



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

**I CAMBIAMENTI CLIMATICI ATTRAVERSO IL
MONITORAGGIO DI TRE BIOINDICATORI:
VEGETAZIONE, AVIFAUNA E CORALLI.**

Dr.ssa Adiutori Angelica

Tutor: Dr.ssa Arcangeli Antonella

Co Tutor: Dr.ssa Fornasier Francesca

Sessione di stage 2008



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

**I CAMBIAMENTI CLIMATICI ATTRAVERSO IL
MONITORAGGIO DI TRE BIOINDICATORI:
VEGETAZIONE, AVIFAUNA E CORALLI.**

Dr.ssa Adiutori Angelica

Tutor: Dr.ssa Arcangeli Antonella

Co Tutor: Dr.ssa Fornasier Francesca

Data	Firma Stagista	Firma Tutor	Firma Responsabile servizio
1/10/2008			

ABSTRACT

Le vie attraverso cui i cambiamenti climatici in atto stanno influenzando specie ed ecosistemi sono complesse e diversificate: in generale si avranno variazioni negli equilibri dei sistemi ecologici e nella biodiversità ed è quindi indispensabile valutare la capacità di adattamento delle specie e degli ecosistemi a questo fattore, ed intervenire per la loro salvaguardia attraverso strategie di adattamento e mitigazione. Il presente studio analizza recenti e consistenti lavori scientifici sul tema degli effetti dei cambiamenti climatici a vari livelli di biomonitoraggio, riguardanti l'Europa e il bacino del Mediterraneo per verificare la disponibilità di bioindicatori strutturati, utili a monitorare gli effetti dei *global changes* in Italia. Sono stati selezionati tre bioindicatori ritenuti particolarmente attendibili e significativi e di cui si riportano indicazioni relative alle principali ricerche che ne fanno utilizzo: ecosistemi vegetali (vegetazione d'alta quota), avifauna (*Hirundo rustica*), coralli madreporari. I dati con i relativi risultati sono stati raccolti in un *database* che ci ha consentito di archiviare le informazioni per renderle disponibili per ulteriori monitoraggi.

PREFAZIONE

Nell'ambito della conservazione dell'ambiente e della tutela della biodiversità, una importante funzione di ordine nazionale è quella di fornire il quadro dei dati e delle informazioni disponibili sul monitoraggio dello stato dell'ambiente di modo che possano essere di supporto all'attività di governo a tutti i livelli. La stessa Convenzione sulla Diversità Biologica (CBD), strumento principale per la tutela della biodiversità in ambito europeo, in particolare all'art. 7 – Individuazione e monitoraggio, riconduce a tre filoni principali gli ambiti di azione richiesti: lo sviluppo e la messa a sistema di strumenti per il monitoraggio della qualità ambientale (indicatori e indici), sviluppo di linee guida per la conduzione dei monitoraggi, compreso il supporto alle reti di raccolta e di intercalibrazione del dato, ed il reporting ambientale nelle materie di propria competenza.

Gli indicatori sono uno strumento indispensabile per fotografare e monitorare nel tempo i cambiamenti in atto e valutarne il trend, di modo da essere in grado di individuare azioni di risposta coerenti con la conservazione della biodiversità. Nonostante questo, non esiste ancora una banca dati ufficiale che riunisca tutti gli indicatori biologici esistenti e che sia tarato sulle esigenze nazionali. A questo scopo è stato quindi sviluppato un database con interfaccia di interrogazione basata sui metadati degli indicatori, in cui sono chiaramente selezionabili tutti i criteri utili alla individuazione dell'indicatore più idoneo per lo specifico piano di monitoraggio.

I cambiamenti climatici sono uno dei temi di maggiore attualità, a cui viene dedicata particolare attenzione a livello globale. Benché siano ormai sviluppati da tempo diversi indicatori utili a valutare e monitorare il cambiamento climatico in atto, sono ancora poco in uso e poco disponibili indicatori utili alla valutazione degli effetti che il cambiamento climatico ha sulla biodiversità o sull'utilità di alcune azioni di conservazione. Un esempio fra i tanti è rappresentato dall'individuazione di SIC e/o ZPS per la tutela di aree di sosta di uccelli migratori che potrebbero invece nel tempo modificare i propri ritmi a seguito di cambiamenti avvenuti a livello climatico.

Questa tesina è il risultato di una importante indagine bibliografica che ha passato in rassegna le principali azioni in atto in Italia al fine di individuare un set di indicatori utile al monitoraggio degli effetti che il cambiamento climatico ha sulla biodiversità nazionale. A seguito di questa indagine sono stati individuati tre indicatori di ambiti diversi che sono risultati essere i più idonei e di cui vengono trattate con dettaglio le caratteristiche ed il loro possibile uso in un eventuale piano di monitoraggio nazionale.

INDICE

INTRODUZIONE

METODOLOGIA

CAPITOLO PRIMO: CAMBIAMENTI CLIMATICI E BIOINDICATORI

- 1.1. Le variazioni climatiche e le sue componenti
- 1.2. La situazione europea
- 1.3. Biodiversità e politiche europee relative al cambiamento climatico
- 1.4. Le caratteristiche del piano italiano
- 1.5. Le fasi storiche
- 1.6. Bioindicatori
- 1.7. Risultati dell'indagine bibliografica
- 1.8. I vegetali come bioindicatori
- 1.8.a Le foreste ed i cambiamenti climatici
- 1.8.b La bioindicazione secondo Elleberg
- 1.9. Ecosistema marino e coralli come bioindicatori
- 1.10. Uccelli come bioindicatori
- 1.11. Licheni come bioindicatori
- 1.12. Anfibi come bioindicatori

CAPITOLO SECONDO : SCELTA DEI BIOINDICATORI

- 2.1. Inserimento dei dati
- 2.2. Gli ecosistemi vegetali e i cambiamenti climatici
- 2.3. Il progetto GLORIA
- 2.3.a Metodologia
- 2.3.b La scelta dell'area d'indagine
- 2.3.c I risultati di GLORIA EUROPE (2001-2003)
- 2.3.d Conclusioni
- 2.4. Gli uccelli migratori come bioindicatori
- 2.4.a La migrazione primaverile delle rondini (*Hirundo rustica l.*)
- 2.4.b Risultati rilevanti
- 2.4.c Principali rotte e caratteristiche migratorie di *Hirundo rustica*
- 2.4.d Conclusioni
- 2.5. I coralli madreporari del mediterraneo come indicatori del cambiamento climatico
- 2.5.a. Il caso di *Oculina Patagonica*

CONCLUSIONI GENERALI

BIBLIOGRAFIA e siti web di riferimento

ALLEGATI

INTRODUZIONE

La natura e l'intensità di alcune attività antropiche e, in particolare, di quelle legate ai processi energetici, all'uso del suolo e alle sue variazioni, si sono notevolmente modificate nel corso degli ultimi decenni. Queste attività hanno avuto e continuano ad avere un'interferenza sul ciclo naturale dei gas responsabili dell'effetto serra e del riscaldamento globale, quali anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄), ossido di carbonio (CO), protossido d'azoto (N₂O), biossido di zolfo (SO₂), ozono (O₃) e clorofluorocarburi (CFC).

E' ormai ampiamente accettato che il riscaldamento climatico (*Global Warming*) e' in atto e che sta causando danni ambientali in ogni parte del pianeta. Le temperature dei mari sono aumentate di almeno 1°C nell'ultimo secolo e stanno attualmente aumentando di 1°C ogni 100 anni.

Un'altra delle prove più evidenti dei cambiamenti climatici (*Global Changes*) in atto è data dall'evidente accelerazione della fusione dei ghiacci nell'emisfero Nord, sia alle calotte polari, sia in mare: le sonde sottomarine mostrano che lo spessore del ghiaccio artico è diminuito del 42% dagli anni '50, la copertura di ghiaccio della Groenlandia perde ogni anno una copertura pari a 51 chilometri cubici.

Inoltre, il progressivo riscaldamento climatico dell'ultimo ventennio, in ambito alpino si manifesta oltre che con il ritiro dei ghiacciai, anche con la diminuzione delle precipitazioni nevose, la minor permanenza della neve al suolo, l'aumento della franosità e, conseguentemente, con cambiamenti nella distribuzione delle specie vegetali. L'ambiente di vita montano ed alpino costituisce, per diversi motivi, un'area particolarmente sensibile per l'osservazione in tempi medi degli effetti dei cambiamenti climatici (Pauli *et al.* 2001).

Infatti essendo gli ecosistemi montani l'unica unità biogeografica terrestre distribuita su tutto il pianeta, gli effetti del global change sono molto evidenti: in particolare, con l'aumento dell'altitudine, aumenta anche l'influenza della temperatura sulla vegetazione alpina che, di conseguenza, è considerata un valido bioindicatore di cambiamento climatico.

L'incidenza dell'attività umana, oltre che con il riscaldamento del pianeta, emerge anche da altri indicatori quali il livello delle precipitazioni (pioggia, neve e grandine), il grado di salinità degli oceani, i modelli del vento nonché la frequenza e la durata di eventi estremi come siccità, alluvioni, ondate di caldo o freddo.

Secondo l'ultimo rapporto di valutazione dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) del febbraio 2007, la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera è aumentata passando dai livelli preindustriali di 280 parti per milione (ppm) a **379 ppm di CO₂ equivalente***. Al contempo, nella maggior parte del pianeta compresa l'Europa, fa sempre più caldo. Undici degli ultimi dodici anni (1995-2006) figurano fra i 12 anni più caldi dall'inizio delle misurazioni comparative (1830). Le temperature globali sono salite di **0,76°C** rispetto ai livelli preindustriali (Rete Natura 2000, 2007).

Le stime contenute nel suddetto rapporto prevedono che entro il 2100 le temperature globali dovrebbero superare i livelli preindustriali di **2,5 - 4,8°C** (un precedente studio condotto nel 2004 dall'AEA, l'Agenzia europea per l'Ambiente, aveva calcolato, entro la stessa data, un innalzamento delle temperature in Europa del 2 - 6,3°C). Se non si facesse nulla, la CO₂ salirebbe assai di più e potrebbe raggiungere 710 ppm, circa 2 volte e mezzo il valore preindustriale, con conseguenze inimmaginabili per il clima. Dal modello delle precipitazioni emergono nette variazioni regionali: rispetto al passato piove di più in Europa centrale e settentrionale, mentre nel sud-sudest del continente aumenta la siccità. Si prevede che le tendenze osservate continueranno anche in futuro. Sebbene gli eventi di freddo (numero di giorni di gelo) siano meno frequenti, sono aumentate le probabilità di altre condizioni climatiche estreme. Sempre secondo l'IPCC, questi cambiamenti fisici influiscono sui sistemi naturali. Nella criosfera, l'innalzamento delle temperature ha portato ad un incremento del numero e delle dimensioni dei laghi glaciali, ad una maggiore instabilità del suolo in montagna e in altre regioni permafrost, nonché a mutamenti in alcune specie vegetali e animali dell'Artide e dell'Antartide.

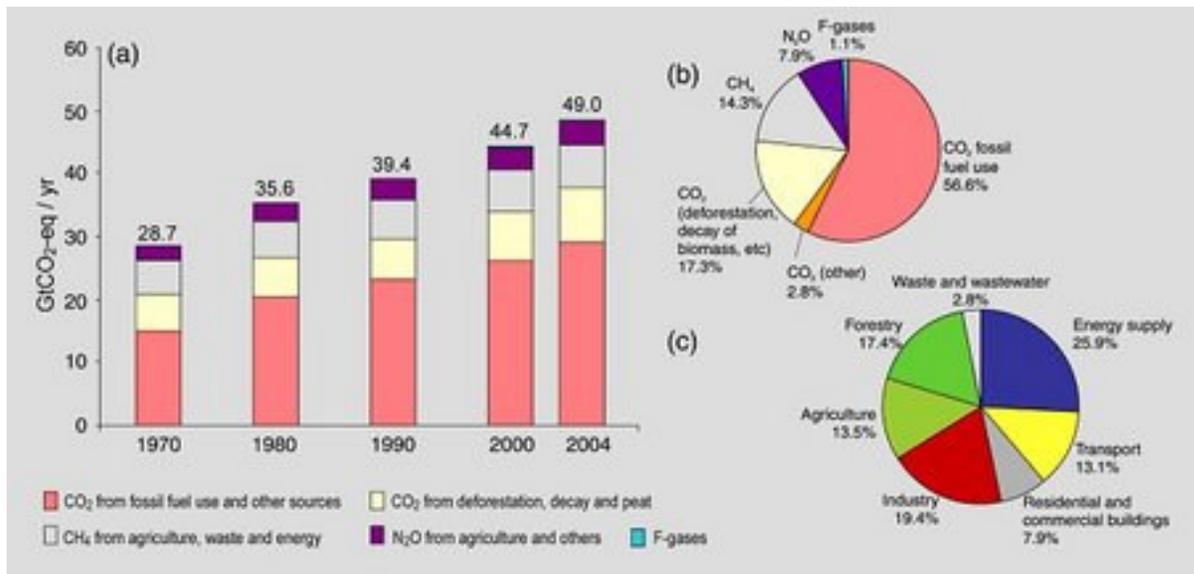
Il rapporto dell'IPCC del 2007 ha ritoccato alcuni dati rispetto al precedente rapporto pubblicato nel 2001: le nuove previsioni attestano che “verso metà del secolo la portata media dei fiumi e la disponibilità di acqua aumenteranno del 10-40% alle latitudini elevate e in alcune regioni tropicali umide, mentre diminuiranno del 10-30% in alcune regioni alle medie latitudini e nelle regioni tropicali aride. Le aree affette da siccità cresceranno in estensione e gravi fenomeni di precipitazione aumenteranno molto probabilmente di frequenza, aggravando il rischio di alluvioni. Nel corso del secolo, si prevede una diminuzione delle riserve di acqua dei ghiacciai e delle coperture nevose, che ridurrà la disponibilità di acqua in regioni in cui vive un sesto della popolazione mondiale.” “La resilienza di molti ecosistemi verrà probabilmente superata durante questo secolo con una combinazione inedita di cambiamenti climatici, stress associati alluvioni,

siccità, incendi, insetti, acidificazione oceanica e altri fattori di cambiamento globale (cambio nell'uso della terra, inquinamento, sovrasfruttamento delle risorse).

L' assorbimento di carbonio da parte degli ecosistemi terrestri dovrebbe raggiungere un picco prima della metà del secolo e poi indebolirsi o addirittura diminuire, amplificando così i cambiamenti climatici. Circa il **20-30%** delle specie vegetali e animali aumenteranno il loro rischio di estinzione se la temperatura supererà **1,5-2,5°C**. Per aumenti di temperatura maggiori si prevedono cambiamenti rilevanti nella struttura e nella funzione degli ecosistemi, nella diffusione delle specie con conseguenze negative per la biodiversità. La progressiva acidificazione degli oceani dovuta all'aumento della CO₂ atmosferica avrà un impatto negativo sulla formazione delle conchiglie e dei coralli. Inoltre si prevede che le coste siano esposte a rischi crescenti, tra cui l' erosione costiera dovuta al cambiamento climatico e l'aumento del livello del mare; questi effetti saranno esacerbati dall'aumento della pressione antropica sulle aree costiere. Le aree umide costiere, comprendendo le lagune e le foreste di mangrovie saranno influenzate negativamente dall'aumento del livello del mare, soprattutto dove non hanno possibilità di espansione verso l'entroterra o dove hanno uno scarso sedimento.” Entro il 2100, il livello dei mari dovrebbe salire tra i 18 ed i 59 centimetri, rispetto alla forbice 9-88 centimetri del rapporto del 2001. Le incertezze sono legate alla difficile prevedibilità del comportamento dell'Antartico e della Groenlandia.

Nel corso del secolo, si prevede una diminuzione delle riserve di acqua dei ghiacciai e delle coperture nevose, che ridurrà la disponibilità di acqua in regioni in cui vive un sesto della popolazione mondiale. Molti milioni di persone si troveranno allagate ogni anno a causa dell'aumento del livello del mare intorno al 2080. Le aree densamente popolate poco sopra il livello del mare dove la capacità adattativa è relativamente bassa sono particolarmente a rischio, anche perchè fronteggiano altre sfide, quali le tempeste tropicali e la subsidenza costiera. Le persone saranno colpite soprattutto nei grandi delta dei fiumi in Asia e Africa, e nelle piccole isole. Pertanto, i cambiamenti climatici sono oggi considerati sempre più spesso una seria minaccia alla biodiversità (insieme all'inquinamento e alle nuove tipologie di utilizzo del suolo). L'aumento delle temperature si ripercuote infatti sul piano biologico, causando l'anticipazione dei fenomeni primaverili, come i periodi di fioritura e lo spostamento degli areali di alcune piante e specie animali verso i poli e a maggiori altitudini, come per la migrazione degli uccelli.

* CO₂ equivalente – È l'unità di misura utilizzata per i gas ad effetto serra e serve ad esprimere le quantità di ciascun gas in termini di anidride carbonica. L'equivalenza è calcolata moltiplicando le emissioni di un gas per il suo potenziale di riscaldamento globale in rapporto al potenziale dell'anidride carbonica



Andamento della crescita del tasso di CO₂-eq e di altri gas serra

METODOLOGIA

Il presente studio prevede l'analisi dei principali e più consistenti lavori scientifici sul tema degli effetti dei cambiamenti climatici a vari livelli di monitoraggio biologico (popolazioni, comunità, famiglie, genere, specie), estendendo le ricerche ai diversi ecosistemi coinvolti: vegetali, acquatici, marini, montani, riguardanti l' Europa ed il bacino del Mediterraneo ma escludendo specie non presenti in Italia.

I risultati delle indagini bibliografiche relative ai bioindicatori presi in esame sono riportati nel paragrafo 1.7.

Questo lavoro integra il progetto di realizzazione e compilazione del *DataBase* sugli indicatori biologici. Il database è basato sui metadati degli indicatori, ovvero tutte le informazioni necessarie per un corretto utilizzo dello strumento per le diverse indagini ambientali. L'archiviazione di tutte le informazioni relative a parametri quali la scala di applicazione, le metodologie, i costi di applicazione, il comparto ambientale e la matrice di applicazione ed altre, permettono di utilizzare lo strumento del database per selezionare l'indice o l'indicatore più efficace per lo specifico ambito d'indagine, potendo contare anche su informazioni relativi a studi di riferimento.

In questo caso la sua compilazione attraverso gli studi analizzati sui tre gruppi di indicatori biologici menzionati ha permesso anche di testare la struttura del DataBase per renderne la compilazione più efficace. Gli indicatori selezionati verranno quindi inseriti del DataBase per renderne disponibile le caratteristiche per un loro eventuale utilizzo come indicatori di effetto dei cambiamenti climatici in Italia. Le tre schede sono riportate in allegato nelle ultime pagine dopo le conclusioni generali.

CAPITOLO PRIMO:

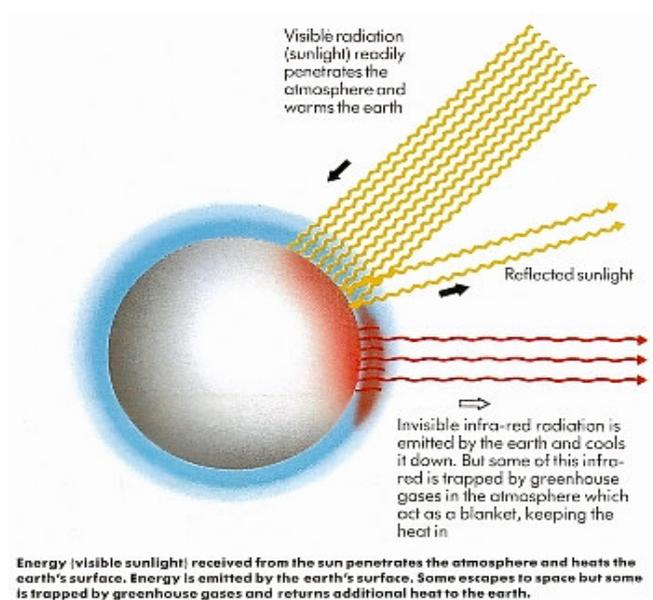
CAMBIAMENTI CLIMATICI E BIOINDICATORI

1.1. Le variazioni climatiche e le sue componenti

Il clima è definito come variazione statistica, in termini di media e variabilità, dei diversi fattori quali temperatura, piovosità, illuminazione, vento misurati in un periodo di tempo che può variare da alcuni mesi a migliaia di anni, su un territorio ben definito. Per il WMO tale periodo si estende su trenta anni.

A guidare questo sistema complesso è l'energia proveniente dal sole. Questa energia, in forma di radiazione elettromagnetica, è assorbita, ridistribuita dalla circolazione atmosferica e oceanica e quindi rimessa verso lo spazio a una lunghezza d'onda maggiore.

Circa metà della radiazione solare cade nella regione visibile dello spettro elettromagnetico, mentre l'altra metà cade in parte nel vicino infrarosso, in parte nell'ultravioletto. Ogni metro quadrato della superficie della terra esterna all'atmosfera riceve ogni anno dal sole una media di 342 Watt. Di questa energia, il 31% è riflesso nuovamente verso lo spazio dalle nubi, dall'atmosfera e dalla superficie terrestre; la parte rimanente è assorbita dall'atmosfera (20%) e, per la maggior parte (49%), dalla superficie terrestre, dal suolo e dagli oceani.



Bilancio tra energia solare incidente sulla Terra e riemessa nell'atmosfera

La Terra emette nuovamente questa energia verso lo spazio, principalmente sotto forma di radiazione infrarossa e di vapore acqueo, che rilascia il suo calore per condensazione negli strati alti dell'atmosfera.

Il bilancio tra l'energia solare incidente sulla Terra, sotto forma di radiazione visibile, e l'energia costantemente riemessa dalla Terra verso lo spazio determina la *temperatura media* del nostro pianeta.

Parte della radiazione infrarossa emessa dalla Terra verso lo spazio è però intrappolata da alcuni gas dell'atmosfera e da questi riemessa in basso verso la superficie stessa. Questo processo determina il riscaldamento della terra e degli strati bassi dell'atmosfera creando il cosiddetto “*effetto serra*”.

I gas-serra presenti naturalmente nell'atmosfera, che sono essenzialmente il vapore d'acqua (H_2O), il biossido di carbonio (CO_2), l'ozono (O_3), il metano (CH_4), e il protossido d'azoto (N_2O), hanno quindi un ruolo fondamentale nella regolazione dei flussi energetici: trattenendo l'energia termica che la terra restituisce allo spazio, in conseguenza dell'irradiazione solare, la loro presenza fa sì che la temperatura media della terra sia di $14,5^\circ C$ invece che di $-19^\circ C$, consentendo lo sviluppo della vita sull'intero pianeta.

Il forzante radiativo di questi gas dipende ovviamente dal tasso di incremento delle concentrazioni di ciascun gas-serra in atmosfera, dalle loro proprietà radianti specifiche e dalle concentrazioni di altri gas serra eventualmente già presenti in atmosfera. Questi gas, nonostante siano presenti soltanto in traccia nell'atmosfera, hanno un contributo radiante positivo prolungato nel tempo, fino a qualche decennio, o addirittura secoli, dal momento dell'emissione.

Quando i forzanti radiativi cambiano, il sistema climatico risponde su varie scale temporali. Le risposte più lunghe sono generalmente dovute alla grande capacità termica degli oceani e al cambiamento di stato delle superfici glaciali; ciò comporta risposte ad alcuni cambiamenti che possono durare migliaia di anni.

