

La ricchezza specifica dei Vertebrati in Sicilia

MAURIZIO SARÀ*, BRUNO MASSA**, MASSIMILIANO DI VITTORIO*

* *Dipartimento di Biologia Ambientale e Biodiversità,
via Archirafi 18, 90123 Palermo (Italy); e-mail: maurizio.sara@unipa.it*

** *Dipartimento Demetra, Ed. 4,
v.le delle Scienze, 90128 Palermo (Italy)*

Key words: Atlas project, regional biodiversity, vertebrates, Sicily, general regression models.

SUMMARY

The 'Atlas of Sicilian Vertebrates' recorded the distribution of Vertebrates during the 1993-2006 on a UTM grid with cells of 10 x 10 km. Excluding the Chiropterans and all the vertebrates living on the surrounding small islands, 193 species (7 Amphibians, 18 Reptiles, 147 Birds, 21 Mammals) resulted to be present in Sicily. Preliminary investigations found a statistically significant correlation among species richness of each class in the UTMs, which means for example that the richest cells in Amphibians were also the richest in Reptiles, Birds, etc. This correlation persisted when the area-effect was removed by excluding all peripheral cells that included coastland smaller than 100 km². There is a low probability that such correlation was an artefact due to the differential sampling efforts across Sicily because censuses were conducted by a high number of collaborators who acquired a thorough territorial knowledge during this study. We thus hypothesised that some macro-ecological variables could be responsible for the distribution of species richness in the territory.

We considered 61 variables belonging to 13 climatic, physiographic and land use data-sets. They were preliminarily treated to rule out auto-correlation and collinearity. This procedure allowed us to extract 25 independent predictors that we regressed on species richness per each Class and on the total Vertebrate richness in the UTM cells by using the GRM method and a forward stepwise selection of variables. Most variation of total vertebrate richness in Sicily was explained by a limited set of 5 variables: 2 Corine Land Covers (forests and semi-natural areas; wetland and water corpses) and 3 climatic (annual potential evapo-transpiration range, annual mean temperature excursion and De Martonne's aridity index). Bird species richness was explained by the whole set of 5 variables, whereas a more restricted set explained the distribution of Amphibian (forests and semi-natural areas; wetland and water corpses; annual potential evapo-transpiration range), Reptile (forests and semi-natural areas; annual potential evapo-transpiration range) and Mammal (annual potential evapo-transpiration range; annual mean temperature excursion) species richness.

The UTM cells with highest values of species richness were characterized by an annual potential evapo-transpiration range 1.5 times larger than in the poorest cells, and by a threefold annual mean temperature excursion. The extension of forests, semi-natural areas, wetlands and water corpses were, on average, twofold than those in the poorest areas. More species, generally Birds, live in driest areas as shown by the inverse relationship between the De Martonne's aridity index and species richness. Apparently, in the area equivalent to a UTM cell of 100 km², the wider is the range of climatic variation, the larger becomes the environmental heterogeneity. This, in turn, provides more suitable habitats and potential niches for species.

INTRODUZIONE

Oggi è sempre più evidente come sia necessario comprendere la struttura e dinamica dei popolamenti locali di specie in base a criteri che considerino cause determinanti e processi più distanti ed estesi di quelli immediatamente per-

cepibili su una scala locale (Gaston e Blackburn, 2000). Ciò ha stimolato la nascita e lo sviluppo di una prospettiva macroecologica, che esamina la ricchezza e la distribuzione delle specie su ampie scale temporali e spaziali (Brown e Maurer, 1989; Gaston e Blackburn, 1999; Maurer, 1999) e con approcci e risultati spesso evidenziabili solamente su un'appropriata 'scala-regionale' (Gaston e Blackburn, 2000); laddove la regione non ha alcun significato amministrativo, ma coincide con un'entità geografica di superficie variabile definita in modo pragmatico in funzione di obiettivi di ricerca precisi (Blondel, 1995). In ambito zoogeografico, la Sicilia è un'entità geografica riconoscibile e con un assetto faunistico specifico e distinguibile da quello di altri territori italiani (provincia sicula in Minelli et al., 2005) e rappresenta quindi un'area congrua per analisi macroecologiche.

La redazione di atlanti faunistici è un metodo conveniente per analizzare la distribuzione delle specie e i modelli di presenza, abbondanza, rarità e ricchezza specifica (Turner et al., 1988; Williams, 1998; Williams et al., 1996; Wiens, 2002). Questo approccio usa un inquadramento delle aree standardizzato su griglie formate da celle d'area simile ed è basato su mappe geografiche a differenti scale spaziali (Donald e Fuller, 1998). Gli atlanti faunistici sono generalmente costruiti sulla proiezione geografica Universale Transversa di Mercatore (UTM) e sono divenuti un procedimento sempre più adottato per sintetizzare la distribuzione delle specie dalle scale continentali (Hagemeyer e Blair, 1997) a quelle regionali (e.g. Massa, 1985; Lo Valvo et al., 1993, per citare solo la Sicilia). La recente redazione dell'atlante dei Vertebrati della Sicilia (AA.VV., 2008) ha aggiornato la distribuzione degli uccelli nidificanti, pubblicata nei due precedenti atlanti (Massa, 1985; Lo Valvo et al., 1993), fornendo per la prima volta i dati di distribuzione per l'erpetofauna e la teriofauna dell'isola.

Uno dei principali dati sintetici che emergono da quest'opera concerne la ricchezza specifica (S) dei Vertebrati della provincia sicula. La ricchezza specifica, ovvero il numero di specie viventi in un'area definita, è uno dei più semplici indici di diversità ecologica (Magurran, 1988). Ciononostante, è ben risaputo come non sia così semplice ed immediato stabilire l'esatto valore di ricchezza specifica di un'area, perché ad esempio parecchie specie possono sfuggire al censimento per i più svariati motivi dipendenti dalla loro ecologia, abbondanza e dimensione, oppure dalla struttura dell'habitat, e ancora da inadeguati sforzi di campionamento. Spesso l'impossibilità di compiere esplorazioni uniformi e protocolli di campionamento omogenei in un vasto territorio produce una raccolta incompleta o carente di dati di ricchezza specifica (cfr. 'Wallacean shortfall' di Lomolino et al., 2006).

