

Schivo e sensibile, il capriolo in Trentino...

Relazioni tra disturbi antropici e consistenza numerica della specie

GIOVANNA FRANCESCOTTI ⁽¹⁾ & PAOLO COVELLI ⁽²⁾

⁽¹⁾ gfrancescotti@gmail.com; ⁽²⁾ pcovelli@me.com

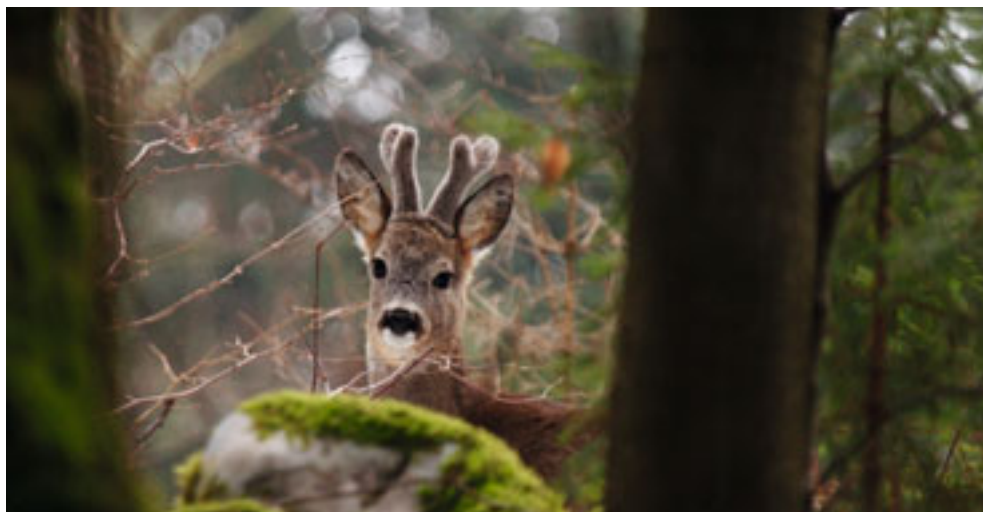


Fig. 1 – L’incontro *vis-a-vis* con il capriolo in natura è in genere un evento istantaneo, che si risolve con la sua fuga immediata e non lascia molto spazio ad osservazioni che ci aprano finestre sul suo comportamento (foto: M. Krosfel, tratta del sito: www.flickr.com).

Introduzione

Tra i molteplici aspetti dell’ambiente, la fauna è una delle componenti più delicate dell’intero ecosistema (PERCO, 1990). Approfondire i meccanismi di risposta delle specie animali selvatiche alle sollecitazioni o modificazioni introdotte dall’uomo nel loro ambiente contribuisce a costituire una base di conoscenze utili a sviluppare un approccio gestionale in grado di mantenere sotto controllo i delicati equilibri naturali.

In questo articolo si indagano alcune possibili relazioni che possono crearsi tra certe attività antropiche e alcune specie di fauna selvatica in alcuni siti del territorio della Pro-

vincia Autonoma di Trento.

Per analizzare tali relazioni sono state seguite due modalità: da una parte i dati di consistenza numerica di alcune specie faunistiche sono stati sottoposti ad elaborazione mediante opportuni modelli matematici e statistici (esposti più oltre); dall’altra si è seguito un approccio più empirico, da cui ottenere conferme (o smentite) “sul campo” dei modelli precedentemente ipotizzati. Si è cioè fatto uso di *scoutcam* digitali all’infrarosso con sensore di movimento, che, permettendo la registrazione di fotografie digitali al passaggio dell’animale, consentono di rilevarne presenza e ritmi di attività.