Un esempio della complessità delle interazioni che si verificano tra i vari componenti è rappresentato dagli scambi di vapore acqueo e di calore, tra atmosfera e oceani per i processi evaporativi. Questo aspetto costituisce parte del ciclo idrologico e porta a condensazione, formazione delle nubi, precipitazioni, deflusso superficiale e scambio di energia con l'atmosfera.

Tra l'atmosfera e gli oceani esiste, inoltre, uno scambio di CO_2 e di altri gas che viene mantenuto in bilancio per effetto, da una parte, dell'immagazzinamento di questo gas nelle acque fredde polari e, dall'altra, del rilascio dello stesso nelle calde acque equatoriali.

Un altro esempio di interazione tra biosfera e clima è rappresentato dal fatto che da un lato la biosfera influenza la concentrazione di biossido di carbonio attraverso la fotosintesi e la respirazione, dall'altro, la stessa biosfera è influenzata dal clima. La biosfera inoltre partecipa a fornire acqua all'atmosfera, attraverso l'evapotraspirazione, e influenza direttamente il bilancio radiativo dell'atmosfera poiché è in grado di modificare la porzione di luce riflessa nello spazio sul totale di quella incidente sulla superficie terrestre (albedo).

Ogni cambiamento nel bilancio radiativo della Terra altera quindi il ciclo idrologico globale, e la circolazione atmosferica oceanica, secondo processi complessi, andando quindi a modificare i regimi delle temperature e delle precipitazioni su scala regionale e globale.

1.2 La situazione europea

Il clima in Europa presenta notevoli differenze per la presenza a ovest della parte oceanica, a est di quella continentale, a nord dell'area artica e a sud del bacino mediterraneo. Gli effetti climatici della distribuzione di terra e mare sono poi ulteriormente complicati dalla presenza di numerose catene montuose che agiscono come vere e proprie barriere fisiche nella circolazione dell'atmosfera e spesso introducono ampi gradienti di precipitazioni in piccole regioni. E' quindi estremamente difficile delineare un quadro sinottico del comportamento dell'atmosfera in un'area così eterogenea come l'Europa.

Comunque la decade dal 1990 al 1999 in Europa è stata la più calda tra quelle registrate in passato sia rispetto alle medie annuali che a quelle invernali.

In generale gran parte dell'Europa ha sperimentato un aumento medio della temperatura dell'aria di superficie di **0,8 °C** rispetto alla media annuale. Questo riscaldamento è stato più evidente sulla Russia nord occidentale e sulla Penisola Iberica e più evidente in inverno che in estate. Anche i regimi pluviometrici differiscono fortemente tra il nord Europa, generalmente più umido, e il sud Europa, notoriamente più secco. Questa differenza riflette una ancora più ampia gamma di trend zonali osservati nelle precipitazioni medie, che contrastano fortemente tra le alte e le basse latitudini. Le precipitazioni sul nord Europa sono aumentate dal 10 al 40 % nel corso del secolo scorso mentre alcune zone del sud Europa hanno registrato un decremento delle precipitazioni fino al 20 %.

1.3 Biodiversità e politiche europee relative al cambiamento climatico

L'Unione Europea si è impegnata a ridurre le emissioni di gas ad effetto serra e a contenere l'impatto dei mutamenti climatici, e sarà chiamata ad affrontare gli effetti di questo inevitabile fenomeno anche nei prossimi decenni. Per tale motivo l'attenzione si sta progressivamente spostando sulla questione dell'adattamento al clima e sugli interventi che possiamo mettere in atto per aiutare la biodiversità ad adeguarsi a questi mutamenti.

La biodiversità avrà una maggiore resilienza e si adatterà meglio al clima che cambia se sapremo garantire un corretto stato di salute dei nostri ecosistemi. Una necessità vitale anche per garantire l'adattamento dell'uomo, poiché la nostra prosperità e il nostro benessere dipendono dai servizi ecosistemici.

La nostra rete di aree protette dà spazio alla natura e contribuisce a sostenere possibili soluzioni di adattamento del patrimonio naturalistico europeo, anche mediante il ripristino e la creazione di habitat che possano agevolare gli spostamenti e la diffusione delle specie man mano che muta il loro "spazio climatico".

Inoltre, per aiutare la natura ad adattarsi ai mutamenti climatici, dovremo ridurre i "tradizionali" fattori che esercitano pressioni sulla biodiversità, come l'uso intensivo delle terre, la frammentazione degli habitat, un eccessivo sfruttamento delle risorse, la diffusione di specie invasive non autoctone e l'inquinamento. Senza un intervento di questo tipo, l'Europa perderà progressivamente la sua diversità biologica, prevarranno soltanto le specie più comuni e le specie acquatiche e non sarà più possibile sostenere il flusso dei servizi ecosistemici essenziali.

La politica sul cambiamento climatico ha iniziato a prendere forma nel 1992 a Rio de Janeiro con la Convenzione quadro sui cambiamenti climatici delle Nazioni Unite ed è stata suffragata dal primo rapporto dell'IPPC (Comitato intergovernativo sui Cambiamenti climatici). Il rapporto proponeva interventi finalizzati all'abbattimento delle emissioni di gas ad effetto serra, ulteriormente rafforzati nel 1997 con la firma del Protocollo di Kyoto, ratificato anche dall'Italia che si impegnò a ridurre le proprie emissioni di gas serra di circa il 6% rispetto a quelle misurate nel 1990.

Se da un lato ogni paese è responsabile con proporzioni variabili all'immissione in atmosfera di gas climalteranti, è anche vero che ogni singolo paese si trova oggi ad affrontare il difficile problema degli effetti dei cambiamenti climatici, indipendentemente dalle proprie responsabilità.

Questo carattere "planetario" del problema lascia intendere come sia importante che vi siano misure internazionali globalmente condivise per la riduzione progressiva delle emissioni in atmosfera (mitigazione) e per un sostegno comune in previsione delle enormi spese necessarie ad assicurare la sopravvivenza di intere popolazioni agli effetti dei mutamenti climatici (adattamento).

Nel marzo 2007, i capi di Stato e di governo dell'Unione Europea (UE) hanno annunciato il loro "fermo impegno unilaterale a ridurre di almeno il 20%, entro il 2020, le emissioni di gas ad effetto serra" rispetto ai livelli registrati nel 1990. I 27 Stati membri hanno deciso di fare addirittura di più e di arrivare al 30% "se altri paesi industrializzati", quali ad esempio gli Stati Uniti, "si impegneranno a loro volta a raggiungere livelli di abbattimento comparabili". La piena attuazione di queste linee di intervento deve essere una pietra angolare della strategia europea di adattamento ai mutamenti climatici, poiché sarà estremamente utile per preservare ecosistemi sani e vitali e sostenere il flusso dei servizi ecosistemici all'interno della UE.

La recente Comunicazione della Commissione sulla biodiversità [COM(2006) 216], prende in considerazione il nesso fra diversità biologica e clima.

Il documento è stato pensato per integrare la strategia in materia di biodiversità del 1998 e i piani d'azione del 2001. A proposito dei cambiamenti climatici, la Comunicazione ribadisce la necessità sia di politiche di mitigazione, ossia una sostanziale riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra, sia di adattamento, che richiedono misure strategiche ed una *task force* per aiutare la biodiversità a adeguarsi all'inevitabile cambiamento del clima, migliorando la qualità e la coerenza della *rete Natura 2000*.

Secondo quanto contenuto nella Comunicazione, l'impatto del fenomeno sulla biodiversità all'interno dell'UE è "già quantificabile" ed il testo avverte che "i cambiamenti climatici possono, nel giro di pochi decenni, mettere a repentaglio i nostri tentativi di tutelare la biodiversità."

Gli impegni sottoscritti sono di rilievo sia per gli aspetti ambientali che economici: infatti, se le azioni di riduzione dei gas serra avranno un impatto importante sul rallentamento dei cambiamenti climatici già in atto, allo stesso tempo richiederanno anche notevoli costi di adeguamento industriale e di risparmio energetico.

1.4 Le caratteristiche del piano italiano

Nell'ambito dell'accordo UE di "condivisione degli oneri" nell'attuazione del Protocollo di Kyoto, per il periodo 2008-2012 l'Italia si è impegnata a ridurre in media le proprie emissioni di gas-serra al 93,5% dei valori del 1990. Il taglio complessivo è dunque del **6,5%**. Anche altri paesi industrializzati si sono impegnati a limitare nel corso di questo periodo le proprie emissioni a varie percentuali dei livelli del 1990. E' consentito l'accumulo e lo scambio di crediti di emissione, per rientrare nelle soglie stabilite dal trattato da negoziare con i paesi meno inquinanti, a partire dalla data di entrata in vigore del Protocollo di Kyoto, che per il nostro paese è il 6 febbraio 2005.

Il 18 maggio 2006 tuttavia la Corte di Giustizia della Comunità europea ha condannato l'Italia per il mancato recepimento della direttiva 67 del 2003 sullo scambio delle quote di emissioni dei gas serra. La direttiva attende per l'attuazione esecutiva un decreto legislativo che ancora non è stato pubblicato. Allo stato attuale l'Italia ottempera alle normative sull'immissione dei gas serra con delle norme *ad hoc* che si limitano a fissare i limiti di emissione triennali. Quelli per il 2005-2007 sono stati varati nel febbraio 2006 e hanno fissato un tetto pari a 215 milioni di tonnellate di CO₂. Limiti già superati di 8 milioni di tonnellate nel 2005.

Il 20 aprile del 2004 l'Italia ha pubblicato il Piano nazionale di allocazione delle emissioni di gas serra, che recepisce parzialmente la direttiva europea dell'ottobre 2003. La direttiva istituisce un sistema di scambio dei permessi di emissione, essenzialmente per il sistema elettrico e l'industria. Il meccanismo, in breve, è il seguente: i paesi membri devono assegnare agli impianti di dimensione superiore a 20 MW permessi (quote) a emettere anidride carbonica.

Se un impianto emette meno di quanto consentito può vendere i permessi in eccesso ad altri impianti che hanno emesso più di quanto consentito, e che possono in questo modo rispettare il tetto alle emissioni imposto dal regolatore. L'idea di fondo è che gli impianti con costi di abbattimento minori riducano le emissioni più degli impianti che hanno alti costi di abbattimento, e vendano ad essi i propri crediti. Attraverso tale scambio si realizza la minimizzazione dei costi di abbattimento e, quindi, l'efficienza. Il piano italiano si caratterizza per due aspetti essenziali: il criterio di assegnazione e l'ammontare di quote assegnate. Per l'assegnazione delle quote, le opzioni tradizionali sono due: assegnare un

numero di quote proporzionali alla produzione storica oppure alle emissioni storiche dell'impianto. Con il criterio della produzione storica, in pratica, tutti gli impianti riceverebbero lo stesso numero di quote, mentre con quello delle emissioni storiche il più efficiente, riceverebbe un numero inferiore di quote. Pertanto, il criterio della produzione storica premia le imprese caratterizzate da una maggiore efficienza ambientale. L'Italia ha scelto di adottare il criterio della produzione per alcuni settori (calce, acciaio, ceramica, cemento, energia da "cogenerazione") e quello delle emissioni per altri (carta, laterizi, raffinazione, vetro). Per la generazione elettrica più tradizionale ovvero quella che genera solo elettricità, e non anche calore, e che costituisce la parte più cospicua delle emissioni soggette alla direttiva, l'Italia adotta il criterio atipico delle emissioni previste.

Le emissioni climalteranti nel nostro paese nel 2004 (576 Mt) sono del 13% più alte rispetto al 1990. Si tratta di un eccesso di 64 Mt/a, cui si devono aggiungere 33 Mt/a necessari per raggiungere l'obiettivo (-6,5%) assegnato all'Italia. Circa 100 milioni di tonnellate CO₂ equivalenti ci separano dal nostro target. Se poi le emissioni nei prossimi anni continuassero a salire, il pacchetto di riduzione potrebbe aumentare a 120 Mt/a. In totale nei 5 anni previsti dal Protocollo di Kyoto (2008-12) dovremmo gestire un eccesso di 600 Mt.

1.5 Le fasi storiche

1972 La United Nations conference on the Human Environment segna la data di nascita delle strategie internazionali in campo ambientale.

1979 E' indetta la prima conferenza mondiale sul clima e si riconosce come urgente il problema dei mutamenti climatici. La conferenza termina con una dichiarazione rivolta a tutti i capi di Stato mondiale affinché tengano conto degli sconvolgimenti in corso e mettano in atto le politiche necessarie al benessere dell'umanità. Prende vita il WCO (world climate programme).

1990 L'intergovernamental panel on climate change (IPCC) pubblica il suo primo rapporto sul clima. L'IPCC identificò la CO₂ tra i gas responsabili dell'effetto serra ed indicò l'attività umana come una delle cause responsabili di tale anomalia. In dicembre, l'Assemblea generale delle Nazioni Unite avvia un negoziato per la stesura di un trattato internazionale.

1992 A Rio de Janeiro durante la conferenza mondiale sull'ambiente, 154 Stati più la Comunità europea firmano la Convenzione sui cambiamenti climatici.

1994 Il 21 marzo entra in vigore la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici [UNFCCC], che raggiunse 166 adesioni. Con essa, dal 21 settembre, tutti i Paesi in via di sviluppo cominciano ad inviare i dati in loro possesso sui mutamenti climatici.

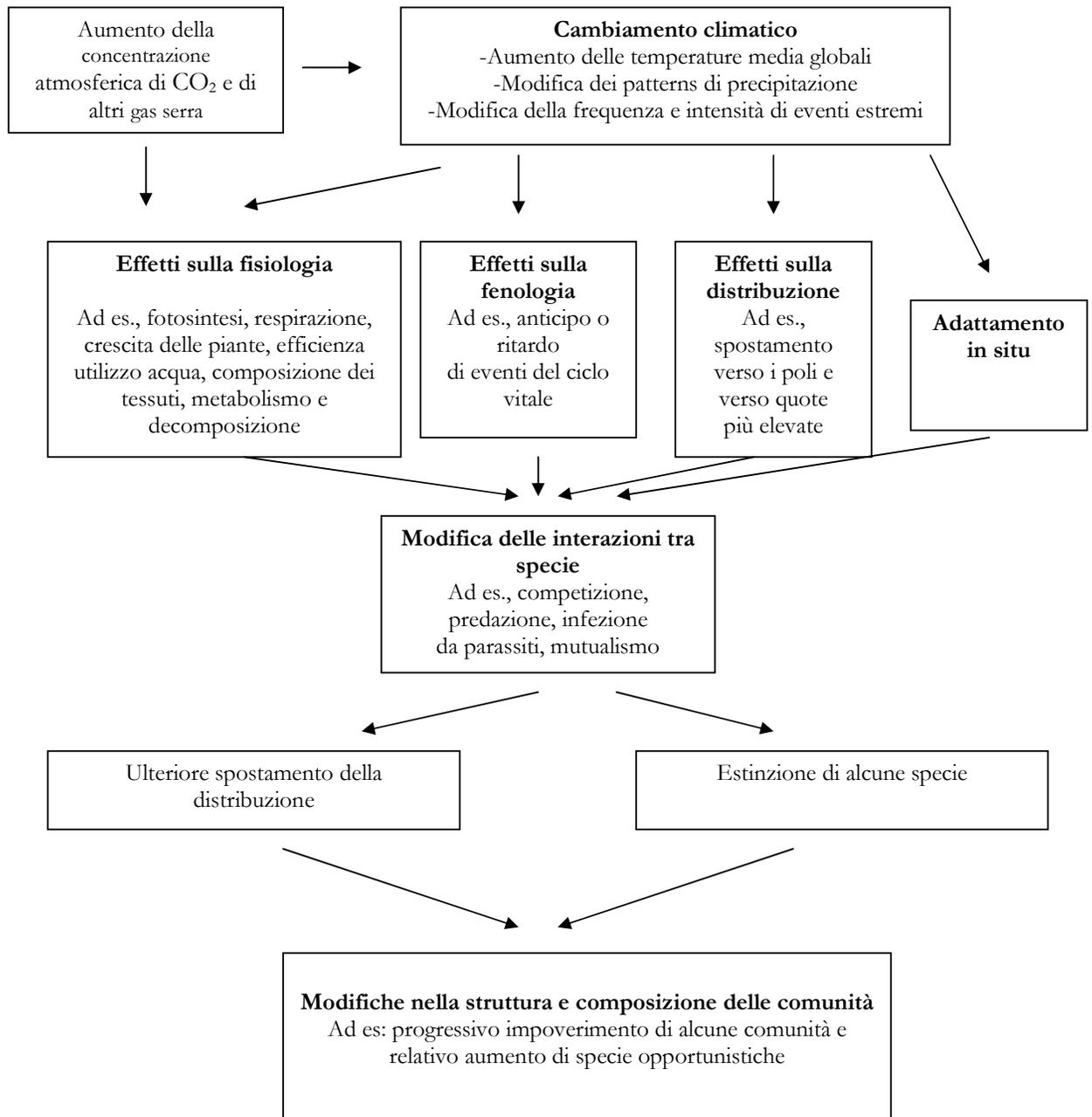
1997 Dal primo all'11 dicembre si svolge la conferenza di Kyoto. Vi partecipano in 10 mila, fra delegati, osservatori e giornalisti. Viene redatto il protocollo di Kyoto di attuazione della convenzione sul clima. I paesi si impegnano ad una riduzione del 5.2% (medio) delle emissioni climalteranti in atmosfera rispetto ai livelli di riferimento del 1990.

2001 E' pubblicato il terzo rapporto sul clima dell'IPCC che lancia l'allarme sul riscaldamento del pianeta e i mutamenti climatici: si evince che, durante il ventesimo secolo, la temperatura globale è aumentata dello 0,6 %.

2007 E' pubblicato il quarto rapporto dell' IPCC, che conferma gli allarmi e puntualizza alcuni dati sulle previsioni dei cambiamenti climatici.

IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI GLOBALI

Le vie attraverso cui i CCG influenzano specie ed ecosistemi



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

1.6 Bioindicatori

Negli ultimi decenni, la *definizione* di indicatore biologico, o bioindicatore, è riferita soprattutto alle strutture biologiche in grado di indicare, attraverso correlazioni di causa-effetto tra risposte del bioindicatore e variazioni ambientali, un'alterazione della situazione ambientale, riconducibile a una probabile attività antropica, soprattutto di tipo negativo.

Pur nella diversità di sfumature, quasi tutti gli Autori concordano nel paragonare il bioindicatore a una sorta di raffinato e complesso strumento in grado di evidenziare le variazioni ambientali.

Divergenze tra gli Autori si riscontrano invece riguardo alla natura del bioindicatore. Per alcuni questo è soprattutto un organismo, normalmente identificato a livello di specie, o a livelli sistematici sovraspecifici (genere, famiglia) ovvero a livelli sistematici subspecifici (sottospecie o, più frequentemente, *cultivar* e cloni); per altri, anche le popolazioni, le comunità o il paesaggio, nel loro strutturarsi nel tempo e nello spazio, possono essere assunti come bioindicatori; infine, per altri Autori ancora, il ruolo di indicatore biologico può essere svolto anche da parti del corpo di un organismo (biomarker). Ovviamente, dalla diversa interpretazione della natura del bioindicatore discende anche il diverso modo di definire le risposte da considerare come segnali utili per la valutazione biologica.

Iserentant e De Sloover (1976) definiscono bioindicatore un “organismo o sistema biologico usato per valutare una modificazione – generalmente degenerativa – della qualità dell'ambiente, qualunque sia il suo livello di organizzazione e l' uso che se ne fa. Secondo i casi il bioindicatore sarà una comunità, un gruppo di specie con comportamento analogo (gruppo ecologico), una specie particolarmente sensibile (specie indicatrice), oppure una porzione di organismo, come organi tessuti cellule o anche una soluzione di estratti enzimatici”.

Se l'indicatore biologico accumula anche la sostanza inquinante in parti vecchie o morte del suo organismo si comporta anche da *bioaccumulatore*: in questo caso la quantità di inquinante presente all'interno dell'organismo può essere correlata alla concentrazione storica della sostanza in ambiente.

I *requisiti di un buon bioindicatore* variano con la natura dello stesso, con il tipo di risposta che è in grado di esprimere e con il tipo e la durata dell'alterazione ambientale che si intende rilevare.

L'utilizzo di bioindicatori è molto importante per il monitoraggio dello stato di un ecosistema in quanto ci sono specie o gruppi tassonomici la cui presenza può essere utilizzata per misurare l'integrità ambientale. Lo sviluppo e l'uso di *ecoindicatori*, infatti, rappresenta attualmente una delle principali sfide nella caratterizzazione degli ecosistemi.

La correlazione stretta che esiste tra espressioni di vita e tipi di ambiente fa del materiale biologico un descrittore dell'ambiente stesso. Tali correlazioni sono da tempo note ai biogeografi ed agli ecologi.

Gli organismi che vivono in un determinato ecosistema sono adattati al loro ambiente di vita: quando mutano sensibilmente le condizioni ambientali, anche le comunità viventi si trasformano. I cambiamenti possono portare alla comparsa o alla scomparsa di una data specie oppure alla variazione della densità e della struttura di popolazione, del ciclo e delle funzioni vitali.

Le strategie di conservazione per la gestione della biodiversità, hanno tradizionalmente dato per scontato che la distribuzione delle specie cambi piuttosto lentamente, a meno che non siano direttamente influenzate dall'intervento umano. Attualmente si stanno studiando nuovi modelli bioclimatici per stabilire le relazioni tra la distribuzione delle specie e il clima. Ma la decisione di quale sia il modello migliore e più adatto da utilizzare rimane ancora irrisolta.

1.7 Bioindicatori di effetto dei cambiamenti climatici: risultati dell'indagine bibliografica

Una prima ricerca bibliografica ha rivelato la presenza di un discreto numero di articoli correlati al tema, alcuni dei quali riferiti nello specifico alle relazioni tra cambiamenti climatici e loro effetti sulla biodiversità e distribuzione delle specie, mentre altri articoli riguardano più in generale lo studio di alcune specie bioindicatrici, rapportabili direttamente o indirettamente ai *global changes* attraverso tematiche correlate (inquinanti atmosferici, qualità dell'acqua e del suolo, presenza di specie esotiche e invasive, gas serra ecc...). Altri articoli sono stati presi in considerazione nel presente studio e verranno citati in bibliografia in riferimento agli sviluppi economici, politici e sociali correlati ai temi del riscaldamento globale e dei cambiamenti climatici.

Su un totale di circa 70 articoli italiani e stranieri analizzati in maniera più approfondita, la maggioranza (31% circa) riguardano in generale tematiche che affrontano i cambiamenti climatici con riferimento agli effetti biologici in atto. In ordine decrescente, l'argomento che ha dato più risultati è stato quello degli ecosistemi vegetali (o singole specie di piante) con il 14% circa, subito a seguire quello degli ecosistemi marini (12,8%) e infine articoli legati all'uso e all'efficacia dei bioindicatori per il monitoraggio ambientale (10%). Inserendo come parole chiave nelle banche dati delle diverse biblioteche i singoli bioindicatori ambientali, i *thesaurus* che hanno dato esito positivo sono stati : uccelli (7%), anfibi e rettili (5,7%), coralli (3,5%), pollini(2,5%), specie esotiche e invasive (2,5%), farfalle (1,5%). Il rimanente 10 % degli articoli è equamente distribuito tra tematiche riferite alle valutazioni economiche dei cambiamenti climatici, alle possibili ricadute sulla salute umana, alla desertificazione, ai risvolti sociali (es. turismo), agli effetti sugli ecosistemi delle acque dolci.