Il grado d'esplorazione e di copertura territoriale dei censimenti svolti per l'atlante dei Vertebrati siciliani garantiscono un'elevata accuratezza dei valori di ricchezza specifica degli anfibi, rettili, uccelli e mammiferi (con l'esclusione dei

chiroterti) per ognuno dei quadranti UTM di 10 km di lato in cui è suddivisa la Sicilia. Analisi preliminari hanno mostrato un andamento della ricchezza specifica di ogni classe concorde nei quadranti UTM: pertanto, un quadrante ricco di specie di una classe tende ad esserlo anche per le altre e viceversa. Si può perciò ipotizzare l'esistenza di fattori generali (variabili macroecologiche) che determinano la distribuzione della ricchezza specifica dei Vertebrati dell'isola. Questo contributo intende analizzare ed eventualmente spiegare i dati di ricchezza specifica delle quattro classi di Vertebrati alla luce di quest'ipotesi.

MATERIALI E METODI

Il presente studio è basato sulla banca dati creata per la redazione del progetto atlante della biodiversità dei Vertebrati della Sicilia (AA.VV., 2008). Nel database in formato Microsoft® Access sono confluiti più di 21000 dati di 85 collaboratori, inoltre i dati del progetto MITO relativi alla Sicilia e quelli dei due atlanti precedenti (Massa e Falcone, 2008). Dal database sono stati estratti tutti i dati di presenza delle specie vertebrate censite in Sicilia dal 1993 al 2006, escludendo quindi tutti i dati storici e quelli relativi alle piccole isole.

Il territorio della Sicilia, la più grande isola del Mediterraneo (25707 km²), è stato inquadrato in 288 celle UTM di 10 x 10 km. L'area totale della griglia di riferimento che comprende il mare in tutte le celle costiere, è pertanto leggermente più estesa dell'estensione reale dell'isola (3093 km² addizionali). Le mappe reali di solito hanno bordi irregolari e frastagliati rappresentati dalle coste, ma in questo studio l'analisi statistica è stata basata su una griglia di riferimento che assume bordi regolari corrispondenti alle celle UTM, poiché secondo He e Reed (2006) i modelli statistici così derivati sono ugualmente applicabili e validi. Ciononostante, per precauzione, è stata eseguita un'analisi che ha escluso tutte le celle costiere e considerato il solo sotto-campione di celle UTM (N = 189) con una superficie di terraferma pari a 100 km², in modo da controllare che l'estrapolazione fatta sul campione totale fosse valida.

Tutte le elaborazioni sono state fatte in ambiente ESRI® ArcGis 9.2 ed hanno permesso di calcolare il numero di quadranti UTM di 10 x 10 km occupato da ogni specie e le ricchezze specifiche di ogni UTM di 10 x 10 km suddivise per Classe tassonomica. Per ogni quadrante UTM sono stati estratti dalle banche dati in ambiente GIS dell'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente i dati di 13 gruppi di variabili fisiografiche, climatiche e di uso del suolo (Tab. I). Tutti i dati estratti sono stati trasformati in logaritmi, ad eccezione della pendenza % media del quadrante che è stata trasformata in arcoseno. L'ordine d'estrazione (ID value) delle 288 celle è stato randomizzato e i dati provenienti da ogni gruppo di variabili sono stati sottoposti ad un'analisi preventiva di collinearità ed auto-correlazione, mediante l'uso del modulo di calcolo stati-

Tab. I - Quadro generale delle variabili considerate nel presente lavoro. Le variabili sono state misurate su scala d'intervallo (ad esempio per il bioclina da 1: Termomediterraneo secco inferiore a 20: Crioromediterraneo umido superiore, cfr. Brullo et al., 1996). Nel caso della pendenza la minima è sempre 0 e l'intervallo min-max coincide con la massima. I Corine Land Cover 4 (aree umide) e 5 (corpi idrici) sono stati cumulati assieme. Dopo il controllo della collinearità e auto-correlazione, le 25 variabili selezionate sono state contemporaneamente utilizzate in un modello di regressione generale (GRM) con selezione delle variabili predittive 'forward stepwise'.

Gruppo di variabili	Variabili di partenza	Variabili selezionate
Bioclina	Min, max, intervallo min-max, media, mediana	Min, mediana
Indice di aridità di De Martonne	Min, max, intervallo min-max, media, mediana	Min, mediana
Escursione termica annua	Min, max, intervallo min-max, media, mediana	Media, mediana
Evotraspirazione potenziale annua	Min, max, intervallo min-max, media, mediana	Max, intervallo min-max, mediana
Evapotraspirazione potenziale del mese più freddo (gennaio)	Min, max, intervallo min-max, media, mediana	Max, mediana
Evapotraspirazione potenziale del mese più caldo (luglio)	Min, max, intervallo min-max, media, mediana	Mediana
Temperatura media annua	Min, max, intervallo min-max, media, mediana	Mediana
Temperatura del mese più freddo (gennaio)	Min, max, intervallo min-max, media, mediana	Mediana
Temperatura del mese più caldo (luglio)	Min, max, intervallo min-max, media, mediana	Min, mediana
Precipitazione media annua	Min, max, intervallo min-max, media, mediana	Min, mediana
Altitudine m. slm	Min, max, intervallo min-max, media, mediana	Min
Pendenza	Max, media	Max, media
Estensione (ha) dei Corine Land Cover (1° livello)	Aree artificiali	Aree artificiali
Aree forestali e semi-naturali	Aree forestali e semi-naturali	Aree forestali e semi-naturali
Aree agricole	Aree agricole	Aree agricole
Aree umide e corpi idrici	Aree umide e corpi idrici	Aree umide e corpi idrici
N	61	25

