	5	750	122500	3	11	4	2	1
9 Ti. Fornett I	6	3	1	2	1	0	590	144	5	10	1	1	1
10 Ti. Tana Bøgiana	1	1	0	0	0	0	470	36	6	9	1	1	1
11 Ti. Buco dell'Alabastro	21	14	5	2	5	1	960	2500	3	6	1	1	1
12 Ti. Bøcc dal Torniduu	8	4	4	0	1	1	1170	625	5	5	1	1	1
13 Ti. Tana del Beato	3	2	1	0	0	0	1095	2500	4	5	1	2	1
14 Ti. Bre' II	7	4	2	1	0	1	840	81	7	7	1	2	1
15 Ti. Abisso Buffoli	16	6	10	0	4	1	820	40000	5	7	1	2	1
16 Ti. Gr. del Mago	31	17	10	4	8	5	360	576	6	10	4	2	1
17 Ti. Gr. dei Pipistrelli	12	9	3	0	3	1	710	400	7	7	1	2	1
18 Ti. Gr. del Ghiaccio	6	5	1	0	1	0	720	729	7	8	1	2	1
19 Ti. Gr. delle Ossa	7	4	3	0	0	0	720	121	8	8	1	2	1
21 Ti. Buco della Sovaglia	2	0	0	2	0	0	680	169	3	6	4	1	1
27 Ti. Bøcc della Ratapegna	13	7	4	2	1	1	590	400	5	10	1	2	1
28 Ti. Fornett II	13	6	7	0	3	1	500	100	5	10	1	2	1
29 Ti. Gr. dell'Argilla	1	1	0	0	0	0	960	25	5	6	1	1	1
30 Ti. Gr. del Guano	13	9	3	1	1	0	730	100	7	8	1	2	1
32 Ti. Gr. del Demanio	23	15	4	4	9	3	415	10000	1	1	3	1	1
33 Ti. Gr. del Belvedere	7	4	2	1	0	0	730	324	7	8	1	2	1
36 Ti. Gr. dei Cugnoli	4	2	2	0	1	0	1010	900	4	5	1	2	1
37 Ti. La Pellscera	6	4	1	1	3	0	935	576	6	5	1	2	1
41 Ti. Bre' III	4	1	2	1	0	0	830	400	8	8	1	1	1
42 Ti. Bre' IV	2	1	1	0	0	0	820	1600	8	8	1	1	1
43 Ti. Buco della Fonte	4	1	1	2	1	1	900	100	5	5	1	1	1
44 Ti. Bøcc da la Vaca	1	0	1	0	0	0	920	36	5	5	1	1	1
52 Ti. Gr. della Spugna	2	2	0	0	1	0	1950	3600	0	0	1	1	1
55 Ti. Tana delle Briccole	4	1	1	2	0	0	940	1600	0	2	1	1	1
56 Ti. Fornett III	3	1	2	0	0	0	500	400	6	10	1	1	1
57 Ti. Fonte del Castelletto	1	0	0	1	0	0	530	4900	0	4	2	1	1
65 Ti. Gr. dei Ghiri	5	2	3	0	0	0	1155	100	0	1	1	1	1
66 Ti. Pozzo della Cinta	7	3	2	2	1	1	860	100	1	3	1	1	1
69 Ti. Tana dell'Acqua	1	0	1	0	0	0	1180	2500	4	6	3	1	1
74 Ti. Camona di CrBisc	6	2	4	0	0	0	1160	2500	0	0	1	1	1
82 Ti. Tana di Piai	7	2	3	2	0	3	785	3136	1	1	2	1	1
83 Ti. Tana dello Speruch	17	8	4	5	2	4	560	729	1	3	3	2	1
84 Ti. Buco del Dosso Giamera	5	1	2	2	0	2	645	324	2	3	3	2	1
90 Ti. Crepacci di Tremona	6	4	2	0	2	0	590	225	6	10	1	1	1
93 Ti. Fiadoo di Pianca dell'Erba	3	1	2	0	1	0	1240	2500	4	6	1	1	1
99 Ti. Rllèra	2	1	0	1	0	0	595	64	1	3	1	1	1
100 Ti. Gall. di S. Martino	11	10	1	0	5	0	300	625	1	5	1	2	3
101 Ti. Gall. Promontorio S. Martino	1	1	0	0	1	0	280	625	1	5	1	1	2
102 Ti. Grottina Rosa	1	1	0	0	0	0	570	4	2	9	1	1	1

TAB. I - Canton Ticino: elenco delle grotte considerate. Di ciascuna indichiamo: (A) numero totale di specie presenti; (B) numero di trogllosseni; (C) numero di trogllofilii; (D) numero di troglobii; (E) numero di «endemiti» sensu Vuilleumier; (F) numero di endemiti s. str.; (G) quota a cui si apre l'imboccatura della grotta; (H) dimensioni della grotta (=quadrato dello sviluppo); (I) numero di grotte entro 1 km di raggio; (L) numero di grotte entro 2,5 km di raggio; (M) disponibilità di acqua (per la scala, v. testo); (N) assenza (1) o presenza (2) di pipistrelli; (O) assenza (1) o presenza (2) di antropizzazione.