Tutti gli articoli trovati, come attesta l'attualità della tematica in studio, sono datati piuttosto recentemente, tra gli anni 1995 e il 2007, con una preponderanza degli studi tra gli anni 2002 e 2005.

Di seguito vengono riportati le principali caratteristiche ecologiche di alcuni gruppi di bioindicatori, ritenuti attendibili e scientificamente provati in base agli articoli e alle monografie analizzati nel presente lavoro (licheni, uccelli, ecosistemi vegetali, ecosistema marino e coralli, anfibi). La ricerca effettuata sul sito della Società Lichenologica Italiana di articoli specifici sul legame tra distribuzione e presenza/assenza di licheni in relazione ai cambiamenti climatici non ha prodotto risultati. Quindi per quantità, attendibilità e

accessibilità dei dati analizzati nella presente ricerca, si è scelto di concentrare e approfondire le problematiche nello specifico su tre gruppi di indicatori: ecosistemi vegetali (vegetazione d'alta quota), ecosistemi marini e coralli, uccelli migratori (*Hirundo rustica L.*).

Nonostante l'importanza che il fenomeno riveste, l'indagine bibliografica effettuata ha rilevato che non esistono ancora degli indicatori sviluppati in maniera sistematica per monitorare gli effetti dei cambiamenti climatici, e solo in alcuni campi sono disponibili studi sufficientemente avanzati che propongono e sperimentano alcuni indicatori biologici esportabili anche in altri contesti in ambito nazionale.

INDAGINE BIBLIOGRAFICA	
Tematica	Percentuali
Cambiamenti climatici ed effetti biologici	31%
Vegetali	14%
Ecosistemi marini	12,8%
Monitoraggio ambientale	10%
Uccelli	7%
Anfibi e rettili	5,7 %
Specie esotiche e invasive	2,5%
Farfalle	1%
Varie	10%

1.8 I vegetali come bioindicatori

La flora e la vegetazione di un territorio sono in equilibrio con i fattori ambientali che agiscono su di esso; fluttuazioni o variazioni dei parametri chimico-fisici dell'ambiente, indotti da cause naturali oppure antropiche, innescano risposte nella composizione floristica delle comunità vegetali. Tali modificazioni possono manifestarsi in modo drastico con l'alterazione più o meno spinta degli ecotopi oppure possono avvenire in modo graduale, quando i processi di trasformazione sono gradualmente e lenti come nel caso dei cambiamenti climatici globali attualmente in corso.

L'aumento delle temperature si ripercuote inoltre sul piano biologico, causando "l'anticipazione dei fenomeni primaverili e lo spostamento degli areali di alcune piante verso i poli e a maggiori altitudini". Le piante possono infatti essere degli indicatori del cambiamento climatico attraverso l'espansione dell'areale (ad esempio il cambiamento della quota altitudinale di presenza della specie) o attraverso il cambio della fenologia (ad esempio il cambiamento del periodo di fioritura). Le piante sono degli ottimi indicatori ambientali e bioclimatici, la presenza e l'abbondanza di determinate specie può essere infatti associata allo stato dell'intero ecosistema.

I ritmi fenologici delle specie che compongono una comunità sono il risultato di un ben preciso equilibrio tra fattori biotici ed abiotici, ed è evidente che forti perturbazioni che possano rompere questo equilibrio avranno conseguenze a cascata su tutta la comunità. Possibili anomalie nei cicli vegetativi o riproduttivi delle specie dominanti del bosco possono essere la spia della rottura di questo equilibrio e perciò vanno seguite e studiate con molta attenzione. Nei nostri boschi si può osservare saltuariamente l'insorgenza di fenomeni definibili come anomali: in particolare sono noti da tempo casi di fioriture fortemente anticipate o ripetute nel corso dello stesso anno, superioriture ecc. Questi fenomeni sono molto interessanti dal punto di vista della bioindicazione, pur tenendo presente la necessità di separare gli effetti delle normali fluttuazioni meteorologiche da quelli eventualmente causati dalle sostanze inquinanti. Per fare ciò è necessario avere una buona conoscenza di base della situazione e cioè conoscere in modo preciso le relazioni tra fattori meteorologici, ritmi fenologici e produzione di fiori delle singole specie. Solo dopo aver ricostruito un quadro preciso della normalità sarà possibile sapere se le anomalie

rilevate sono effettivamente manifestazioni patologiche oppure se si possono ricondurre a casi pur estremi, ma nell'ambito della normalità.

Quindi l'osservazione dei tempi di fioritura degli individui di una o più specie, diffuse in un'area territoriale, offre la possibilità di determinare le caratteristiche termiche dell'area stessa. L'utilizzo dei sensori biologici, in aggiunta alle stazioni meteorologiche strumentali, è giustificato dalla necessità di estendere la rete di rilevazione in modo capillare sul territorio. Gli strumenti biologici infatti presentano alcuni vantaggi rispetto a quelli convenzionali: nessuna spesa di installazione, giacché le piante sono già presenti in abbondanza in tutti i territori, né tanto meno problemi e spese di manutenzione. Oltre a questo gli indicatori biologici offrono una informazione più efficace sugli effetti che cambiamenti ambientali hanno sul biota nel lungo termine, valutati già al netto di eventuali fenomeni di compensazione, resistenza e resilienza.

I limiti dei sensori biologici sono altrettanto evidenti:

- l'errore strumentale in questo caso è piuttosto elevato (variabilità biologica) e quindi non è possibile utilizzare questi mezzi per misure di precisione;
- il tipo di informazioni deducibili riguarda particolari parametri climatici: si misura infatti l'integrale di una curva termica relativa a periodi di settimane o di mesi (a seconda della specie) e non la temperatura istantanea, come fanno invece i termometri convenzionali.

Le previsioni fenologiche si possono effettuare essenzialmente con due sistemi:

- con modelli fenoclimatici che utilizzano come dati di ingresso le variabili meteorologiche (per esempio sommatorie termiche);
- con modelli fenologici che utilizzano specie guida.

Il secondo sistema è preferibile, a livello territoriale, in particolare quando si disponga di una rete di stazioni meteorologiche troppo rada.

L'utilizzazione di specie guida per prevedere il verificarsi di particolari fenofasi in altre piante importanti per l'uomo (piante coltivate, specie allergogene ecc.) è una pratica già più volte sperimentata (Wielgolaski in Lieth, 1974). Alla previsione si giunge dopo uno studio preliminare volto a individuare eventuali correlazioni tra il ritmo fenologico delle

piante bersaglio e quello di un gruppo di presunte specie indicatrici. I criteri di scelta delle specie guida riguardano sia le caratteristiche biologiche che la loro distribuzione territoriale (Puppi Branzi in Schirone, 1989). È ovvio che la previsione sarà tanto più affidabile quanto più sono simili i meccanismi che controllano lo sviluppo nella specie indicatrice e nella specie bersaglio: per esempio non è consigliabile scegliere una specie brevidiurna per prevedere la fioritura di una neutrodiurna oppure utilizzare la data di emissione delle foglie per prevedere una fioritura. Inoltre la precisione della stima decresce con la distanza temporale tra i due eventi. Se si intende poi effettuare stime a livello territoriale, è importante scegliere le specie guida tra quelle più capillarmente diffuse nel territorio.

1.8.a Le foreste ed i cambiamenti climatici

Le foreste in generale hanno un importante ruolo nel ciclo globale del carbonio e nell'accumulo dei gas serra nell'atmosfera. Ciò è dovuto al fatto che i biomi forestali immagazzinano grandi scorte di carbonio nella loro biomassa vivente, nella materia organica morta e nel suolo. Globalmente le foreste ricoprono circa 4 bilioni di ettari, di cui il 95% costituito da foreste naturali e seminaturali, e il 5% da piantagioni, immagazzinano circa la metà del carbonio mondiale e considerando solo la vegetazione (escludendo il suolo), le foreste contengono circa il 75% del carbonio organico e approssimativamente il 39% del carbonio totale contenuto nel suolo.

Inoltre, lo scambio massiccio di anidride carbonica tra le foreste e l'atmosfera avviene attraverso i processi naturali (come la fotosintesi, la respirazione e decomposizione) e alterazioni biotiche e abiotiche (incendi, epidemie, deforestazione, uragani).

Durante la decade 1990-2000, la deforestazione e la degradazione forestale ai tropici e la ricrescita delle foreste nelle zone temperate e in parte di quelle boreali, rimangono rispettivamente il principale fattore responsabile delle emissioni e della sua eliminazione. Le attività umane hanno il potenziale di alterare la grandezza degli stock di carbonio e la direzione dei flussi di carbonio attraverso i cambiamenti nell'uso del suolo e nella sua gestione, alterando così il ruolo delle foreste nel ciclo globale di carbonio.

Da numerosi studi prodotti, risulta che la deforestazione è una delle principali fonti di emissioni di carbonio in atmosfera: evidenze suggeriscono che abbia costituito 1/4 delle emissioni antropogeniche totali.

Col protocollo di Kyoto, adottato nel 1997, si sono limitate le emissioni dei sei maggiori gas serra (CO₂, CH₄, N₂O e altri tre gas industriali) da paesi industrializzati, su una media di circa 5,2% al di sotto dei livelli del 1990, per il primo periodo di commissionamento (2008-2012).

Il quarto rapporto dell' IPCC ha concluso che il settore forestale ha un potenziale di **mitigazione** tra i **2,7Gt (miliardi di tonnellate) di CO₂ equivalente all'anno e i 13,8 Gt CO₂-eq/anno nel 2030**, dipendendo da una moltitudine di fattori, come i cambiamenti in altri settori dell'economia, cambiamenti sociali e politici.

Le foreste, potrebbero resistere per qualche tempo ai cambiamenti climatici ma le risposte sul lungo-termini dipenderanno dalla capacità delle diverse specie di adattarsi alle nuove condizioni e di cambiare distribuzione geografica.

Tabella riassuntiva degli impatti dei cambiamenti climatici sulle foreste europee.

Adattata da Kellomaki et al. , 2005

	FORESTA BOREALE	FORESTA ATLANTICA	FORESTA CONTINENTALE	FORESTA MEDITERRANEA
Potenziale di rigenerazione	+	+/-	+/-	-
Crescita degli alberi	+	+/-	+/-	-
Fenomeni di tempesta/neve/vento	+	+	+	
Epidemia di insetti	+	+	+	+
Capacità di competizione delle conifere in relazione a specie decidue	-	-	- (d)	
Capacità di competizione delle specie vulnerabili a condizioni aride			-	-
Zone adatte allo spostamento degli alberi più a nord o ad alta quota			+	
Invasione di specie esotiche				+
Estensione di specie arbustive				+
Rischio di incendi	-	+(d)	+(d)	+

- + : indica che c'è un aumento
- : indica che c'è una diminuzione
- +/- : c'è un aumento o una diminuzione a seconda delle condizioni
- +(d) : c'è un aumento a seconda delle condizioni
- (d) : in regioni con elevate precipitazioni

1.8.b La bioindicazione secondo Ellenberg

L'utilizzo di bioindicatori è molto importante per il monitoraggio dello stato di un ecosistema in quanto ci sono specie o gruppi tassonomici la cui presenza può essere utilizzata per misurare l'integrità ambientale. Lo sviluppo e l'uso degli ecoindicatori, infatti, rappresentano attualmente una delle principali sfide nella caratterizzazione degli ecosistemi (Dale & Beyeler, 2001).

La bioindicazione secondo Ellenberg consiste in un insieme di valori assegnati a ciascuna specie vegetale che ne quantificano il carattere di indicatore ambientale.

ELLENBERG (1974,1985,1992) ha presentato questo sistema per circa 2000 specie del centro Europa, basandosi sull'esperienza di 40 anni di ricerche ecologiche di molti specialisti del campo.

Per ciascuna specie sono riportati sei indici, divisi in due categorie, espressi numericamente in una scala da 1 a 9:

FATTORI CLIMATICI:

L = Indice di luminosità: varia da situazioni di piena ombra in sottoboschi chiusi (1) a piena luce in aperta campagna (9);

T = indice di temperatura : descrive un gradiente termico che va dalle specie di clima freddo, delle zone boreali e delle montagne (1) a specie di clima caldo mediterraneo (9);

K = indice di continentalità: è basato sulla corologia delle specie indagate variando da specie oceaniche delle coste atlantiche (1) a specie continentali delle zone interne dell' Eurasia (9).

FATTORI EDAFICI:

F = indice di umidità: esprime il gradiente edafico che va da suoli secchi su versanti rocciosi (1) a suoli impregnati d'acqua non ben aerati (9). In questa categoria sono stati aggiunti gli indici supplementari 10-11-12 per indicare suoli inondati periodicamente o perennemente;

R = indice di pH: valuta la relazione ionica del suolo e varia da substrati molto acidi (1) a substrati alcalini (9);

N = indice di nitrofilia : si basa sul contenuto di azoto assimilabile (NH_4 , NO_3) e varia da suoli molto poveri in azoto (1) a suoli fertilizzati con eccesso di azoto (9).

Ad esempio, attraverso il valore di bioindicazione di Ellenberg della Temperatura (T) ad ogni specie vegetale si associa un valore ben preciso che esprime l'optimum di temperatura della specie stessa.

L'utilizzo della bioindicazione per misurare variazioni di temperatura ha il vantaggio di fornire un valore su un arco di tempo più lungo rispetto alla misurazione istantanea che si ottiene da una stazione termopluviometrica. Inoltre la pianta, in termini di presenza/assenza, variazione fenologica, ecc., non è un indicatore diretto del dato fisico ma costituisce l'espressione di variazioni complesse a livello fisiologico della risposta fisiologica della pianta.

Una comunità vegetale, ancor più di una singola specie, si presta alla valutazione di un parametro ambientale in quanto si basa su un pool di specie naturalmente assemblato in un habitat. L'eventuale cambiamento è così associato alla risposta fisiologica di più specie ecologicamente interrelate. In molte aree, soprattutto in Aree Protette, esistono censimenti della flora realizzati circa 25/30 anni fa.

Gli indicatori ecologici secondo Ellenberg (Ellenberg et al, 1979) hanno dimostrato di possedere questa capacità, poiché permettono di analizzare ed esprimere in maniera sintetica ed efficace la complessità ecosistemica (Pignatti et al., 2001, ANPA 2002). Essi rappresentano con un valore numerico la nicchia realizzata lungo sette gradienti che si suppone rappresentino i principali gradienti di variabilità dell'ecologia delle specie: luce (L), temperatura (T), continentalità (K), umidità del suolo (F), pH (R), nutrienti (N) e salinità (S). Gli indicatori di Ellenberg si basano su un'osservazione fondamentale dell'ecologia vegetale, e cioè che le specie sono indicatrici di certe caratteristiche dell'habitat.

Dalla semplice osservazione della flora possiamo quindi ricavare indicazioni sull'habitat, senza ricorrere a misure fisico-chimiche dirette. In linea di massima c'è una buona corrispondenza tra misurazioni fisico-chimiche e indicatori di Ellenberg di un dato habitat o di una flora. Tuttavia in alcuni casi possono esservi delle discordanze; gli indicatori di Ellenberg rappresentano infatti la nicchia realizzata, e quindi esprimono le condizioni ambientali dal punto di vista della pianta. La relazione tra una determinata variabile fisico-chimica e la risposta della pianta può essere infatti complessa e contro intuitiva. Gli indicatori di Ellenberg in altre parole rappresentano degli indicatori dello stato di un ecosistema, in modo analogo a come la temperatura è una variabile che indica lo stato termodinamico di un sistema fisico, per esempio di un gas.

L'utilizzo dei valori di Ellenberg risulta quindi utile per verificare, qualora ci fosse un cambiamento del valore della Temperatura, se tutto l'ecosistema ne venga profondamente influenzato o se esso possa contrapporsi con una buona resistenza o resilienza ai cambiamenti climatici.

I limiti di tale sistema stanno nel fatto che si tratta di una scala empirica, quindi i valori numerici non sono del tutto affidabili e possono portare ad errori di interpretazione se applicati in maniera assoluta.

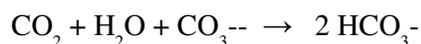
1.9 Ecosistema marino e coralli come bioindicatori

Le acque dell'oceano sono sempre più acide e così il 98 per cento delle barriere coralline del pianeta rischia di “sciogliersi”. Infatti se da un lato gli oceani assorbono circa un terzo dei 20 miliardi di tonnellate di anidride carbonica prodotta ogni anno dalle attività umane contribuendo in tal modo a sequestrare questo gas dall'atmosfera e rallentare il riscaldamento globale dall'altra bisogna tenere conto del fatto che in presenza di acqua la CO₂ può formare acido carbonico (H₂CO₃), un composto che ad elevate concentrazioni causa dissoluzione dei carbonati (CaCO₃).

Nel marzo 2006 Rahmstorf ha pubblicato il rapporto “The Future Oceans: Warming Up, Rising High, Turning Sour” (Gli oceani futuri: più caldi, innalzati ed acidi) che riassume in parte la situazione appena descritta:

- ogni anno gli oceani assorbono circa **2 Gt** (miliardi di tonnellate) di carbonio di origine antropica, pari a circa il 30% di tutte le emissioni. Le 2 Gt di Carbonio assorbite dal mare derivano da un flusso entrante di 92 Gt ed uno uscente di 90 Gt. Sono flussi enormi rispetto al flusso antropico di 6 Gt. Fortunatamente sono quasi bilanciati.
- tra il 1800 e il 1995 gli oceani hanno assorbito circa 120 Gt di Carbonio;
- nell'oceano il Carbonio è chimicamente attivo e contribuisce ad acidificare l'acqua. Il pH oceanico preindustriale era 8.18 (leggermente basico). Le emissioni antropiche lo hanno ridotto di 0,11. Non è poco, trattandosi di una scala logaritmica: corrisponde ad un aumento di ioni H⁺ del 30%
- Se la CO₂ atmosferica raggiungerà nel 2100 le 650 ppm, il pH potrebbe diminuire di 0,30 (aumento H⁺ del 77%).
- la progressiva acidificazione rende sempre più difficile la formazione di gusci e scheletri calcarei negli organismi marini (dal plancton ai coralli), perchè il carbonato di calcio (CO₃⁻⁻) tende a dissolversi in acqua.
- queste condizioni critiche per il plancton potrebbero poi propagarsi attraverso tutta la catena alimentare.

La reazione di acidificazione è la seguente:



Per la legge di azione di massa, l'aumento di concentrazione di CO_2 sposta l'equilibrio della reazione verso destra, riducendo la concentrazione del reagente ione carbonato (CO_3^{--}) ed aumentando quella del prodotto ione bicarbonato (HCO_3^-).

Se la concentrazione di carbonato in acqua (CO_3^{--}) supera le 66 micromoli per kg, la soluzione è sovrassatura; questo fatto è assai importante per gli organismi marini che usano il carbonato di calcio (CaCO_3) come elemento costitutivo di conchiglie e scheletri.

Attualmente tale concentrazione varia da 240 ai tropici a 105 negli oceani meridionali. Con il progressivo aumento della CO_2 , lo ione carbonato potrebbe diventare insaturo già verso la metà del secolo, rendendo così impossibile la formazione di gusci calcarei.

I grafici riportati qui di seguito, tratti dal rapporto, indicano le previsioni relative alla CO_2 atmosferica in base ai vari scenari prospettati dall' IPCC (grafico in alto) e il conseguente abbassamento di carbonato. Le due linee tratteggiate rappresentano le soglie al di sotto delle quali le due forme calcaree aragonite e calcite iniziano a dissolversi in acqua.

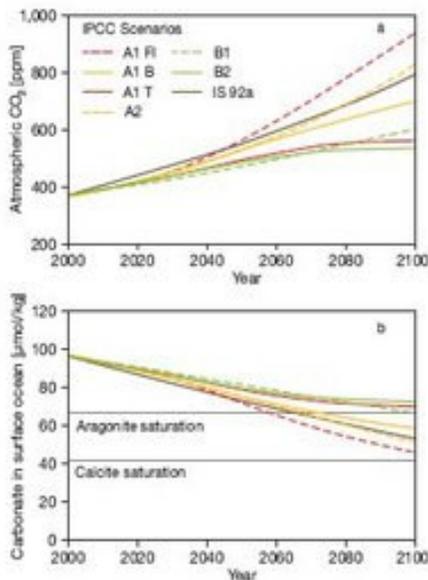


Figure 4-1-3
Projections of different CO_2 concentrations (a) and their effects on the carbonate budget of the Southern Ocean (b). The variation according to various IPCC scenarios is shown. Source: Orr et al., 2005

Tra i numerosi pericoli potenziali, le interazioni sulla flora acquatica sono certamente notevolmente preoccupanti, sia per il sottile equilibrio dell'ecosistema marino, sia per l'ingente consumo di prodotti ittici da parte dell'uomo. Un primo allarme giunge dalla diminuzione del *fitoplancton*, il primo anello della catena marina (di cui si nutrono innumerevoli specie di pesci). Il fitoplancton vive infatti nelle acque più calde che, essendo meno dense si dispongono superficialmente mentre gli elementi di cui il fitoplancton necessita per sopravvivere, si depositano nei più freddi strati sottostanti. Sono deducibili gli effetti che una

deplezione della quantità di un organismo così a monte della catena alimentare possa avere sull'ecosistema acquatico. Inoltre il fitopalncton, per effettuare il processo di sintesi

clorofilliana, rimuove ogni giorno cento milioni di tonnellate di anidride carbonica dall'atmosfera; una sua diminuzione innesca un effetto auto-amplificante. Altro tipo di danno è quello esercitato direttamente sulle specie ittiche; l'innalzamento della temperatura, infatti, compromette il trasporto dell'ossigeno all'interno dell'organismo dei pesci, alterandone così le funzioni biochimiche e muscolari e creando così squilibri metabolici e suscettibilità alla cattura da parte dei predatori.

Inoltre, aumenti della temperatura superficiale del mare tra 1 e 3 °C renderanno più frequente la perdita di colore (sbiancamento) e la mortalità dei coralli, a causa della perdita dei dinoflagellati simbiotici (zooxanthellae) rivelando lo scheletro bianco di carbonato di calcio sottostante. Il rapporto simbiotico si fonda sul mutuo vantaggio che ospite e simbionte ricavano dal coesistere: le alghe oltre che ad essere protette, possono ottenere sostanze nutritive (fosfati, nitrati, anidride carbonica) dall'animale, mentre quest'ultimo può ottenere ossigeno e prodotti metabolici dalla fotosintesi dell'alga. Sembra accertato anche che le alghe simbiotiche possano influenzare notevolmente la deposizione di calcio e altre attività fisiologiche dei coralli mentre l'uso dei prodotti di rifiuto dell'animale (CO₂, ammoniaca e altri cataboliti) siano essenziali alle zooxantelle, le quali possono accumularsi verso l'esterno dei tessuti dei coralli, fornendo così un efficace schermo all'eccessiva radiazione solare. Queste simbiosi sono di particolare importanza ecologica, poiché dalla loro presenza dipende in buona misura la salute di interi ecosistemi quali ad esempio le barriere coralline. Gli organismi autotrofi che maggiormente intrattengono **rapporti endosimbiotici** con l'ospite invertebrato sono appunto i **dinoflagellati (zooxantelle)** e le cloroficee (le zoochlorelle).