L'uso di modelli matematici e statistici

Per poter effettuare analisi quantitative, è necessario orientarsi su specie faunistiche che presentino almeno due caratteristiche:

- siano soggette ad un piano di censimento (organizzato da un ente competente) in grado di fornire stime attendibili della popolazione;
- siano caratterizzate da un'apprezzabile sensibilità nei confronti delle trasformazioni ambientali;

Per questi motivi, nel presente studio, la scelta è ricaduta sulla famiglia dei Cervidi, nella fattispecie capriolo (*Capreolus capreolus*) e cervo (*Cervus elaphus*), e sulla famiglia dei Bovidi, in particolare camoscio (*Rupicapra rupicapra*) e muflone (*Ovis musimon*).

Infatti l'Ufficio Faunistico del Servizio Fo-

reste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento fornisce annualmente dati relativi alle consistenze numeriche, assegnazioni, abbattimenti, struttura di popolazione, peso e distribuzione per queste quattro specie di ungulati, tre autoctone ed una (il muflone) di introduzione venatoria sul territorio trentino.

Dinamiche di accrescimento

Per misurare il disturbo delle attività antropiche sulle specie in questione si è pensato di partire dalla condizione ipotetica di non-disturbo, descritta da modelli matematici noti come *dinamiche di accrescimento di popolazione*, che quantificano l'evoluzione delle popolazioni animali in condizione di assoluta naturalità (*per i dettagli vedi box allegato*).

Dinamiche di accrescimento di popolazione: un po' di teoria...

Detta p_n la consistenza numerica di una popolazione di animali in un certo territorio al tempo n , e detto μ_n il relativo *tasso di crescita* per quel dato periodo, vale per un tempo $n+1$ consecutivi la relazione:

$$p_{n+1} = \mu_n p_n \quad (1)$$

(la popolazione alla fine dell'intervallo temporale è pari al prodotto di quella iniziale per il tasso di accrescimento nell'intervallo in questione)

La scienza biologica quantitativa (GAETA, 2007) mostra come il *tasso di crescita* μ_n dipenda linearmente, con una relazione di proporzionalità inversa, dalla consistenza della popolazione, secondo l'espressione:

$$\mu_n = A - B p_n \quad (2)$$

con A e B parametri reali, detti rispettivamente *tasso intrinseco di crescita* e *tasso di correzione*.

Sostituendo la (2) nella (1) si ottiene il cosiddetto *modello di crescita logistica*:

$$p_{n+1} = A p_n - B p_n^2 \quad (3)$$

Il *tasso intrinseco* A , che si dimostra essere sempre *compreso tra 1 e 4*, determina il tipo di incremento che la popolazione subisce.

Se $1 < A < 3$ la popolazione tende alla cosiddetta *capacità di carico* o *portante* p_c , data da:

$$p_c = (A - 1) / B \quad (4)$$

ossia, come mostrato in Fig. 2, col passare degli anni la consistenza numerica si stabilizza su un valore costante, non variando più fino all'intervento di nuovi fattori.