valore di variabili indipendenti; le elenchiamo dunque secondo l'ordine in cui sono tabulate nelle Tabb. I, II e III e ne seguiamo la numerazione utilizzata nei programmi scritti per l'elaboratore elettronico.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O
145 Li. O Garbasso	6	1	5	0	2	0	690	676	2	2	3	1	1
60 Li. O Garbetto	6	0	6	0	1	0	625	992	2	2	1	1	1
141 Li. Arma de Faje	3	0	3	0	0	0	550	196	2	2	1	1	1
102 Li. Tana do Mortou	20	2	13	5	3	1	40	5476	0	0	1	2	1
138 Li. Gr.del Capo di Varigotti	2	0	2	0	1	0	4	132	0	0	2	1	1
100 Li. Arma di Ponci	2	1	0	1	0	0	260	625	0	3	1	1	1
33 Li. Arma de Fate	17	3	10	4	2	1	240	40000	1	3	1	2	1
155 Li. Gr.Cava del Martinetto	9	0	6	3	2	0	86	6889	0	3	1	2	2
156 Li. Gr.inf.Cava d.Martinetto	3	3	0	0	0	1	80	900	1	3	1	1	1
99 Li. Arma do Fratte	6	2	4	0	0	0	280	1681	5	12	1	2	1
22 Li. Arma do Poussango	6	3	3	0	1	0	280	2116	8	12	4	2	1
24 Li. Arma Pollera	70	14	47	9	32	4	280	65025	10	12	4	2	1
25 Li. Arma do Rian	7	2	4	1	0	1	220	10000	10	12	1	2	1
26 Li. Arma do Principaa	31	13	15	3	3	1	240	3364	10	12	1	2	1
171 Li. Gr.inf.Principaa	5	1	2	2	0	1	220	900	10	12	1	1	1
27 Li. Gr.del Bujo	8	0	3	5	0	0	181	122500	10	12	3	1	1
29 Li. Arma de l'Aegua	8	3	3	2	0	0	260	1225	10	12	3	2	1
97 Li. Arma do Morto	8	5	3	0	1	1	260	1225	10	12	1	2	1
30 Li. Gr.di S.Antonino	15	3	7	5	5	1	283	1600	9	12	1	2	1
98 Li. Arma della Rocca di Perti	11	3	4	4	2	1	250	2704	8	12	1	1	1
96 Li. Arma do Sanguinèo	23	4	14	5	2	0	175	3364	4	12	1	2	1
34 Li. Caverna Arene Candide	22	8	8	6	5	1	110	176400	2	3	1	2	1
137 Li. Pozzo delle Cento Corde	1	0	0	1	0	1	197	2704	2	3	1	1	1
95 Li. Gr.della Ferrovia	2	1	1	0	0	0	10	2500	3	3	1	1	2
136 Li. Gr.Staricco	2	0	0	2	1	0	32	7396	1	3	4	1	1
232 Li. Buranco Rampion	4	2	1	1	2	0	1130	10000	0	0	1	1	1
93 Li. Tana de Conche	12	3	5	4	2	1	481	80000	0	0	3	2	1
91 Li. Gr.di Verzi	45	12	25	7	9	1	160	6400	0	0	3	2	1
224 Li. Tana di Santi	7	2	5	0	0	1	480	961	1	7	1	1	1
47 Li. Tana Lubea	29	10	13	6	3	1	390	4900	3	12	1	2	1
183 Li. Tana di Spettari	11	2	5	4	1	0	300	16900	3	9	1	2	1
105 Li. A Taragnina	11	4	6	1	1	1	330	900	3	8	1	2	1
50 Li. Tana da Ciapella	4	2	2	0	0	0	300	196	4	14	1	2	1
51 Li. Tana di Croxi	6	2	4	0	1	0	335	169	4	14	1	2	1
53 Li. Tana di Basi Rosci	9	3	6	0	1	1	188	2209	6	14	1	1	1
181 Li. Tana do Rivo	2	1	1	0	0	0	380	576	6	12	1	1	1
182 Li. Tana inf.del Rivo	4	2	2	0	0	0	330	196	6	11	1	1	1
55 Li. Tana da Bazura	21	10	9	2	12	1	183	119025	6	12	4	2	2
57 Li. Tana del Colombo	8	5	3	0	0	1	221	8281	6	11	1	2	1
58 Li. Gr.sup.S.Lucia	3	1	2	0	1	0	214	93025	6	11	1	2	2
59 Li. Gr.inf.S.Lucia	13	6	7	0	3	0	200	29241	6	11	1	2	1
219 Li. Tana do Tascio	9	4	5	0	0	0	230	484	1	12	1	1	1
218 Li. Tana Llvaira	4	1	3	0	0	0	230	3600	1	12	1	1	1
215 Li. Pozzo Paramura	7	1	6	0	0	0	300	1600	0	0	1	2	1
86 Li. Tana do Scovero	23	8	9	6	9	2	460	1225	0	0	1	2	1

TAB. II - Savonese: elenco delle grotte considerate. Significato delle colonne come in Tab. I.