1.10 Uccelli come bioindicatori

Gli uccelli si caratterizzano, rispetto agli altri gruppi di animali, per l'estrema mobilità e la conseguente facilità di colonizzazione degli habitat idonei e disponibili. Al pari di molti altri vertebrati hanno tempi di risposta molto brevi a perturbazioni ambientali. Innegabili testimonianze mostrano che gli uccelli stanno rispondendo ai cambiamenti climatici, il che fa di loro dei bioindicatori "pionieri".

La distribuzione degli uccelli, come la maggior parte delle piante e degli animali, è infatti limitata da fattori climatici che includono temperature, precipitazioni e vento. Infatti il clima è uno dei più importanti fattori nel determinare gli habitat degli uccelli e la loro

abbondanza. (Jones *et al.*, 2003). Ad alte latitudini, la temperatura influenza soprattutto la ricchezza delle specie, mentre alle basse latitudini, in regioni calde, le variazioni correlate alle precipitazioni e alla disponibilità di acqua sono più importanti (Lemoine, 2007).

Oggi gli uccelli iniziano a dare segni di forte disagio: ad esempio il Pigliamosche (*Muscicapa striata*) torna dalle sue aree di svernamento in Africa sempre nello stesso periodo. Ma in questi anni arriva quando il picco delle popolazioni di insetti è già passato, perchè in Europa ha fatto caldo prima. Per questo motivo, alcune popolazioni di pigliamosche sono diminuite del 90% negli ultimi 20 anni.

Attualmente già si stanno verificando forti effetti negativi con un cambiamento del comportamento, della capacità riproduttiva e della dinamica delle popolazioni.

Secondo gli autori dello studio *Birds species and climate changes* (Wormworth J., Mallon K., 2001), un innalzamento della temperatura compreso tra 1,4 °C e 6°C circa, avrà conseguenze molto serie: le specie cambieranno le loro aree di distribuzione, le popolazioni diminuiranno drammaticamente e moltissime specie si estingueranno, come mai prima con questa rapidità. Di 119 specie migratrici a lunga distanza studiate in Europa, il 54% ha già mostrato un declino a partire dagli anni '70, ed i cambiamenti climatici sono considerati come un importante fattore determinante.

Secondo il WWF oggi le specie sono costrette a spostarsi circa 10 volte più rapidamente che durante qualsiasi cambiamento climatico dall'ultima era glaciale.

Il rischio di estinzione varia a seconda delle specie: i gruppi più vulnerabili sono gli uccelli marini, delle montagne, di Artide e Antartide, delle piccole isole, delle zone umide, gli uccelli migratori. Tra questi, gli uccelli che sono molto specifici nelle esigenze ecologiche sono ovviamente più a rischio rispetto a quelli più generalisti. A seconda della capacità di risposta si stima che il tasso di estinzione globale varierà tra il 5% e il 70% delle specie totali nel mondo, che sono circa 8000.

I cambiamenti climatici influenzeranno il livello di temperature diversamente in diverse regioni del globo. Dove le temperature aumenteranno, ci si aspetta che la distribuzione degli uccelli varierà sia in latitudine che in longitudine per mantenere il loro optimum. Alcune specie sono suscettibili ad un aumento di temperature di un solo grado, e così dovranno essere in grado di fronteggiare variazioni di temperature anche minime.

La Gallina prataiola, la Cinciallegra e il Culbianco. Sono tre esempi di specie di uccelli le cui popolazioni sono colpite in Europa dagli effetti del cambiamento climatico, secondo l'*EBCC* (European Bird Census Council).

Ad esempio, l'anticipo della primavera e le temperature più elevate rispetto alla media stagionale hanno determinato il dimezzamento della popolazione di Gallina Prataiola in Spagna, Paese che ospita il 50-70% dell'intera popolazione mondiale. La ricerca, effettuata tra il 2001 e il 2006 nelle due aree "IBA" (aree importanti per gli uccelli) Valdetorres e Campo Real, ha evidenziato un trend negativo che a Valdetorres ha toccato un meno 48 per cento. Le cause del fenomeno sono da mettere in relazione con le anomalie climatiche, nei confronti dei quali la Gallina prataiola è molto sensibile: quando si sono verificate primavere anticipate e calde, la specie ha sofferto e si è drasticamente ridotta. Con inverni piovosi è stata notata una certa ripresa, ma purtroppo il bilancio complessivo è stato molto negativo.

Secondo Chris Van Turnhout, dell'olandese SOVON *Dutch Centre for Field Ornithology*, gli uccelli migratori hanno una limitata capacità di adeguarsi agli anticipi di stagione, che comportano nei siti riproduttivi una precoce disponibilità di cibo.

Infatti, il cambiamento climatico crea discordanza tra la disponibilità di cibo e l'arrivo degli uccelli migratori in quegli stessi siti, facendo mancare o scarseggiare le risorse alimentari di cui hanno bisogno. Da ciò possono scaturire drammatici declini per i migratori di lunga distanza. Ad esempio in Olanda una ricerca effettuata tra il 2005 e il 2006 sulla nidificazione del Culbianco (*Oenanthe oenanthe*), ha evidenziato un calo drammatico di popolazione, passata dalle migliaia di coppie degli anni Settanta alle 250-300 del 2005. Il cambiamento climatico ha creato in questi anni modifiche sostanziali alla dinamica delle dune costiere. Questi uccelli, che si nutrono di coleotteri e farfalle proprio presso le dune, hanno avuto a disposizione meno cibo e quindi hanno potuto allevare un basso numero di pulli. Similmente, un altro esempio di effetti dei cambiamenti climatici su popolazioni di uccelli in Europa derivano dagli studi di Visser *et al.* (2003) sulla Cincillegra (*Parus major*) e la Cinicarella (*Parus caeruleus*) nell'Europa settentrionale e occidentale. Lo studio ha evidenziato che esiste una correlazione tra la proporzione della seconda covata e l'avanzamento della data di deposizione. Questo è dovuto al fatto che con l'aumento delle temperature primaverili, i bruchi, principale alimento dei pulli, metamorfosano più velocemente e quindi il periodo di maggior abbondanza di cibo si restringe, minacciando fortemente gli effetti sulla dinamica di queste popolazioni. In questo lavoro è stata esaminata nel dettaglio una specie simbolo delle migrazioni, la rondine comune (*Hirundo rustica L.*), che può essere considerata un buon indicatore dal momento che nei suoi spostamenti migratori, che spaziano dall'Africa all'Europa Centro-

Settentrionale, integrano l'influenza di condizioni climatiche riguardanti aree distanti diverse centinaia di chilometri (Masseti *et al.*, 2007).

1.11 Licheni come bioindicatori

I licheni sono particolarmente sensibili agli stress ambientali, specialmente per quanto riguarda l'inquinamento, l'eutrofizzazione e i cambiamenti climatici (ARPAT, 2003). Questa particolare reattività si verifica in quanto: - l'assorbimento delle sostanze da parte dell'intera superficie del lichene avviene esclusivamente attraverso l'atmosfera; - i licheni, diversamente dalle piante superiori, non hanno la cuticola (strato con prevalente funzione protettiva) per cui gli inquinanti possono penetrare inalterati all'interno delle cellule fungine e algali; - i licheni hanno un lento tasso di accrescimento e scarsa capacità di riparare rapidamente ad eventuali danni; - durante i periodi con maggior umidità i licheni aumentano la loro attività metabolica e continuano a metabolizzare anche a basse temperature e possono quindi anche subire danni durante i periodi invernali.

1.12 Anfibi come bioindicatori

Gli anfibi (rane, rospi, salamandre e tritoni) svolgono importanti funzioni ecologiche: da girini si nutrono di alghe ed altri vegetali e svolgono la funzione di regolatori dello sviluppo algale che altrimenti potrebbe far scendere il tasso di ossigeno. La scomparsa degli anfibi viene associata in molte regioni all'esplosione algale in molti corpi idrici. Sulla terraferma, poi, quando crescono ed escono dalle acque, gli anfibi sono formidabili predatori di insetti e svolgono un ruolo importante nel controllo degli infestanti. Un'indagine sulla rana grillo ha documentato che i circa mille individui che popolano un piccolo stagno, in un anno, divorano qualcosa come quattromilioni ed ottocentomila insetti. E' stato stimato, inoltre, che un rospo in soli 90 giorni può divorare ben 10.000 insetti. Gli anfibi sono importanti anche come convertitori efficienti di energia e di alimenti in nuova biomassa, base, a sua volta, dell'alimentazione di pesci, di rettili, di uccelli e di mammiferi che di anfibi si nutrono.

Gli anfibi sono importanti bioindicatori sensibili all'inquinamento ed agli stress ambientali (distruzione degli habitat e variazioni climatiche in particolare), che li rendono

anche più vulnerabili alle malattie ed ai parassiti. Gli anfibi un po' in tutto il mondo stanno avendo un vero collasso demografico: è forse questo l'aspetto più grave della crisi della biodiversità. Considerando l'importante ruolo degli anfibi negli ecosistemi, la loro scomparsa denuncia il deterioramento dell'ambiente (Araujo *et al.* 2006).

CAPITOLO SECONDO :

SCELTA DEI BIOINDICATORI

2.1 Inserimento dei bioindicatori nei database

La salvaguardia della biodiversità viene oggi considerata tra le esigenze prioritarie; tuttavia un'azione efficace può essere basata soltanto sulla conoscenza dello stato attuale del problema, e qui si deve riconoscere che ancora molte delle informazioni di base mancano, sia in Italia, sia nella maggioranza dei paesi europei. Inoltre, nella maggior parte dei casi risulta necessario analizzare non solo le caratteristiche dell'ambiente in un determinato "istante" ma anche (e soprattutto) monitorare l'ambiente nel tempo in risposta ad eventi esterni di natura antropica o no.

Una banca dati, o come viene definita più comunemente, un "database", non è altro che un insieme di informazioni di vario genere ordinate coerentemente. Se si riesce ad archiviare informazioni importanti in maniera organizzata sarà possibile poi, in un qualsiasi momento, non solo richiamarle ma anche effettuare elaborazioni combinando informazioni di varia natura.

Nonostante gli indicatori siano lo strumento di sostegno a di tutte le azioni che riguardano il monitoraggio, non esiste ancora una banca dati ufficiale che riunisca tutti gli indicatori esistenti, utili alla valutazione della qualità ambientale e che sia tarato sulle esigenze nazionali. A questo scopo, molti database, come quello dei dati ambientali dell'APAT, sono utili supporti soprattutto per la fase di reporting ambientale, ma non efficaci come strumento per la selezione dell'indicatore o del set di indicatori più idonei nella fase di pianificazione di un monitoraggio della qualità ambientale, in particolare per il settore legato alla biosfera.

A questo scopo è utile una interfaccia di interrogazione del database molto chiara, basata sui metadati e completa di tutti i criteri utili alla individuazione dell'indicatore più idoneo per lo specifico piano di monitoraggio (inclusi ad esempio i criteri individuati da EPA o da EEA). A questo scopo, il settore "Bioindicatori e tossicologia ambientale" dell'APAT ha portato avanti un progetto di sviluppo relativo agli indicatori biologici che ha come obiettivo la creazione del supporto informatico del DB degli indicatori biologici e l'Inserimento dei diversi indicatori e indici in uso nei diversi campi di indagine in modo da fornire un supporto allo sviluppo di una metodologia integrata per la valutazione ed il

monitoraggio della qualità ambientale. Fine ultimo è contribuire alla riorganizzazione e standardizzazione di una metodologia e di strumenti di indagine per la valutazione integrata della qualità degli ecosistemi attraverso l'uso di indicatori ed indici biotici: dove usarli, come usarli e cosa ci indicano.

Il presente lavoro si propone di indagare i bioindicatori disponibili per la valutazione degli effetti dei cambiamenti climatici da inserire nel DataBase. Ovviamente la scelta è stata effettuata sulla base della disponibilità di un supporto di studi scientifici sufficienti a fornire informazioni minime sulle caratteristiche dell'indicatore e sui metodi da impiegare per il suo utilizzo.

A seguito di una accurata indagine bibliografica sono stati selezionati tre indicatori biologici di effetto dei cambiamenti climatici, scelti nel comparto terrestre (ecosistemi vegetali), aria (rondine) e marino (sbiancamento dei coralli). Di seguito vengono presentati i principali lavori che hanno fornito le indicazioni necessarie per l'inserimento degli indicatori nel database. In allegato si trovano le schede che riproducono sinteticamente i dati relativi agli indicatori scelti, così come verranno inseriti nel database.

2.2 Gli ecosistemi vegetali e i cambiamenti climatici

La crescita delle piante è regolata in maniera ben precisa: esse sono intimamente legate all'ambiente dove si trovano e sono condizionate da una serie di fattori ecologici e storici che giustificano o meno la loro presenza in un determinato luogo. Ogni specie vegetale ha nei confronti di ciascun fattore ecologico un ambito di tolleranza entro il quale può svolgere le proprie funzioni vitali. L'ampiezza di tale ambito varia da specie a specie: quella ad ecologia ampia prendono il nome di euriecie, mentre quelle più esigenti, con tolleranza ecologica ristretta, sono dette stenoecie e sono quelle che danno il contributo più utile in termini di bioindicazione. Da un punto di vista autoecologico i fattori ecologici possono agire sulle dimensioni del singolo individuo, sulla sua forma, possono influenzare le manifestazioni biologiche cicliche e la stessa durata della vita. Inoltre essi possono controllare la consistenza delle popolazioni, agendo sul tasso di riproduzione, sulla competitività, sulla capacità di germinazione e sulla velocità di crescita. Di contro gli organismi vegetali possono influire sull'ambiente modificando l'entità e la qualità di alcuni fattori, come ad esempio limitando la quantità di radiazione solare nelle vegetazioni stratificate o incrementando la quantità di sostanza organica con accumulo di necromassa o ancora acidificando il suolo come accade per alcuni boschi di conifere.

Estendendo il concetto di bioindicatore allo studio degli ecosistemi in genere, si può arrivare ad una definizione più ampia come un organismo in grado di fornire informazioni su uno o più fattori ecologici di un determinato ambiente in base alla sua presenza/abbondanza.

In questi termini l'utilizzo di singole specie o di intere comunità vegetali assume un ruolo di primaria importanza in numerosi campi: monitoraggio ambientale dell'inquinamento, valutazione dei cambiamenti climatici, analisi del grado di naturalità e di antropizzazione, analisi della biodiversità, gestione e pianificazione territoriale, prevenzione dagli incendi, analisi microclimatiche a scala fine, conservazione, ripristino ambientale, ingegneria naturalistica, gestione dei pascoli e delle foreste, depurazione delle acque, reti ecologiche, ecc.

Il recente e rapido cambiamento climatico sta già influenzando una grande varietà di organismi in gran parte del mondo, in particolar modo dovuto all'aumento della temperatura.. Questo perchè la temperatura è il principale fattore che controlla la distribuzione della vegetazione e la relativa abbondanza delle specie.

2.3 Variazioni dell'ecosistema vegetale di alta quota: il progetto GLORIA EUROPE

Nel 2001 è stato avviato il progetto *GLORIA EUROPE (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments; Pauli et al. 2001b)*, come studio pilota europeo per la successiva implementazione a livello mondiale, focalizzando l'attenzione sulle piante vascolari dell'ambiente alpino (V Programma quadro di attività di ricerca dell'Unione Europea). Diversi sono i motivi che rendono l'ambiente alpino un ottimo candidato per studiare l'impatto del riscaldamento terrestre, tra questi la sua distribuzione a livello globale, la sua sensibilità all'aumento di temperatura e un'azione antropica ancora contenuta rispetto alle aree situate a quote inferiori, quindi molto utile per l'osservazione in tempi medi degli effetti dei cambiamenti climatici (Pauli et al. 2001). Lo scopo è quello di istituire una rete mondiale di ricerca al fine di valutare le potenziali minacce dei cambiamenti climatici sulla biodiversità vegetale nelle aree d'alta montagna, lungo i principali gradienti climatici (altitudine, latitudine e longitudine). Il progetto prevede inoltre di elaborare degli scenari futuri sull'andamento nel tempo di tali cambiamenti.

Gli ecosistemi montani rappresentano l'unica unità biogeografica terrestre distribuita su tutto il pianeta: in generale, i cambiamenti climatici, soprattutto il riscaldamento

dell'atmosfera, interessano tutti gli ambienti terrestri ma in alta montagna gli effetti del global change sono più evidenti. In particolare, con l'aumento della altitudine, aumenta anche l'influenza della temperatura sulla vegetazione alpina che, di conseguenza, è considerata un valido bioindicatore di cambiamento climatico.

I settori montani più sensibili alle modificazioni climatiche sono posti tra il limite superiore del bosco e il piano nivale: in questa fascia altitudinale i gradienti ecologici diventano molto marcati e gli ecotoni sono spesso condensati. Tutto ciò fa sì che le modificazioni sulla vegetazione risultino rilevabili sulla breve distanza, rendendo possibili indagini più rapide e su zone relativamente piccole. Inoltre, molte specie montane sono longeve e reagiscono alle variazioni termiche sul lungo periodo.

Ci si attende quindi che specie e comunità microterme (*Ranunculus magellense*, *Taraxacum glaciale*, *Cerastium Thomasii*, *Silene acaulis*), la cui espressione e distribuzione sono fortemente determinate da fattori climatici estremi, mostrino delle risposte, in media, più rapide rispetto alle specie mesofile, contraddistinte invece da una maggiore ampiezza ecologica. La capacità indicatrice di una specie vegetale è infatti tanto più precisa quanto più ristretta è la sua ampiezza ecologica; un bioindicatore può essere considerato un organismo o sistema biologico che presenti un'accertata sensibilità nei confronti di un'azione perturbatrice, come ad esempio le variazioni di temperatura. Tali comunità microterme, devono la loro presenza alle passate glaciazioni durante le quali alcune specie hanno occupato anche le montagne più meridionali d'Europa. Con il ritirarsi dei ghiacciai del Wurmiano (18000 anni fa), si ebbe di conseguenza una progressiva ritirata verso nord delle specie adatte del clima alpino. Ma alcune di esse trovarono il loro naturale rifugio di sopravvivenza sulle più alte montagne dell'Appennino, come è avvenuto per la Majella e per il Gran Sasso. Piante come il Ranuncolo della Majella e il Tarassaco appenninico, rimanendo isolate dopo il ritiro dei ghiacci dalle specie originarie, per mutazione nel corso del tempo hanno dato origine a gran parte delle piante endemiche presenti oggi sull'Appennino centrale.

Il biomonitoraggio effettuato utilizzando piante vascolari è un sistema di analisi di variazioni ambientali in realtà ancora poco utilizzato, nonostante la sua efficacia sia stata rivelata da vari autori (Pauli *et al.* 2001a, Rossi *et al.* 2000, Valcuvia Passatore *et al.* 1998). In quest'ottica, utilizzando le specie vegetali come bioindicatori, si inserisce il progetto GLORIA.

2.3.a Metodologia del progetto GLORIA

Il metodo adottato dal progetto GLORIA è basato su una metodologia denominata “*approccio a più vette*” (*MULTI-SUMMIT APPROACH*, Pauli *et al.* 2001b), i cui scopi sono:

- quantificare i cambiamenti nella biodiversità vascolare lungo il gradiente altitudinale e la loro relazione con i gradienti ambientali (temperatura, copertura nevosa) nei sistemi montuosi dei principali biomi;
- valutare il rischio potenziale di perdita di biodiversità dovuta ai cambiamenti climatici attraverso la
- la comparazione di modelli di distribuzione attuale delle specie, delle comunità vegetali e dei fattori ambientali lungo i gradienti biogeografici verticali ed orizzontali;
- quantificare i cambiamenti di biodiversità nel tempo attraverso il monitoraggio dei dati sulle vette studiate ad intervalli appropriati di 5-10 anni o più a seconda dei casi;
- proporre una quantificazione del rischio comparando i dati monitorati.

In corrispondenza di ogni vetta viene rilevata la flora e la vegetazione della parte sommitale compresa tra il punto più alto e una linea posta a -10 m sul livello del mare (Fig. 1). Viene inoltre registrata in modo continuo la temperatura, utilizzando *data loggers* posti a -10 cm di profondità nel suolo. In totale vengono studiati 16 quadrati di 1m quadrato di estensione per ogni vetta, disposti lungo le principali direzioni geografiche; in ognuno di essi si rilevano, in dettaglio, le specie vegetali presenti e la loro frequenza, valutata secondo una scala qualitativa di abbondanza.

In ogni vetta l'area sommitale, dalla cima fino a -10 m verticali di altitudine, viene divisa in 2 superfici corrispondenti a fasce da -10 m a -5 e da -5 alla cima. In seguito queste due superfici vengono a dividersi in otto zone con linee che partono dalla sommità e decorrono lungo le quattro direzioni geografiche di secondo ordine (NE, SE, SW, NW). Infine, per studiare l'effetto dell'esposizione sulla biodiversità vascolare, viene compilata una lista completa delle piante vascolari presenti in ognuna delle otto superfici ottenute e stimata la rispettiva copertura vegetale.

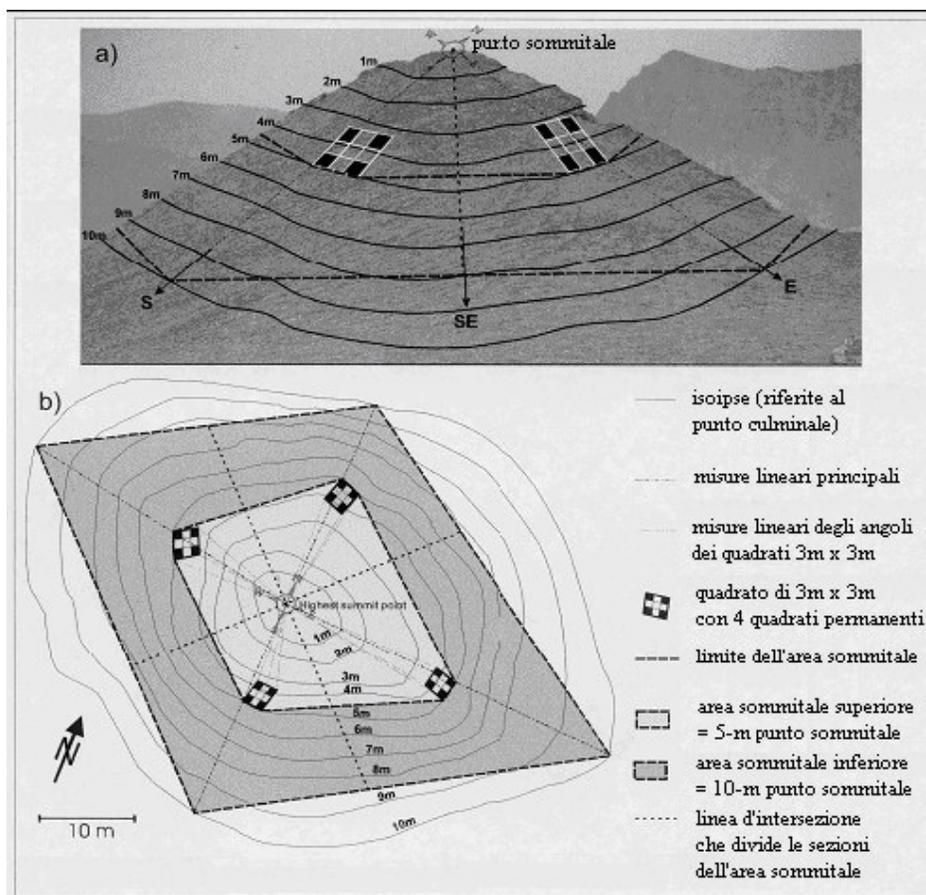


Fig. 1 – Esempificazione della metodologia di rilevamento dei dati floristici sulla parte sommitale di una vetta. L'area di indagine è compresa tra il punto più alto della vetta e una linea posta a -10 m s.l.m.

