



Effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi

## Effetti su ecosistemi naturali alpini e biodiversità



Marino Gatto



POLITECNICO  
DI MILANO

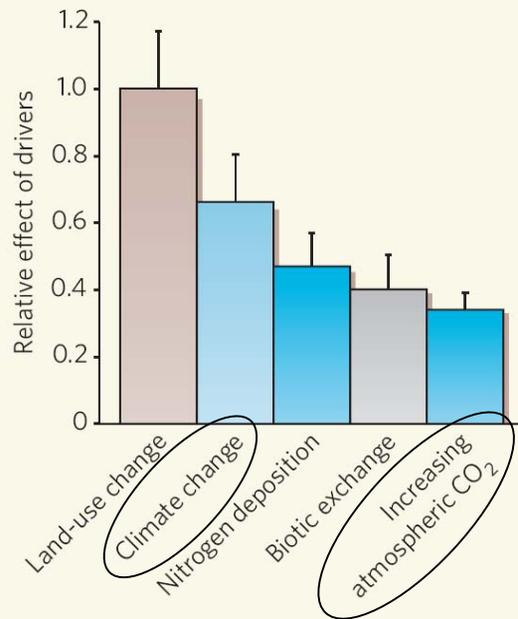
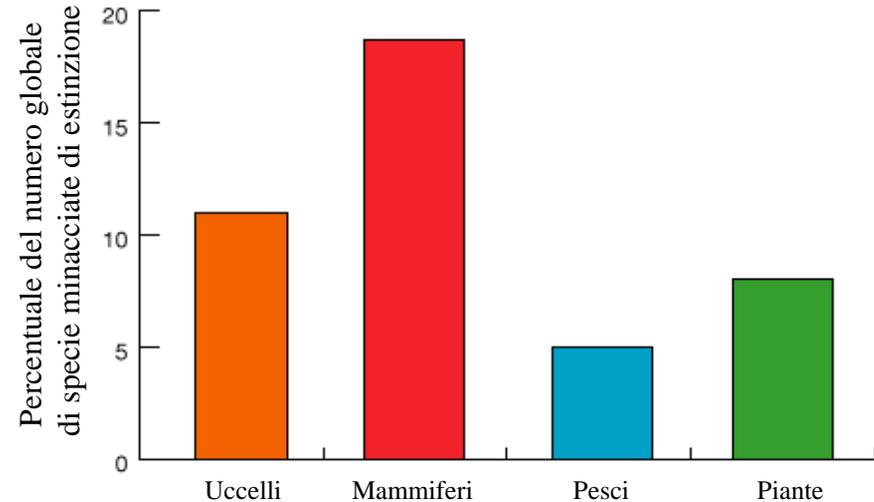
- Introduzione: CCG e biodiversità
- Gli impatti dei CCG
- I modelli di predizione degli impatti
- Applicazioni alla fauna alpina

# La biodiversità minacciata

Tempo di vita medio di una specie animale ricavata dai record fossili: **1-10 milioni di anni**

Dai tassi di estinzione documentati nel secolo scorso si ricava una riduzione del tempo di vita media a **10.000 anni**

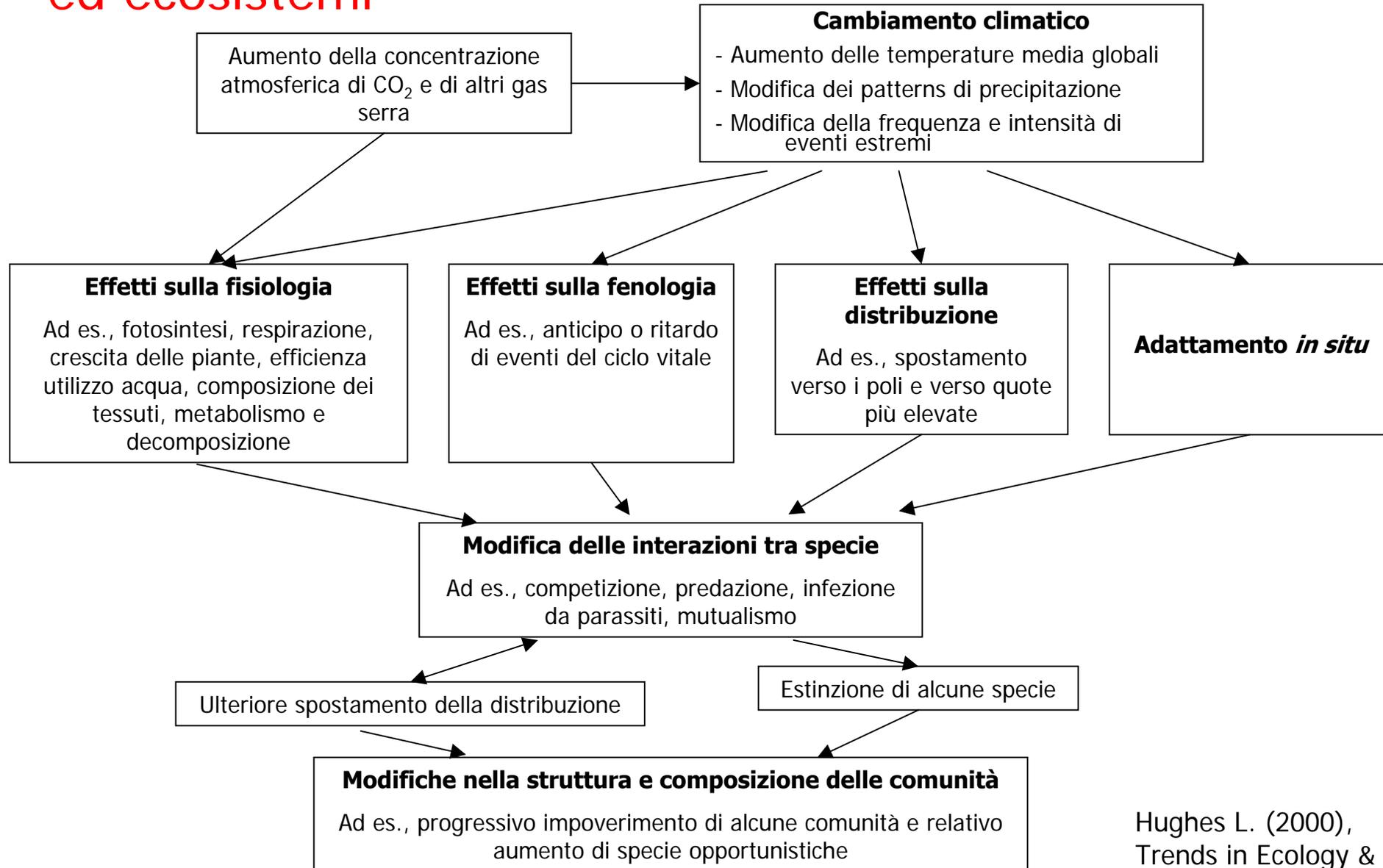
Dai tassi di estinzione correnti si ricava un tempo di vita medio per uccelli e mammiferi di **200-400 anni**



**Figure 1 | The main factors, or 'drivers', affecting biodiversity.** This summary of the relative effects by the year 2100 is a composite derived from calculations carried out for 12 individual terrestrial and freshwater ecosystems by O. E. Sala *et al.* (*Science* 287, 1770–1774; 2000). Overall, changes in land use constitute the main estimated impact on biodiversity, but the pattern varies considerably for different ecosystems. According to Sala and colleagues' calculations, climate change will have the strongest effect on Arctic, alpine and boreal ecosystems, whereas biotic exchange (that is, invasion by non-native species) will exert its main influence in lakes.

Thuiller W. 2007. Climate change and the ecologist, *Nature*, 448: 550-552.

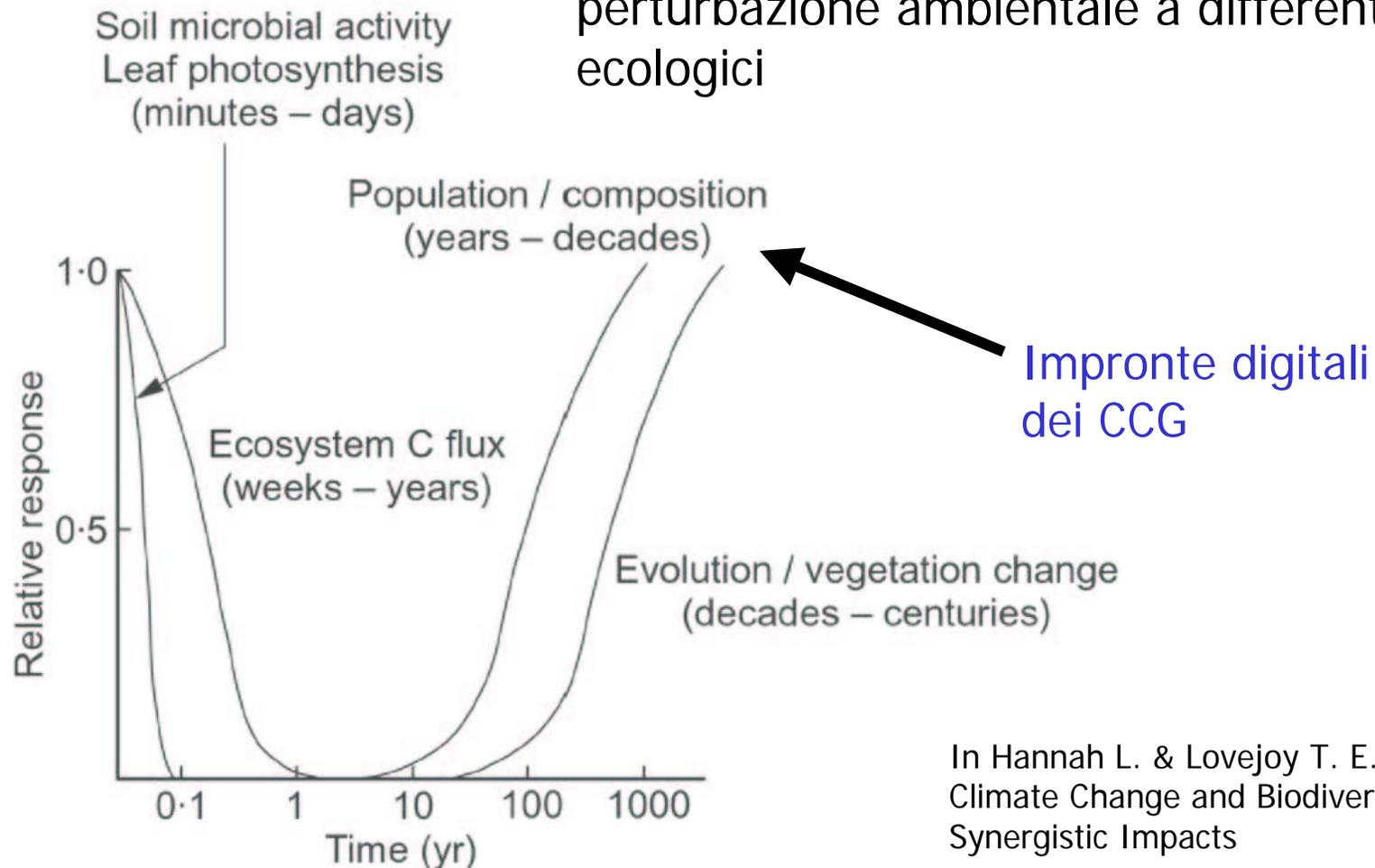
# Le vie attraverso cui i CCG influenzano specie ed ecosistemi



Hughes L. (2000), Trends in Ecology & Evolution **15**:56-61.