stico Regfor, in modo da selezionare le variabili meno ridondanti e intercorrelate tra loro. Per quanto riguarda l'auto-correlazione, Regfor ha permesso di calcolare per le variabili d'ogni gruppo (ad esempio: minima, massima, media, mediana e intervallo min-max dell'escursione di temperatura annua, cfr. Tab. I) la statistica di Durbin-Watson e i suoi limiti di confidenza al 95%, segnalando come autocorrelate tutte le variabili del gruppo che ricadono all'interno dell'intervallo di confidenza. Poi, per quanto riguarda la collinearità, il software segnala tutte le variabili che hanno un Variance Inflation Factor ≥ 10 , che corrisponde ad un coefficiente di determinazione $R^2 \geq 0,90$ rispetto a tutte le altre variabili del gruppo; assumendo perciò una soglia di eliminazione \geq al 90% di correlazione.

La procedura di controllo della collinearità e auto-correlazione ha permesso di ridurre a 25 il set iniziale di 61 variabili (Tab. I). Le variabili selezionate rappresentano i predittori, o variabili indipendenti, della ricchezza specifica totale e delle singole classi di Vertebrati. Le matrici di dati sono state quindi ana-

lizzate con una estensione del GLM o modello generale lineare: il modello di regressione generale (GRM). Questo è un procedimento praticamente identico al più noto GLM, ed, infatti, si basa anch'esso sul metodo di regressione dei minimi quadrati, ma in più include la possibilità di trattare gli effetti di variabili predittive categoriche o continue in disegni che analizzano simultaneamente più variabili dipendenti, ed inoltre include diverse tecniche di costruzione di modelli lineari come le regressioni 'forward' e 'backward stepwise'. In questo contributo, mediante il software Statistica 6.0, è stato impostato un modello di regressione generale 'forward stepwise' che ha saggiato gli effetti delle 25 variabili sulla ricchezza specifica delle classi di Vertebrati della Sicilia.

RISULTATI E DISCUSSIONE

La ricchezza specifica dei Vertebrati della Sicilia

Il grado di conoscenza e di esplorazione del territorio siciliano è abbastanza elevato, almeno per quanto riguarda i Vertebrati. Per una trattazione approfondita dell'ecologia, della dinamica storica dei popolamenti e della sistematica delle specie si rimanda al testo (AA.VV., 2008). Tutte le specie potenzialmente rinvenibili in Sicilia sono agevolmente riconoscibili ed identificabili dagli specialisti che hanno condotto i rilevamenti sul campo. Ad ogni modo, le osservazioni problematiche sono state vagliate criticamente ed eventualmente cancellate nel momento di elaborazione e redazione finale del progetto. Il grado d'indeterminazione sistematica si restringe, allo stato delle conoscenze attuali, a due taxa d'anfibi: le rane verdi (*Rana hispanica* e *R. klepton bergeri*) ed alla recente scoperta, dopo analisi genetiche, della presenza di *Bufo balearicus* che sostituisce *B. siculus* in alcune aree della Sicilia nord-orientale (Colliard et al., 2010). Probabilmente in alcune celle questi taxa coesistono e quindi andrebbero leggermente modificati i relativi valori di ricchezza specifica.

Con l'esclusione delle piccole isole e dei chiroterri, il progetto Atlante dei Vertebrati ha censito 194 specie, di cui 9 alloctone. Una cella UTM di 10 km di lato ha una S media di 70 Vertebrati, con un notevole intervallo di ricchezza tra la cella più ricca e quella più povera (2-120 specie, Tab. II).

La distribuzione di frequenza delle aree occupate dalle specie in tutta la Sicilia, ordinata per classi di dimensione crescente, mostra un forte scostamento verso sinistra dalla curva normale (skewness positiva, cfr. Fig. 1). Ciò significa che la maggior parte delle specie è localizzata ed ha piccole aree di distribuzione (entro la classe 100-5000 km²) e solo poche sono quelle distribuite in tutta l'isola. La distribuzione con skewness positiva rappresenta uno dei più costanti modelli macroecologici e si riscontra in pratica, in tutti i raggruppamenti tassonomici, a tutte le latitudini geografiche ed anche in assemblaggi fossili (cfr. Gaston e Blackburn, 2000). In Tab. III è riportato l'elenco delle 10 specie ter-

Tab. II - Ricchezze specifiche delle specie di vertebrati censite – piccole isole e chiroterri esclusi – durante i lavori dell'Atlante della Biodiversità della Sicilia (AA.VV., 2008). L'ultima colonna riporta la media, deviazione standard e i valori minimi e massimi della ricchezza nelle celle UTM di 10 km di lato in cui è stata suddivisa la Sicilia. Le specie non autoctone sono: Anfibi, *Xenopus laevis* (introdotto accidentalmente); Rettili, *Trachemys scripta* e *Testudo graeca* (presenti non acclimatate); Uccelli, *Psittacula krameri* (sfuggito da cattività), *Gyps fulvus* e *Porphyrio porphyrio* (reintrodotti); Mammiferi, *Myocastor coypus* (introdotto accidentalmente), *Sus scrofa* e *Dama dama* (reintrodotti).