2.3.b La scelta dell'area di indagine

Secondo il protocollo di indagine GLORIA, l'analisi della vegetazione e le misurazioni della temperatura sono effettuati all'interno di aree sommitali (summit areas) con caratteristiche predefinite. Le motivazioni di tale impostazione sono molteplici: in generale, si tratta di siti facilmente definibili e individuabili anche in caso di campionamenti prolungati negli anni e, a differenza di quanto accade sui versanti, le condizioni ecologiche non sono molto condizionate dalle aree contigue. Anche dal punto di vista fitosociologico, la composizione specifica degli ambienti sommitali è relativamente tipizzabile e normalmente non è arricchita da apporti specifici da quote superiori: in particolare, la β -biodiversità (cioè il numero di specie presente in un mosaico di habitat) è elevata per la presenza di molte nicchie ecologiche ravvicinate. Anche l'interferenza di frane e valanghe è in genere trascurabile.

Oltre a ciò le aree sommitali funzionano da “trappole” per le specie migratrici, provenienti da settori a quote inferiori, che possono sostituire facilmente le specie criofile con scarsa capacità di competizione, soprattutto nel caso di massicci isolati e con un alto numero di endemismi.

La scelta dei rilievi ha reso necessaria l'individuazione di zone omogenee dal punto di vista geologico e con una ridotta interferenza antropica (sfalcio, fertilizzazione, calpestio, frequentazione turistica, ecc.).

Per l'Italia sono stati scelti tre siti: alcune cime delle dolomiti e dell'Appennino settentrionale, la Majella nell' Appennino abruzzese.

2.3.c I risultati di GLORIA EUROPE (2001-2003)

I dati raccolti nella prima fase del progetto sono stati prima archiviati in un apposito *database* centralizzato, poi rielaborati dal gruppo di coordinamento (Università di Vienna), con l'intento di valutare lo stato attuale della flora delle **18 target region** (*regioni montuose*) coinvolte, per un totale di **71 vette montuose** (*siti di osservazione*) studiate in **13 paesi europei**.

Sulla base di una interpretazione corologica dei dati, le *target region* sono risultate appartenere a **cinque zone biogeografiche**, così disposte da sud a nord: mediterranea, submediterranea, a cui è risultata appartenere la *target region* numero 5 (Appennino settentrionale), temperata, boreale e artica.

Un secondo interessante risultato è stato ottenuto valutando la variazione nella ricchezza in specie per ciascuna *target region*, in relazione alla quota delle quattro cime studiate (individuate in contesto nivale, ecotonale alpino-nivale, alpino e alpino inferiore); la ricchezza floristica, calcolata semplicemente come numero di specie vascolari per vetta, è risultata, in accordo con le attese (Virtanen *et al.* 2002), decrescere con l'innalzarsi della quota; passando dalla fascia alpina a quella nivale l'intensificarsi dei rigori ambientali provoca, infatti, un forte processo di selezione dei vegetali ed un numero sempre minore di essi riesce ad accrescersi ed a riprodursi nel breve periodo estivo. Nonostante si noti, in generale, una tendenza alla diminuzione dei *taxa* con l'aumento di altitudine, in alcune *target region* la presenza di contesti microecologici locali determina delle anomalie rispetto all'andamento atteso. In particolare la *target region* dell'Appennino settentrionale mostra un *trend* crescente di ricchezza floristica, apparentemente anomalo, che può essere spiegato considerando che le brughiere a *Vaccinium* sp. pl. vengono sostituite con

l'aumentare dell'altitudine da comunità ecotonali, in cui rientrano anche specie tipiche di ambiti altitudinali più elevati .

Il valore biogeografico della flora delle 18 *target region* studiate è stato anche valutato considerando per ogni *target region* il numero di specie endemiche in senso stretto (stenoendemiche) e in senso lato, rapportato al numero totale di *taxa* rilevati. Queste elaborazioni, riportate in Fig. 2, mostrano elevati valori in percentuale nelle aree mediterranee ed alpine, mentre i valori più bassi si riscontrano nelle regioni artiche e boreali; se da un lato le aree mediterranea ed alpina hanno avuto la possibilità di sviluppare propri endemismi, questo è accaduto soltanto in misura minore nelle regioni fredde nordiche, evidentemente in relazione ai rigori climatici che hanno inibito i processi di speciazione e alla bassa diversità di habitat presenti; inoltre molte delle specie tipiche di queste regioni (specie artico-alpine) spesso hanno areali disgiunti con presenze sulla catena alpina, dovute alle migrazioni di massa innescate dalle glaciazioni pleistoceniche (Pignatti 1994; Zumino & Zullini 1995).

Tra le numerose specie erbacee risalite la farfara (*Tussilago fanfara*) e la genziana della Baviera (*Gentiana bavarica* var. *subacaulis*) hanno mostrato incrementi notevoli, pari rispettivamente a 405 m e 230 m. La farfara, è stata sorprendentemente trovata a 3025 m; la genziana della Baviera è invece una specie alpina tipica delle pietraie e delle morene, facilmente osservabile negli ambienti nivali. Minori incrementi in altitudine (pari a 85-90 m) sono stati registrati per il salice elvetico (*Salix helvetica*) e per lo sparviere vischioso (*Hieracium intybaceum*), quest'ultimo, rinvenuto fino a 2840 m, ma tipico di quote più basse e di ambienti assolati. Tra le 25 nuove specie giunte nell'area di studio ricordiamo i salici arbustivi (*Salix hastata*, *S. purpurea*, *S. appendiculata*) e le specie erbacee Epilobio angustifoglio, dall'infiorescenza viola (*Epilobium angustifolium*), e trifoglio della neve (*Trifolium pratense* subsp. *nivale*), tutte piante che fino a pochi decenni fa vivevano a quote decisamente inferiori, ben lontano dai ghiacciai alpini.

Sono segnali inequivocabili dei cambiamenti climatici: infatti un aumento della temperatura in aree montuose si traduce in una "forza trainante", che innesci flussi migratori di specie verso quote più elevate.

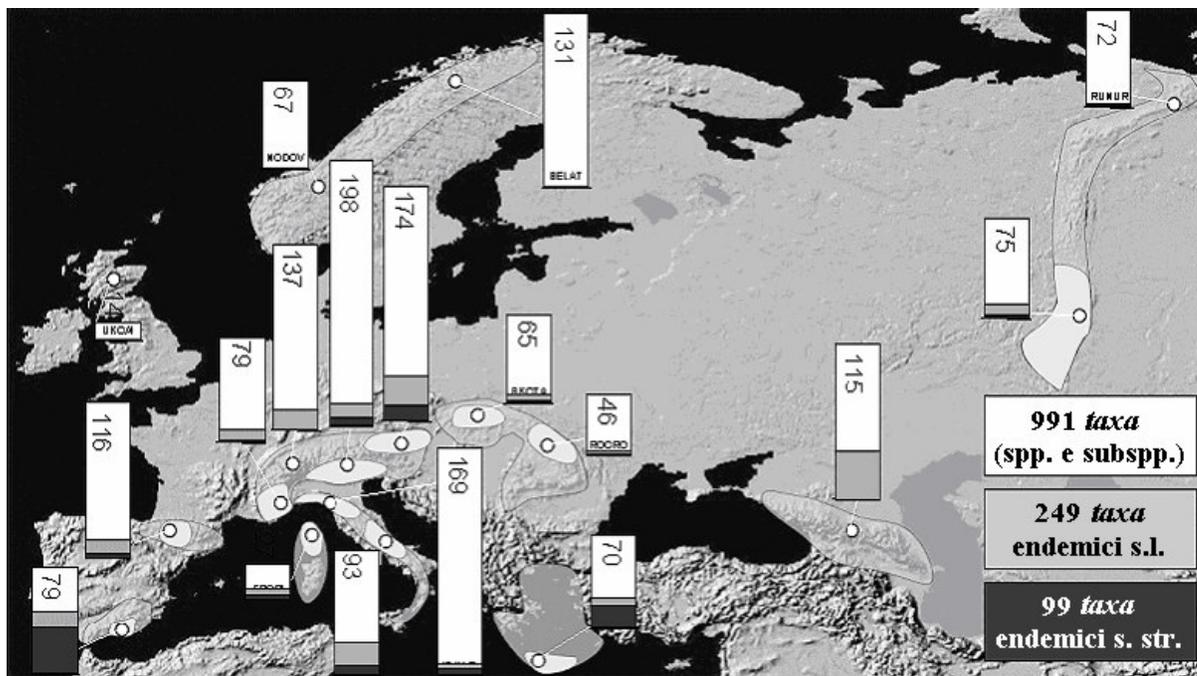


Fig. 2 – Ricchezza in specie e valore biogeografico della flora delle 18 *target region* europee (tratto da www.gloria.ac.at).

Per le 71 vette di GLORIA è stato valutato il gradiente di ricchezza in specie in relazione all'esposizione (N,E, S, W). Questa analisi è risultata quindi interessante, dal momento che ha messo in evidenza una preponderante ricchezza di specie sul versante E, seguito dal S, dal N ed infine dall'W. La causa di tale comportamento sarebbe da imputare alla provenienza dei fronti di perturbazione, che in Europa giungono in prevalenza da W e N-W, esponendo quindi tali versanti a condizioni ambientali più severe; al contrario le esposizioni ad est risultano più favorevoli sia perché più protette e meno esposte ai venti e alle precipitazioni sia perché l'insolazione perdura sin dall'alba. Il periodo di attività per le piante durante il giorno risulta essere più lungo ad E, se comparato con S, W e N, e gli effetti di tale diversità sarebbero più evidenti in ambienti caratterizzati da basse temperature.

2.3.d Conclusioni

La prima fase di raccolta dati del progetto GLORIA EUROPE ha portato ad una dettagliata descrizione dello stato floristico e vegetazionale delle 71 vette appartenenti alle 18 *target region* europee coinvolte, relativamente al periodo 2001-2003. Il progetto raggiungerà soltanto in futuro il suo scopo principale, quando verrà attuata una nuova campagna generale di raccolta dati, prevista tra circa 10 anni, per il monitoraggio delle

variazioni floristiche occorse nel lasso di tempo trascorso. La metodologia di raccolta dei dati floristici, effettuata con la “mappatura” dei singoli individui vegetali e la scelta oculata delle aree d’indagine, soggette a basso determinismo antropico, porterà con certezza ad evidenziare soltanto le variazioni di composizione floristica indotte dai cambiamenti climatici.

Per le specie endemiche presenti, ma anche per i taxa considerati rari, minacciati o vulnerabili, a fini conservazionistici preventivi si potrebbe effettuare una raccolta dei loro semi e lo stoccaggio in banche del germoplasma. Il patrimonio genetico delle piante più a rischio sarebbe quindi messo in salvo per essere impiegato in futuro in eventuali operazioni di ripopolamento o di reintroduzione.

Per quanto riguarda la situazione dell’Appennino tosco-emiliano, una prima campagna di raccolta e stoccaggio dei semi è già stata effettuata nel periodo 1999-2001 nel territorio del Parco del Gigante (Alto Appennino reggiano), limitatamente a quindici specie ritenute rare e/o minacciate. Tra queste si ricordano:

Salix herbacea L., *Salix hastata* L., *Salix breviserrata* B.Flod., *Senecio incanus* L., *Leucanthemopsis alpina* (L.) Heyw., *Vicia cusnae* Foggi et Ricceri, *Linum capitatum* Kit., *Carex foetida* All., *Alopecurus alpinus* Vill., *Primula apennina* Widmer, *Silene suecica* (Loddiges) Greuter et Burdet.

Quale ente responsabile della conservazione del materiale raccolto in campo è stata designata la *Millenium Seed Bank* dei Royal Botanic Gardens di Kew (U.K.). Un’ulteriore e più estesa azione di conservazione potrebbe in futuro riguardare i semi delle specie che costituiscono le comunità vegetali di vetta dell’Appennino tosco-emiliano, indipendentemente dalla loro rarità fitogeografica.

Per gli sviluppi futuri del progetto GLORIA, il Dipartimento di Ecologia del Territorio dell’Università degli Studi di Pavia è attualmente impegnato nel monitoraggio dei siti presenti nel Parco dell’Alto Appennino Reggiano-Parco Nazionale dell’Appennino Tosco-Emiliano. Sede organizzativa del progetto per l’Appennino abruzzese sono invece i dipartimenti di biologia vegetale dell’università “La Sapienza” di Roma, e il dipartimento di scienze e tecnologie dell’ambiente e del territorio dell’Università del Molise di Isernia. Grazie ad un finanziamento concesso dall’Istituto Nazionale di Ricerca sulla Montagna (INRM) nel 2004 verrà realizzata la prima verifica delle variazioni floristiche avvenute, a tre anni dall’avvio del progetto.

GLORIA è attualmente l'unica rete di monitoraggio degli effetti dei cambiamenti climatici sulla vegetazione alpina estesa a tutta Europa, con un piano di indagine di lunga durata e costi contenuti. Le metodiche di campionamento sono standardizzate, condivise e validate ed esiste un unico database centrale che raccoglie i dati per le elaborazioni, in contatto costante con i partner rilevatori. La rappresentatività delle informazioni raccolte permetterà di definire i modelli di biodiversità vegetale in zone montane e le variazioni indotte dal global change.

Il network verrà esteso all'intero pianeta coinvolgendo altre 25 target regions. La collaborazione non riguarda peraltro solo il mondo della ricerca e del monitoraggio ambientale, ma è apertamente estesa anche agli amministratori e alle O.N.G.

Un riscaldamento del clima, e il conseguente aumento delle temperature, porterebbe alla progressiva riduzione di questi ambienti, di per sé già molto ristretti, e alla conseguente estinzione delle specie che li occupano. Alle quote più basse e marginali della catena alpina si prevede infatti che il 60% della flora ora presente venga progressivamente annientata e sostituita a causa dell'aumento della temperatura entro il 2080. Per monitorare la velocità e la direzione di questi cambiamenti è necessario superare la fase delle stime e condurre rigorosi studi scientifici di monitoraggio, sia meteorologico che botanico.

Nell'ottica di tutelare le specie minacciate dai cambiamenti climatici si propongono strategie preventive di conservazione ex situ, anche con il coinvolgimento del Laboratorio di Ecologia Vegetale e Conservazione delle Piante (Università di Pavia) grazie ai contatti con la Millennium Seed Bank dei Giardini Botanici Reali di Kew (UK).

2.4 Gli uccelli migratori come bioindicatori

Cambiamenti di temperatura, precipitazioni e umidità, e una più generale variabilità del clima, influenzano gli uccelli sia direttamente che indirettamente. Gli uccelli hanno sempre ricoperto il ruolo di spie evidenti dello stato di salute dell'ambiente, rispondendo molto rapidamente ai cambiamenti delle condizioni ambientali, più rapidamente ad esempio delle piante. Essendo animali endodermi, devono mantenere costante la loro temperatura corporea, e la risposta ai cambiamenti climatici varierà da specie a specie, a seconda di quanto energicamente il loro metabolismo reagirà ai nuovi livelli di temperatura. Essi già stanno rispondendo fortemente ai cambiamenti climatici: uno dei segnali più evidenti è lo spostamento temporale di alcuni importanti eventi ciclici o comportamenti stagionali.

I risultati di una serie di studi sugli uccelli dimostrano infatti che alcune specie hanno anticipato i fenomeni primaverili in media di **6,6 giorni per decade**. In Europa, alcuni uccelli migratori hanno perfino smesso di migrare. Questi "slittamenti" temporali minacciano gli uccelli quando importanti eventi ciclici vitali non si sincronizzano più con quelli di piante o insetti con cui interagiscono.

Gli uccelli che migrano a lunga distanza, già in declino in Europa e in nord-America, tendono a spostarsi alla ricerca di cibo dalla loro rotta migratoria abituale, senza poter prevedere o poter anticipare il loro arrivo in coincidenza con il picco di cibo, come per esempio degli insetti. Questo è un problema soprattutto quando non coincidono i periodi di nascita e nutrimento dei pulli con lo sfarfallamento degli insetti, che può avvenire anticipatamente, portando al tracollo di intere popolazioni.

Diverse specie di animali e piante stanno modificando il loro *range* in risposta ai cambiamenti climatici, spostandosi in altitudine o in longitudine. L'estensione di questi spostamenti ancora non è prevedibile, ma si è calcolato che alcuni uccelli europei hanno già fatto slittare la linea di confine del loro range di più di 1000 chilometri.

In tutto il mondo i gruppi di uccelli particolarmente vulnerabili ai cambiamenti climatici includono gli uccelli migratori, gli artici, gli antartici, quelli delle isole, delle montagne e di alto mare. L'impatto climatico sugli uccelli migratori ha un effetto paragonabile a quello di tutti gli impatti umani messi insieme. I fattori di rischio maggiori includono una bassa capacità di dispersione, popolazioni con un basso numero di individui o un cattivo stato di conservazione, un habitat limitato e frammentato, un range climatico ristretto.

Inoltre, mentre le specie opportuniste o invasive riusciranno addirittura ad ampliare il loro habitat, le specie di uccelli specialiste continueranno il loro declino a causa dei cambiamenti climatici in atto.

Da secoli gli uccelli sono affidabili sentinelle dei cambiamenti climatici e oggi ci indicano che tali cambiamenti produrranno effetti a catena sugli ecosistemi di tutto il mondo (Lemoine, 2007). Alcuni studi hanno verificato che alcune popolazioni di uccelli sono effettivamente diventate stanziali, soprattutto nell'Europa centrale, mentre altre hanno anticipato il periodo riproduttivo. Molti altri studi hanno messo in evidenza un anticipo della migrazione primaverile di alcune specie di uccelli (Rubolini *et al.*, 2007) ed altri, un posticipo della migrazione verso le aree di svernamento.

2.4.a La migrazione primaverile delle rondini (*Hirundo rustica L.*)

Il clima è determinante per la distribuzione della flora e della fauna e le specie caratterizzate da una scarsa capacità di dispersione saranno a maggior rischio di estinzione rispetto a quelle caratterizzate da un'ampia distribuzione geografica e, quindi, da una maggiore tolleranza climatica (Morabito *et al.*, 2004). Eventi fenologici legati ai cambiamenti climatici hanno degli effetti significativi sulle popolazioni e sulla riproduttività biologica degli organismi.

Molte specie di animali intraprendono viaggi migratori per difendersi da condizioni climatiche sfavorevoli. I migratori per eccellenza sono gli uccelli che sono favoriti da un'intrinseca capacità di spostamento legata al volo. Le migrazioni, "movimenti orientati nello spazio, periodici e prevedibili nel tempo" (Berthold *et al.*, 2003), trovano origine nella naturale ricerca da parte degli uccelli di quelle condizioni ecologiche (clima e risorse alimentari) che ne rendano possibile il sostentamento e la sopravvivenza durante tutto il corso dell'anno (migrazione a periodicità stagionale). Il progressivo aumento della temperatura media globale della Terra potrebbe causare un progressivo spostamento a nord dei quartieri di svernamento, aumentando così la proporzione tra individui stanziali e migratori all'interno delle stesse popolazioni; parte dei soggetti migratori potrebbe, infatti, decidere di trattenersi nei quartieri di nidificazione per tutto il corso dell'anno, usufruendo della permanenza di condizioni idonee alle loro attività biologiche. Alcuni studi hanno verificato che alcune popolazioni di uccelli sono effettivamente diventate stanziali, soprattutto nell'Europa centrale, mentre altre hanno anticipato il periodo riproduttivo. Molti altri studi hanno messo in evidenza un anticipo della migrazione primaverile di

alcune specie di uccelli (Rubolini *et al.*, 2007) ed altri, un posticipo della migrazione verso le aree di svernamento.

Dal 2004 è attivo presso l'Istituto di Biometeorologia del CNR di Firenze, il progetto GILIA mirato allo studio dell'impatto dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi nell'ambito del quale è stato sviluppato un bollettino informativo per il biomonitoraggio della flora e della fauna in relazione ai cambiamenti climatici globali. Oltre a questo è stato realizzato un sistema di acquisizione delle segnalazioni fenologiche che è stato implementato sul sito web. Il sistema si propone l'obiettivo di raccogliere le segnalazioni e costituire un nucleo attorno al quale si possa concentrare una vasta rete di contatti, comprendenti sia enti e istituti che effettuano ricerche in questo settore, sia le persone o le associazioni che per interesse specifico si occupano di queste materie. Il monitoraggio è stato attivato per alcune specie vegetali e animali caratterizzate per l'ampio spettro di distribuzione sul territorio italiano. Nel primo anno di attività di GILIA è stato pubblicato un bollettino relativo agli avvistamenti di comportamenti anomali ricollegabili al cambiare delle stagioni. In particolare, tramite le segnalazioni dei collaboratori di EBN Italia, è stata realizzata la mappatura dell'arrivo delle rondini dai quartieri di svernamento in Italia.

La rondine (*Hirundo rustica* L.) è stata la prima specie monitorata perché da sempre simbolo dell'arrivo della primavera e perché può essere considerata un buon indicatore dal momento che i suoi spostamenti migratori, che spaziano dall'Africa all'Europa Centro-settentrionale, integrano l'influenza di condizioni climatiche a scala sinottica (Massetti *et al.*, 2007). E' considerata la specie migratrice per eccellenza che, per sfuggire alle rigide temperature invernali, si sposta in luoghi caratterizzati da un clima più mite. Le popolazioni italiane svernano prevalentemente in Nigeria e nell'Africa centrale. In Italia la rondine giunge alla metà di marzo e riparte, per la massima parte, entro l'inizio dell'autunno, a conclusione della stagione riproduttiva. Il suo areale di distribuzione comprende tutto il territorio italiano, tranne le zone di alta montagna e di alcune aree del profondo sud. La serie storica più consistente (2004 -2007) e più ampiamente distribuita sul territorio è quella relativa all'avvistamento dell'arrivo delle rondini di cui è riportata la mappa relativa agli avvistamenti 2007 (Fig. 3 e Tabella 1).

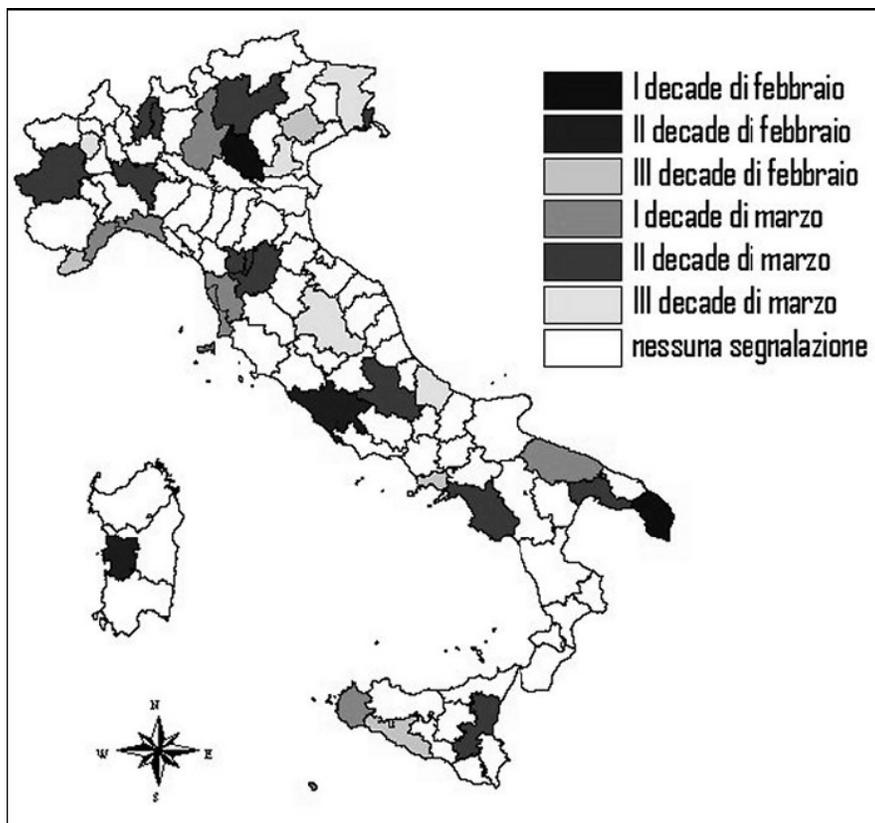


Fig 3: Mappa di avvistamento delle rondini del 2007.