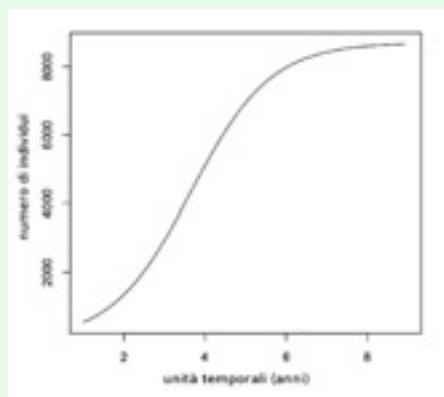


Fig. 2 - Tipica curva logistica con $p_c = 8500$ e $A = 3$

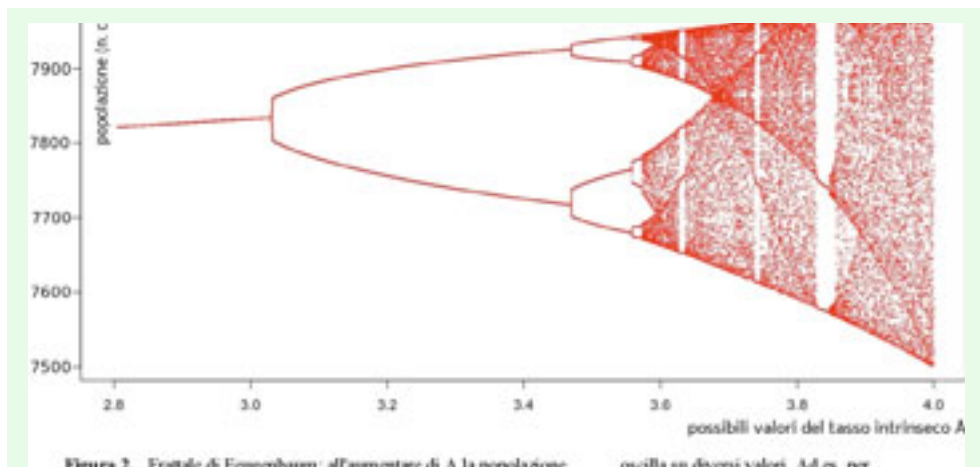


Figura 2. Frattale di Feigenbaum: all'aumentare di A la popolazione

oscilla su diversi valori. Ad es. per

Fig. 3 - Frattale di Feigenbaum: all'aumentare di A la popolazione oscilla su diversi valori (ad es. per $A = 3.5$ la popolazione oscilla in 4 anni su 4 valori; poi la situazione degenera nel caos).

Altrimenti, se $A > 3$ si va incontro ad una situazione caotica descritta dal cosiddetto **frattale di Feigenbaum**, come rappresentato in Fig. 3.

La popolazione non tende più a una singola capacità di carico ma oscillerà, da un anno all'altro, su diversi valori degenerando sempre più all'aumentare di A fino al caos più completo.

In tale situazione nessuna analisi quantitativa di accrescimento potrebbe essere condotta agevolmente.

La modellizzazione delle dinamiche secondo cui evolvono le popolazioni animali è dunque possibile, e viene condotta, solo se $A < 3$.

Il **modello di crescita logistica** (3) rappresenta quella che si definisce un'equazione alle differenze finite di primo ordine, di difficile o poco agevole soluzione. Per risolverla si considerano intervalli infinitesimi invece che unitari, passando così a un'equazione differenziale, risolta dalla cosiddetta **equazione di Verhulst**:

$$p_{(t)} = p_c / [1 + (p_c / p_0 - 1) e^{-rt}] \quad (5)$$

dove $r = A - 1$, p_0 è la consistenza iniziale della popolazione e t misura l'istante temporale in cui si considera la popolazione. La graficizzazione di quest'equazione disegna la cosiddetta **curva di accrescimento logistico**.

In condizioni naturali una popolazione animale di consistenza numerica pari a p_n si accresce nel tempo con un tasso di crescita μ_n il cui valore è determinato da due parametri reali A e B .

A , detto **tasso intrinseco di crescita**, è una caratteristica propria della specie, legata alla sua biologia riproduttiva, mentre B , detto **tasso di correzione**, esprime in che misura la consistenza iniziale della popolazione, tramite fenomeni di competizione, influisce negativamente (con effetto "frenante") sull'accrescimento stesso della popolazione.

Relativamente ai suddetti quattro ungulati, il Servizio Foreste e Fauna – Ufficio Faunistico ha messo a disposizione, per ognuno dei 223 Comuni Amministrativi della Provincia di Trento, i dati sulle consistenze numeriche per gli anni 2006-2007 da cui è stato possibile ricavare p_n e μ_n per ogni Comune e per ogni specie. Stimati i tassi A e B per ogni specie¹ sono stati eliminati i Comuni per cui veniva $A > 3$, in modo da togliere le zone ad accrescimento caotico (*vedi box allegato*).