	S autoctone	S alloctone o reintrodotte	X ± ds (min-max)
Anfibi	6	1	2,9 ± 1,4 (0-5)
Rettili	16	2	8,4 ± 3,0 (0-14)
Uccelli	144	3	48,0 ± 17,1 (2-83)
Mammiferi	18	3	10,1 ± 4,7 (0-20)
Totale	184	9	70,0 ± 23,0 (2-120)

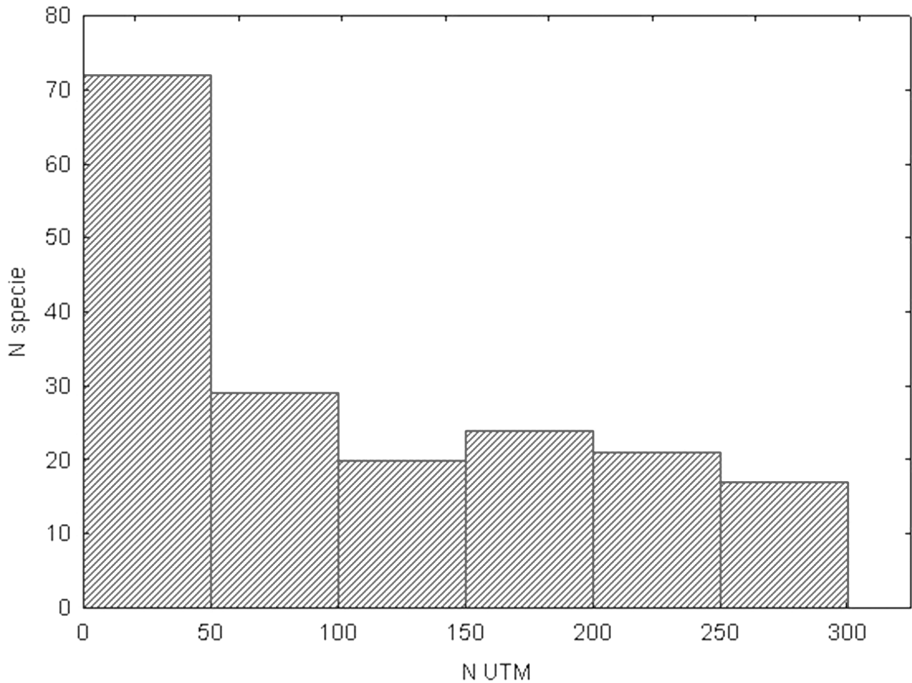


Fig. 1 - Frequenza di distribuzione del numero di celle UTM di 10x10 km occupate dai Vertebrati della Sicilia. Più di 70 specie hanno una ridotta area di distribuzione (100-5000 km²), meno di 20 sono ubiquitarie (> 25000 km²).

ritorialmente più comuni e delle 10 più localizzate; in entrambi i casi si tratta in prevalenza di Uccelli. Due rettili (*Podarcis sicula* e *Hierophis viridiflavus*) rientrano nel gruppo di specie più comuni, mentre la nutria (*Myocastor coypus*) è l'unica specie rara non appartenente alla classe degli Uccelli. La localizzazione

Tab. III - Le 10 specie territorialmente più diffuse e le 10 territorialmente più rare censite in Sicilia nel periodo 1993-2006. Sono escluse le specie di uccelli che hanno nidificato irregolarmente nel corso del periodo di studio.

Specie comuni	N UTM	Specie rare	N UTM
<i>Passer hispaniolensis</i>	279	<i>Carduelis spinus</i>	1
<i>Podarcis sicula</i>	279	<i>Circaetus gallicus</i>	1
<i>Falco tinnunculus</i>	278	<i>Myocastor coypus</i>	1
<i>Hierophis viridiflavus</i>	276	<i>Bubulcus ibis</i>	2
<i>Pica pica</i>	276	<i>Netta rufina</i>	2
<i>Carduelis carduelis</i>	273	<i>Plegadis falcinellus</i>	2
<i>Galerida cristata</i>	268	<i>Actitis hypoleucos</i>	2
<i>Columba palumbus</i>	267	<i>Marmaronetta angustirostris</i>	3
<i>Sylvia melanocephala</i>	266	<i>Anas strepera</i>	3
<i>Cisticola juncidis</i>	262	<i>Anas clypeata</i>	3

territoriale della nutria, mammifero alloctono, è in questo contesto un dato positivo, che potrebbe facilitare operazioni di controllo ed estirpazione. La maggior parte delle specie rare di Uccelli sono legate ad ambienti umidi o fluviali; una minoranza è invece legata ad habitat rari o esclusivi, come il lucherino (*Carduelis spinus*), localizzato negli ambienti boschivi d'alta quota dell'Etna.

I fattori determinanti la ricchezza specifica

La ricchezza specifica di ogni singola classe di Vertebrati risulta significativamente correlata con le altre (Tab. IV). Questo risultato può essere determinato da diverse cause, tra le principali annoveriamo: i) effetto-area (cfr. Connor e McCoy, 1979); poiché i contorni irregolari dell'isola sono inquadrati in celle che inglobano aree costiere di diversa estensione e quindi le ricchezze specifiche di tutte le classi tenderanno a variare in modo concorde con la variazione dell'area delle celle; ii) difetti di esplorazione (cfr. Lomolino et al., 2006); se s'ipotizza la tendenza dei rilevatori a recarsi per i censimenti sempre nelle stesse aree, ad esempio quelle protette o naturalisticamente più importanti; trascurandone altre, come quelle costiere marginali o le zone ad agricoltura intensiva, ecc.; iii) esistenza di macro-fattori fisici, ambientali o antropici (cfr. Gaston e Blackburn, 2000) che influiscono sul modello generale di distribuzione dei Vertebrati della Sicilia, determinando quindi una variazione concorde della ricchezza specifica di ogni quadrato UTM. Le prime due cause determinerebbero un risultato fittizio, mentre la terza sarebbe certamente interessante da investigare.