1a: numero totale di specie presenti;

1b₁-b₂-b₃: numero totale di specie attribuibili rispettivamente alle categorie ecologiche dei troglosseni, dei troglotrofici e dei troglotrofici;

1c: numero di specie «endemiche» secondo la definizione di comodo datane da Vuilleumier (1973), vale a dire specie «occurring

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O
Gr.di Roncavezzai	18	10	6	2	4	2	200	144	1	7	1	1	1
Gr.di Collagù	15	7	5	3	2	0	400	16	0	2	1	1	1
Inghiott.Foltran	6	2	3	1	2	0	175	900	0	2	3	1	1
Gr.di Foltran	16	7	6	3	2	1	220	90000	0	1	3	2	1
Bus dei Notoi	11	3	4	4	1	2	137	3600	1	2	2	2	1
La Bora	10	4	5	1	3	1	150	2500	1	2	3	1	1
I Landri	2	2	0	0	1	0	150	9	0	2	3	1	1
Bus de le Fade	24	10	8	6	3	2	215	3600	0	0	3	1	1
Bus de le Fave	11	3	7	1	1	1	145	100	0	0	3	1	1
Busa de le Fave	19	2	6	11	3	5	230	62500	0	1	1	2	1
Miniera di Lignite	10	6	4	0	0	0	175	6400	0	1	3	1	2
Buso della Regina	3	0	2	1	0	0	130	64	0	0	1	1	1
Fontana del Tavarano Lungo	27	7	12	8	5	5	110	40000	1	0	3	2	1
Tavarano Grande	5	1	1	3	0	2	140	90000	1	2	3	1	1
Bus de le Fade Val Pomeria	9	1	4	4	0	2	150	225	1	2	2	1	1
Bus de le Fade,sorg.Forame	11	6	5	0	2	1	145	225	0	0	1	1	1
Font.Val Boera	5	1	2	2	0	0	170	1225	1	0	1	1	1
Gr.Castel SotoTera	9	1	4	4	0	3	266	11236	0	0	3	1	1
Speluga del Romit	12	5	5	2	2	3	500	64	0	1	1	1	1
Gr.di S.Pietro	12	8	3	1	3	1	350	900	0	7	1	1	1
Ingh.d.Castagneri	1	1	0	0	1	0	280	36	2	8	1	1	1
Bus de la Paiera	6	0	4	2	0	1	650	225	1	7	1	1	1
Andron d.Val de Portole	1	0	1	0	0	1	750	400	2	6	1	1	1
Grotticella di Costa Grine	3	0	3	0	0	1	600	56	2	6	1	1	2
Bus de Croda Rossa	7	0	6	1	1	2	730	1225	1	4	1	1	1
Gr.de le Scalette	9	5	4	0	1	0	860	225	0	3	1	1	1
Gr.del Ciclamino	5	1	2	2	0	1	390	625	0	4	1	1	1
Ingh.Prà del Conte	18	5	10	3	1	2	500	225	0	2	1	1	1
Sperlonga del Valonel	7	1	3	3	0	2	1020	400	0	1	1	1	1
Sperlongola Casere Coste	3	0	1	2	0	2	1100	529	0	2	1	1	1
Bus de la Cava	4	1	3	0	1	1	450	400	0	2	2	1	1
Bus del Lat	1	0	1	0	0	1	550	100	0	2	1	1	2
Al Landre	16	6	6	4	4	2	900	225	0	3	1	2	2
Bus de la Veceta	3	0	2	1	2	1	255	225	0	3	1	1	1
Sperluga del Camp	6	2	0	4	5	2	1475	10000	0	0	1	1	1
Gr.di Vich	20	6	10	4	6	3	460	1600	0	0	2	1	1
Grotticella S.Augusta	9	6	3	0	5	1	250	196	0	1	1	1	1
Bus del Boral	2	1	1	0	1	0	1150	100	1	2	1	1	1
Sperlonga S.Maria	2	0	1	1	0	0	1080	324	1	2	1	1	1
Bus de Barba Chechi	7	2	2	3	0	2	800	900	0	0	3	1	1

TAB. III - Prealpi Trevigiane: elenco delle grotte considerate. Significato delle colonne come nelle due tabb. precedenti.

in only one cave in the entire set of Tessin caves» o, per analogia, del Savonese o delle Prealpi Trevigiane;