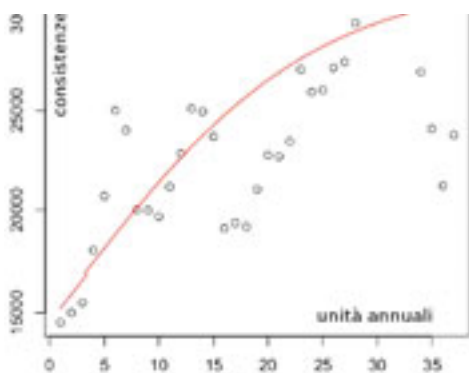
¹ col metodo dei minimi quadrati ordinari, n.d.a.

Sono stati così levati 11 Comuni del distretto faunistico “Val di Sole Est” per cui risultavano valori di $A > 3.5$ per il cervo.

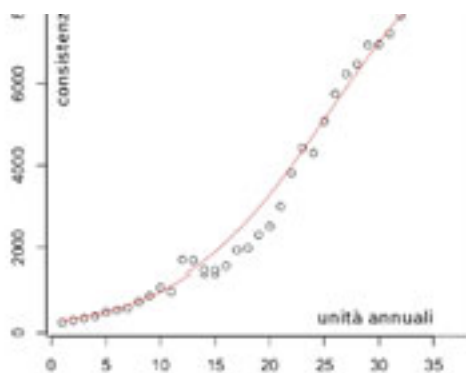
Conoscendo ora A e B per le quattro specie, è stato possibile tracciare le quattro curve di accrescimento logistico, da interpretare come le dinamiche di accrescimento teoriche

in assenza di perturbazioni esterne, di origine antropica e non.

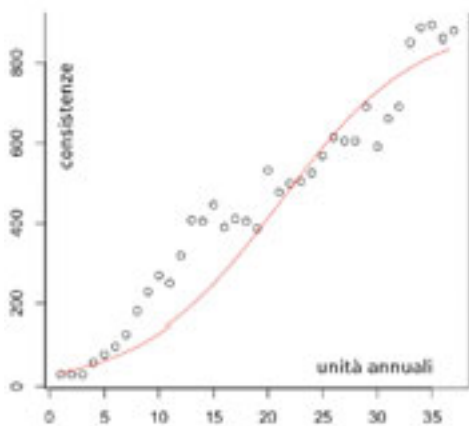
Sovrapponendo a queste curve le consistenze per le quattro specie registrate dal 1971 al 2007, si ottengono i grafici di Fig. 4 per le quattro specie, in cui si possono cogliere gli “scollamenti” del reale dal modello predittivo.



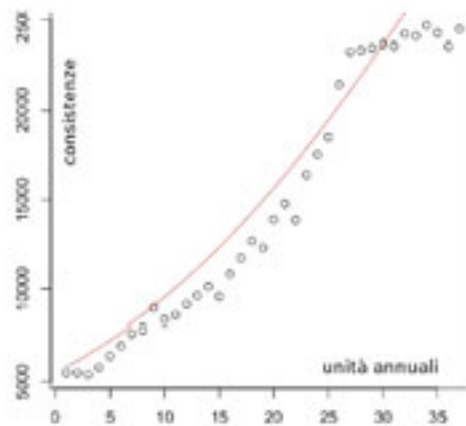
(a) Capriolo



(b) Cervo



(c) Muffone



(d) Camoscio

Figura 3. Confronti tra curve logistiche di accrescimento e accrescimenti effettivi registrati per le quattro specie. (Fonte: elaborazione propria degli autori).

Nell'interpretare i grafici, l'idea base è che tanto maggiormente i punti si discostano dalla curva logistica, quanto più probabile è la presenza di un disturbo esterno.

Come si vede dalla Fig. 4a il capriolo è la specie che più di tutte le altre si discosta da un accrescimento naturale (teorico).