# Le scale temporali

Ipotetici tempi di risposta a una perturbazione ambientale a differenti livelli ecologici

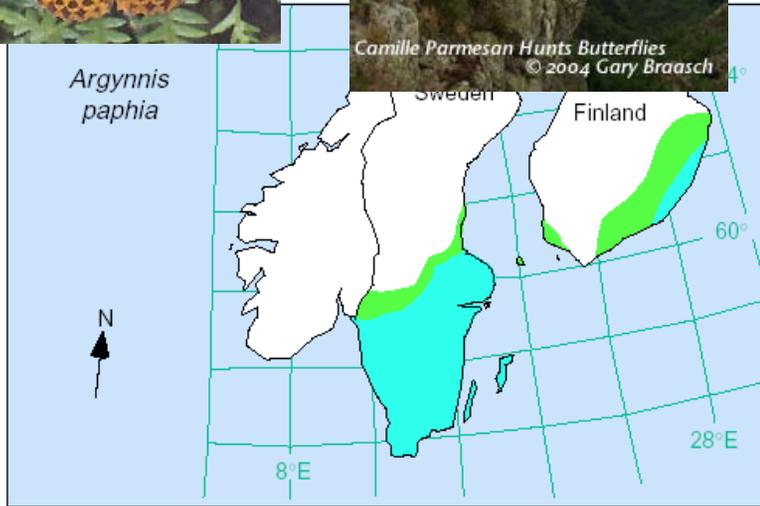
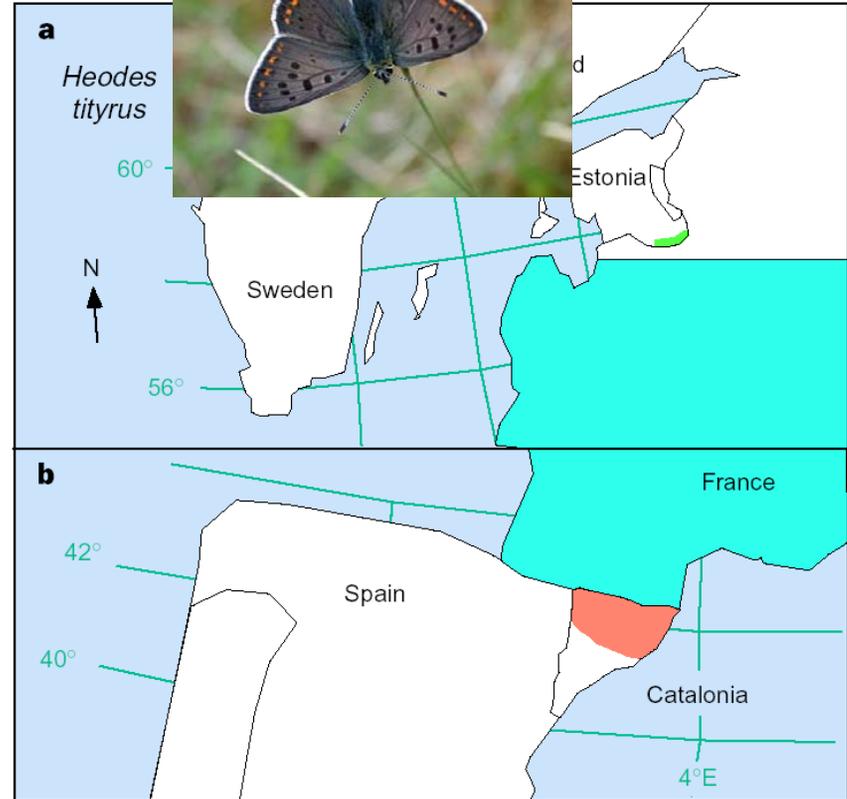


In Hannah L. & Lovejoy T. E. (2003),  
Climate Change and Biodiversity:  
Synergistic Impacts

# Le "impronte digitali" ecologiche del riscaldamento globale

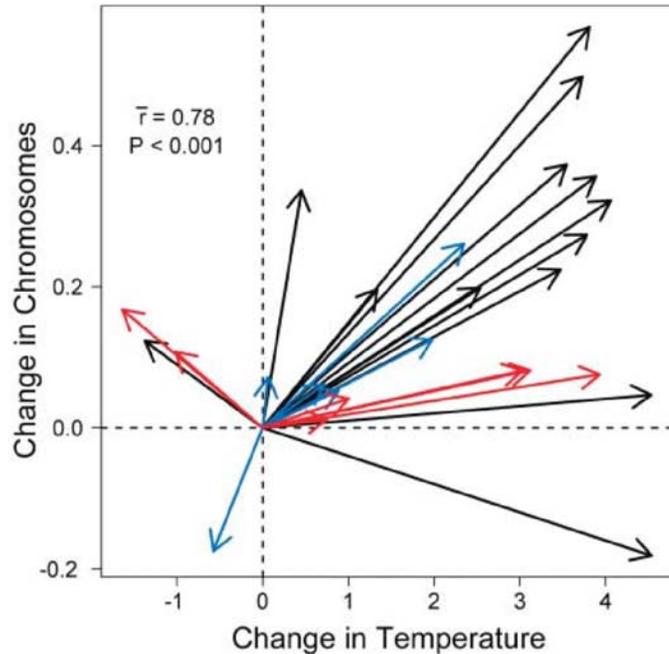


Parmesan C. *et al.* (1999), *Nature* **399**:579-583

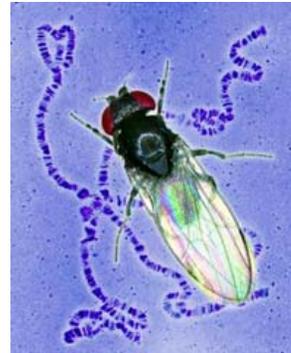


Extending northern boundary  
1970-1997

Extending northern boundary +  
retracting southern boundary



**Fig. 2.** Change in the direction of the chromosome index over time parallel those in the temperature index at 22 of 26 sites (upper right and lower left quadrants). Black, European sites; red, North American sites; and blue, South American sites.



## Evidenze genetiche

J. Balanya et al. 2006 Global Genetic Change Tracks Global Climate Warming in *Drosophila subobscura*. *Science* 313: 1773-1775



## Evidenze fenologiche

1700 specie animali e vegetali esaminate.

Conferma del riscaldamento in atto nel 20° secolo.

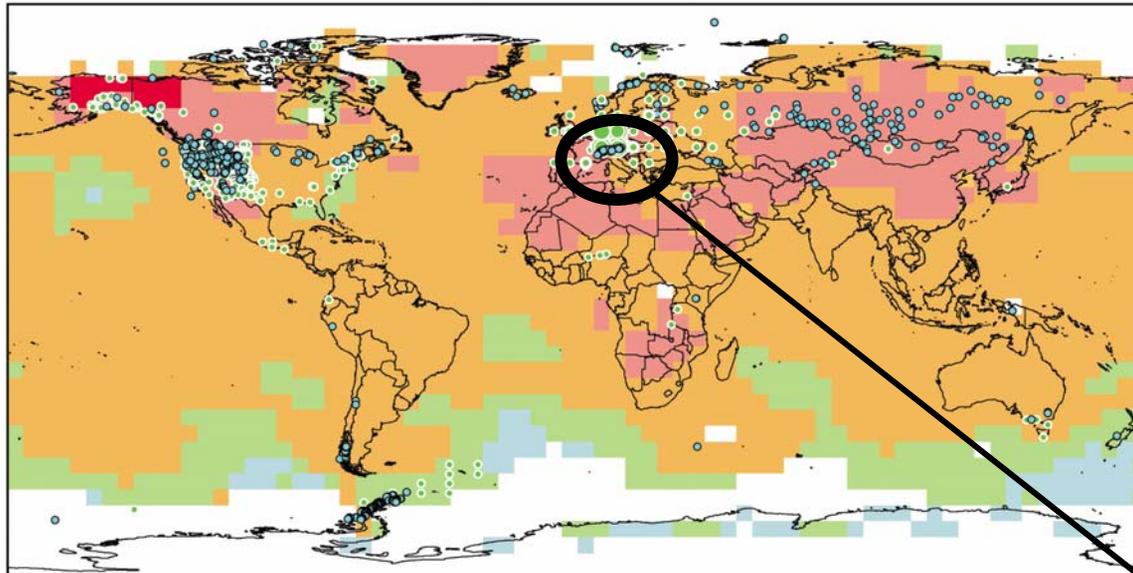
Significativo spostamento degli areali di 6,1 km per decennio verso nord.

Significativo anticipo di 2,3 giorni per decennio degli eventi primaverili

C. Parmesan & G. Yohe 2003 A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems *Nature* 421: 37-42

T.L. Root, J.T. Price, K. R. Hall, S. H. Schneider, C. Rosenzweig & J. A. Pounds 2003 Fingerprints of global warming on wild animals and plants *Nature* 421:57-60

# 2007: Quarto rapporto IPCC Impacts, Adaptation and Vulnerability



## 29.000 serie di dati fisico-biologici

selezionate da 80.000 serie (577 studi) secondo i criteri:

- Studi terminati dopo il 1990 e durati almeno 20 anni
- Cambiamenti significativi in accordo o in disaccordo con i CCG

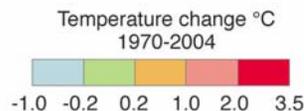
NAM		LA		EUR <sup>28,115</sup>		AFR		AS		ANZ		PR*		TER <sup>28,586</sup>		MFW**		GLO <sup>28,671</sup>	
355	455	53	5	119	28,115	5	2	106	8	6	0	120	24	764	28,586	1	85	765	28,671
94%	92%	98%	100%	94%	89%	100%	100%	96%	100%	100%	—	91%	100%	94%	90%	100%	99%	94%	90%

### Observations

- Physical systems (snow, ice and frozen ground; hydrology; coastal processes)
- Biological systems (terrestrial, marine, and freshwater)

### Europe \*\*\*

○	1-30
○	31-100
○	101-800
○	801-1200
○	1201-7500



### Physical Biological

Physical	Biological
Number of significant observed changes	Number of significant observed changes
Percentage of significant changes consistent with warming	Percentage of significant changes consistent with warming

## Italia

Pochi studi e concentrati sulle Alpi

\* Polar regions include also observed changes in marine and freshwater biological systems.

\*\* Marine and freshwater includes observed changes at sites and large areas in oceans, small islands and continents.

\*\*\* Circles in Europe represent 1 to 7,500 data series.

# Lo spostamento a quote più elevate



## Vegetazione alpina sommitale

Grabherr G. *et al.* (1994), *Nature* **369**:448  
EU project GLORIA-Europe

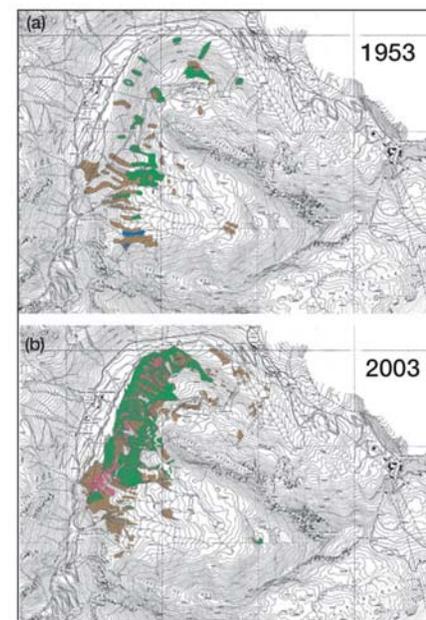
**Spostamento osservato 1-4  
m/decennio**



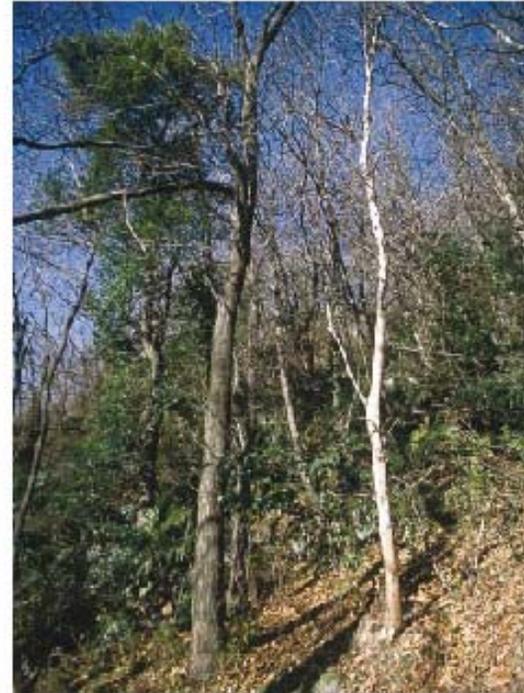
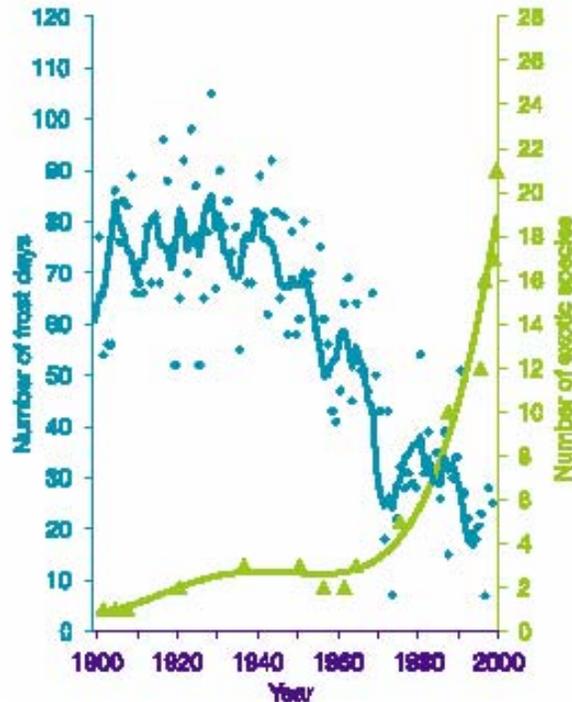
Parco dello Stelvio

Distribuzione della vegetazione a cespugli

Cannone N. , Sgorbati G., Guglielmin M. (2007) *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5:360-364



# L'incremento di specie esotiche



**Figure 3** Vegetation shift from indigenous deciduous to exotic evergreen broad-leaved vegetation in southern Switzerland. The shrub layer is dominated by the growing number of spreading exotic evergreen broad-leaved species (see illustration) that

appear to profit from milder winter conditions, indicated here by the decreasing number of days with frost per year (the smoothed curve gives five year averages for the number of frost days per year)<sup>29</sup>.