Area *	Provincia	Decade media	Decade 2007
N	BS	8	7
N	MI	8	8
N	TN	10	8
NE	GO	8	8
NE	TV	7	6
NE	VR	9	4
CO	RM	6	5
CO	FI	8	8
CO	LI	7	7
CO	PI	7	7

* N Nord; NE NordEst; CO CentroOvest Italia

Tabella 1: Decadi di arrivo per provincia

2.4.b Risultati rilevanti

La rete di osservazione si è avvalsa del contributo fondamentale di rilevatori appartenenti a varie associazioni di rilevatori esperti (Morabito *et al.*, 2004). L'analisi dei dati raccolti ha messo in evidenza le difficoltà connesse alla complessità del monitoraggio della migrazione e alla caratteristica volontaria della partecipazione. Sono state riscontrate nella distribuzione delle osservazioni una discontinuità temporale e spaziale che in parte è stata compensata dalla risoluzione scelta.

La maggior parte delle segnalazioni sono pervenute dalle regioni centrali e settentrionali d'Italia dove questo tipo di attività è maggiormente popolare. Nella Tabella 1 sono presentati gli avvistamenti delle province che hanno riscontrato serie complete ed affidabili.

Per ogni provincia è indicata l'area geografica di appartenenza, la decade media di arrivo calcolata sulle segnalazioni ricevute nel periodo 2004-2006 e la decade di avvistamento del 2007.

La mappa delle anomalie di Figura 4 mostra un anticipo in tutte le province per le quali è disponibile una serie completa per il periodo considerato. L'anticipo risulta particolarmente accentuato nella parte settentrionale. Questo risultato concorda con le anomalie positive di temperatura registrate nell'inverno 2007. L'inverno del 2007 infatti è stato caratterizzato da un'anomalia termica positiva particolarmente accentuata specialmente nelle regioni centro settentrionali in controtendenza con gli inverni del triennio precedente che sono stati caratterizzati da inverni leggermente più freddi della media climatologica.

L'anomalia termica del 2007 rispetto alla media del triennio precedente, calcolata a partire dai dati delle NCEP reanalysis risulta essere positiva ovunque con un gradiente crescente da SO a NE che raggiunge anche i 4°C .

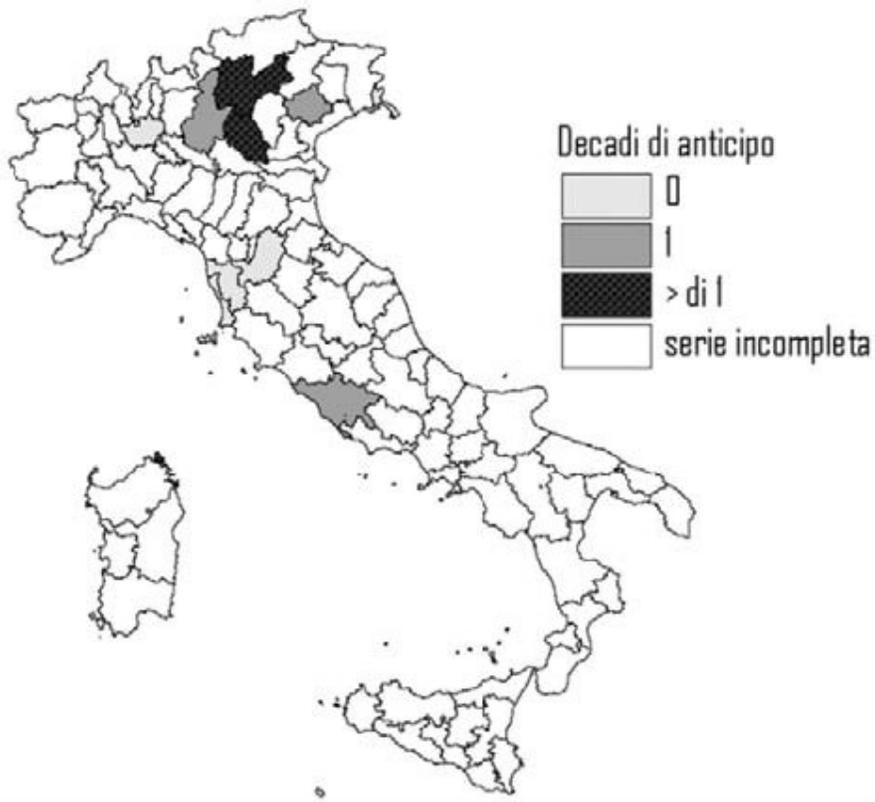
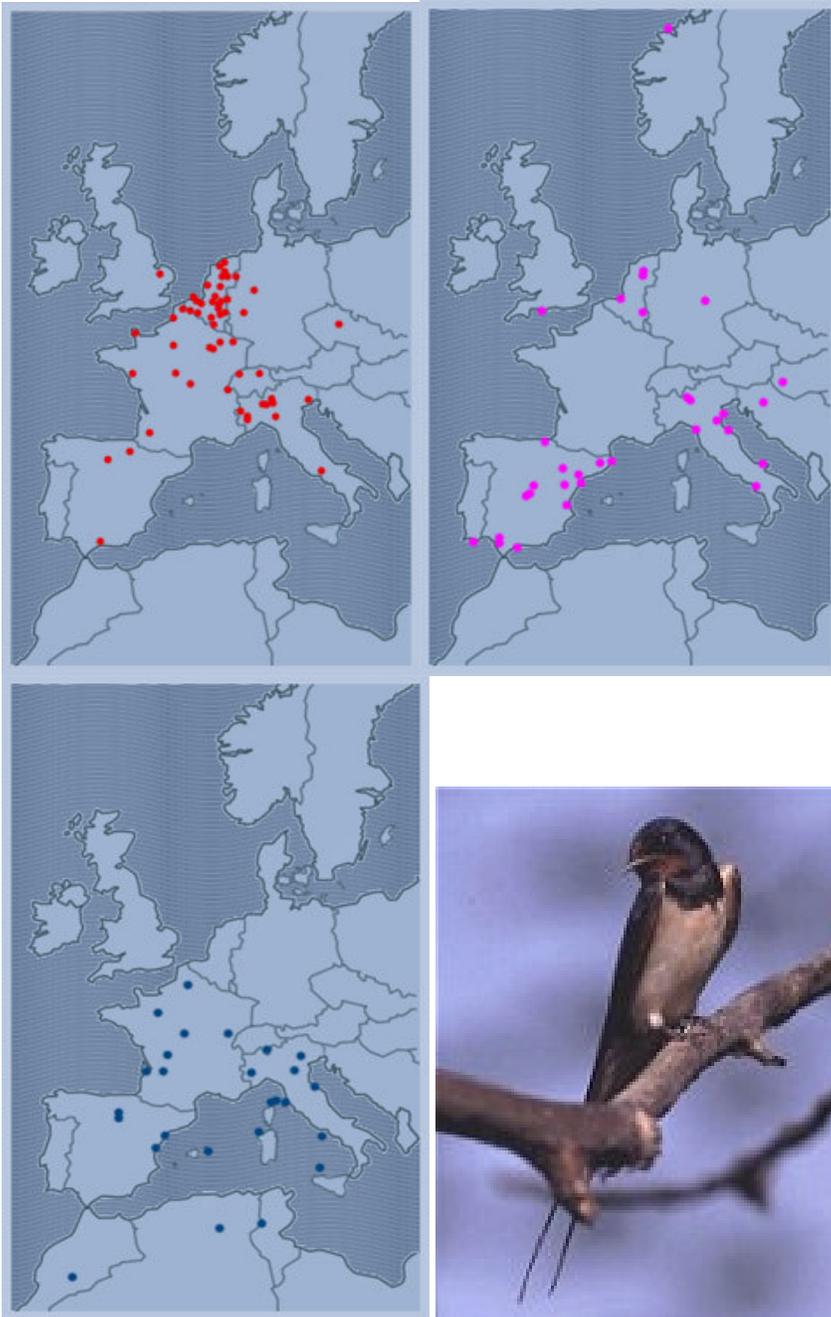


Figura 4: Mappa delle anomalie degli avvistamenti

2.4.c Principali rotte e caratteristiche migratorie di *Hirundo rustica*

Si deve alle circa 35.000 rondini inanellate ad Ebbaken Boje (Nigeria) ed alle quasi 300 ricatturate tra Ebbaken e l'Europa se attualmente siamo nella condizione di avere maggiore conoscenza delle rondini che svernano in quella zona dell'Africa. Una buona parte delle rondini che trascorrono l'inverno ad Ebbaken provengono dai Paesi Bassi, dal Belgio, dalla Svizzera e dall'Italia Nordoccidentale.



In alto a sin.: Rondini svernanti ad Ebbaken e nidificanti in Europa
 In alto a des.: Rondini riprese in Europa durante la migrazione invernale
 In basso a sin.: Rondini ricatturate in Europa durante la migrazione primaverile
 In basso a des.: *Hirundo rustica*

È possibile usare i dati di inanellamento/ricattura per analizzare le rotte migratorie delle rondini. In questo modo si può osservare che le rondini svernanti ad Ebbaken, in autunno usano le due principali penisole europee (quella iberica e quella italiana) per transitare verso il continente africano.

Abbiamo la certezza che le rondini danesi, belghe ed inglesi usano la penisola iberica. Non altrettanto chiara è l'origine delle rondini che in autunno attraversano l'Italia o la Slovenia: probabilmente rappresentano una parte della popolazione nidificante in Germania centrale. In primavera, le rondini che hanno trascorso l'inverno ad Ebbaken utilizzano rotte del tutto diverse per tornare in Europa. Nella migrazione primaverile sembrano preferite rotte che attraversano il Mediterraneo centrale.

È possibile che i dati siano influenzati in qualche maniera dalla grossa mole di catture attuata durante il "Progetto Piccole Isole", nel quale si utilizzano proprio siti dislocati sulle piccole isole mediterranee per studiare, mediante l' inanellamento, le modalità di migrazione primaverile dei piccoli passeriformi europei. È stato comunque ormai accertato che molti di questi in primavera affrontano rotte più brevi e dirette, di deciso attraversamento del Mediterraneo, per rioccupare i territori di nidificazione europei con la massima celerità. All'opposto in autunno le rondini sono spinte a lasciare l'Europa più dalla scarsità di cibo e dall'evoluzione delle condizioni meteorologiche che da altri fattori: se c'è disponibilità di cibo e il tempo si mantiene favorevole possono ritardare la partenza, o intraprendere viaggi su rotte più lunghe, dato che non hanno fretta di raggiungere i quartieri di svernamento, dove si sottoporranno ad una muta completa del piumaggio. Alcune delle principali caratteristiche delle migrazioni delle rondini:

1. D'inverno le rondini europee migrano verso il Sud Africa. Volano in grandi stormi e coprono fino a 11.000 km.
2. Generalmente partono a settembre (il momento preciso della partenza è determinato dal clima e dalla disponibilità di cibo), viaggiano attraverso la Francia occidentale, oltrepassando i Pirenei e scendono attraverso la Spagna orientale.
3. Per ottobre hanno attraversato il Mediterraneo vicino a Gibilterra per raggiungere il Marocco. A questo punto inizia il lungo viaggio attraverso il Deserto del Sahara, continuando verso Sud passando per Algeria, Niger e Ciad oltrepassando l'Equatore e raggiungendo la Repubblica Democratica del Congo a novembre.
4. Alcuni uccelli preferiscono passare lungo la costa ovest dell'Africa per evitare il Deserto del Sahara, mentre altre rondini europee passano più a est e scendono attraverso la valle del Nilo. Viaggiano per giungere in Sud Africa verso fine dicembre.

5. Migrano durante il giorno a basse altitudini nutrendosi in volo. Non aumentano molto di peso prima di partire, quindi quando attraversano il deserto sono più vulnerabili all'inedia.
6. Diversamente da molti altri passeriformi, le rondini sono migratori diurni, volano quasi al livello del terreno.
7. Milioni di uccelli cominciano la migrazione ogni autunno spinti da segnali come le giornate più corte, mancanza di cibo e un clima più rigido messaggeri di tempi duri in arrivo.
8. Le rondini ripartono dall'Africa a inizio marzo percorrendo 10.000 km in 6 settimane per arrivare in Europa.

2.4.d Conclusioni

Le condizioni meteorologiche e climatiche, i fattori ambientali e quelli biotici, hanno influenzato lo sviluppo e determinato l'attuale struttura e distribuzione degli animali che oggi popolano il pianeta.

Il 2007 è stato caratterizzato da un inverno eccezionalmente caldo e l'anticipo riscontrato nelle segnalazioni di arrivo concorda con questa anomalia. Il monitoraggio dei fenomeni migratori è un'attività complessa da effettuare per le sue dimensioni spaziali. Il progressivo aumento della temperatura media globale della Terra potrebbe determinare una distribuzione più settentrionale dei quartieri di svernamento, aumentando così la proporzione tra individui stanziali e migratori all'interno delle stesse popolazioni.

Una parte dei soggetti migratori potrebbe, quindi, decidere di trattenersi nei quartieri di nidificazione per tutto il corso dell'anno, usufruendo della permanenza di condizioni idonee alle loro attività biologiche. Alcuni studi hanno verificato, infatti, che alcune popolazioni di uccelli sono effettivamente diventate stanziali, soprattutto nell'Europa centrale, mentre altre hanno anticipato il periodo riproduttivo.

Molti studi hanno messo in evidenza un anticipo dei voli migratori di alcuni uccelli ed insetti verso i quartieri estivi, ed altri, un posticipo della migrazione verso le aree di svernamento.

Un altro effetto legato al cambiamento climatico è l'allargamento dell'areale di alcune popolazioni ornitiche e di numerose specie ittiche tropicali che, al momento attuale, possono essere rinvenute anche nel Mar Mediterraneo. La ricerca di specie cosiddette

“indicatrici” come le rondini, è di fondamentale importanza per valutare impatti ed effetti dei continui cambiamenti climatici sui diversi territori.

L’indagine fenologica eseguita nell’ambito del progetto sperimentale GILIA, nonché i numerosi e preziosi risultati ottenuti a livello internazionale dall’elaborazione di serie fenologiche anche secolari, evidenziano il ruolo fondamentale della fenologia per individuare specie “indicatrici” attendibili, affrontando tutte le problematiche connesse alla loro specifica osservazione.

Il comportamento di ciascun migrante è legato sia alle caratteristiche dell’andamento stagionale sia alle aree geografiche dove avviene il loro svernamento. Ogni specie fornisce, quindi, un’indicazione climatica specifica relativa ai suoi percorsi tipici di migrazione. L’utilizzo di una rete attendibile di rilevazioni sulla fauna e la flora per ottenere dati da mettere in relazione ai principali parametri climatici, permette la realizzazione di studi sempre più approfonditi, analizzando tali relazioni con maggiore accuratezza e fornendo risultati sempre più interessanti ed attendibili.

L’importanza dei monitoraggi (presenza/assenza) di specie indicatrici deriva dal fatto che la presenza di una data specie in un certo periodo è spesso indicativa di modificazioni ambientali. Le successive fasi di studio e di correlazione statistica saranno in grado di spiegare una parte delle complesse dinamiche di popolazione. I bollettini informativi vengono redatti grazie alle segnalazioni degli avvistamenti effettuate da una rete di partners distribuiti su tutto il territorio nazionale.

L’utilizzo, inoltre, di applicazioni del Sistema informativo geografico (*Global Information System, Gis*) per la rappresentazione dei dati e delle loro elaborazioni, migliora ed estende la capacità di monitoraggio dei fenomeni migratori su una scala nazionale e ne permette la connessione con gli elaborati meteo-climatici, derivati dai modelli di previsione.

I risultati ottenuti nei quattro anni di attività confermano che costruire serie storiche consistenti, attendibili e sufficientemente lunghe per fare delle analisi climatiche è un impegno gravoso che può essere affrontato adeguatamente realizzando reti di osservazione integrate.

2.5 Coralli madreporari del Mediterraneo come bioindicatori dei cambiamenti climatici

Le temperature dei mari sono aumentate di almeno 1°C nell'ultimo secolo e stanno attualmente aumentando di 1°C ogni 100 anni: vari studi hanno mostrato che anche nel Mar Mediterraneo i coralli che vivono al limite di temperatura per la loro tolleranza fisiologica risentono dei cambiamenti climatici. Infatti si è evidenziata una correlazione fra l'aumento della media della temperatura e lo sbiancamento dei coralli: lo "**sbiancamento**" o **bleaching** (cioè la morte dei microscopici 'polipi' alla base delle formazioni coralligene) è dovuto alla perdita dei *dinoflagellati simbiotici (zooxanthellae)* in seguito a stress che ha come risultato la perdita di colore del tessuto del corallo rivelando lo scheletro bianco di carbonato di calcio sottostante.

I coralli coloniali sono carnivori specializzati che probabilmente debbono la loro eccezionale capacità proliferativa ad un'aumentata efficienza metabolica resa possibile proprio dalla capacità che le zooxantelle, microscopiche alghe unicellulari, hanno di assimilare molti prodotti di scarto del metabolismo dell'ospite.

E' infatti stato suggerito che la capacità di alcune species di coralli di sopravvivere a condizioni stressanti è in parte dovuta al tipo di dinoflagellati simbiotici che ospitano e all'abilità di entrambi di adattarsi o acclimatarsi ai cambiamenti delle condizioni ambientali. Questo tipo di dinoflagellati, che dipendono dall'intensità della luce e dalla temperatura dell'acqua, si possono incontrare nella madrepora pagnotta (*Cladocora caespitosa*), ma anche nell'attinia comune (*Anemonia viridis*), nell'anemone (*Paranemonia cinerea*), nella madrepora solitaria (*Balanofilia euroapea*), ecc. Sono state trovate alghe simbiotici anche nello scheletro dell' *Oculina patagonica*, comprese le alghe endolitiche del genere *Ostroebium*. Queste microalghe svolgono altre funzioni vitali, come proteggere i coralli dallo sbiancamento e dalle radiazioni ultraviolette.

In seguito al *bleaching* passano alcuni mesi prima che i coralli riacquistino la normale densità di zooxantelle, tuttavia la loro capacità riproduttiva è altamente compromessa almeno per la stagione successiva. In casi estremi i coralli muoiono come è avvenuto durante lo sbiancamento del 1998 in seguito al quale il 10% della densità mondiale dei coralli è morta.

Comunque, molti altri fattori hanno un ruolo determinante nella velocità di calcificazione dei coralli contribuendo in maniera notevole al processo basale di mineralizzazione: ad esempio, la fissazione fotosintetica dell'anidride carbonica da parte

delle alghe con conseguente allontanamento dal corallo dell'acido carbonico influisce notevolmente sulla velocità di calcificazione così come l'assimilazione di fosfati impedisce che questi, tramite reazione chimica, trasformino l'aragonite del corallo in calcite e conseguentemente influenzano la crescita del corallo stesso, l'assimilazione da parte dell'animale di aminoacidi, di sostanze contenenti vitamine, di composti proteici semplici, ecc...

Nella formazione di un rapporto di simbiosi, le zooxantelle vengono avvolte dalla membrana dell'ospite che diventa la membrana del cosiddetto simbiosoma. Il simbiosoma non è altro che una vescicola di endocitosi nella quale, però, non vengono scaricati enzimi litici, permettendo così la sopravvivenza dell'endosimbionte. Le alghe vengono quindi inglobate all'interno dell'organismo animale (Knowlton, 2003).

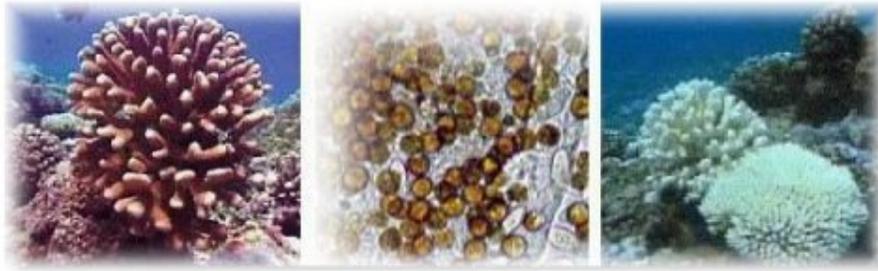


Foto del Prof. Ove Guldberg, Centre of Marine Studies, University of Queensland

Anche la colorazione del corallo (immagine a sinistra) è dovuta alle zooxantelle, delle quali vediamo al centro un'immagine ingrandita al microscopio. Talvolta i coralli possono occasionalmente liberarsi di esse lasciando così scoperto il loro tessuto trasparente, attraverso il quale è possibile distinguere chiaramente il bianco scheletro (immagine a destra).

Fino a circa vent'anni fa si credeva che esistesse una sola species di *Symbiodinium*, *S. microadriaticum*, mentre studi recenti di biologia molecolare hanno dimostrato che esistono almeno cinque taxon di dinoflagellati simbiotici, *Symbiodinium* clades A, B, C, D, E and F e che uno o più taxa possono essere presenti in un singolo corallo.

Sembra che i vari *Symbiodinium* spp. abbiano una distribuzione geografica, con il clade C dominante nell'Indo-Pacifico e i clades A, B e C ai Caraibi. In alcuni coralli e' anche stata riscontrata una distribuzione di *Symbiodinium* spp. lungo un gradiente latitudinale, dove la stessa specie di corallo ospita clades diversi in località tropicali e

subtropicali rispetto a località temperate. Genotipi diversi dei dinoflagellati simbiotici sono anche stati identificati nella stessa specie di corallo che si trova a diverse profondità dove l'intensità della luce varia. Questa diretta relazione fra clades di *Symbiodinium* spp. e intensità della luce è anche stata riscontrata a livello di singola colonia dove, in alcune specie di corallo, le zone più in ombra ospitano un clade diverso dalle zone direttamente esposte alla luce (Fellegara, 2003).

I coralli madreporari si trovano per lo più in zone tropicali ma importanti comunità di coralli esistono anche ad alte latitudini. I coralli di queste comunità vivono in condizioni di temperatura, luce e sedimentazione estreme rispetto ai coralli tropicali ed è per questo motivo che il loro studio diventa interessante ed importante per capire come si sono adattati a queste condizioni e per cercare di prevedere il futuro dei reef coralli in questo periodo di cambiamenti climatici, anche attraverso la determinazione di queste simbiosi.