L'effetto-area è stato controllato riducendo il numero di celle a quelle effettivamente di 100 km² di area, cioè escludendo tutte le celle costiere; ed in questo caso la correlazione tra le classi è rimasta significativa (Tab. IV). Non è stato possibile trattare in modo statistico i dati, ad esempio con il metodo dei

Tab. IV - Matrice di correlazione tra la ricchezza specifica delle classi di vertebrati sul totale delle celle UTM di 10 km di lato (N = 288) e considerando solo le celle con area pari a 100 km² (N = 189, valori tra parentesi). In tutti i casi, la correlazione è statisticamente significativa per $p < 0,05$.

	N mammiferi	N rettili	N uccelli
N anfibi	0,43 (0,25)	0,55 (0,48)	0,49 (0,39)
N mammiferi		0,61 (0,52)	0,57 (0,52)
N rettili			0,49 (0,49)

residui di regressione (cfr. Stoch, 2006), in modo da controllare il possibile effetto di difformità di esplorazione e di copertura territoriale omogenea dei censimenti (il cosiddetto Wallacean shortfall), poiché la struttura del database utilizzato nella redazione dell'atlante non consente di risalire al numero di osservazioni per taxon per cella. Ciononostante, è possibile escludere il Wallacean shortfall con buona attendibilità per le seguenti ragioni: a) nel corso delle riunioni di coordinamento si è stabilito di dedicarsi soprattutto all'esplorazione delle aree meno conosciute e di solito trascurate: come l'interno delle province di Caltanissetta e di Enna, o alcune aree delle province di Ragusa e Siracusa, e parecchie delle aree protette minori; b) la distribuzione degli 85 operatori copre tutta la Sicilia, seppur con concentrazioni a Palermo, Catania e nelle maggiori città; c) i tre coordinamenti (erpetofauna, ornitofauna e teriofauna) ed i loro gruppi di collaboratori fanno capo a diversi Dipartimenti universitari (Palermo e Catania), che negli anni hanno organizzato le ricerche e le raccolte di dati in modo autonomo e realizzato un'esplorazione complementare della Sicilia occidentale (da Palermo) ed orientale (da Catania).

L'uso del modello di regressione generale (GRM) ha permesso di verificare se e quanto i fattori fisici e ambientali determinano la correlazione tra le ricchezze specifiche delle classi di Vertebrati. I risultati del modello sono riportati in Tab. V ed evidenziano un'elevata significatività statistica con valori diversi del coefficiente di determinazione R^2 per ogni classe tassonomica. I dati di

Tab. V - Risultati del modello GRM per le singole classi e per la ricchezza totale dei Vertebrati della Sicilia. Le variabili selezionate dal modello sono illustrate graficamente in Fig. 2 e 3. R = coefficiente di correlazione, R^2 = coefficiente di determinazione.

	R	R^2	F	P
Log S anfibi	0,349	0,122	7,846	0,000001
Log S mammiferi	0,461	0,212	15,197	0,000
Log S rettili	0,353	0,124	8,007	0,000
Log S uccelli	0,511	0,261	19,962	0,000
Log S totale	0,536	0,287	22,761	0,000

ricchezza specifica sono riportati in logaritmi perché questa trasformazione ha aumentato il valore di R^2 e quindi la bontà del modello; il cambiamento di S spiegato dalle variabili predittive risulta maggiore nel caso dei Mammiferi e degli Uccelli rispetto agli Anfibi e Rettili.

Il metodo di regressione forward stepwise ha selezionato per ogni classe di Vertebrati le variabili che meglio predicono l'andamento della ricchezza specifica negli UTM. In Fig. 2 è riportato il grafico con i valori del t di Student e la soglia di significatività ($p = 0,05$) associati alla stima dei parametri delle variabili selezionate. Nel caso degli Anfibi, solo 5 delle 25 variabili selezionate in partenza rientrano nel modello di regressione generale, ma solo 3 di queste hanno i parametri con le stime maggiori e significative. In definitiva, la variazione del log della ricchezza specifica degli Anfibi negli UTM in cui è inquadrata la Sicilia dipende, in ordine d'importanza, dal log dell'estensione delle aree forestali e semi-naturali, dal log dell'intervallo dell'etp annuale e dal log dell'esten-

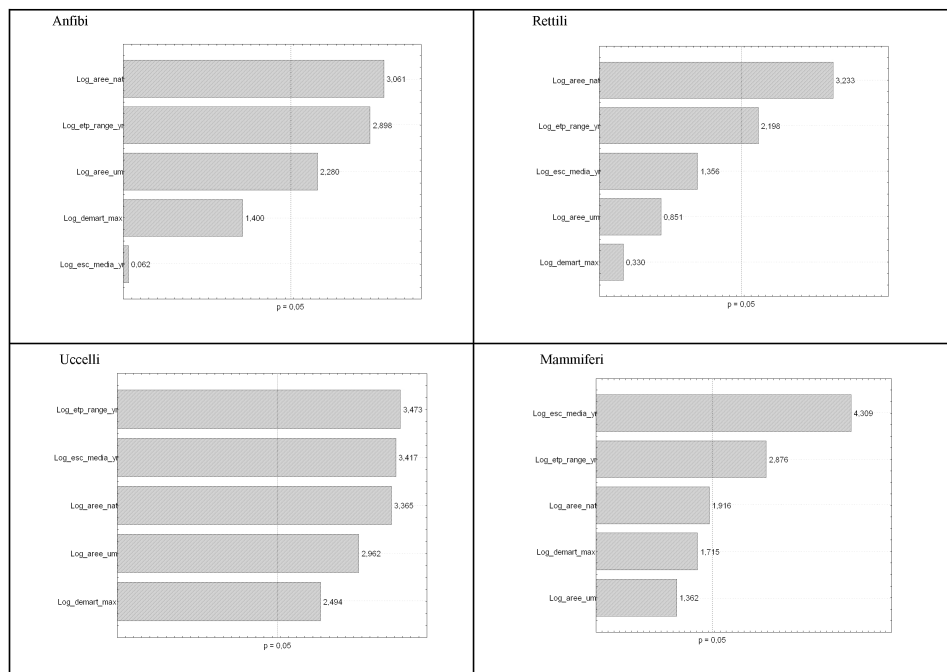


Fig. 2 - Grafico di Pareto che riporta le variabili predittive selezionate col modello di regressione lineare generale forward stepwise. Per ogni classe di vertebrati le variabili sono ordinate secondo il contributo ponderale dei parametri (valori t) in modo da evidenziare quelle con maggiore importanza predittiva. La linea tratteggiata indica la soglia di significatività ($p < 0,05$) delle variabili.