La spiegazione più plausibile (MUSTONI *et al.*, 2002) è che questo ungulato risenta maggiormente delle conseguenze delle attività antropiche, data la sua maggior prossimità con l'ambiente umano rispetto alle altre tre specie analizzate.

Per tale specie, quindi, si è cercato di individuare quali possano essere stati ed essere i maggiori influssi, naturali e antropici, che hanno disturbato e disturbano il suo accrescimento.

Proposta di un modello lineare per il capriolo

Dando per scontata l'alta suscettività della specie capriolo ai fattori di disturbo, si è provato a quantificare la relazione tra la sua consistenza numerica e un insieme di variabili ritenute dalla letteratura le più impattanti. È stato scelto un modello di regressione multipla, lineare nei parametri.

La variabile dipendente è la *consistenza numerica* "ca" del capriolo nei Comuni Amministrativi del Trentino. Le variabili indipendenti (*regressori*, in termini statistici) sono state scelte sia in base alla loro probabile interazione con la specie, che alla loro effettiva registrazione da parte degli enti preposti. I dati sono stati resi disponibili, oltre che dal Servizio Foreste e Fauna-Ufficio Faunistico anche dall'Ufficio Statistico della P.A.T.

L'anno di riferimento è stato il 2000, in quanto accomuna tutte le variabili in esame.

Usando la strategia *backward*, si sono arrivati a considerare, per ogni Comune, le seguenti variabili indipendenti:

- *densità di urbanizzazione*: indicata con "du", viene calcolata come rapporto tra le infrastrutture di urbanizzazione (strade, ferrovie, vie di comunicazione in genere) e la superficie del Comune a cui appartengono, misurate in ettari (*ha*);
- *ettari di bosco*: indicato con "bosco";
- *superficie in ettari occupata da fiumi, torrenti e laghi*: indicata con "acque";
- *numero di addetti all'attività di silvicoltura*: indicata con "silvi".
- *numero di sentieri escursionistici*: sono stati presi in considerazione i tratti di sentiero catastali amministrati dal C.A.I.-S.A.T.; tale variabile è indicata con "sat".

Altre variabili, interessanti per la loro possibile interazione con la specie capriolo, sono risultate però correlate con i regressori menzionati sopra, quali: *superficie a pascolo* (dipendente dalla superficie a bosco), *numero di costruzioni abitative e altitudine* (legate con la densità di urbanizzazione) e non sono state quindi considerate nel modello (per evitare problemi di multicollinearità).

Con tale impostazione, si sono potuti analizzare sia gli impatti legati all'utilizzo del territorio, attraverso la specificazione di: "du", "silvi" e "sat", che gli impatti determinati dalla sua morfologia, mediante "bosco" e "acque".

L'equazione finale, secondo i paradigmi del modello lineare classico, è la seguente:

$$\log(ca_M) = \beta_0 + \beta_1 du + \beta_2 bosco + \beta_3 acque + \beta_4 silvi + \beta_5 sat + \varepsilon \quad (6)$$

dove, con ca_M si indica il rapporto tra la consistenza numerica del capriolo nei diversi Comuni del Trentino e la consistenza media del territorio (pari a 151 capi) ².

Nell'equazione, l'espressione logaritmica garantisce il rispetto dell'assunto di continuità, su cui poggia il modello lineare.

Prima di mostrare le stime dei parametri, va ricordato che, in questo tipo di espressione, il significato dei parametri β_i è quello di esprimere la variazione percentuale della variabile dipendente originale associata a una variazione unitaria (= pari ad 1 unità) della variabile indipendente cui è correlata.

5. Risultati dei parametri del modello

L'applicazione del modello rappresentato dall'espressione (6) ³ ha prodotto i valori indicati nella Tab.1.

Come si nota, un forte impatto negativo sulla presenza del capriolo viene dalle attività silvicolture e, in misura minore, dalla densità di strade e vie di comunicazione.