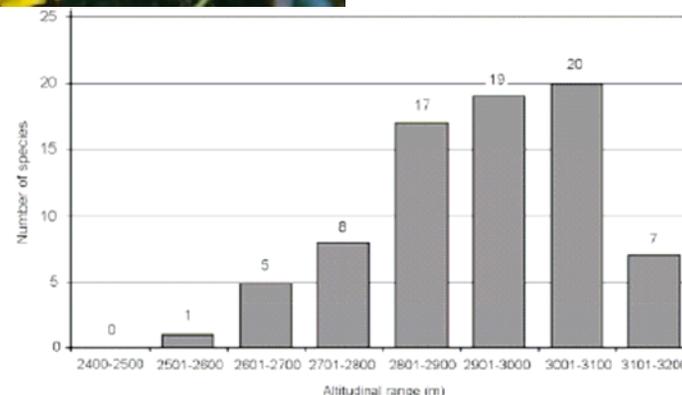
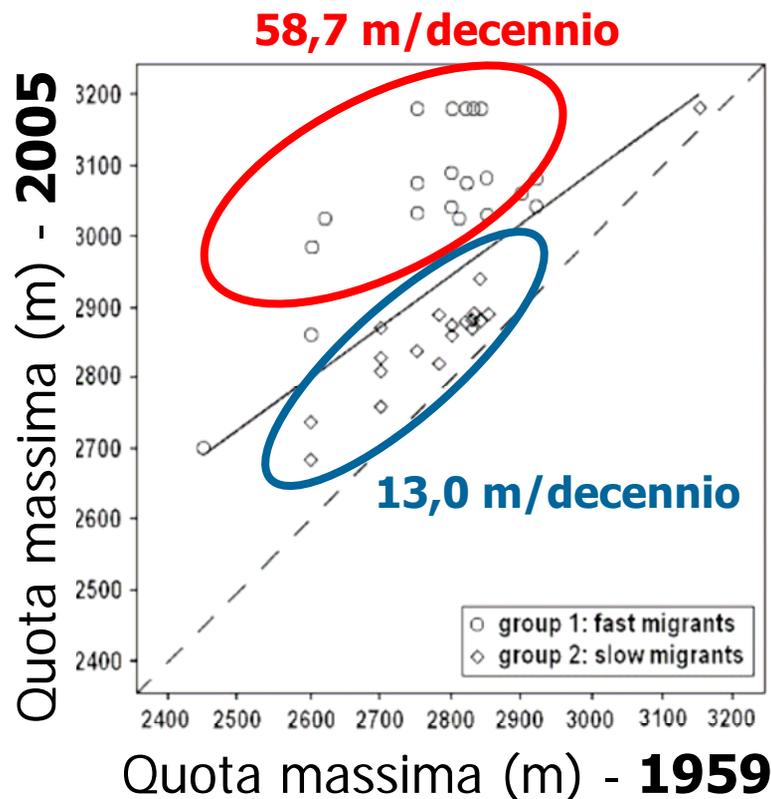
G-R. Walther, E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J. C. Beebee, J-M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg & F. Bairlein "Ecological responses to recent climate change" *Nature* **416**, 389 - 395 (2002)

# Piante vascolari

Alpi Retiche, Punta Marinelli  
2310-3256 m  
Esposizione SO



delta T +1,6°C estate  
+ 1,1°C inverno



Aumento del numero di specie  
con la quota, 1959-2005

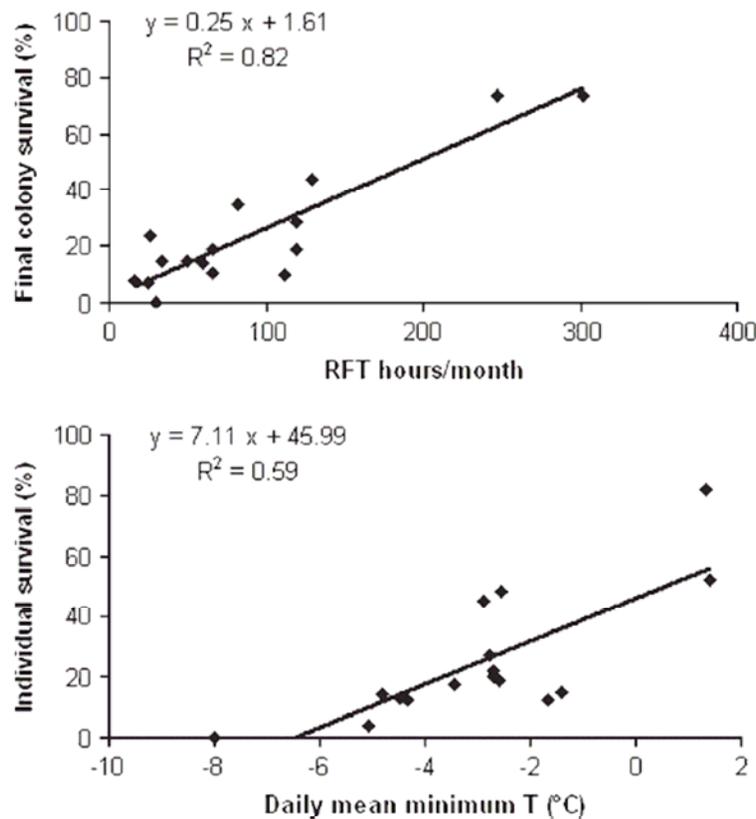
**Spostamento superiore a quello  
delle sole specie sommitali**

# Spostamento dell'areale di distribuzione della processionaria *Thaumetopoea pityocampa*

Areale determinato dalla temperatura invernale e dalla radiazione solare

**Francia:** spostamento di 87 km verso latitudini maggiori, 1972-2004

**Italia:** sulle Alpi spostamento 110-230 m in quota, 1975-2004



Distribuzione geografica spiegata da indicatori climatici (RFT) e da variabili climatiche ( $T_{\min}$  giornaliera)



# Modelli usati per predire gli impatti dei CCG

**STATICI  
vs.  
DINAMICI**

Relazioni statiche tra fattori abiotici (incluso il clima) e variabili biotiche. Biosfera considerata all'equilibrio.

Simulano uno o più processi della biosfera e simulano anche stati transitori

**SINGOLA SPECIE  
vs.  
ECOSISTEMA**

Simulano singole specie isolate da altre componenti dell'ecosistema cui appartengono.

*risposte individuali delle specie*

Simulano cambiamenti nella funzione e composizione dell'ecosistema/bioma, a livello di specie o di gruppo funzionale.

**SCALE SPAZIALI  
LOCALI  
vs.  
GLOBALI**

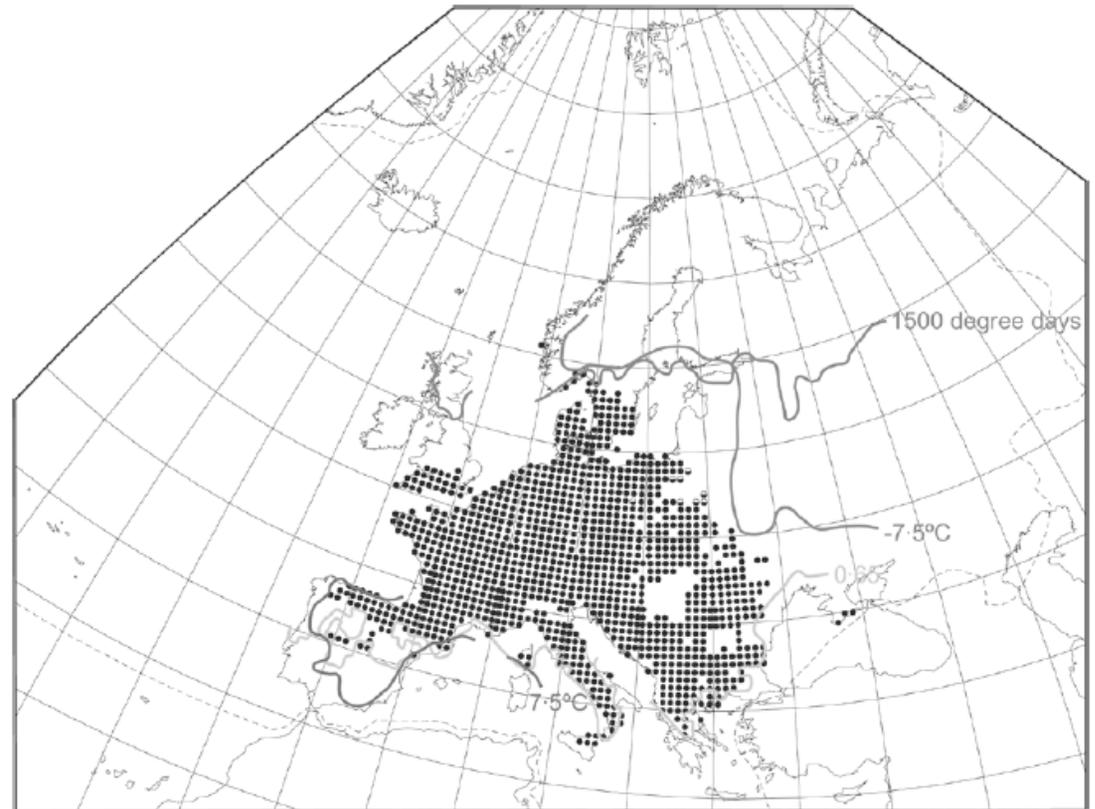
Dettagliano processi fisiologici, interazioni ecologiche e diversità delle specie

Inviluppi climatici, nessuna o scarsa interazione, tipi funzionali

# Modelli di inviluppo specie-clima



*Fagus sylvatica*  
Faggio



10.0  
10.0  
7.5  
5.0  
2.5  
0.0  
-2.5  
-5.0  
-7.5  
-10.0  
-12.5  
-15.0  
-17.5  
-20.0  
-22.5



Coldest month mean  
temperature (°C)



> 5.00  
< 5.00  
< 4.75  
< 4.50  
< 4.25  
< 4.00  
< 3.75  
< 3.50  
< 3.25  
< 3.00  
< 2.75  
< 2.50  
< 2.25  
< 2.00  
< 1.75  
< 1.50  
< 1.25  
< 1.00  
< 0.75  
< 0.50  
< 0.25



Annual temperature sum  
above 5°C (10° degree days)



1.00  
< 1.00  
< 0.95  
< 0.90  
< 0.85  
< 0.80  
< 0.75  
< 0.70  
< 0.65  
< 0.60  
< 0.55  
< 0.50  
< 0.45  
< 0.40  
< 0.35  
< 0.30  
< 0.25  
< 0.20



Priestley-Taylor  $\alpha$

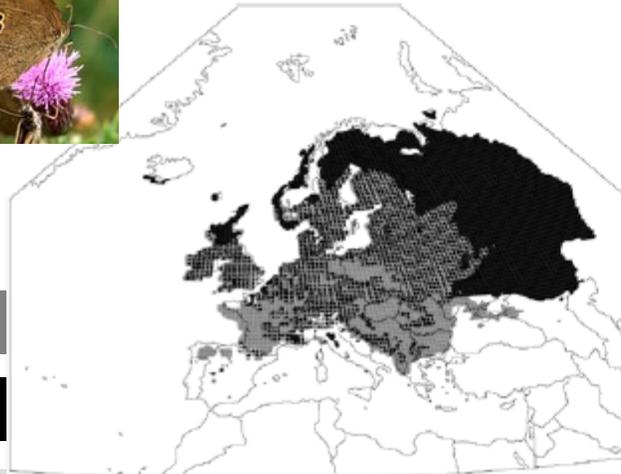
# Diversi livelli trofici



Remaining

Potentially suitable

Disappearing



A. *Aphantopus hyperantus* – Ringlet



B. *Strix nebulosa* – Great grey owl

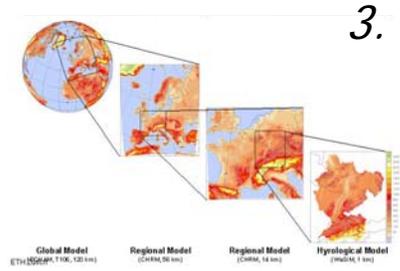


C. *Microtus duodecimcostatus* – Mediterranean pine vole



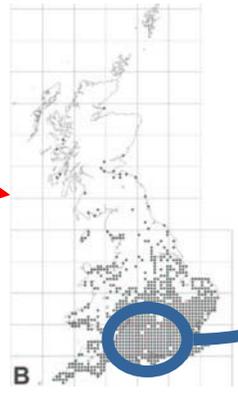
D. *Quercus cerris* – Turkey oak

# Il problema del downscaling Dal globale al locale

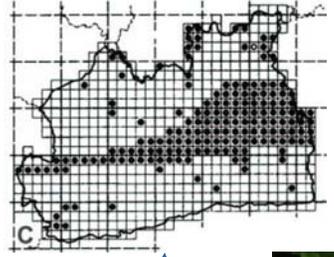


50 km grid  
Europe

10 km grid  
Great Britain



2 km grid  
Surrey



*Clematis vitalba*



# Casi di studio (progetto Kyoto Lombardia)

**Mappe e indici di vocazionalità  
per studiare gli impatti dei CCG sull'habitat**

**Stambecco (*Capra ibex ibex*)**



**Camoscio (*Rupicapra rupicapra*)**



**Gallo forcello (*Tetrao tetrix*)**



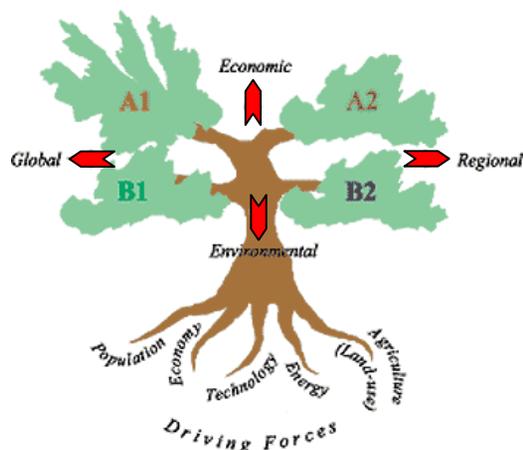
**Impatto dei CCG  
sulla dinamica di  
popolazione dello  
stambecco**