Log_etp_range_yr = logaritmo dell'intervallo min-max di evapotraspirazione potenziale annuale; log_esc_media_yr = logaritmo dell'escursione media annuale di temperatura; Log_demart_max = logaritmo del valore massimo dell'indice di aridità di De Martonne; Log_aree_nat = logaritmo dell'estensione del Corine Land Cover 'aree forestali e semi-naturali'; Log_aree_um = logaritmo dell'estensione dei Corine Land Cover 'aree umide e corpi idrici'.

sione delle aree umide presenti in ogni singola cella UTM. Le stesse 5 variabili sono selezionate dal modello GRM per le altre tre classi, ma con un peso ed una significatività diversa. Per i Rettili solo le aree forestali e semi-naturali e l'intervallo di etp annuale hanno un valore statisticamente significativo. La ricchezza specifica degli Uccelli è a sua volta determinata significativamente da tutte e 5 le variabili, con un peso più o meno equivalente dell'etp, dell'escursione media di temperatura e dell'estensione delle aree forestali e semi-naturali. Nel caso dei Mammiferi infine, si nota il peso dei valori annuali di escursione di temperatura e di etp. Il modello GRM per la ricchezza specifica totale riconosce un peso statisticamente significativo a tutte e 5 le variabili (Fig. 3).

Nelle celle UTM con S maggiore della media (> 70) l'intervallo di etp tende ad essere circa 1,5 volte più ampio (tra 745 e 900 mm/annui) che nelle celle con S inferiore alla media dove è contenuto tra 800 e 900 mm/annui. L'escursione termica media annua delle celle con S maggiore della media è maggiore di circa tre volte che nelle altre (14-17 vs 14-15 °C). L'indice di aridità di De Martonne è l'unico parametro che varia negativamente con la ricchezza speci-

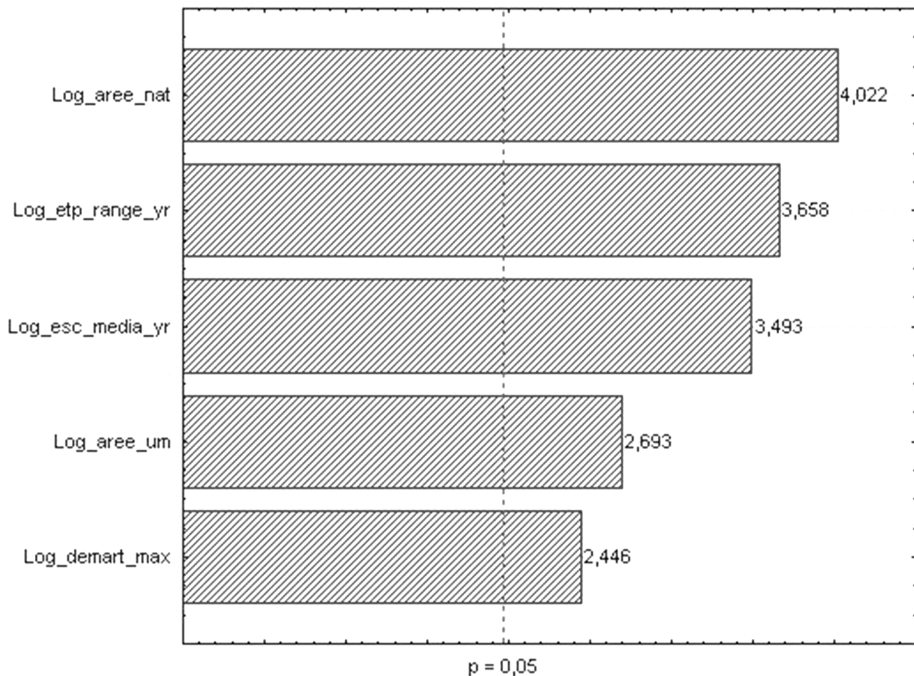


Fig. 3 - Grafico di Pareto che riporta le variabili predittive sezionate col modello di regressione lineare generale forward stepwise, per la ricchezza specifica totale dei Vertebrati della Sicilia. Le variabili sono ordinate secondo il contributo ponderale dei parametri (valori t) in modo da evidenziare quelle con maggiore importanza predittiva. La linea tratteggiata indica la soglia di significatività ($p < 0,05$) delle variabili. Le abbreviazioni delle variabili sono uguali a quelle riportate in Fig. 2.

fica, le celle più ricche tendono ad avere un indice più basso di quelle meno ricche. In pratica, circa il 40% delle celle con S maggiore della media hanno un clima semiarido e un altrettanto 40% un clima sub-umido, mentre in quelle più povere più del 70% mostra un clima sub-umido. Nelle celle più ricche, l'estensione delle aree forestali e seminaturali è circa il doppio di quelle più povere (in media circa 3700 vs 1850 ettari) così come quella delle aree umide (in media circa 40 vs 28 ettari).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Mediante il procedimento statistico utilizzato è possibile spiegare le variazioni della ricchezza specifica dei Vertebrati censiti in Sicilia, secondo pochi fattori climatici e d'uso del suolo. Sebbene ci siano alcune differenze tra le classi tassonomiche, si nota il ruolo prevalente dell'estensione delle aree forestali e semi-naturali e dell'intervallo di etp annuale come predittori della distribuzione della ricchezza specifica dei vertebrati della Sicilia. Il Corine Land Cover di 1° livello, denominato 'aree forestali e semi-naturali', raggruppa un insieme di habitat caratterizzati da associazioni vegetali forestali, erbacee e/o arbustive, suoli nudi e rocciosi, ecc. L'estensione di questa categoria dentro una cella UTM influisce sulla ricchezza specifica di tutti i Vertebrati, richiamando l'importanza della protezione e di un'attenta tutela della varietà di ambienti e del complesso di habitat che essa sottintende.