Un commento è però doveroso circa l'interpretazione del parametro $\beta_1 = -5.944$. Significa che, se la densità di urbanizzazione aumenta di una unità, si registra mediamente un calo di circa il 600% delle consistenze di capriolo.

Materialmente però la variabile "du" non può aumentare di un'unità, perché vorrebbe dire adibire tutto il territorio a rete stradale. Ci si è chiesto allora quanti ettari x di terreno devono essere trasformati in infrastrutture per causare un calo dell'1% nella popolazione di capriolo.

La semplice proporzione $1 : 6 = x : 0.01$ risponde alla domanda, ottenendo la risposta di tabella 1: la trasformazione dello 0.16%

del territorio in strade e vie di comunicazione fa calare mediamente la popolazione di un capo ogni cento.

Stima di	Valore	Significato
β_0	-0.74820	Intercetta sull'asse Y
β_1	-5.94400	Adibire lo 0.16% del territorio a strade e vie di comunicazione provoca un calo dell'1% di presenza del capriolo.
β_2	0.00037	Un aumento di 100ha di superficie boschiva si traduce in un aumento del 3.7% della popolazione di capriolo.
β_3	0.00034	Un aumento di 100ha di superfici con acque si traduce in un aumento del 3.4 % della popolazione di capriolo.
β_4	-0.02127	Un addetto in più alla silvicoltura provoca un calo del 2 % di presenza del capriolo.
β_5	0.02616	Ogni nuovo sentiero tracciato si traduce in un incremento del 2.6% di presenza del capriolo.

Tab.1 - Stime ai minimi quadrati dei parametri e loro significato in una specificazione logaritmica. (fonte: elaborazione propria).

Il modello è da considerarsi informativo a breve termine, nel senso che il disturbo antropico provocato alle consistenze del capriolo viene facilmente recuperato dall'alta adattabilità della specie, qualora l'attività umana non si protragga nel tempo.



Fig. 5 – Il reticolo stradale incide non solo in termini di disturbo, ma anche di mortalità da traffico, sulla popolazione di capriolo (foto: M. Becker; tratta dal sito: www.roadkills.pixeldiversity.com).

2 le stime ai minimi quadrati dei parametri β_i portano ad un coefficiente di determinazione R^2 pari all' 87%, a p -value dei test F e t inferiori allo 0.05 e a residui casuali attorno allo 0, n.d.a.

3 tramite stime ai minimi quadrati, n.d.a.



Fig. 6 - Gruppo familiare di caprioli in cerca di cibo sotto il manto nevoso (foto degli autori).

Riscontri empirici mediante *scoutcam* digitali

Al fine di ottenere conferme o smentite “di fatto” alle indicazioni fornite dal modello predittivo si è cercato di indagare sul campo le abitudini del capriolo mediante la messa in opera di fototrappole digitali (*scoutcam*), segnalate e in zone non soggette a escursionismo.

I dispositivi sono stati impiegati in situazioni alquanto diverse: a monte prima e dopo alcune attività silviculturali svolte a valle, prima e dopo la costruzione di un tratto stradale a circa un chilometro di distanza, in presenza o meno di alcuni sentieri naturali nelle vicinanze, con diversa disponibilità d’acqua e diversa copertura boschiva. Sono state così ricreate le condizioni analizzate dalle variabili del modello precedente.



Fig. 7 - Coppia di *scoutcam* a infrarosso (foto degli autori).

Le variabili sentieri, disponibilità d'acqua e copertura boschiva sono state raggruppate in un'unica variabile, chiamata "ambiente", essendo molto difficile trovare aree campione che variassero solo per una di queste componenti ferme restando le altre due.