In seguito alla Conferenza IATICE è nata una collaborazione fra il Centre for Marine Studies della University of Queensland (Australia), l'ENEA di La Spezia e il Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali in Ravenna dell'Università di Bologna sui coralli madreporari del Mediterraneo come bioindicatori dei cambiamenti climatici: la prima fase di questo progetto prevede la determinazione del taxon (clade) dei dinoflagellati simbiotici, *Symbiodinium* spp., in alcuni coralli duri e altri organismi del Mediterraneo.

Uno studio recente ha rivelato che alcuni organismi del Mediterraneo (*Anemonia rustiva* e *Anemonia sulcata*) ospitano *Symbiodinium* clade A presente solo nel Mediterraneo e in Nord Atlantico. Questi coralli sono molto interessanti in quanto si trovano in un clima temperato e isolati dai madreporari degli altri mari.

Altri problemi che contribuiscono alla sparizione dei coralli sono l'inquinamento, gli scarichi che provocano l'intorbidimento delle acque e la difficoltà a ricevere la luce solare, e l'aumento incontrollato di alghe, che entrano in competizione con i coralli per la luce solare.

2.5.a Il caso di *Oculina Patagonica*

L'associazione simbiotica tra i coralli ospiti e le loro microalghe fotosintetiche endosimbionti, è la chiave del successo dei coralli sclerattiniani nell'ecosistema del reef corallino. Non è possibile affermare in maniera definitiva che gli episodi di sbiancamento siano dovuti ai cambiamenti climatici, ma ci sono vari riscontri che dimostrano come il

reef sia sensibile alle variazioni di temperatura del mare (Kushmaro *et al.*, 1997). Proprio da questo presupposto due dipartimenti dell'università israeliana di Tel Aviv sono partiti per esaminare il corallo madreporario coloniale *Oculina patagonica* (Antozoi Sclerattiniani). Si tratta di una madrepora coloniale, provvista di zooxantelle simbiotiche e capace di biocostruzione: insomma, qualcosa di abbastanza simile alle specie che formano le scogliere coralline e a prima vista assomiglia un poco alla nostrana *Cladocora caespitosa*. Nel 1966, una grande colonia di questa specie veniva accidentalmente scoperta presso il Porto di Savona: era stata trasportata passivamente dal fouling di una nave. In anni successivi, vennero segnalate ulteriori stazioni di questa specie in Mar Ligure, nonché in altri punti del Mediterraneo: oggi è particolarmente abbondante nel sud della Spagna ed in Israele. La cosa più notevole è che prima del suo ritrovamento presso Savona la specie non era mai stata osservata viva. Era stata infatti descritta nel 1908 su esemplari subfossili raccolti in Argentina, ma da allora nessuno l'ha mai rinvenuta sui fondali marini argentini. Sarebbe un paradosso se una specie ormai divenuta abbondante nel Mediterraneo fosse nel frattempo scomparsa dalla sua patria d'origine.

Nell'Università di Tel Aviv, esperimenti di laboratorio condotti in acquario presso i dipartimenti di zoologia e biologia molecolare da un'equipe di scienziati, hanno dimostrato che il Vibrione AK-1 causa un rapido sbiancamento di *O. patagonica* a 29 °C, uno più lento a 25 °C, e nessuno sbiancamento a 16 °C. Gli effetti della temperatura sullo sbiancamento indotto dal batterio sono coerenti con quelli indotti in ambiente naturale nel mar Mediterraneo. Il vibrione AK-1 è stato isolato in tutti i coralli sbiancati durante il periodo estivo, ma non durante il periodo invernale. Lo sbiancamento è il risultato della violenta scissione del corallo col suo simbiote, che porta alla perdita di pigmentazione, sia per la riduzione della densità di zooxantelle, sia dalla riduzione dei pigmenti fotosintetici presenti nelle cellule algali. Lo sbiancamento può portare alla morte dei coralli, perché la maggior percentuale del nutrimento dei coralli proviene dai prodotti fotosintetici delle alghe. Non è ancora possibile determinare se lo sbiancamento dei coralli e il conseguente danneggiamento del reef è dovuto al cambiamento climatico, ma è evidente che la salute delle barriere coralline è sensibile all'aumento delle temperature marine, anche se molti episodi di sbiancamento si sono comunque verificati senza un aumento delle temperature (Kushmaro *et al.*, 1998). Anche l'aumento dell'irradiazione solare, combinato o meno con l'aumento di temperatura, può portare allo sbiancamento e all'infezione batterica. Nonostante il suo impatto ecologico, il meccanismo biologico dello sbiancamento è ancora in parte sconosciuto. Si è dimostrato che il batterio Vibrione AK-1 isolato in cultura pura,

causa sbiancamento del corallo *O. patagonica* in esperimenti controllati in acquario: è ipotizzabile che il patogeno, in condizioni di elevata temperatura, diventi più aggressivo.

Gli esperimenti con il conteggio dei coralli sbiancati sono stati condotti sui coralli in mare presso la costa mediterranea israeliana, applicando dei transetti di 10 metri posti tra 1 e 6 metri di profondità: la temperatura dell'acqua è stata fornita dal Centro Meteorologico Israeliano.

Un corallo si definisce "sbiancato" quando almeno il 10% della superficie totale appare bianca (Kushmaro *et al.*, 1998), mentre per la percentuale di alghe ci si è basati sulla sezione istologica dei coralli esaminati (42 sbiancati e 34 non sbiancati).

Per gli esperimenti di laboratorio invece, le colonie di *O. patagonica* sono state prelevate intatte tra 1 e 3 metri di profondità, frammentate e tenute in acquario con cicli di luce/buio di 12 ore e una temperatura controllata di 25 °C. I coralli che non superavano cicli riproduttivi e di ricostruzione dello scheletro per 15 giorni, venivano scartati dall'esperimento, gli altri venivano conservati in condizioni controllate per l'acclimatamento per altri 10 giorni. Negli esperimenti condotti in laboratorio, il vibrione AK-1 è stato inoculato nell'acqua degli acquari mantenuti a diverse temperature (16 °C, 20 °C, 25 °C, 29 °C): ogni acquario aveva il rispettivo acquario-controllo. Nel secondo esperimento invece il vibrione è stato direttamente iniettato nelle colonie coralligene sane, tenute negli acquari a diverse temperature e confrontate con un campione di controllo iniettato con una soluzione sterile.

Nel presente studio gli effetti del vibrione sullo sbiancamento vengono chiaramente dimostrati: il controllo (non inoculato) non mostra nessuno sbiancamento fino ad una temperatura di 29 °C, mentre lo sbiancamento avviene anche a 20°C in presenza del batterio (Kushmaro *et al.*, 1998)..

Ci sono diverse spiegazioni agli effetti della temperatura sullo sbiancamento di *O. patagonica* dovuti al Vibrione AK-1: la temperatura è uno dei fattori correlati alla variabilità stagionale della densità del batterio e della sua crescita negli ecosistemi costieri, anche se non sembra essere il fattore critico. Comunque, il vibrione non è stato isolato in ambiente naturale durante il periodo invernale (anche nei coralli semi-sbiancati): è ipotizzabile che a basse temperature (min. 16 °C) entri in uno stato di "latenza". L'incapacità del vibrione AK-1 di indurre sbiancamento in *O. patagonica* a basse temperature potrebbe essere dovuto alla repressa sintesi dei fattori virulenti: in genere, l'aumento della temperatura marina dovuta a fattori climatici induce l'aumento di patologie come il colera.

Numerosi studi evidenziano la correlazione tra l'aumento della temperatura marina e il fenomeno dello sbiancamento dei coralli, ed anche esperimenti condotti negli acquari confermano il legame tra aumento di temperatura dell'acqua e sbiancamento. Per questo si è spesso ipotizzato che l' influenza dei cambiamenti climatici o di fenomeni quali "El niño" abbiano effetti diretti e immediati sul *bleaching*: questa ipotesi deve però essere rivista in un modo più completo, perché lo sbiancamento dei coralli, dovuto alla rottura della simbiosi con le zooxantelle, può essere dovuto in realtà ad una sinergia di fattori, quali, oltre all'aumento di temperatura, anche ad un aumento dell'irradiazione solare o allo sviluppo di qualche patogeno nato in mare.(Glynn, 1991; Brown,1997).

In questo caso però i risultati degli esperimenti effettuati suggeriscono con forza che lo sbiancamento di *O. patagonica* indotta dal batterio sia regolata dalla temperatura: il fatto che un patogeno provochi danni al corallo non sminuisce l'importanza degli effetti dei fattori ambientali su tale processo. Per questo è importante approfondire sia lo studio degli agenti patogeni sui coralli, sia comprendere gli effetti dei fattori ambientali con l'interazione patogenica (Kushmaro *et al.*, 1998).



Oculina sp.

CONCLUSIONI GENERALI

L'utilizzo come indicatori di singole specie o di intere comunità vegetali assume un ruolo di primaria importanza in numerosi campi: dal monitoraggio ambientale alla valutazione dei cambiamenti climatici, dall'analisi del grado di naturalità o antropizzazione alla gestione e pianificazione territoriale.

Nei sistemi mediterranei, i fenomeni locali e globali, determinano una inesorabile perdita di biodiversità e si pensa che questo processo influirà soprattutto sulle superfici più vulnerabili, quali piccole isole, coste, zone aride e semiaride o zone a bassa altitudine, che mostreranno un continuo e progressivo impoverimento. Il bacino del Mediterraneo è uno dei 25 "hotspot" per la biodiversità del nostro pianeta ed un'area molto importante per la flora europea. La scomparsa delle specie e la rarefazione della biodiversità è determinata da un complesso di fattori tra loro correlati. Un'analisi delle liste rosse della flora italiana per le regioni meridionali ha permesso di valutare su scala regionale, sia sul piano ecologico sia per l'appartenenza a determinati habitat, quali sono gli elementi nevralgici dei cambiamenti in atto e quali sono le maggior responsabilità dell'uomo nella scomparsa o rarefazione delle specie.

I cambiamenti climatici in atto determinano delle variazioni significative negli equilibri dei sistemi ecologici e nella biodiversità ed è quindi indispensabile valutare la capacità di adattamento delle specie e degli ecosistemi a questo fattore. Il monitoraggio degli effetti che i cambiamenti climatici hanno sugli ecosistemi naturali passa attraverso la selezione di opportuni ed idonei indicatori, in grado di fornire informazioni adeguate e puntuali sul processo in atto. In particolare, risultano particolarmente utili quegli indicatori in grado di fornire indicazioni direttamente correlate alla gestione, come ad esempio la variazione delle località di svernamento degli uccelli migratori, che può influenzare la scelta delle *Important Bird Areas*, ai sensi della direttiva Uccelli.

Lo studio delle modificazioni e dei trend della vegetazione su scala temporale significativa (50-80 anni mediante analisi di serie storiche di foto aeree, e immagini satellitari a varia risoluzione) hanno permesso di integrare le conoscenze e di utilizzare l'indicatore vegetazione (stato, composizione, funzionalità, dinamiche attuali e trend) al meglio delle sue potenzialità, tenendo conto del fatto che la vegetazione mantiene memoria dei cambiamenti e rappresenta la grande potenzialità per il riequilibrio dei sistemi naturali. Per questo motivo, il primo indicatore selezionato allo scopo in questo studio è quello della vegetazione d'alta quota, la più sensibile alle variazioni del clima. Per quanto riguarda il

secondo bioindicatore, sono stati scelti gli uccelli in quanto sono una classe di animali estremamente diversificati, praticamente distribuiti in tutti gli ambienti del globo, dotati di una complessa ecologia e soggetti a una complessa varietà di fattori.

La pubblicazione della Lista Rossa 2008 IUCN delle Specie Minacciate nel mondo (sezione Uccelli) evidenzia come il cambiamento climatico acceleri molti dei fattori che hanno portato a rischio di estinzione un uccello su otto nel mondo (circa il 12% delle specie). Infatti, lunghi periodi di siccità ed eventi climatici estremi minacciano ancor di più gli habitat già ristretti e frammentati da cui dipendono alcune specie di uccelli. Tutto ciò, unito all'aumento dello sfruttamento e della distruzione degli habitat, porta ad un incremento del tasso di estinzioni sui continenti e sulle isole.

Tipici ambienti fortemente influenzati dall'andamento climatico e stagionale risultano essere le zone umide quali paludi, stagni, acquitrini e lagune costiere, ossia quegli ecosistemi contraddistinti da un equilibrio termico precario. Si tratta, infatti, di zone spesso caratterizzate da acque poco profonde che, all'aumentare della temperatura, possono evolversi verso ecosistemi terrestri o comunque variare le proprie caratteristiche chimiche (pH, nutrienti, ossigeno, sale ecc.) in modo da non poter più ospitare gli organismi specializzati per gli ambienti originari.

La rondine (*Hirundo rustica*) è stata scelta in quanto specie migratrice per eccellenza, anche se ogni specie fornisce un'indicazione climatica specifica relativa ai suoi percorsi tipici di migrazione. I dati degli avvistamenti di questa e di altre specie aiuteranno a saperne di più sulle migrazioni e, negli anni, a verificare eventuali influenze dei cambiamenti climatici.

Per ciò che riguarda il caso dell'ambiente marino e dei coralli, nel mondo sono state identificate almeno 18 malattie che possono colpire massivamente questi organismi: in molti casi le morie si sono verificate dopo aumenti della temperatura dell'acqua o dopo lunghi e anomali periodi di temperature elevate. Non in tutti i casi si è potuto identificare l'agente patogeno responsabile della moria, ma spesso è dovuta alla presenza di funghi, cianobatteri, batteri, protozoi, nematodi, alghe e crostacei. Oltre una cinquantina di specie nel mondo sono state colpite da mortalità o da processi di degrado: sebbene la maggioranza dei casi riguarda le barriere tropicali, sono state rilevate due malattie nel Mar Mediterraneo (VSB- Sbiancamento causato da *Vibrio shiloi*- e FPS- Fungal-Protozoan Sindrome).

Negli ultimi decenni gli episodi di sbiancamento hanno riguardato la madrepora pagnotta (*Cladocora caespitosa*), la madrepora solitaria (*Balanophyllia europaea*) e il corallo argentino (*Oculina patagonica*) in distinte zone del Mediterraneo occidentale e

orientale. In questi sbiancamenti è implicato il batterio *Vibrio shiloi*, che può danneggiare, come precedentemente riportato, alte percentuali di colonie di *O.patagonica*. Il batterio però sembra sensibile alle radiazioni ultraviolette, perciò non colpisce i coralli che si trovano più in superficie. Il cambiamento climatico quindi, correlato con gli altri fattori come aumento di radiazione luminosa, provoca le condizioni ideali per lo sviluppo di patogeni in mare e il conseguente sbiancamento dei coralli. Questo indicatore può essere utilizzato anche in correlazione con altri fattori legati al cambiamento climatico. L'aumento della temperatura dell'acqua infatti comporta altri dannosi effetti per gli antozoi: gli oceani aumentano la loro capacità di assorbire CO₂ (di cui la maggior percentuale di origine antropogenica) determinando una diminuzione del pH (acidificazione degli oceani) e riducendo il tasso di ioni carbonato. Di conseguenza, il tasso di calcificazione diminuisce, con ripercussioni su una moltitudine di organismi marini, coralli inclusi, che hanno bisogno di aragonite o calcite per formare i loro scheletri. Nel Mediterraneo il cambiamento climatico comporta inoltre altre minacce per i coralli per il suo ecosistema in generale: l'alterazione delle numerose specie sensibili ai cambiamenti della temperatura dell'acqua e l'introduzione ed espansione di specie alloctone che possono competere con quelle mediterranee.

La Comunità internazionale riunita nelle Nazioni Unite ha affrontato il problema dei cambiamenti climatici con una Convenzione sottoscritta e ratificata da 189 paesi (UNFCCC), che stabilisce obiettivi e strategie che i Paesi delle nazioni unite si assumono in materia di protezione del clima e di prevenzione dei rischi di cambiamenti climatici generati dalle attività umane. Le azioni a monte, si definiscono strategie di mitigazione, e hanno l'obiettivo di eliminare, o quanto meno di rallentare, i cambiamenti climatici dovuti alle attività antropiche, e in particolare eliminare la principale causa costituita dall'accumulo dei gas serra in atmosfera provenienti dalle attività umane. Sono stati così individuati e suddivisi gli impegni prioritari fra paesi sviluppati ed in via di sviluppo e sono state individuate due fasi di attuazione. Nella prima fase, che termina nel 2012, i soli paesi industrializzati si impegnano su obiettivi quantificati di riduzioni delle emissioni ed attuano tali impegni, previsti dal Protocollo di Kyoto. Nella seconda fase che comincia dopo il 2012, sia i paesi industrializzati, sia quelli in via di sviluppo, si impegneranno congiuntamente su obiettivi quantificati comuni e attueranno di comune accordo i loro impegni. Complementari alle precedenti, le azioni a valle fanno parte della cosiddetta strategia di adattamento e hanno l'obiettivo di predisporre piani, programmi, azioni e misure tali da minimizzare le conseguenze negative dai possibili cambiamenti climatici. Le

scelte che prenderemo oggi determineranno le emissioni di gas serra dei prossimi 30-40 anni.

È questa una opportunità da non perdere per contrastare il riscaldamento globale: accanto alle strategie di mitigazione, certamente prioritarie per rallentare il più possibile i global changes, è quindi necessario dare il via anche a una strategia che porti il mondo ad adattarsi, senza troppi danni, a una situazione futura diversa da quella attuale. Quanto diversa da quella attuale si può ipotizzare solo sulla base degli scenari di cambiamento climatico illustrati precedentemente, che tengono conto delle diverse ipotesi di sviluppo socio-economico e di emissioni di gas serra.

BIBLIOGRAFIA

ANPA - Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi, 2001.

La biodiversità nella regione biogeografia del mediterraneo stato dell' ambiente
4/2001.

APAT, 2002.

Introduzione al progetto della rete di monitoraggio per la biodiversità e gli effetti dei
cambiamenti climatici sull'ambiente naturale.

APAT. - ROMA .: - 55 P. ; 30

BANDECCHI, VIVALDI, 2000.

I licheni sentinelle ambientali : risultati e valutazioni di un'indagine ambientale.

Pisa : ARPAT, 2003 - 63 p. : ill. ; 21 cm.

BERTIN L., DELLAVEDOVA R., GUALMINI M., ROSSI G., TOMASELLI M., 2003.

Monitoring plant diversity in the Northern Apennines, Italy. The GLORIA project

Arch. Geobot. 7 (1): 71-74

BROWN B. , 1997.

Coral bleaching: causes and consequences.

Proc 8th Int Coral Reef Symp 1:65-74

CICCARESE L., FINO A., 2003.

Le relazioni tra cambiamenti del clima ed ecosistemi vegetali / [Lorenzo Ciccarese,
Alessandra Fino]. Roma.

APAT, 2003. - 50 p. : ill. ; 30 cm

DE ANGELIS P., VALENTINI R., SCARASCIA MUGNOZZA G., 2007.

Foreste e cambiamenti climatici : 10 anni di ricerche italiane.

Forests and climate change: 10 years of research in Italy.

Forest@ 4 (4): 450.

**ENEA -ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E L'AMBIENTE-
AMICI DELLA TERRA ITALIA : MINISTERO DELL'AMBIENTE, 1995.**

Cambiamenti climatici.

Edizione italiana a cura di : Ministero dell'Ambiente, Amici della Terra, ENEA. –

[S. l. : s. n.], - 71 p. ; 26 cm. (*Supplemento al n. 2, febbraio 1995 di Energia, ambiente e innovazione, mensile tecnico-scientifico dell'ENEA*)

FELLEGARA I., 2003.

I coralli madreporari del Mediterraneo come bioindicatori dei cambiamenti climatici.

Bollettino della Comunità Scientifica in Australasia, Settembre 2003

FERRARA V., 2000.

Le problematiche climatiche e di impatto in area Mediterranea ed in Italia,

Energia, ambiente e innovazioni, pp. 26 ss.

GARIBOLDI A., ANDREOTTI A., BOGLIANI G., 2004.

La conservazione degli uccelli in Italia : strategie e azioni.

Bologna : Alberto Perdisa, [2004]. - XV, 590

GATTO M., 2007.

Impatti dei cambiamenti climatici globali sulla biodiversità e gli ecosistemi.

Conferenza nazionale cambiamenti climatici

GLYNN PW , 1991 A.

Coral reef bleaching in the 1980s and possible connections with global warming.

Trends Ecol Evol, 6:175-179

HARVEY, L. D. DANNY , 2000.

Global warming : the hard science.

L. D. Danny Harvey. - Harlow : Prentice-Hall,. - XXIV, 336 p. : ill. ; 25 cm.

ICRAM, 2001.

Programma di monitoraggio per il controllo dell'ambiente marino-costiero (triennio 2001-2003): metodologie analitiche di riferimento.

ICRAM ; con la collaborazione di ANPA. - Roma : ill. ; 32 cm. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Servizio Difesa Mare.

**ICRAM, ISTITUTO CENTRALE PER LA RICERCA SCIENTIFICA E
TECNOLOGICA APPLICATA AL MARE DESCRIZIONE, 1999.**

Mare e cambiamenti globali : aspetti scientifici e gestione del territorio : convegno ICRAM, Roma, 25 e 26 febbraio 1999.

A cura di Sergio Silenzi ; comitato tecnico-scientifico Marina Barberini et al. ; contributi di Antonioli F. et al. - Roma : Istituto centrale per la ricerca scientifica e tecnologica applicata al mare, stampa 2000. - 232 p. : ill. ; 24 cm.

IPCC, 2001.

Summary for Policymakers: A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change.

<http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>

KNOWLTON N., ROHWER F., 2003.

Multispecies Microbial Mutualisms on Coral Reefs: The Host as a Habitat.

Am Nat 2003. Vol. 162: S51-S62 The University of Chicago.

KUSHMARO A., ROSENBERG E., FINE M., BEN HAIM Y., LOYA Y., 1998.

Effect of temperature on bleaching of the coral *Oculina patagonica* by *Vibrio* AK-1
Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 171: 131-137.

KUSHMARO A, ROSENBERG E, FLNE M, LOYA Y.,1997

Bleaching of the coral *Oculina patagonica* by *Vibrio* AK-1
Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 147:159-165.

LAVOREL S; CANADELL J; RAMBAL S; TERRADAS J., 1998.

On global change effects.

Global ecology and biogeography letters, fascicolo: 3, Vol: 7 : 157 - 166

LEMOINE N., SCHAEFER H.-C. , BÖHNING-GAESE K., 2007.

Species richness of migratory birds is influenced by global climate change
Global Ecology and Biogeography, 16: 55–64

MASSETTI L., BRANDANI G., CRISCI A., MARACCHI G., 2007.

GILIA: 4 anni di monitoraggio della migrazione primaverile delle rondini (*Hirundo rustica* L.)

Istituto di Biometeorologia, CNR, Firenze, Italia

MENEGONI P., 2003.

Le specie vegetali a rischio di estinzione quali bioindicatori di fenomeni di cambiamento

ENERGIA, AMBIENTE E INNOVAZIONE - 2007 / 3 : 74-83

MORABITO M., PINI L., BRANDANI G., CRISCI A., MASSETTI L., 2004.

La biometeorologia animale: un aiuto per la comprensione del cambiamento climatico.
ARPA Rivista N. 5, Settembre-Ottobre 2004.

OCCHIPINTI-AMBROGI A., 2007.