1d: numero di endemiti in senso proprio, a livello di specie, con areale che non superi rispettivamente, per le tre aree considerate, il Canton Ticino più le Alpi e Prealpi Lombarde, la Liguria orientale, le Prealpi Venete e Carniche;

2: quota a cui si apre l'imboccatura della grotta, espressa in m s.l.m.;

3: dimensioni della grotta, espresse come quadrato del suo sviluppo, che può essere la lunghezza totale (gallerie comprese) di una grotta a sviluppo prevalentemente orizzontale, oppure la profondità di un pozzo, lunghezza o profondità espresse in metri;

4-5: numero di grotte presenti rispettivamente nel raggio di 1 km e di 2,5 km dall'imboccatura della grotta in oggetto;

6: presenza di acqua, valutata secondo la scala seguente: 1) assenza di acqua; 2) acqua temporanea; 3) acque correnti permanenti, in assenza tuttavia di pozze o di laghetti; 4) acque correnti e laghetti permanenti;

7: presenza (2) o assenza (1) di pipistrelli, come indice della disponibilità di guano;

8: presenza (2) o assenza (1) di interventi antropici nella grotta, conseguenti all'installazione di impianti di luce elettrica ovvero alla utilizzazione delle grotte come deposito per il latte (Trevigiano) o anche come abitazione (Savonese). Quest'ultimo fattore non era stato preso in considerazione da Vuilleumier (1973).

L'elaborazione dei dati è consistita essenzialmente nell'analisi di regressione multipla della variabile (1) sulle (2 ÷ 8). Alla prima si è dato, di volta in volta, il valore di numero totale di presenze (1a) o di numero di trogllosseni (1b₁), di trogllofilo (1b₂), di troglobio (1b₃), di «endemiti» sensu Vuilleumier (c) o di endemiti in senso proprio (1d). La maggior parte delle elaborazioni è stata condotta secondo modelli lineari, ma per la regressione del numero totale di specie presenti è stato verificato anche un modello semilogaritmico, nel quale i valori della variabile (3) (dimensioni della grotta) sono stati sostituiti con i rispettivi logaritmi decimali.

3. RISULTATI

Dal momento che la biogeografia insulare prende le mosse dallo studio del rapporto n. specie/area dell'isola, abbiamo preso anzitutto in esame la relazione tra il numero di specie presenti in ciascuna grotta e le dimensioni di questa. Riportiamo qui, nelle figg. 1-3, il logaritmo del numero di specie presenti in ciascuna grotta contro il logaritmo del quadrato dello sviluppo longitudinale di questa (preso, come si è detto di sopra, come indice areale). Secondo la versione più grezza della teoria della biogeografia insulare,

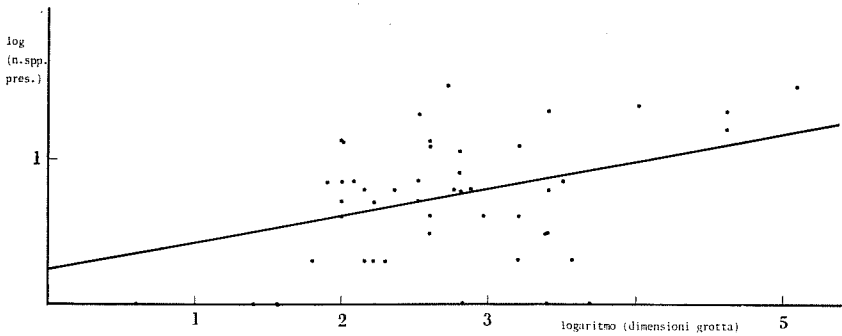


FIG. 1 - Analisi di regressione del logaritmo del numero di specie presenti sul logaritmo delle dimensioni delle grotte, per le caverne del Canton Ticino prese in considerazione.

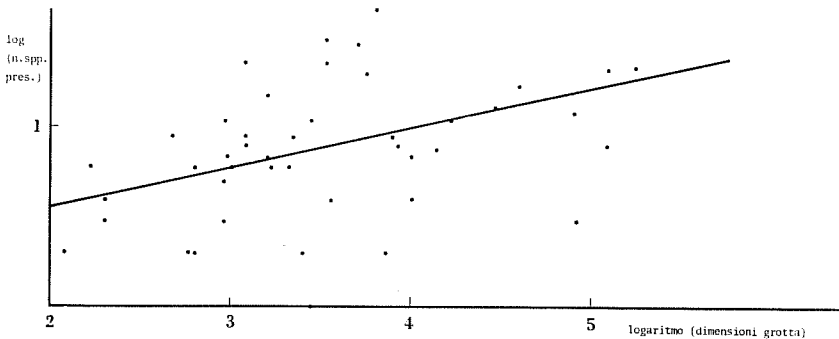


FIG. 2 - Analisi di regressione del logaritmo del numero di specie presenti sul logaritmo delle dimensioni della grotta, per le caverne del Savonese prese in considerazione.

nei tre grafici dovrebbe comparire un buon allineamento dei punti, secondo altrettante rette con coefficiente angolare compreso tra .20 e .35, se ogni grotta ha effettivo valore di «isola» ben circoscritta (Mac Arthur & Wilson 1967).