Per la variabile "ambiente" sono stati confrontate alcune zone dei comuni di Vezzano e Cembra. Facendo le dovute proporzioni, il modello prevede un incremento di presenze di capriolo a Vezzano del 48.9% rispetto a Cembra. Il riscontro con le fototrappole è stato di un 71.2% di passaggi diurni registrati in più nel primo comune rispetto al secondo nello stesso periodo. I passaggi notturni hanno invece subito un incremento di minore intensità: il 37.4% per Vezzano.

Per la variabile "densità di urbanizzazione" è stato considerato l'allargamento di un tratto stradale di comunicazione tra fondi rustici che taglia due sentieri naturali di percorrenza dei caprioli, che ha permesso e incrementato

un discreto traffico di mezzi agricoli e civili. Rispetto all'estensione del territorio comunale, la strada considerata è troppo marginale per usare la sua estensione direttamente nel modello. Si è pensato così di rapportarla all'estensione (approssimata) del territorio contenente i due sentieri naturali di percorrenza dei caprioli. Ci si rende conto che l'arbitrarietà di questa interpretazione, dovuta essenzialmente alla mancanza di dati, può rendere meno significativo il riscontro empirico per questa variabile. Ciononostante si dovrebbe riuscire a cogliere un qualche nesso tra traffico stradale e percorrenza dell'ungulato. Il modello prevede un calo di presenza del 17.3%, le registrazioni sono calate del 35.2% nelle ore diurne e del 15.6% nelle ore notturne, nei 2 mesi successivi all'aumento di traffico rispetto ai due mesi precedenti.

Per le "attività silvicolturali", il modello considera il numero di addetti a tali attività come indice di intensità dell'attività stessa.

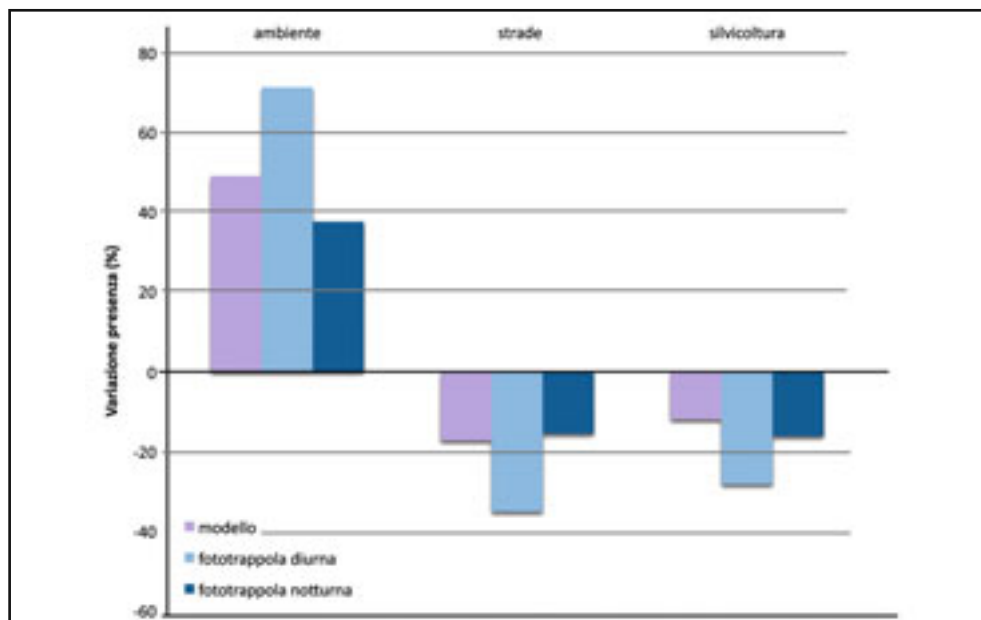


Fig. 8 - Confronti tra variazioni percentuali di presenza del capriolo previste dal modello e registrate dai dispositivi, distinte per le variabili "ambiente", "densità di urbanizzazione" e "attività silvicolturali". Le registrazioni sono divise in diurne e notturne (fonte: elaborazione propria).