**Trota fario (*Salmo trutta*)**



# Scenari futuri di CCG

scenari emissivi IPCC  
4 famiglie, 40 scenari

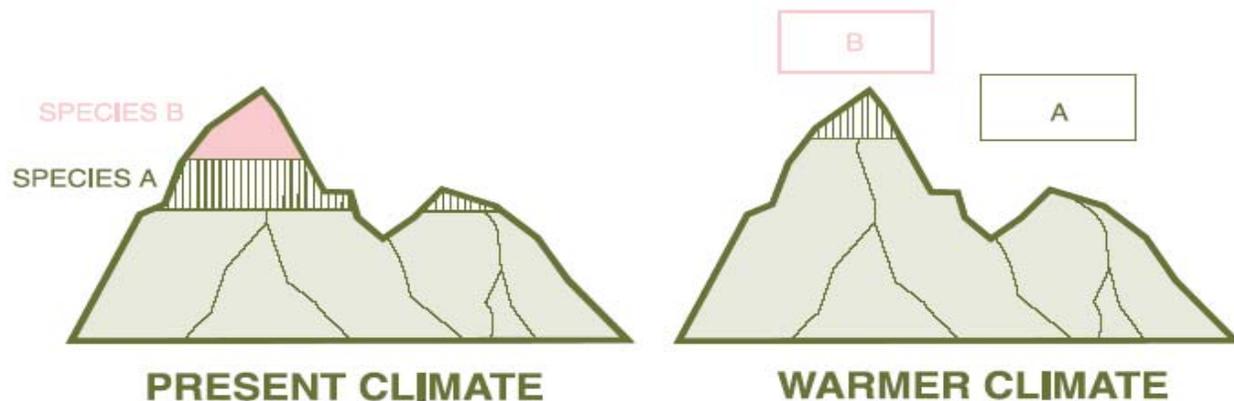


Illustrative marker  
scenarios

**A2 & B2**  
**2020**  
**2050**

## HadCM3

Hadley Centre for Climate  
Prediction and Research  
96 x 73 celle  
risoluzione 3,75°

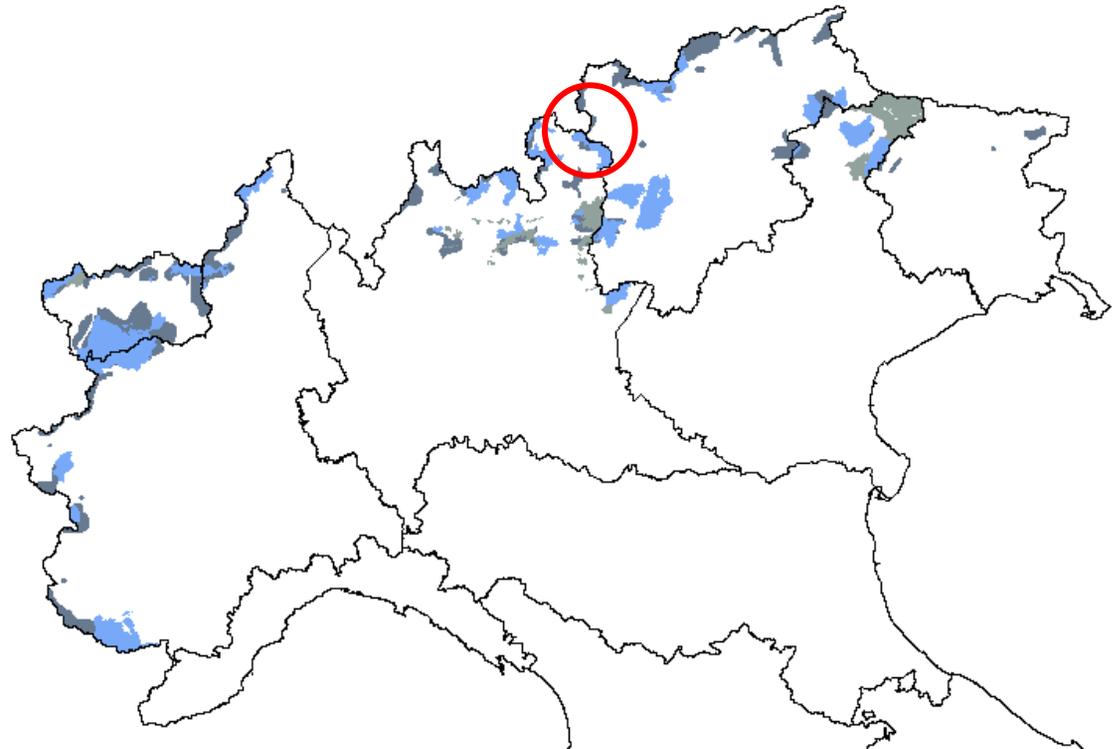
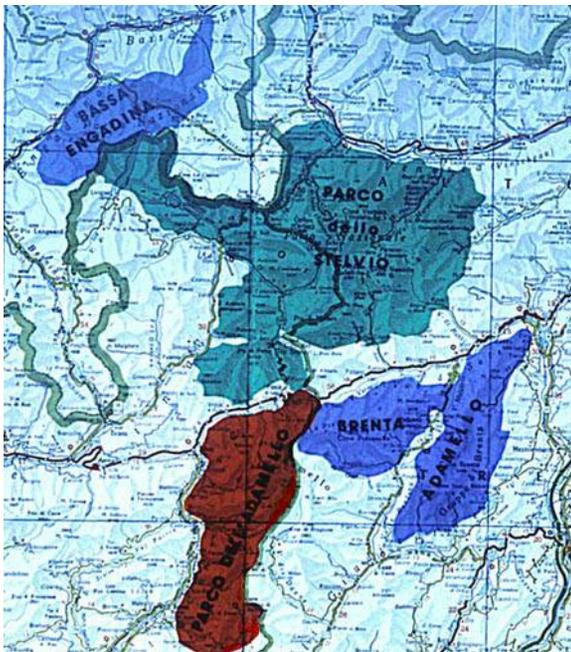


**Quota:** variabile ambientale nei modelli di vocazionalità

Usiamo la relazione tra **quota e temperatura (adiabatica umida)** per integrare la variabile climatica nei modelli

# Stambecco (*Capra ibex ibex*) nel Parco dell'Adamello

- Collocazione geografica del Parco strategica
- Progetto di ripopolamento dello stambecco avviato nel 1995
- Modello di vocazionalità faunistica validato per lo stambecco nel Parco (Pedrotti e Tosi, 1996)



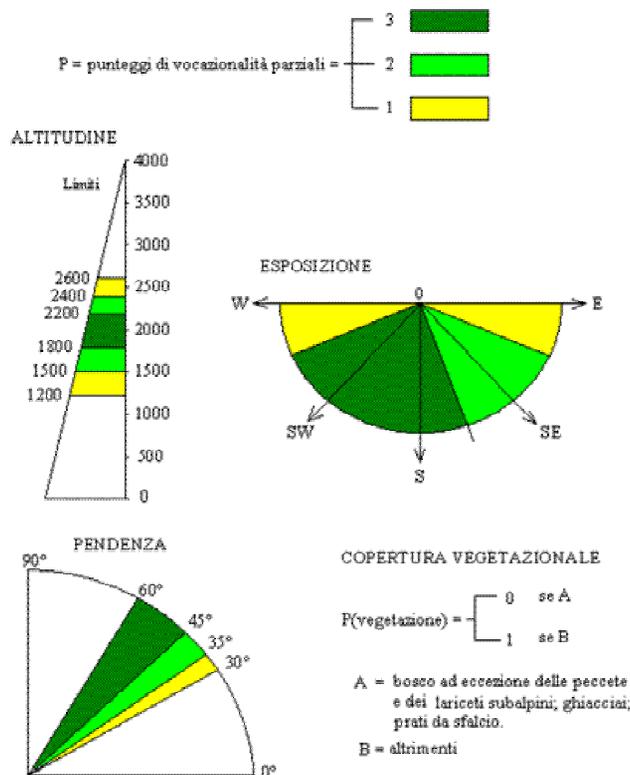
# Stambecco (*Capra ibex ibex*) nel Parco dell'Adamello

## Modello di vocazionalità

### Modello di svernamento

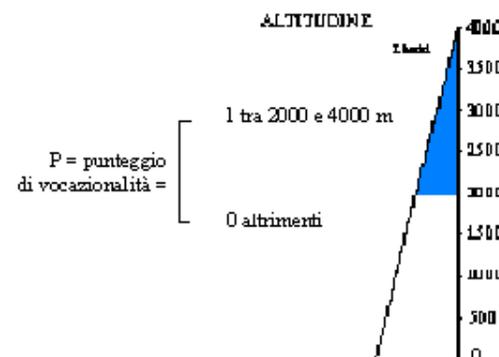
F.V. = (Altitudine + Pendenza + Esposizione) \* Vegetazione

a)



Punteggio totale	Classe	Densità potenziale capi/100 ha
0-3	Non adatta	0
4-5	Adatta	6
6-7	Buona	25
8-9	Ottima	40
0	Non adatta	0
1	Adatta	6

a) Punteggio di vocazionalità = 1



### Modello di estivazione

F.V. = Altitudine

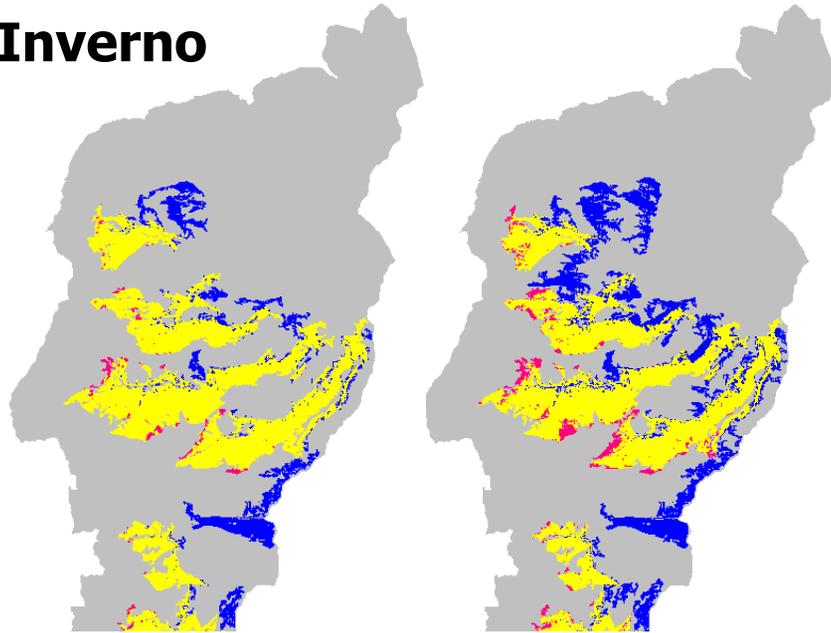
# Stambecco (*Capra ibex ibex*)