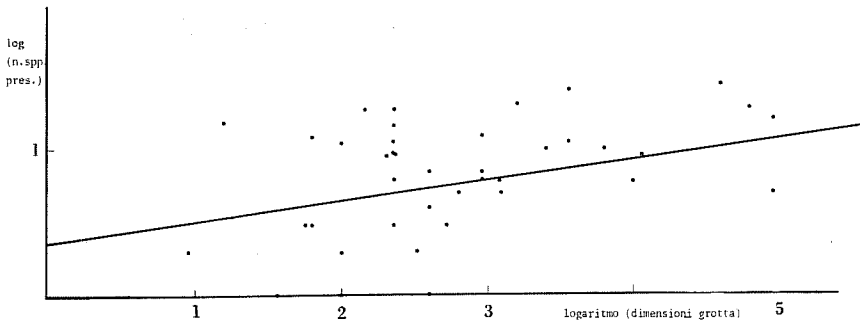


FIG. 3 - Analisi di regressione del logaritmo del numero di specie presenti sul logaritmo delle dimensioni della grotta, per le caverne delle Prealpi Trevigiane prese in considerazione.

Troviamo in effetti:

per il Savonese: $y = .214x + .134$; $r = .442$; g.d.l. = 44; $p < .01$

per il Canton Ticino: $y = .179x + .229$; $r = .369$; g.d.l. = 47; $p < .01$

per il Trevignano: $y = .165x + .360$; $r = .421$; g.d.l. = 39; $p < .01$

L'allineamento è piuttosto buono, ma i coefficienti angolari sono notevolmente bassi, fatto che dovrebbe interpretarsi come conseguenza del parziale isolamento esistente fra le grotte (cosa certamente vera, almeno per gli ospiti meno esclusivi!). Non è difficile del resto darsi ragione dello scostamento di alcuni punti da un teorico andamento lineare d'insieme. Qualche esempio: 52 Ti. ha dimensioni piuttosto notevoli, ma scarsa fauna, probabilmente per assenza di guano; analogo discorso vale per 57 Ti., per 74 Ti. e per 93 Ti.; povera di fauna è la 58 Li., dove pure vi è guano, ma si tratta di una grotta antropizzata, così come lo sono la 55 Li., e la 95 Li., la quale ultima è anche carente di guano. Questi esempi dimostrano con evidenza la simultanea azione di fattori diversi dalle dimensioni della grotta nel determinare il popolamento complessivo di questa.

	1	2	3	4	5	6	7	R ² totale	F finale	cost.
TOTALE SPP.	3	7	6	2	8	4	5		7.326	
PRESENTI	.5405	.1385	.0495	.0132	.0045	.0051	.0022	.7495		
	.0001	6.0712	1.8543	-.0042	-4.3680	-.5051	.2669			4.0384
TROGLOSSENI	7	6	3	2	4	5		.6649	5.415	
	.5042	.1022	.0325	.0233	.0015	.0012				
	3.5470	.9233	.0001	-.0025	-.1748	.1108				-.3765
TROGLOFILI	7	3	8	2	4	5	6	.6773	4.842	
	.5148	.1069	.0222	.0113	.0072	.0128	.0021			
	2.2085	.00003	-2.759	-.0003	-.2578	.2136	.1755			1.7762
TROGLOBI	6	3	2	8	4	7	5	.8111	10.989	
	.7275	.0486	.0090	.0097	.0119	.0040	.0014			
	.00003	.7187	-.0012	.2819	-1.5049	.0104	.0019			2.4962
ENDEMITI	6	7	3	2	8	5	4	.7454	7.143	
	.6653	.0358	.0201	.0052	.0067	.0104	.0019			
	.5776	.5520	.00002	.0009	-1.0232	-.0424	-.0424			1.1342

Tab. IV - Risultati dell'analisi di regressione multipla sulle variabili 2÷8 del numero di specie presenti nelle grotte del Canton Ticino, in condizioni di linearità. A sinistra di ogni zona è specificata la variabile dipendente considerata nella singola regressione; le variabili indipendenti, individuate dalla numerazione adottata nel testo, sono enumerate, in ciascuna zona, in ordine di ingresso (da primo a settimo) nella regressione. Sotto al numero che identifica ciascuna variabile indipendente sono indicati, nell'ordine, il contributo di detta variabile alla regressione totale e, sotto, il coefficiente con cui detta variabile entra in equazione; le ultime tre colonne riportano, nell'ordine, il contributo totale a R² delle variabili considerate, il rapporto F finale al termine della regressione e l'intercetta.