L'estensione delle aree umide e dei corpi idrici naturali e artificiali è importante per gli Anfibi e gli Uccelli acquatici (anatidi, ardeidi, limicoli, ecc); già Alicata et al. (2004) avevano evidenziato il ruolo di questi ambienti e, soprattutto, della loro corretta gestione, per l'incremento della biodiversità dell'isola. In effetti, nel corso degli ultimi trent'anni, monitorati dai tre progetti Atlante dell'avifauna nidificante, si è assistito ad un progressivo aumento delle specie nidificanti, e spesso delle popolazioni di uccelli, legate agli ambienti di acque dolci e salmastre. Ad esempio nel periodo 1979-83, nidificavano solo due specie di ardeidi e tre di anatidi ed in molti casi (*Nycticorax nycticorax*, *Aythya ferina*, *Aythya nyroca*) si trattava delle prime nidificazioni (cfr. Massa, 1985), mentre negli ultimi anni (cfr. AA.VV., 2008) sono state rilevate 7 specie di ardeidi e 9 di anatidi. L'unica specie delle acque interne in pericolo critico di estinzione locale è il merlo acquaiolo (*Cinclus cinclus*), oggi localizzato in pochissime aree residue che ospitano ancora un reticolo idrografico attivo e acque di buona qualità.

La relazione inversa tra indice di aridità di De Martonne e la ricchezza specifica degli uccelli evidenzia il gran numero di specie adattate a climi aridi e mediterranei: non solo alaudidi, silvidi e altri passeriformi; ma anche limicoli come l'occhione (*Burhinus oediconemus*) o rapaci minacciati la cui tutela è

d'interesse comunitario come l'aquila del Bonelli (*Aquila fasciata*), il capovaccaio (*Neophron percnopterus*), il lanario (*Falco biarmicus*) o il grillaio (*Falco naumanni*), ecc. Il peso della componente avifaunistica (78%) sul totale dei Vertebrati censiti, fa in modo che l'indice di De Martonne sia presente, anche se all'ultimo posto, tra i 5 selezionati per predire la ricchezza specifica totale (Fig. 3).

Il significato dell'intervallo di evapo-traspirazione annua e dell'escursione termica media annua non è immediato e potrebbe essere ricondotto alla disponibilità di energia di un ecosistema (Energy hypothesis: Wright, 1983). Quest'ipotesi è spesso considerata come una spiegazione – alternativa all'effetto dell'area – nel determinare la variazione della ricchezza specifica di un'area. In poche parole, maggiore è l'energia disponibile in un'area, maggiore sarà la base di risorse disponibili e quindi la possibilità per più specie di coesistere in quell'area (Wright, 1983), questa è comunque una semplificazione non sempre vera ed applicabile a tutti gli ambienti (cfr. Gaston e Blackburn, 2000). Oltre alla produttività primaria, anche l'evapotraspirazione attuale (cui è correlata la etp potenziale) è comunemente usata come un parametro che permette di misurare in modo sintetico l'energia totale disponibile nell'ambiente (Wright, 1983; Field et al., 2005). Allo stesso modo, diversi studi sulla gamma-diversità hanno mostrato la prevalenza dei modelli basati su parametri climatici nella spiegazione della ricchezza specifica regionale (O'Brien, 1998; Field et al., 2005; Hawkins et al., 2003). Nel caso degli Uccelli della Gran Bretagna, ad esempio, Turner et al. (1988) hanno mostrato che la distribuzione della ricchezza specifica degli Uccelli nidificanti e svernanti può essere prevista con buona approssimazione dai gradienti climatici ed in definitiva dall'ipotesi di disponibilità energetica. Questi studi implicano una connessione causale tra le dinamiche energetiche del ciclo dell'acqua basate sul clima, la fotosintesi, l'evapotraspirazione e la ricchezza di specie (Gaston e Blackburn, 2000). Nel caso della Sicilia, non è tanto l'energia totale disponibile nell'ambiente, in questo caso rappresentata dall'etp, ma l'ampiezza dell'intervallo minimo-massimo dei suoi valori, che spiega meglio la ricchezza specifica; infatti, l'etp massima annua o di gennaio sono escluse dal modello come non predittive, inoltre la media di etp è maggiore nelle celle più povere (risultato concorde con la relazione inversa riscontrata per l'indice di De Martonne, poiché in ambienti molto aridi l'etp è elevata). Una situazione simile si riscontra per l'escursione termica annua, per cui le celle in cui si riscontra una maggiore ricchezza specifica sono quelle con un'elevata variazione media delle temperature annuali.

In definitiva, è forse possibile interpretare il significato di queste due variabili predittive in termini di complessità strutturale delle unità territoriali impiegate. Su una superficie di riferimento relativamente ampia, come quella rap-

presentata da una cella UTM di 100 km², ampi intervalli di escursione termica e di etp annua rappresenterebbero il segnale di una grande eterogeneità ambientale; ciò in ultima analisi significa la presenza di un maggior numero di habitat e nicchie potenziali che fanno aumentare la ricchezza specifica dei Vertebrati.