## Risultati modello di vocazionalità

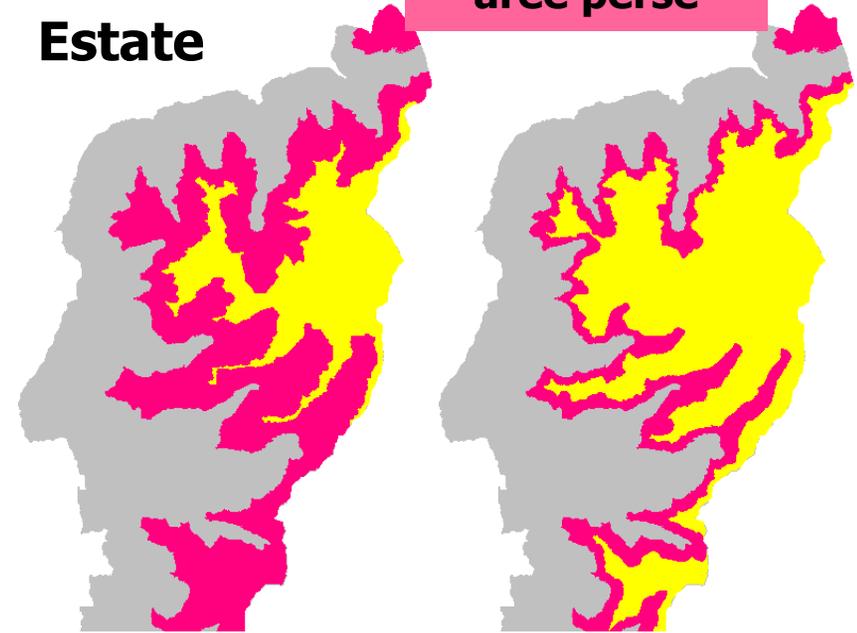
### A2 2020 & 2050

4. Fauna alpina

Inverno



Estate



aree nuove

aree stabili

aree perse

**Inverno:** aumentano le aree adatte e i capi potenziali

**Estate:** diminuiscono le aree adatte e i capi potenziali

**La consistenza della popolazione estiva risulta limitante**

**A2 – 2020**

$\Delta T + 0,84^{\circ}\text{C}$

**1.455 capi**

**attuali: 1.139**

**A2 – 2050**

$\Delta T + 2,02^{\circ}\text{C}$

**1.617 capi**

**attuali: 1.139**

**A2 – 2020**

$\Delta T + 2,39^{\circ}\text{C}$

**862 capi**

**attuali: 1.507**

**A2 – 2050**

$\Delta T + 4,83^{\circ}\text{C}$

**360 capi**

**Attuali: 1.507**

# Stambecco (*Capra ibex ibex*) nel Parco dell'Adamello

## Risultati modello di vocazionalità

### **A2 & B2 --- 2020 & 2050**

**La consistenza della popolazione estiva risulta limitante**



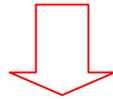
Diminuzione della popolazione di stambecchi

	attuale	A2 - 2020	A2 - 2050	B2 - 2020	B2 - 2050
Modello invernale	1.139	1.455	1.617	1.612	1.608
Modello estivo	1.507	862	360	696	416

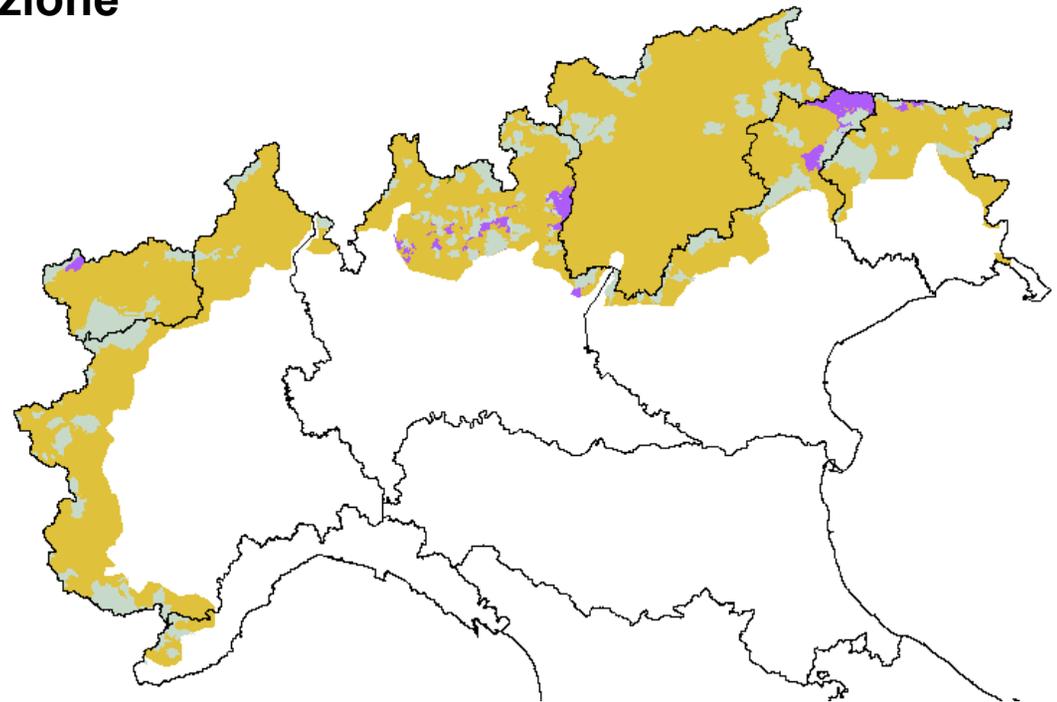
# Camoscio alpino (*Rupicapra rupicapra*) in Valchiavenna

Modello di vocazionalità faunistica

- **Validato** per il camoscio in Valchiavenna (Ranci Ortigosa, 2000; Tosi et al., 1996)
- Distinto in due parti per valutare le aree di **svernamento** e quelle di **estivazione**



Altitudine,  
Pendenza,  
Complessità morfologica,  
Uso del suolo,  
Assolazione -> *Svernamento*  
Esposizione -> *Estivazione*



**Scenari emissivi A2 e B2  
HadCM3 al 2020 e 2050**

# Camoscio alpino (*Rupicapra rupicapra*) in Valchiavenna <sup>4. Fauna alpina</sup>

Modello di vocazionalità faunistica

- **Validato** per il camoscio in Valchiavenna (Ranci Ortigosa, 2000; Tosi et al., 1996)
- Distinto in due parti per valutare le aree di **svernamento** e quelle di **estivazione**



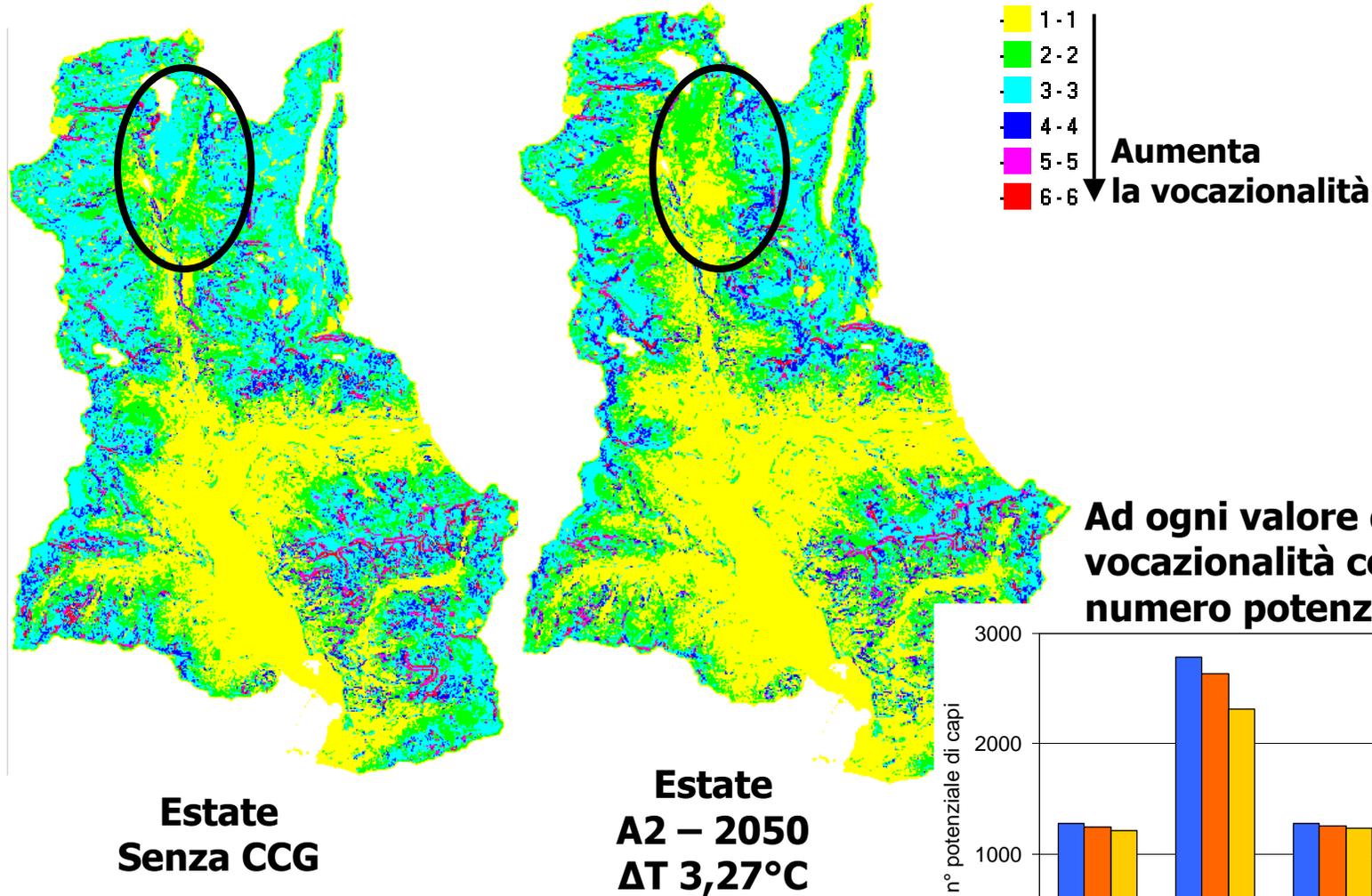
↓  
Alitudine,  
Pendenza,  
Complessità morfologica,  
Uso del suolo,  
Assolazione -> *Svernamento*  
Esposizione -> *Estivazione*

Ad esempio:

Uso del suolo	Inverno	Estate
Urbanizzato	0	0
zone di erosione	0	0
bosco ceduo di latifoglie	8	6
bosco di conifere	12	10
Prati	4	4
Maggenghi	3	7
pascoli d'alta quota	13	18
incolti erborati	13	11
incolti con cespugli	15	13
incolti vegetazione mista	14	12
vegetazione rupestre	20	20
roccia nuda	16	16

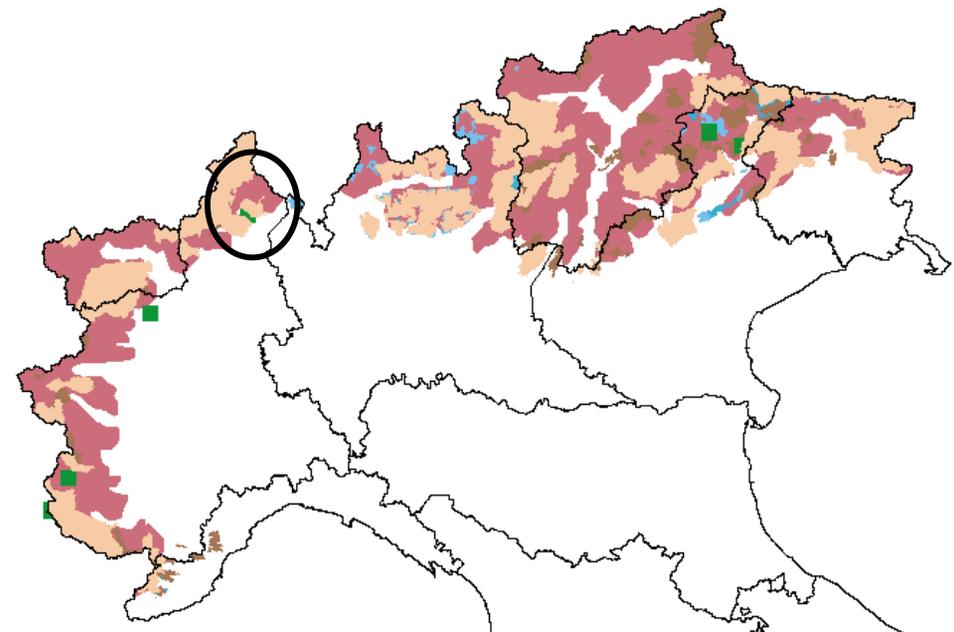
**Scenari emissivi A2 e B2  
HadCM3 al 2020 e 2050**

# Camoscio alpino (*Rupicapra rupicapra*) in Valchiavenna



# Gallo forcello (*Tetrao tetrix*) nel Parco Naturale Veglia-Devero

- Indicatore ecologico in habitat alpini
- Status della specie: rischio minimo, anche se ci sono segnali di declino in alcune aree europee (UK) e di estinzione (Danimarca)
- Modello tarato e validato per Parco dell'Alpe Veglia-Devero (Ranci Ortigosa, 2000)



# Gallo forcello (*Tetrao tetrix*) nel Parco Veglia-Devero

## Modello di vocazionalità

MVA per il gallo forcello (Ranci Ortigosa, 2000), Parco Veglia-Devero:

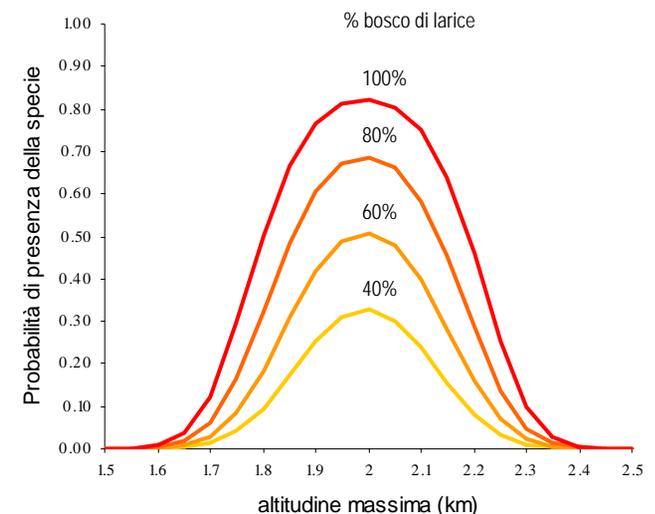
- **analisi locale**: cartografia 1:10000 e 1:25000
- individua separatamente le caratteristiche ambientali idonee per le **arene di canto** e per le **zone di covata**
- risultati espressi come **probabilità di presenza**

altitudine

copertura vegetazionale

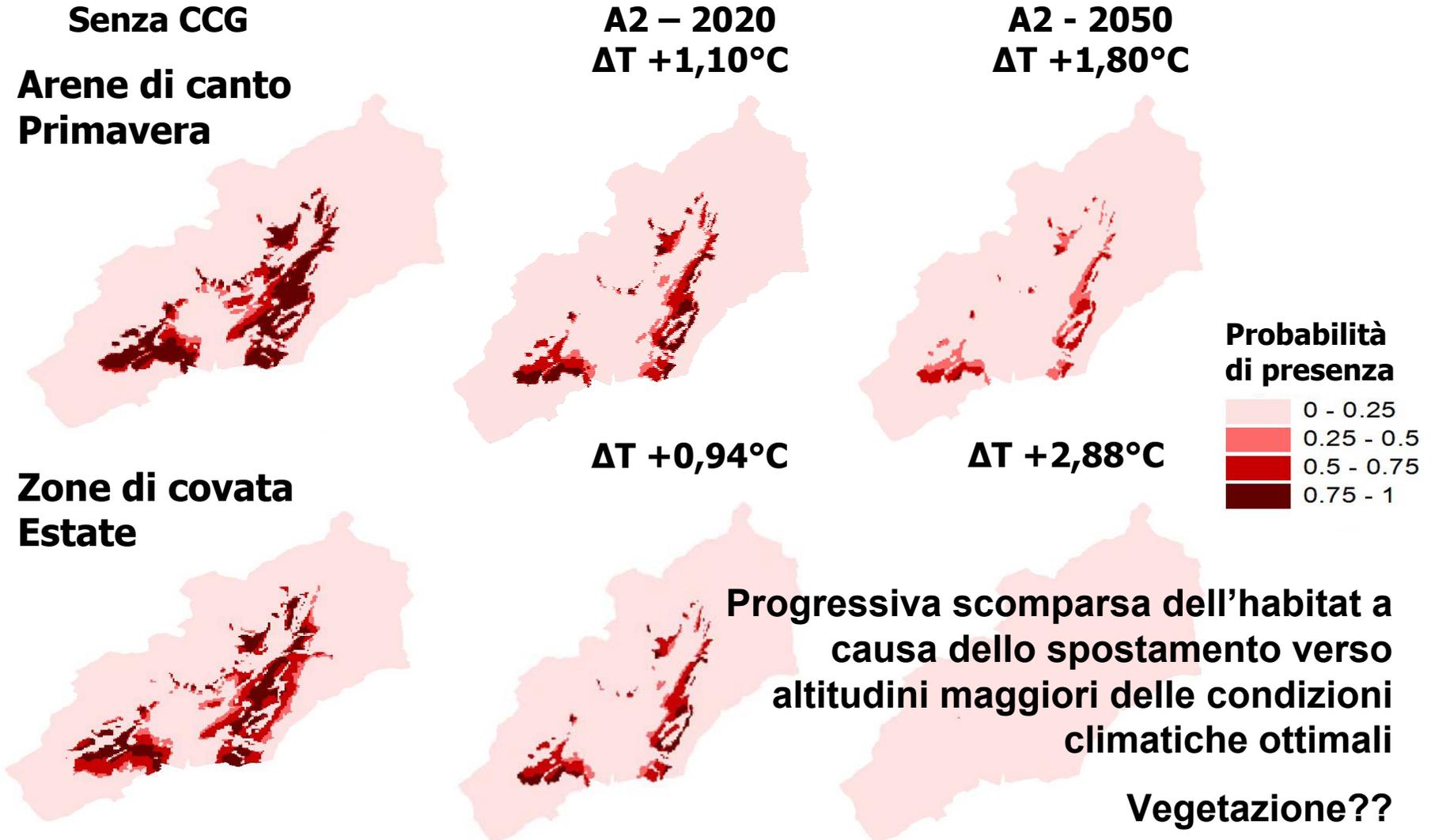
$$p = \frac{\exp(b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2 + b_3x_2)}{1 + \exp(b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2 + b_3x_2)}$$

		Zone di accoppiamento	Zone di covata
Intercetta	$b_0$	-162.51	-214.83
Altitudine massima	$x_1$	160.70	207.04
Altitudine massima <sup>2</sup>	$x_1^2$	-40.28	-51.78
% boschi di larice		3.77	
% boschi di larice e cespuglieti a rododendro	$x_2$		9.18



# Gallo forcello (*Tetrao tetrix*)

## Risultati del modello di vocazionalità

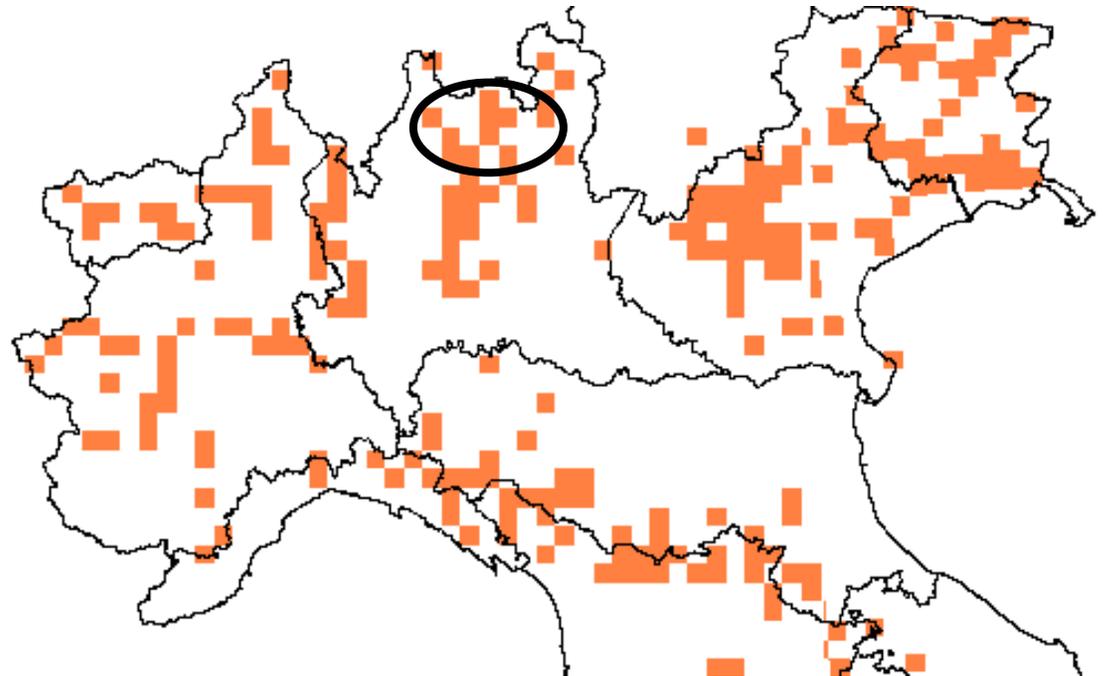


# Trota fario (*Salmo trutta*) nel fiume Adda prelacuale

- Buon indicatore della qualità delle acque
- Pesca sportiva
- Stesso tratto di fiume considerato per i danni alle infrastrutture
- Modello di vocazionalità specifico per l'area



Indicatori di vocazionalità:  
**Temperatura acqua**  
**Deflusso minimo vitale**



# Trota fario (*Salmo trutta*)

Abbiamo a disposizione:

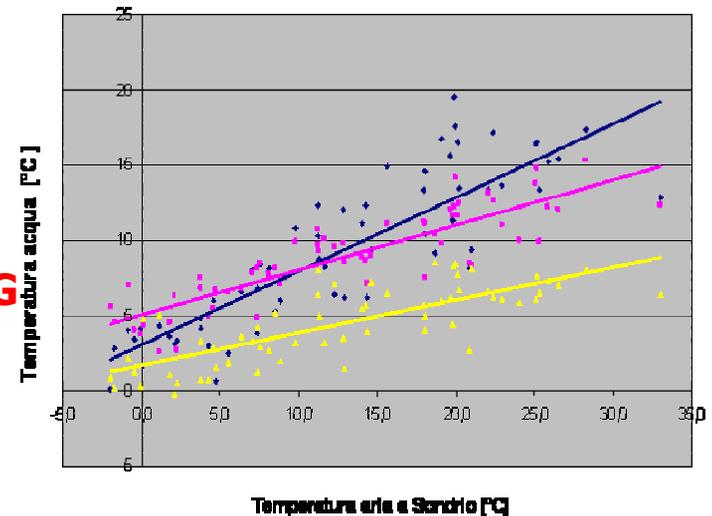
- Misure della temperatura aria (3 stazioni) e temperatura acqua
- Scenari futuri di CCG A2 e B2, HadCM3 al 2020 e 2050

Servono:

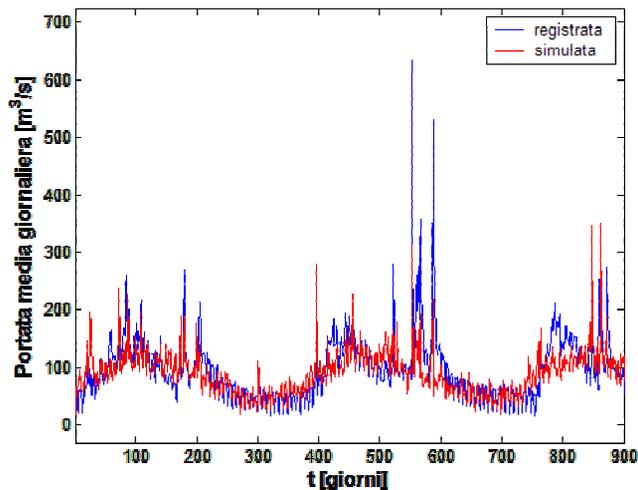
**Scenari futuri di variazione della temperatura acqua in funzione dei CCG**

**Scenari futuri di andamento delle portate**

Tramite algoritmo lazy learning usando precipitazioni e temperature in ingresso



• T Adda Trano	• T Adda Caiolo	• T Adda Valdidentro
$y = 0,4907x + 3,0193$ $R^2 = 0,7311$	$y = 0,298x + 5,0589$ $R^2 = 0,7489$	$y = 0,2184x + 1,8622$ $R^2 = 0,8908$