	1	2	3	4	5	6	7	R ² totale	F finale	cost.
TOTALE SPP.	.4704	.0857	.0185	.0113	.0004	.0018	.0005	.5886	2.802	
PRESENTI	11.2000	3.2000	-8.0574	.00004	-2.2075	.2681	-.0017			-1.8124
TROGLOSSENI	.5020	.0449	.0100	.0147	.0080	.006	.0005	.5807	2.689	
	3.2585	.6337	-1.6433	.0004	.0481	.026	.0004			-1.8259
TROGLOFILI	.4066	.1009	.0181	.0016	.0004	.0014	.0001	.5291	2.056	
	6.1258	2.2322	-4.1237	.00001	-.1082	.1344	-.0006			-1.9804
TROGLOBI	.4001	.0975	.0507	.0275	.0169	.0002	.0157	.6086	3.110	
	1.7602	.00002	-2.266	-.1418	.2944	-.0015				1.9717
ENDEMITI	.2744	.0527	.0785	.0280	.0243	.0035	.0030	.4644	1.453	
	.3566	.0844	-.0489	-.5568	.0000	-.0002	.0425			.5806

TAB. V - Risultati dell'analisi di regressione multipla sulle variabili 2÷8 del numero di specie presenti nelle grotte del Savonese, in condizioni di linearità. Presentazione dei dati come nel caso precedente.

	1	2	3	4	5	6	7	R ² totale	F finale	cost.
TOTALE SPP. PRESENTI	.5041 10.1902	.0614 -2.3968	.0469 -0.0037	.0101 -2.6715	.0024 .5920	.0038 -0.00003	.0002 -0.0581	.6289	2.991	2.6957
TROGLOSSENI	.3027 -0.0020	.1206 -1.9136	.0441 2.5410	.0242 .3109	.0062 .4367	.0073 -0.00002	.0012 -0.3619	.5063	1.576	1.0662
TROGLOFILI	.3956 3.7857	.0760 -0.0019	.0312 -1.1366	.0202 -0.00003	.0046 -0.7387	.0036 -0.3724	.0036 .2553	.5348	1.832	1.5736
TROGLOBI	.6254 3.8636	.0506 -0.2324	.0342 -1.5709	.0071 .00002	.0015 -1.0000	.0004 .0002	.0001 -0.0608	.7193	4.902	.0558
ENDEMITI	.4954 1.6115	.0314 -0.0891	.0211 -0.5736	.0066 .00001	.0050 .0002	.0004 -0.0354		.5598	2.510	.3109

TAB. VI - Risultati dell'analisi di regressione multipla sulle variabili 2÷8 del numero di specie presenti nelle grotte delle Prealpi Trevigiane, in condizioni di linearità. Presentazione dei dati come in Tab. IV.

	1	2	3	4	5	6	7	R ² totale	F finale	cost.
CANTON TICINO	7	3	8	2	4	6				
Tot.spp.pres.	.6114	.0712	.0097	.0288	.0022	.0017		.7250	7.573	
semi log.	1.0651	.1862	1.3851	-.7304	-.0308	-.0658				5.4108
SAVONESE	7	3	8	2	6	5	4			
Tot.spp.pres.	.6364	.0364	.0417	.0039	.0036	.0007	.0001	.7228	5.748	
semi log.	.9785	.1396	-.7134	.0735	.0729	.0091	-.0056			-.4073
PREALPI TREV.	3	4	7	2	8	5				
Tot.spp.pres.	.4207	.1375	.0482	.0282	.0083	.0016		.6445	3.908	
semi log.	.0890	-.5628	.7227	-.2160	-.3180	.0236				2.3122

TAB. VII - Risultati dell'analisi di regressione multipla sulle variabili 2-÷-8 del numero totale di specie presenti nelle grotte delle tre aree studiate, in caso di adozione di un modello semilogaritmico, in cui entra - fra le variabili indipendenti - il logaritmo delle dimensioni della grotta, anziché il valore effettivo di queste. Presentazione dei dati come in Tab. IV.

Per discriminarne l'importanza relativa siamo ricorsi pertanto ad un'analisi di regressione multipla, come è stato fatto in casi analoghi da vari autori fra cui Hamilton & Coll. (1964, 1967) e da Vuilleumier (1970, 1973): l'analisi di regressione multipla scompone infatti la variazione della variabile dipendente (nel nostro caso il numero di specie) in più termini, corrispondenti alle singole variabili indipendenti.

variabile	modello lineare			modello semilog.		
2 QUOTA	C ₄	-	T ₃	C ₄	S ₄	T ₄
3 SVILUPPO	C ₁	S ₄	-	C ₂	S ₂	T ₁
4 GROTTI IN 1 KM	-	-	T ₂	-	-	T ₂
5 GROTTI IN 2,5 KM	-	-	-	-	-	-
6 ACQUA	C ₃	S ₂	-	-	-	-
7 PIPISTRELLI	C ₂	S ₁	T ₁	C ₁	S ₁	T ₃
8 ANTROPIZZAZIONE	-	S ₃	T ₄	C ₃	S ₃	-

TAB. VIII - Ordine (indicato dal suffisso) con cui le variabili 2÷8 entrano nelle equazioni di regressione multipla per il numero totale di specie presenti nelle grotte del Canton Ticino (C), del Savonese (S) e delle Prealpi Trevigiane (T), in modelli lineari e semilogaritmici. Il prospetto è limitato alle quattro variabili che, nei singoli casi, entrano per prime nella regressione.