RINGRAZIAMENTI

Lavoro svolto con finanziamenti ex-60% dell'Ateneo di Palermo, anni 2003 e 2004 (responsabile: M. Sarà), nell'ambito dell'assegno di Ricerca MiUR 2007 (M. DiVittorio) e delle attività della Stazione d'Inanellamento di Palermo (responsabile: B. Massa).

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. 2008 - Atlante della Biodiversità della Sicilia: Vertebrati terrestri. Studi e Ricerche, 6, ARPA Sicilia, Palermo.
- ALICATA P., DE PIETRO R., MASSA B. 2004 - Il contributo delle Riserve Naturali alla conservazione della fauna in Sicilia. *Naturalista sicil.*, 28: 389-410.
- BLONDEL J. 1995 - Biogeographie: approche écologique et évolutive. Masson, Paris.
- BROWN J.H., MAURER B.A. 1989 - Macroecology: the division of food and space among species on continents. *Science*, 243: 1145-1150.
- BRULLO S., SCELSI F., SIRACUSA G., SPAMPINATO G. 1996 - Caratteristiche bioclimatiche della Sicilia. *Giorn. bot. ital.*, 130: 177-185.
- COLLIARD C., SICILIA A., TURRISI G.F., ARCULEO M., PERRIN N., STÖCK M., 2010 - Strong reproductive barriers in a narrow hybrid zone of West-Mediterranean green toads (*Bufo viridis* subgroup) with Plio-Pleistocene divergence. *BMC Evolutionary Biology*, 10: 232-248.
- CONNOR E.F., MC COY E.D. 1979 - The statistics and biology of the species-area relationship. *Am. Nat.*, 113: 791-833.
- DONALD P.F., FULLER R. 1998 - Ornithological atlas data: A review uses and limitations. *Bird Study*, 45: 129-145.
- FIELD R., O'BRIEN E.M., WHITTAKER R.J. 2005 - Global models for predicting woody plants richness from climate: development and evaluation. *Ecology*, 86: 2263-2277.
- GASTON K.J., BLACKBURN T.M. 1999 - A critique for macroecology. *Oikos*, 84: 353-368.
- GASTON K.J., BLACKBURN T.M. 2000 - Pattern and Process in Macroecology. Blackwell Publishing, Malden, Massachusetts.
- HAGEMEIJER W.A.J., BLAIR M.J. 1997 - The EBCC Atlas of European Breeding Birds. Their Distribution and Abundance. T e AD Poyser, London.
- HAWKINS B.A., FIELD R., CORNELL H.V., CURRIE D.J., GUEGAN J.F., KAUFMAN D.M., KERR J.T., MITTELBACH G.G., OBERDORFF T., O'BRIEN E.M., PORTER E.E., TURNER J.R.G. 2003 - Energy, water and broad-scale geographic patterns of species richness. *Ecology*, 84: 3105-3117.
- HE F., REED W. 2006 - Downscaling abundance from the distribution of species: occupancy theory and applications. In: J. Wu, B. Jones, H. Li, O. Loucks, (eds.), *Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications*. Springer, New York: 89-108.
- LOMOLINO M.V., RIDDLE B.R., BROWN J.H. 2006 - Biogeography 3rd ed. Sinauer ass., Sunderland, Massachusetts.
- LO VALVO M., MASSA B., SARÀ M. (ed.) 1993 - Uccelli e Paesaggio in Sicilia alle Soglie del Terzo Millennio. *Naturalista sicil.*, 17 (suppl.): 1-373.
- MAGURRAN A.E. 1988 - Ecological Diversity and its measurement. Croom Helm, London.
- MASSA B. (red.) 1985 - Atlas Faunae Siciliae - Aves. *Naturalista sicil.*, 9 (n° spec.): 1-274.
- MASSA B., FALCONE S. 2008 - Introduzione al volume. In: AA.VV., Atlante della Biodiversità della Sicilia: Vertebrati terrestri. Studi e Ricerche ARPA Sicilia, Palermo, 6: 15-18.
- MAURER B.A. 1999 - *Untangling Ecological Complexity*. University of Chicago Press, Chicago.
- MINELLI A., RUFFO S., VIGNA TAGLIANTI A. 2005 - Le province faunistiche italiane. In: S. Ruffo, F. Stoch (eds.), *Checklists e distribuzione della fauna italiana*. Mem. Mus. Civ. St. Nat. Verona, 16: 37-39.
- O'BRIEN E.M. 1998 - Water-energy dynamics, climate, and prediction of woody plant species richness: an interim general model. *J. Biogeography*, 25: 379-398.
- STOCH F. 2006 - L'assetto zoogeografico dell'Appennino centro-settentrionale. *Biogeographia*, 27: 131-152.
- TURNER J.R.G., LENNON J.J., LAWRENSEN J.A. 1988 - British bird species distribution and the energy theory. *Nature*, 335: 539-541.
- WIENS J.A. 2002 - Predicting species occurrences: progress, problems and prospects. In: M.S. Scott, P.J. Heglund,

- M.L. Morrison, J.B. Haufler, M.G. Raphael, W.A. Wall, F.B. Samson (eds.), Predicting Species Occurrences: Issues on the Accuracy and Scale. Island Press, Covelo: 739-749.
- WILLIAMS P.H. 1998 - Key sites for conservation: area-selection methods for biodiversity. In: G.M. Mace, A. Balmford, J.R. Ginsberg (eds.), Conservation in a Changing World. Cambridge University Press, Cambridge: 221-249.
- WILLIAMS P.H., GIBBONS D.W., MARGULES C.R., REBELO A.G., HUMPHRIES C.J., PRESSEY R.L. 1996 - A comparison of richness hotspots, rarity hotspots and complementary areas for conserving diversity using British birds. *Conserv. Biol.*, **10**: 15-74.
- WRIGHT D.H. 1983 - Species-energy theory: an extension of species area theory. *Oikos*, **41**: 496-506.