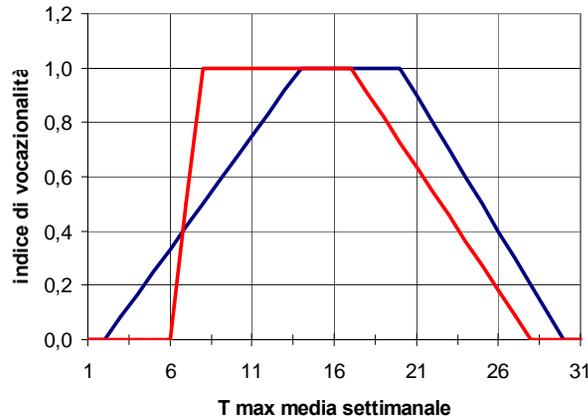


# Trota fario (*Salmo trutta*)

## Indice di vocazionalità temperatura acqua

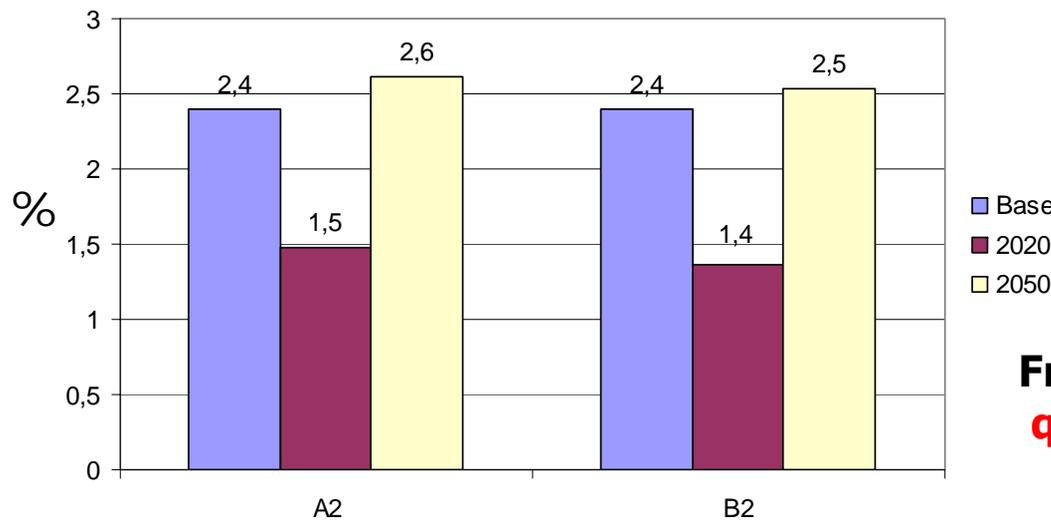
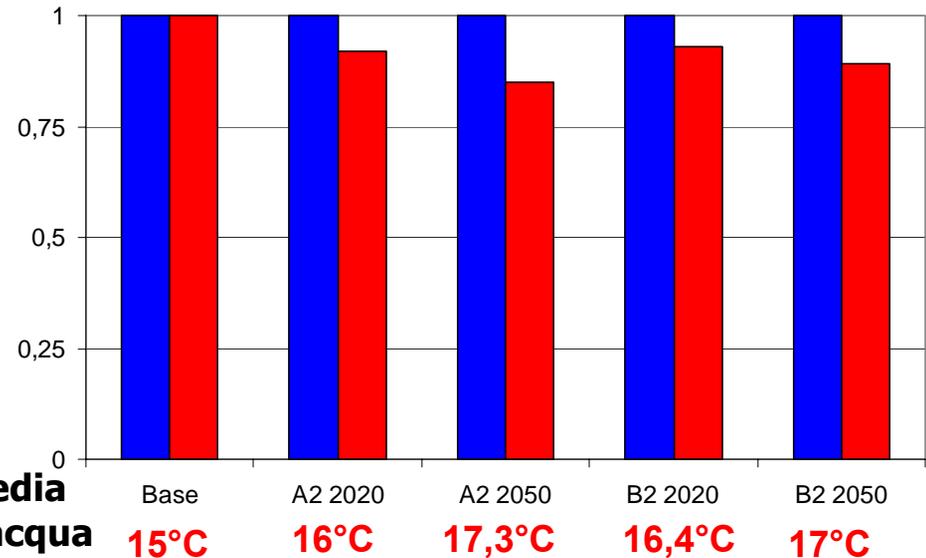
adulti e giovani

avannotti



Raleigh *et al.* (1984)

Temperatura media  
settimanale dell'acqua  
massima (°C)



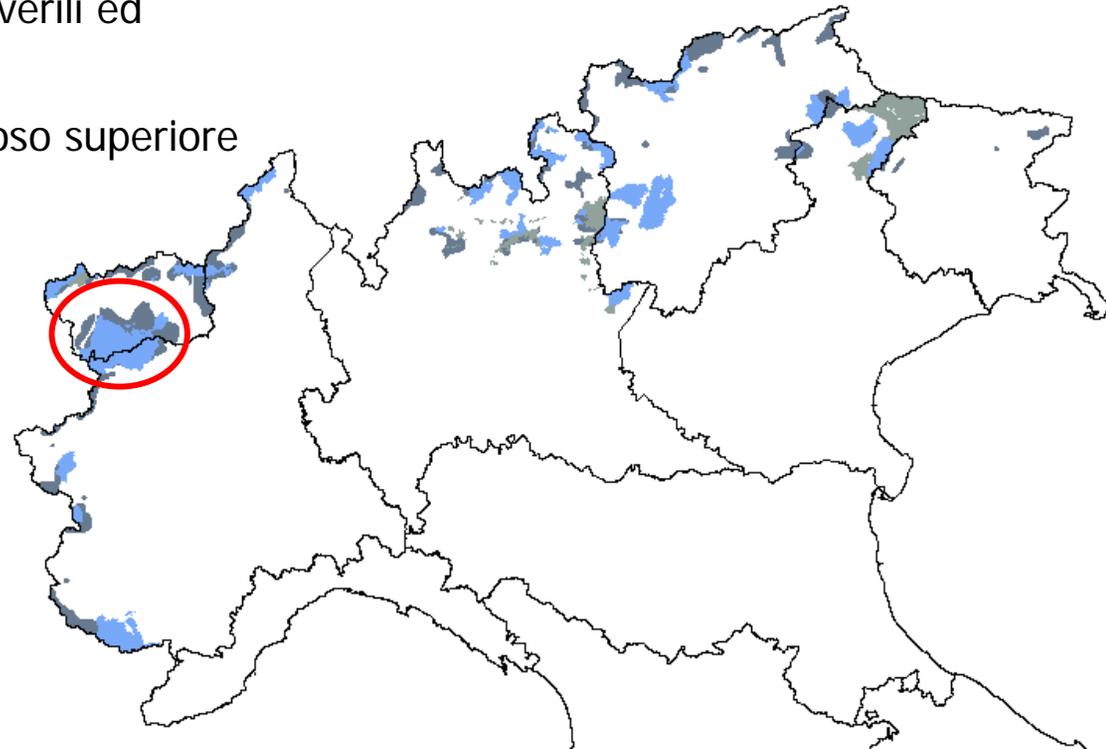
Frequenza dei giorni con  
 $q < 40 \text{ m}^3/\text{sec}$

## Impatto sulla dinamica della popolazione dello stambecco (*Capra ibex ibex*) nel Parco del Gran Paradiso

Modelli con dipendenza da densità e dalle condizioni climatiche

Analisi di correlazione con diverse variabili meteorologiche (Jacobson et al., 2004):

- medie invernali ed estive delle temperature minime e massime
- precipitazioni totali invernali, primaverili ed estive
- numero di giorni con spessore nevoso superiore a 126 e 154 cm
- spessore nevoso medio stagionale (novembre-maggio)



Jacobson *et. al.*, 2004. Ecology 85: 1598-1610.

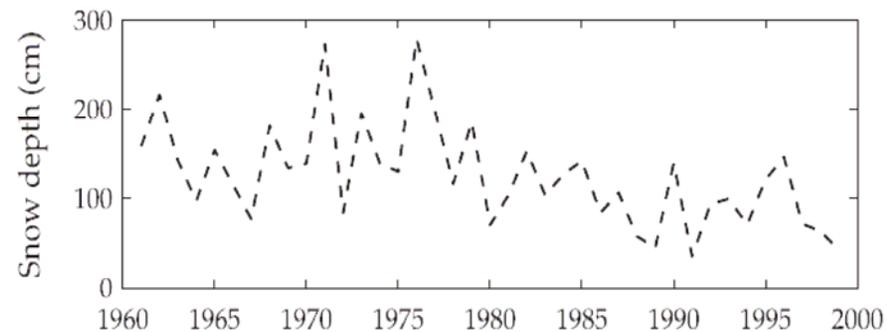
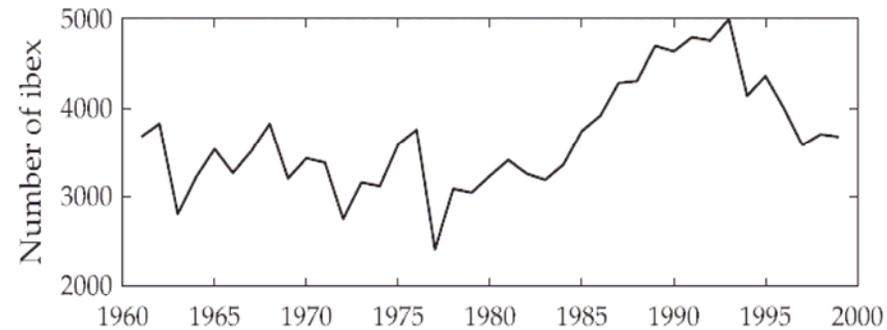
Corani e Gatto, 2007. Ecography 30: 400-416.

# Impatto sulla dinamica della popolazione dello stambecco (*Capra ibex ibex*) nel Parco del Gran Paradiso

Modelli con dipendenza da densità e dalle condizioni climatiche

Analisi di correlazione con diverse variabili meteorologiche:

- medie invernali ed estive delle temperature minime e massime
- precipitazioni totali invernali, primaverili ed estive
- numero di giorni con spessore nevoso superiore a 126 e 154 cm
- spessore nevoso medio stagionale (novembre-maggio)



# Impatto sulla dinamica della popolazione dello stambecco (*Capra ibex ibex*) nel Parco del Gran Paradiso

Scenari emissivi

**A2** e **B2**

Modelli AOGCM

**HadCM3**, **CSIRO-mk2** e **CGCM2**

## trend 30 anni della media e varianza mensile di

- precipitazione totale,
- temperatura minima
- temperatura massima

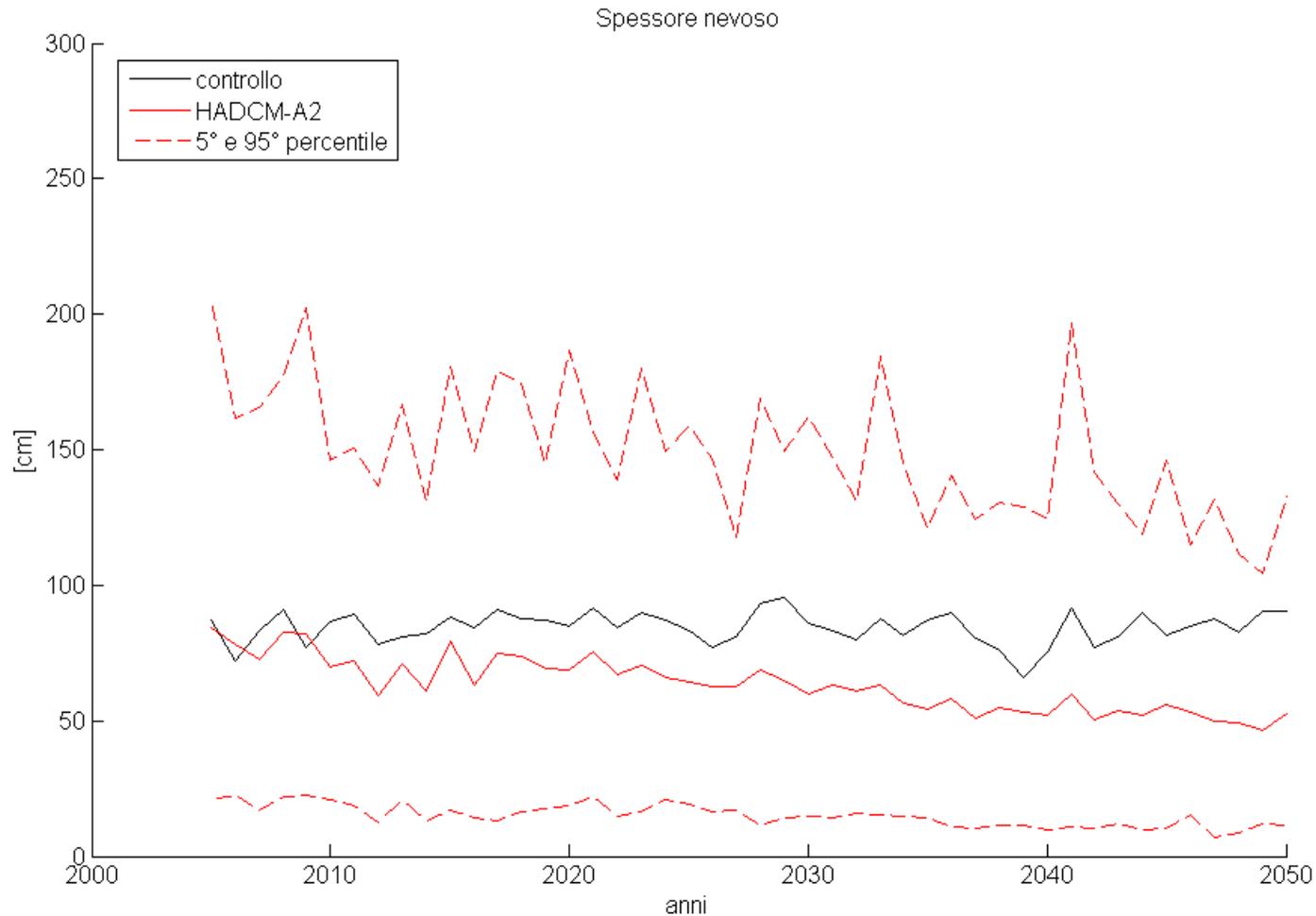
1. **Downscaling** delle statistiche climatiche generate dagli AOGCM con il metodo del *change factor*
2. Con un modello *weather generator* si generano serie di **dati giornalieri**
3. Dai dati giornalieri si simula lo **spessore nevoso** con un modello *degree day*