I risultati dell'elaborazione, che utilizzano le variabili definite al § precedente, sono riassunti nelle Tab. IV, V, VI e VII.

Consideriamo ora in dettaglio l'ordine di ingresso di ciascuna delle variabili indipendenti (2÷8) nelle equazioni di regressione ottenute per le singole regioni.

Nelle equazioni (lineari e semilogaritmiche) in cui la variabile dipendente è il numero totale di specie presenti (v. Tab. VIII), sei delle sette variabili indipendenti compaiono almeno una volta fra i primi quattro termini della regressione multipla: resta escluso solo il fattore (5), cioè il numero di grotte nel raggio di 2,5 km. Dei sei fattori restanti, due (presenza di guano e area) danno ragione da soli, per larga parte, dell'entità del popolamento delle singole

variabile	troglosseni	troglofilo	troglobi	endemiti
2 QUOTA	C ₄ - T ₁	C ₄ - T ₂	C ₃ - -	C ₄ - -
3 SVILUPPO	C ₃ S ₄ -	C ₂ S ₄ T ₄	C ₂ S ₂ T ₄	C ₃ - T ₄
4 GROTTA IN 1 KM	- - T ₂	- - -	- - -	- S ₂ -
5 GROTTA IN 2,5 KM	- - T ₄	- - T ₃	- S ₄ T ₂	- S ₃ T ₂
6 ACQUA	C ₂ S ₂ -	- S ₂ -	C ₁ - -	C ₁ - -
7 PIPISTRELLI	C ₁ S ₁ T ₃	C ₁ S ₁ T ₁	- S ₁ T ₁	C ₂ S ₁ T ₁
8 ANTROPIZZAZIONE	- S ₃ -	C ₃ S ₃ -	C ₄ S ₃ T ₃	- S ₄ T ₃

Tab. IX - Ordine (indicato dal suffisso) con cui le variabili 2 ÷ 8 entrano nelle equazioni di regressione multipla per il numero di troglosseni (risp. troglofilo, troglobi, endemiti) delle grotte del Canton Ticino (C), del Savonese (S) e delle Prealpi TREVIGIANE (T), in modelli lineari. Il prospetto è limitato alle quattro variabili che, nei singoli casi, entrano per prime nella regressione.

grotte; quota e grado di antropizzazione hanno rilevanza assai minore, ma costante; l'acqua ha importanza occasionale nel Canton Ticino e nel Savonese (ma la sua apparente irrilevanza per il Trevigiano è legata alla mancata documentazione, per questa regione, del popolamento sotterraneo acquatico); infine, il numero di grotte esistenti nel raggio di 1 km sembra rilevante solo per il Trevigiano.

Delle due variabili più importanti (dimensioni della grotta e disponibilità di guano), il primo è un fattore balistico che incide sulla velocità di colonizzazione, mentre l'altro è un fattore condizionante la sopravvivenza dei «propaguli» giunti in grotta, influenzandone così (negativamente) la velocità di estinzione.

Passando all'esame delle equazioni di regressione relative alle singole componenti del popolamento (Tab. IX), notiamo che la disponibilità di guano e le dimensioni della grotta hanno ancora la massima importanza nel determinare il numero di troglosseni, di troglifili, di troglobi e di endemiti, confermando quanto abbiamo appena osservato riguardo il popolamento complessivo delle grotte studiate. Quota e antropizzazione hanno importanza minore: mentre la prima ha rilevanza per i troglosseni e i troglifili del Canton Ticino e del Trevigiano, essa è quasi irrilevante per i troglobi; questi, invece, sono disturbati dall'antropizzazione più di quanto non siano le altre componenti. Per quanto concerne i fattori restanti, osserviamo che l'addensamento delle grotte (variabili 4 e 5) risulta ancora una volta maggiormente rilevante per il Trevigiano che per le altre regioni e — come c'era da attendersi — pesa in modo particolare sul numero di troglobi e di endemiti.

4. CONCLUSIONI

Il fattore che più condiziona il numero totale di specie presenti in una grotta è la disponibilità di guano per le grotte del Savonese e del Trevigiano, mentre per il Canton Ticino risulta più importante lo sviluppo della grotta. Il prevalere di un fattore balistico, condizionante la dinamica della colonizzazione piuttosto che quella dell'estinzione, parlerebbe in questo caso in favore di un popolamento più recente, in fieri, mentre gli altri due mostrerebbero maggiore antichità o maturità, visto il prevalere di un fattore condizionante la sopravvivenza di propaguli ormai disponibili nella grotta-isola. Il medesimo quadro si ripete in sostanza per troglobi e troglifili;

per i trogllosseni i dati sono di meno ovvia interpretazione, anche per la minor uniformità delle raccolte nei diversi sistemi carsici confrontati.