Il grafico di Fig. 8 mostra i livelli di concordanza tra le variazioni percentuali di presenza del capriolo previste dal modello e registrate dai dispositivi, rispettivamente distinti per le ore diurne e notturne.

Le variazioni teoriche ed empiriche hanno tutte la stessa concordanza, ossia si muovono nello stesso verso, un incremento empirico corrisponde a un incremento teorico, come i decrementi.

Inoltre si nota è un minore impatto sulle variazioni percentuali empiriche nelle ore notturne. Probabilmente la notte rappresenta una garanzia di sicurezza e protezione per l'animale. Protezione che viene meno intaccata dalle variabili analizzate rispetto alla situazione diurna.

In linea generale, e per sintetizzare, si può quindi affermare che le zone a maggior copertura boschiva e con maggior presenza di torrenti hanno fatto registrare le maggiori presenze di capriolo (facendo le dovute proporzioni si calcola un aumento rispettivo del 6% e dell'8% per 100 ha in più di bosco e torrenti).

La presenza di un tratto stradale ha comportato un calo di registrazioni superiore del

9% rispetto alla stima prevista col modello (6). Dopo la fine dei lavori forestali a valle, si è determinato a monte un calo superiore dell'8% rispetto a quello previsto, con un incremento delle attività di passaggio notturne.

Al di là del modello, che per mancanza di dati non si è spinto oltre, si è infine riscontrato come le nevicate arrechino un sostanziale disturbo al capriolo, costringendo interi gruppi familiari a scendere a valle in cerca di sostentamento, con conseguente dispendio di energia. Zone a bassissima frequentazione dell'animale sono improvvisamente diventate il suo habitat naturale se pur temporaneo. Prima di concludere è doveroso sottolineare che i dispositivi usati nel riscontro empirico, registrano i passaggi dell'animale più che comprovarne la presenza stabile. Passaggi inoltre dettati anche per motivi diversi da quelli descritti dalle variabili oggetto di analisi. Per questo motivo i confronti effettuati col modello devono essere interpretati con cautela. Si pensa che possano comunque fornire utili informazioni aggiuntive per eventuali ipotesi di specificazioni più dettagliate del modello o della sua forma funzionale.



Fig. 9 - Disturbi antropici e non hanno spinto i caprioli a maggiori spostamenti notturni (foto degli autori).

Ringraziamenti

Ci sembra doveroso terminare l'articolo con i nostri ringraziamenti all'Ufficio Faunistico - Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento, in particolar modo agli Agenti Forestali Massimo Graziadei e Walter Sieff, per la disponibilità e professionalità nel fornire i dati utili allo sviluppo del modello matematico.

Bibliografia

GAETA G. (2007). *Modelli matematici in biologia*. Springer-Verlag, Milano.

LOVARI S., ROLANDO A. (2004). *Guida allo studio degli animali in natura*. Bollati Boringhieri, Torino.

MUSTONI A., PEDROTTI L., ZANON E., TOSI G. (2002). *Ungulati delle Alpi*. Nitida Immagine Editrice, Cles.

ODUM E. P. (1963). *Ecologia*. Zanichelli, Bologna.

PACI M. (2004). *Ecologia forestale, elementi di conoscenze dei sistemi forestali*. Edagricole, Bologna.

PERCO F. (1990). *Progetto fauna*. P.A.T. Servizio Foreste, Caccia e Pesca, Trento.

PONTI F. (1992). *Il patrimonio capriolo*. Lorenzoni, Udine.

PROVINCIA AUTONOMA di TRENTO – PAT (2007). *Analisi delle consistenze e dei prelievi di ungulati, tetraonidi e coturnice*. Dipartimento Risorse Forestali e Montane. Servizio Foreste e Fauna, Ufficio Faunistico.

SOCIETÀ degli ALPINISTI TRIDENTINI – SAT (2004). *Sentieri sui monti del Trentino*.