# Impatto sulla dinamica della popolazione dello stambecco (*Capra ibex ibex*) nel Parco del Gran Paradiso

## Spessore nevoso

100 simulazioni stocastiche per ogni scenario di cambiamento climatico

Scenario di controllo privo di trend: 1961-1990

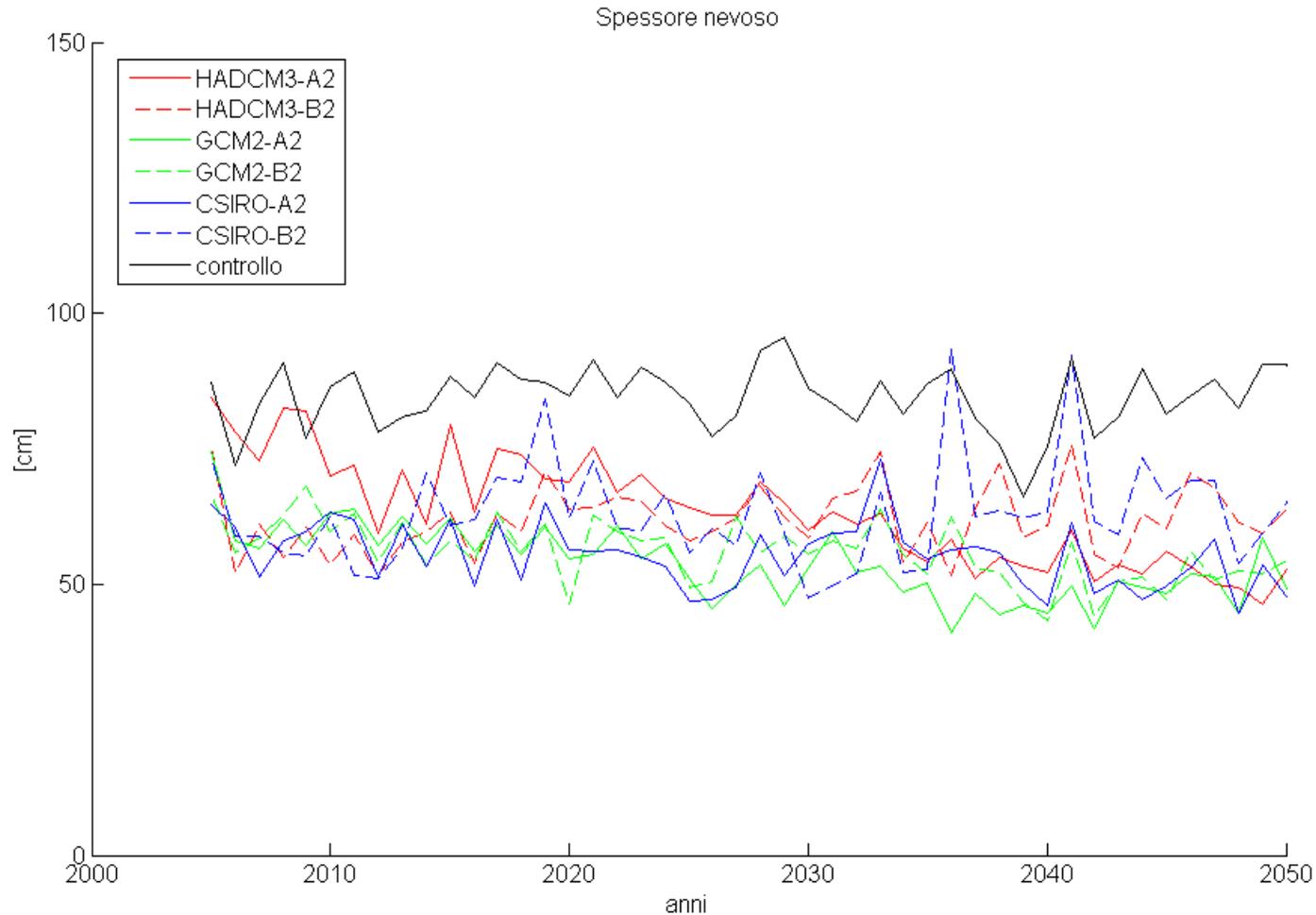


# Impatto sulla dinamica della popolazione dello stambecco (*Capra ibex ibex*) nel Parco del Gran Paradiso

## Spessore nevoso

100 simulazioni stocastiche per ogni scenario di cambiamento climatico

Scenario di controllo privo di trend: 1961-1990

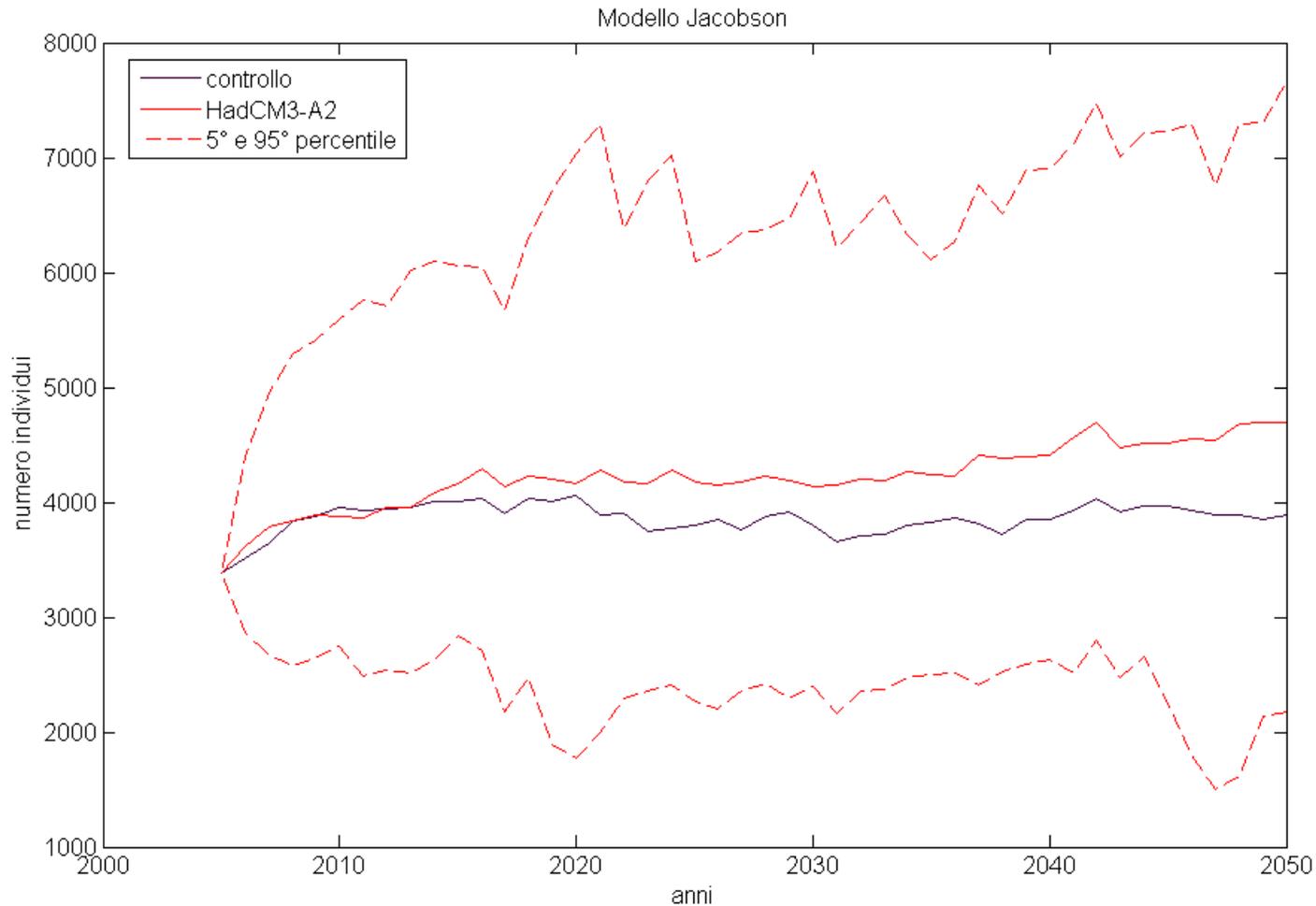


# Impatto sulla dinamica della popolazione dello stambecco (*Capra ibex ibex*) nel Parco del Gran Paradiso

Numero di individui (modello di Jacobson et al., 2004)

100 simulazioni stocastiche per ogni scenario di cambiamento climatico

Scenario di controllo privo di trend: 1961-1990

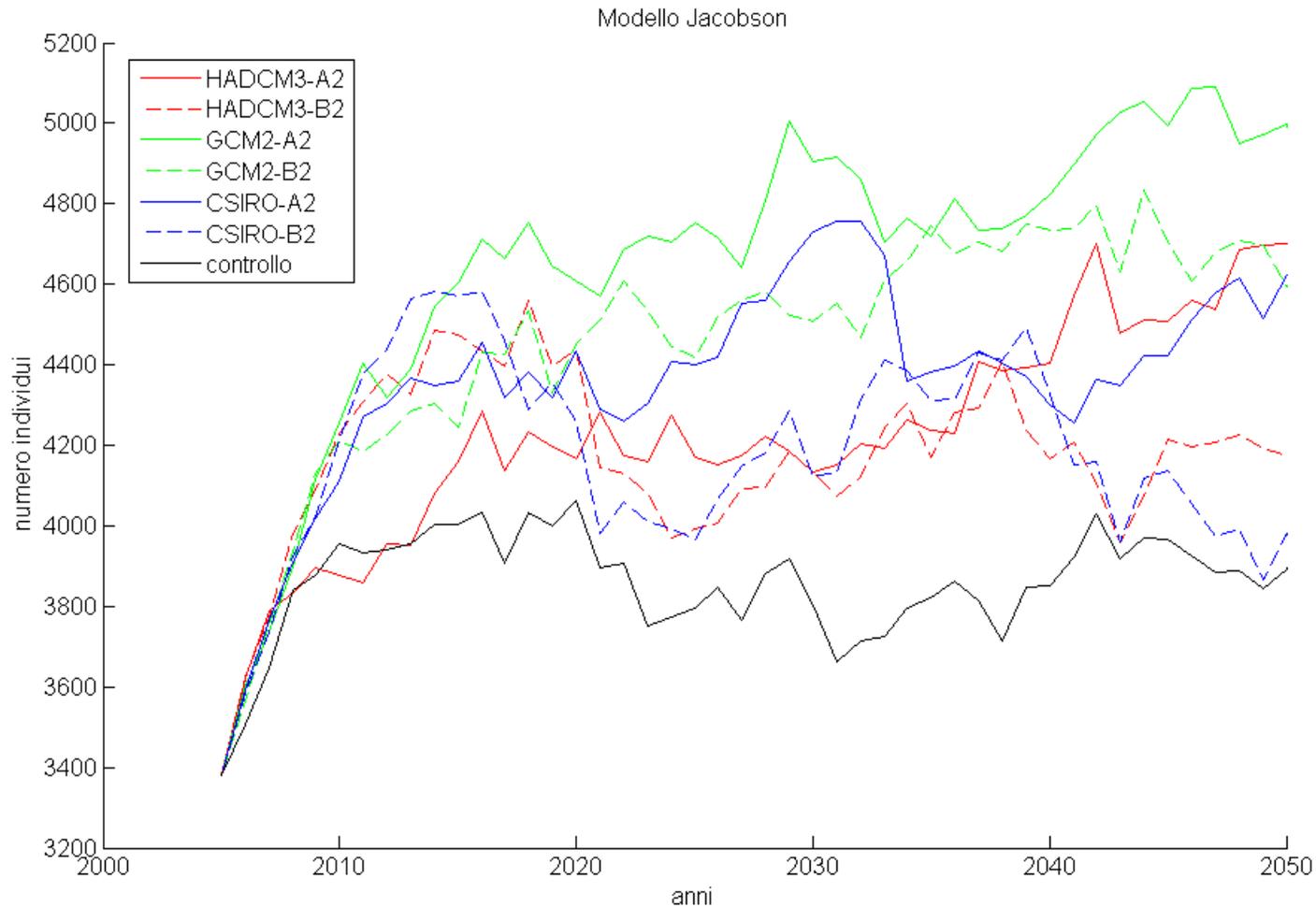


# Impatto sulla dinamica della popolazione dello stambecco (*Capra ibex ibex*) nel Parco del Gran Paradiso

Numero di individui (modello di Jacobson et al., 2004)

100 simulazioni stocastiche per ogni scenario di cambiamento climatico

Scenario di controllo privo di trend: 1961-1990



# Conclusioni

- Possibile delineare scenari dell'influenza dei CCG sugli ecosistemi alpini. Predizioni spesso contraddittorie. E' necessario:
- Raccolta regolare di dati floristici e faunistici con protocolli scientifici standard.
- Database georeferenziato ed aggiornato della biodiversità.
- Raccolta di modelli predittivi e sviluppo di nuovi modelli (flora e fauna). Loro organizzazione in un database di modelli.
- Coordinamento con climatologi per il downscaling. Coordinamento con studiosi del suolo e dei cicli biogeochimici.