La nostra analisi suggerisce che un'applicazione conseguente dei modelli e dei metodi della teoria della biogeografia insulare porta al recupero di una dimensione storica nell'analisi biogeografica. I soli fattori «balistici» non descrivono con sufficiente cura i fenomeni; un'opportuna scelta delle variabili permette invece di discriminare il peso relativo dei fattori che condizionano l'immigrazione da quelli che condizionano la sopravvivenza dei propaguli sull'area bersaglio. Una diversa importanza delle due componenti in «arcipelaghi» confrontabili può suggerire così un'antichità relativa diversa dei rispettivi popolamenti. Non meraviglia quindi che il peso dei fattori «balistici» sia maggiore per le grotte del Canton Ticino che per quelle del Savonese e del Trevigiano; non meraviglia che la disponibilità di guano sia importante, per i trogllosseni, anche nel Canton Ticino, vista la maggior vagilità di questa componente del popolamento, presto in equilibrio migratorio; poco male se, come intuì Robert MacArthur (1972), questo tipo di ricerche porta progressivamente da una *Biogeography of Islands* a una *Geographical Ecology*.

RINGRAZIAMENTI

Esprimiamo qui la nostra gratitudine al dr. Maurizio Paoletti (Follina) che ci ha fornito i dati relativi alle Prealpi Trevigiane avanti la loro pubblicazione; al dr. Graziano De Ambrosis (Centro di Calcolo dell'Università di Padova) per l'assistenza prestataci nell'elaborazione dei dati al calcolatore; ai Proff. Sandro Ruffo (Direttore del Museo civico di Storia naturale, Verona), Valerio Sbordoni e Augusto Vigna-Taglianti (entrambi dell'Istituto di Zoologia dell'Università di Roma) per il valido contributo di discussione dal quale questa nota è potuta emergere.

SUMMARY

Principles and methods of the theory of insular biogeography are applied to the study of the fauna of three cave systems (Tessin in S. Switzerland, province of Savona in Liguria and the pre-alpine district of the prov. of Treviso in north-eastern Italy). Each cave system is regarded as an archipelago, each cave as an island. A multiple regression analysis is performed: the dependent variable is the total species number of each cave (or a component of that number, i.e. the troglloxenic, troglphilic or troglobiontic forms, or the endemites of the studied area); the dependent variables are (a) ballistic factors, as cave size a.s.o., and (b) energetic factors, as the presence of guano or the availability of water, a.s.o. The ballistic factors appear to be more

important for the Tessin caves, whereas the other cave systems seem to be affected mostly by energetic factors. This difference is probably dependent on the lesser antiquity of Tessin cave fauna in respect to that of the other areas. In conclusion, this kind of analysis leads to a joint involvement both of the theory of insular biogeography and of the classical historic biogeography in the explanation of distribution patterns.

BIBLIOGRAFIA

- FRANCISCOLO M.E., 1955 - Fauna cavernicola del Savonese. *Ann. Mus. St. nat., Genova*, **67**, pp. 1-223.
- HAMILTON T.H., BARTH R.H. jr. and RUBINOFF I., 1964 - The environmental control of insular variation in bird species abundance. *Proc. natnl. Acad. Sci.*, **52**, pp. 132-140.
- HAMILTON T.H. and RUBINOFF I., 1967 - Measurements of isolation for environmental predictions of insular variation in endemism or sympatry for the Darwin finches in the Galapagos Archipelago. *Am. Nat.*, **101**, pp. 161-170.
- MACARTHUR R.H. and WILSON E.O., 1967 - The theory of insular biogeography. Princeton, Princeton Univ. Press, pp. 1-203.
- MACARTHUR R.H., 1972 - Geographical Ecology. New York, Harper & Row, pp. 1-269.
- PAOLETTI M.G. 1978 - Cenni sulla fauna ipogea delle Prealpi Bellunesi e Colli subalpini. *Le Grotte d'Italia*, (4) **7** (1977), pp. 45-198.
- POULSON Th. L. and CULVER D.C., 1969 - Diversity in terrestrial cave communities. *Ecology*, **50**, pp. 153-158.
- STRINATI P., 1966 - Faune cavernicole de la Suisse. *Ann. Spéleol.*, **21** pp. 5-268 et 351-571.
- VUILLEUMIER F., 1970 - Insular biogeography in continental regions. The northern Andes of South America. *Am. Nat.*, **104**, pp. 373-388.
- VUILLEUMIER F., 1973 - Insular biogeography in continental regions. II. Cave faunas from Tessin, southern Switzerland. *Syst. Zool.*, **22**, pp. 64-76.