Global change and marine communities: Alien species and climate change
DET - Dip. di Ecologia del Territorio, Sezione di Ecologia, Univer. degli Studi di Pavia
Marine Pollution Bulletin 55 (2007): 342–352

PAOLETTI E., 2005.

Impatto di inquinamento atmosferico e cambiamento climatico sugli ecosistemi forestali: le attività del Research Group 7.01 della IUFRO
Istituto per la Protezione delle Piante, Consiglio Nazionale delle Ricerche
Climate change and pollution: effects on southern Italian
Forests. Forest@ 2 (1): 17-18. [online] URL: <http://www.sisef.it/>

PAULI H., GOTTFRIED M., HOHENWALLNER D., REITER K., GRABHERR G., 2003.

Manual para el trabajo de campo del proyecto *GLORIA** *Aproximación al estudio de las cimas**

Iniciativa para la Investigación y el Seguimiento Global de los Ambientes Alpinos,
como contribución al Sistema Terrestre de Observación Global (GTOS)
Institute of Ecology and Conservation Biology – University of Vienna
Department of Conservation Biology, Vegetation and Landscape Ecology

PAULI H., GOTTFRIED M., HOHENWALLNER D., HULBER K., REITER K. & GRABHERR G. (eds.), 2001b.

GLORIA – Global Observation Research Initiative in Alpine Environments. The Multi-Summit Approach. Field Manual.
Third Version, Inst. of Ecol. and Conserv. Boil., Univ. of Vienna, Dept. Of Conserv. Biol., Veg. and Landscape Ecol., Vienna, pp. 43.

PIGNATTI S., ELLEMBERG H., PIETROSANTI S., 1996.

L'utilizzo delle comunità vegetali come eco-indicatori del cambiamento climatico, attraverso l'impiego del modello di ElleMBERG.
Traduzione: Ann.bot., 54:5-14.

PIGNATTI S., MENEGONI P., PIETROSANTI S., 2005

Bioindicazione attraverso le piante vascolari. Valori di indicazione secondo ElleMBERG per le piante della flora d'Italia, Braun blanquetia

RETE NATURA 2000, 2007.

Biodiversità e cambiamenti climatici: il ruolo della rete natura 2000.
Numero 22, giugno 2007

ROSSI G., PAROLO G., DELLAVEDOVA R., 2004.

Gli organismi vegetali come bioindicatori dei cambiamenti climatici: il progetto GLORIA.
Dipartimento di Ecologia del Territorio e degli Ambienti Terrestri, Università degli Studi di Pavia

ROSSI G., PAROLO G., DELLAVEDOVA R., 2004.

PROGETTO “GLORIA”:

La vegetazione di alta quota per il monitoraggio degli effetti dei cambiamenti climatici
Dipartimento di Ecologia del Territorio e degli Ambienti Terrestri, Università degli
Studi di Pavia

**RUBOLINI D., AMBROSIANI R., CAFFI M., BRICHETTI P., ARMIRAGLIO S.,
SAINO N., 2007.**

Long-term trends in first arrival and first egg laying dates of some migrant and resident
bird species in northern Italy.

Int J. Biometeorol., DOI 10.1007/s00484-007- 0094-7

THUILLER W. , LAVOREL S. , ARAUJO M. , SYKES M.T. 2005.

Climate change threats to plant diversity in Europe.

Proceedings of the National Academy of Sciences, 2005 - National Acad Sciences
June 7, 2005 vol. 102(23): 8245–8250

WORMWORTH J. , MALLON K. , 2001.

Bird Species and Climate Change: a Climate Risk Report.

The Global Status Report: A synthesis of current scientific understanding of
anthropogenic climate change impacts on global bird species now, and projected future
effects.

<http://www.climaterisk.net>

Principali siti internet di riferimento

- Sito ufficiale del progetto GLORIA: <http://www.gloria.ac.at>
- Sito GTOS della FAO: <http://www.fao.org/gtos/tems>
- Sito del Dipartimento di Ecologia del Territorio dell'Università di Pavia: <http://et.unipv.it/>
- Sito del Laboratorio di Ecologia Vegetale e Conservazione delle Piante dell'Università di Pavia: www.unipv.it/labecove
- Sito ARPA Emilia-Romagna, Servizio Idro-Meteorologico: <http://www.regione.emilia-romagna.it/arpa>
- Sito dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change*-UNEP: <http://www.ipcc.ch>
- Sito della Commissione Internazionale per la protezione delle Alpi (CIPRA): <http://www.cipra.org>
- Sito della Convenzione Quadro dell'ONU sui Cambiamenti Climatici: <http://unfccc.int/index.html>
- Sito del WWF Australia: <http://www.climaterisk.net>
- Sito della Società italiana e selvicoltura forestale: <http://www.sisef.it>
- Sito della LIPU: <http://www.lipu.it> e <http://www.springalive.net>
- Sito dell'Istituto di Biometereologia: <http://www.gilia.ibimet.cnr.it>
- Sito del WWF: <http://www.wwf.it>

ALLEGATI

Scheda numero 1:

Database Bioindicatore 1 : “analisi della biodiversità vegetazionale di alta quota”

Gruppi		Campi	Risposte
Descrizione indicatore	SCHEDA 1: Descrizione indicatore	ID_indicatore	1
		Nome indicatore	analisi della biodiversità vegetazionale di alta quota
		Scopo indicatore	ci si attende che specie e comunità microterme, la cui espressione e distribuzione sono fortemente determinate da fattori climatici estremi, mostrino delle risposte, in media, più rapide rispetto alle specie mesofile, contraddistinte invece da una maggiore ampiezza ecologica.
		Descrizione	analizza la biodiversità di specie microclimatiche d'alta quota al fine di istituire una rete mondiale di ricerca per valutare le potenziali minacce dei cambiamenti climatici sulla biodiversità delle aree d'alta montagna.
		Indicatori collegati	temperatura
		Limiti / criticità	tempi spesso lunghi per avere risposte chiare e scientificamente generalizzabili.
		Gruppo tassonomico	-
		Livello di identificazione	Specie
		Livello trofico dell'indicatore	Produttore
		Livello di organizzazione dell'indicatore	Specie, comunità
Comparto ambientale di applicazione		DPSIR	impatto
		Area tematica di applicazione	biosfera
		Comparto ambientale	biodiversità: tendenza e cambiamenti
		Matrice	biota
Scala di utilizzo		Scala di applicazione	Regionale
		Normato	No
Metodi	SCHEDA 2: Informazione su Metodo	<i>Nome indicatore</i>	
		Misurabilità	qualitativo quantitativo
		Potere discriminatorio	
		Grado di elaborazione del dato	dato elaborato indicatore
		Rappresentatività	Alta
		Sensibilità	Media
		Accuratezza	Media

Metodo di misura	<p>Riproducibilità</p> <p>Comparabilità del dato nello tempo Comparabilità del dato nello spazio Early sign</p> <p>Esiste un metodo standard? Doc. rif.</p> <p>Unità di misura Disegno di campionamento Metodo di misura</p> <p>Metodo di elaborazione</p> <p>Strumentazione necessaria</p>	<p>Alta</p> <p>Comparabilità temporale > 5 anni</p> <p>40% ≤ Comparabilità spaziale ≤ 70%</p> <p>No</p> <p>Si</p> <p>“Approccio a più vette” (Multi-Summit Approach, Pauli et al. 2001b Inst. of Ecol. and Conserv. Boil., Univ. of Vienna, Dept. of Conserv. Biol., Veg. and Landscape Ecol., Vienna, pp. 43.)</p> <p>numero di specie</p> <p>In corrispondenza di ogni vetta viene rilevata la flora e la vegetazione della parte sommitale compresa tra il punto più alto e una linea posta a -10 m sul livello del mare. La temperatura viene registrata ogni ora utilizzando data loggers posti a -10 cm di profondità nel suolo. In totale vengono studiati 16 quadrati di 1m x 1m di estensione per ogni vetta, disposti lungo le principali direzioni geografiche; in ognuno di essi si rilevano, in dettaglio, le specie vegetali presenti e la loro frequenza, con misure di composizione specifica, copertura, abbondanza e frequenza mediante l'utilizzo di un reticolo di 100 celle di 0,1 m x 0,1 m. In ogni vetta l'area sommitale, dalla cima fino a -10 m verticali di altitudine, viene divisa in 2 superfici corrispondenti a fasce da -10 m a -5 e da -5 alla cima. Queste due superfici vengono poi divise in otto zone con linee che partono dalla sommità e decorrono lungo le quattro direzioni geografiche di secondo ordine (NE, SE, SW, NW). Le metodiche di campionamento sono standardizzate, condivise e validate ed esiste un unico database centrale che raccoglie i dati per le elaborazioni, in contatto costante con i partner rilevatori.</p> <p>1. quadrati permanenti di 1m per 1m 2. mini data logger, piccoli termometri elettronici che registrano ora per ora la temperatura per oltre 3 anni, piantati a pochi centimetri di profondità. L'utilizzo di tali sensori permette di correlare le variazioni dei popolamenti vegetali al variare del fattore termico, oltre a rendere possibile il confronto tra rilievi a diversa quota e tra diverse regioni montuose interessate da variazioni climatiche di lungo termine.</p>

Dati pregressi	SCHEDA 2: informazione su Dati	Presente in annuario	No
		Dati pregressi	Si
		Intercalibrazione	No
		Esistenza di reti	Si (locale)
		Aree coperte dal dato (Copertura spaziale)	Regionale
		Anno di inizio raccolta dati	2001
		Serie storica	No
		Frequenza di campionamento	3,5 e 10 anni
		Sorgenti dati	Università degli studi di Pavia, Università di Vienna
		Formato dati	Database centralizzato TEMS (Terrestrial Ecosystem Monitoring Sites) sul sito GTOS (Global Terrestrial Observation) della FAO 2Sites sul sito GTOS (Global Terrestrial Observation) della FAO
		Contatti	grossi@et.unipv.it
		Software di gestione	Si CGDB (central gloria database)
Web link	www.G.L.O.R.I.A..ac.at;http://www.fao.org/gtos/tems;http://et.unipv.it/		
		Nome indicatore	
Considerazioni pratiche e programmatiche	SCHEDA 3: Considerazioni pratiche e programmatiche	Difficoltà di campionamento	Bassa
		Difficoltà di identificazione tassonomica	Media
		Difficoltà di elaborazione dati	Media
		Grado di difficoltà complessivo	Media
		Costi di applicazione	Medio-bassi
		Comprensibilità per il grande pubblico	Media
		Campo di applicazione	Biodiversità e cambiamenti climatici
Considerazioni finali	SCHEDA 3: Considerazioni pratiche e programmatiche	Modalità di rappresentazione	grafico
			cartine
		Bibliografia	Vedi allegato a testo: File bio 1
		Commenti	
		Nome indicatore	
Riferimenti normativi	SCHEDA 4: Normativa di riferimento	Riferimento normativo	
		Anno	
		Tipo	
		Denominazione	
		Specifiche	
		Ratificato in Italia	
		Link al documento	

		<i>Nome indicatore</i>	
Progetti in corso	SCHEDA 5: Progetti in corso	Titolo progetto	GLORIA (“Iniziativa di ricerca a livello globale in ambiente alpino”)
		Fondi	
		Esecutore	Dipartimento di Ecologia del Territorio e degli Ambienti Terrestri, Università degli Studi di Pavia,
		Partner	Istituto di Ecologia e Biologia della Conservazione dell'Università di Vienna, ARPA Valle d'aosta
		Contatti	
		Stato di avanzamento	In corso di realizzazione
		Web link	www.gloria.ac.at
		<i>Nome indicatore</i>	
Contatti esperti/enti	SCHEDA 6: Contatti esperti	Nome	Graziano
		Cognome	Rossi
		Istituto/ente di appartenenza	Dipartimento di Ecologia del Territorio e degli Ambienti Terrestri, Università degli Studi di Pavia,
		E-mail	grossi@et.unipv.it
		Telefono fisso	Tel. 0382-504854.
		Telefono cellulare	
		Tema di specializzazione	

Scheda numero 2:

Database Bioindicatori 2 : “migrazione primaverile della rondine *Hirundo rustica L.*”

Gruppi		Campi	Risposte
Descrizione indicatore	SCHEDA 1: Descrizione indicatore	ID_indicatore	2
		Nome indicatore	Migrazione della rondine <i>Hirundo rustica L.</i>
		Acronimo	
		Scopo indicatore	Costruire delle serie storiche fenologiche per il biomonitoraggio della specie in relazione ai cambiamenti climatici globali. (Lo studio ha il duplice obiettivo di raccogliere dati di osservazione di questi eventi su tutto il territorio italiano e di porre le basi per la creazione di una rete di osservatori che sia in grado di registrare i segnali ambientali che caratterizzano tutte le stagioni dell'anno.)
		Descrizione	Valuta le variazioni dei ritmi migratori della specie. E' considerata un buon indicatore dal momento che nei suoi spostamenti migratori, che spaziano dall'Africa all'Europa Centro-settentrionale, integrano l'influenza di condizioni climatiche a scala sinottica.
		Indicatori collegati	Temperatura stagionale
		Limiti / criticità	L'analisi dei dati raccolti ha messo in evidenza le difficoltà connesse alla complessità del monitoraggio della migrazione e alla caratteristica volontaria della partecipazione.
		Gruppo tassonomico	Uccelli
		Livello di identificazione	Specie
		Livello trofico dell'indicatore	consumatore primario
		Livello di organizzazione dell'indicatore	popolazione
			comunità
		DPSIR	Impatto
			Stato
Area tematica di applicazione	biosfera		
Comparto ambientale di applicazione	effetti cambiamenti climatici		
Scala di utilizzo	Matrice	biota	
	Scala di applicazione	Provinciale	
	Normato	No	

<i>Nome indicatore</i>		
Metodi	Misurabilità	quantitativo
	Potere discriminatorio	
	Grado di elaborazione del dato	dato grezzo
	Rappresentatività	Alta
	Sensibilità	Media
	Accuratezza	Media
	Riproducibilità	Media
	Comparabilità del dato nel tempo	Comparabilità temporale > 5 anni
	Comparabilità del dato nello spazio	40% ≤ Comparabilità spaziale ≤ 70%
	Early sign	No
	Esiste un metodo standard?	No
	Doc. rif.	
	Unità di misura	Giorni
	Disegno di campionamento	In base all'areale di distribuzione della specie(quasi tutta Italia tranne le zone di alta montagna e alcune aree del profondo sud) vanno scelti alcuni "nuclei" attorno ai quali si possa concentrare una vasta rete di contatti per il rilevamento del dato. Nel caso sperimentale sono state fatte confluire nel sistema sia informazioni puntuali sotto forma di news ed altro, sia segnalazioni con le quali sono state costruite delle serie storiche fenologiche.
Metodo di misura	Metodo di misura	Segnalazione del primo avvistamento della stagione
	Metodo di elaborazione	Per ogni provincia è indicata l'area geografica di appartenenza, la decade media di arrivo calcolata sulle segnalazioni ricevute.
	Strumentazione necessaria	Binocolo
	Presente in annuario	No
Dati pregressi	Dati pregressi	Si
	Intercalibrazione	No
	Esistenza di reti	Si, non ufficiali
	Aree coperte dal dato (Copertura spaziale)	vedi testo (fig. 3 e 4 e tabella num 1)
	Anno di inizio raccolta dati	2004
	Serie storica	2004-2007
	Frequenza di campionamento	
	Sorgenti dati	Istituto di Biometeorologia, CNR, Firenze, Italia
	Formato dati	(Global information System, GIS)

		Contatti	
		Software di gestione	Database MY SQL
		Web link	http://www.gilia.ibimet.cnr.it/
		<i>Nome indicatore</i>	
Considerazioni pratiche e programmatiche	SCHEDA 3: Considerazioni pratiche e programmatiche	Difficoltà di campionamento	Media
		Difficoltà di identificazione tassonomica	Bassa
		Difficoltà di elaborazione dati	Media
		Grado di difficoltà complessivo	
		Costi di applicazione	Bassi
		Comprensibilità per il grande pubblico	Alta
		Campo di applicazione	Cambiamenti climatici, Reti ecologiche
Considerazioni finali	SCHEDA 3: Considerazioni pratiche e programmatiche	Modalità di rappresentazione (esempio)	cartine tabelle
		Miglioramenti possibili	costruire serie storiche consistenti, attendibili e sufficientemente lunghe per fare delle analisi climatiche attraverso la realizzazione di reti di osservazione integrate
		Bibliografia	Vedi allegato a testo: File bio 2
		Commenti	
		<i>Nome indicatore</i>	
Riferimenti normativi	SCHEDA 4: Normativa di riferimento	Riferimento normativo	
		Anno	
		Tipo	
		Denominazione	
		Specifiche	
		Ratificato in Italia	
		Link al documento	
		<i>Nome indicatore</i>	
Progetti in corso	SCHEDA 5: Progetti in corso	Titolo progetto	Progetto GILIA: segnali di primavera
		Fondi	
		Esecutore	Istituto di Biometeorologia, CNR, Firenze, Italia; Responsabile: Ing. L. Massetti; Centro Interdipartimentale di bioclimatologia, Università di Firenze
		Partner	European BirdWatching Network Italia (EBN Italia) più rete di partners
		Contatti	gilia@ibimet.cnr.it
		Stato di avanzamento	Concluso (rinnovabile di anno in anno)
		Web link	http://www.gilia.ibimet.cnr.it/

		<i>Nome indicatore</i>	
Contatti esperti/enti	SCHEDA 6: Contatti esperti	Nome	Luigi
		Cognome	Massetti
		Istituto/ente di apprtendenza	Istituto di Biometerologia, CNR, Firenze, Italia
		E-mail	l.massetti@ibimet.cnr.it
		Telefono fisso	Tel.: +39.055.3033744
		Telefono cellulare	
		Tema di specializzazione	

Scheda numero 3:
DataBase Bioindicatori 3: “sbiancamento del corallo *Oculina patagonica*”

Gruppi	Campi	Risposte	
<p style="text-align: center;">Descrizione indicatore</p> <p style="text-align: center;">SCHEDA 1: Descrizione indicatore</p>	ID_indicatore	3	
	Nome indicatore	Sbiancamento del corallo <i>Oculina patagonica</i>	
	Acronimo		
	Scopo indicatore	Analizzare gli effetti della temperatura sullo sbiancamento del corallo indotto dal batterio (Vibrione AK-1) in seguito ad aumento della temperatura marina	
	Descrizione	Lo sbiancamento è il risultato della violenta scissione del corallo col suo simbiote, che porta alla perdita di pigmentazione. Lo sbiancamento può portare alla morte dei coralli, perché la maggior percentuale del nutrimento dei coralli proviene dai prodotti fotosintetici delle alghe. Si è dimostrato che il batterio Vibrione AK-1 isolato in cultura pura, causa sbiancamento del corallo <i>O. patagonica</i> in esperimenti controllati in acquario: è ipotizzabile che il patogeno, in condizioni di elevata temperatura, diventi più virulento.	
	Indicatori collegati	Simbiodinium spp. (dinoflagellato simbiote)	
	Limiti / criticità	Il meccanismo biologico dello sbiancamento è ancora in parte sconosciuto; inoltre anche altri fattori, come l'aumento dell'irradiazione solare, combinato o meno con l'aumento di temperatura, possono portare allo sbiancamento e all'infezione batterica.	
	Gruppo tassonomico	Madreporari	
	Livello di identificazione	Specie	
	Livello trofico dell'indicatore	consumatore primario	
	Livello di organizzazione dell'indicatore	colonia	
	DPSIR	Stato	
		Impatto	
	Area tematica di applicazione	idrosfera	
	Comparto ambientale di applicazione	acque marine costiere	
	Scala di utilizzo	Matrice	biota
		Scala di applicazione	Nazionale
			Mediterraneo
	Normato	No	

		Nome indicatore	
Metodi	SCHEDA 2: Informazione su Metodo	Misurabilità	qualitativo quantitativo
		Potere discriminatorio	
		Grado di elaborazione del dato	dato elaborato
		Rappresentatività	Media
		Sensibilità	Media
		Accuratezza	Media
		Riproducibilità	Media
		Comparabilità del dato nel tempo	2 anni ≤ Comparabilità temporale ≤ 5 anni
		Comparabilità del dato nello spazio	40% ≤ Comparabilità spaziale ≤ 70%
		Early sign	No
Metodo di misura	SCHEDA 2: Informazione su Metodo	Esiste un metodo standard?	No
		Doc. rif.	Kushmarol, E. Rosenberg ² , M. Fine ¹ , Y. Ben Haim ² , Y. Loyal, 1998 -“Effect of temperature on bleaching of the coral <i>Oculina patagonica</i> by <i>Vibrio AK- 1</i> ”Vol. 171: 131-137.1998 MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES Mar Ecol Prog Ser
		Unità di misura	Un corallo si definisce “sbiancato”quando almeno il 10% della superficie totale appare bianca
		Disegno di campionamento	
		Metodo di misura	in mare:applicando dei transetti di 10 metri posti tra 1 e 6 metri di profondità: la temperatura dell’ acqua è stata fornita dal Centro Meteorologico Israeliano. In laboratorio:le colonie di <i>O. patagonica</i> sono state prelevate intatte tra 1 e 3 metri di profondità, frammentati e tenuti in acquario con cicli di luce/buio di 12 ore e una temperatura controllata di 25 °C.
		Metodo di elaborazione	
		Strumentazione necessaria	transetti per il conteggio in mare,acquari mantenuti a diverse temperature, termometri
Dati pregressi	SCHEDA 2: informazione su Dati	Presente in annuario	No
		Dati pregressi	No
		Intercalibrazione	No
		Esistenza di reti	No
		Aree coperte dal dato (Copertura spaziale)	Regionale
		Anno di inizio raccolta dati	1998
		Serie storica	1998
		Frequenza di campionamento	
		Sorgenti dati	Univ. Tel Aviv,dipartimento di zoologia e dipartimento di microbiologia molecolare e biotecnologia
		Formato dati	
		Contatti	
		Software di gestione	
		Web link	

		<i>Nome indicatore</i>	
Considerazioni pratiche e programmatiche	SCHEDA 3: Considerazioni pratiche e programmatiche	Difficoltà di campionamento	Media
		Difficoltà di identificazione tassonomica	Media
		Difficoltà di elaborazione dati	Media
		Grado di difficoltà complessivo	
		Costi di applicazione	
		Comprensibilità per il grande pubblico	Bassa
		Campo di applicazione	
Considerazioni finali	SCHEDA 3: Considerazioni pratiche e programmatiche	Modalità di rappresentazione (esempio)	grafico tabelle
		Miglioramenti possibili	
		Bibliografia	Vedi allegato a testo: File bio 3
		Commenti	
		<i>Nome indicatore</i>	
Riferimenti normativi	SCHEDA 4: Normativa di riferimento	Riferimento normativo	
		Anno	
		Tipo	
		Denominazione	
		Specifiche	
		Ratificato in Italia	
		Link al documento	
Progetti in corso	SCHEDA 5: Progetti in corso	Titolo progetto	
		Fondi	
		Esecutore	Università Tel Aviv, Israele
		Partner	
		Contatti	
		Stato di avanzamento	Concluso
		Web link	
		<i>Nome indicatore</i>	
Contatti esperti/enti	SCHEDA 6: Contatti esperti	Nome	A. Kushmaro, E. Rosenberg,
		Cognome	
		Istituto/ente di appartenenza	
		E-mail	yosiloya@post.tau.ac.il
		Telefono fisso	
		Telefono cellulare	
		Tema di specializzazione	

FILE BIO 1:

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

BERTIN L., DELLAVEDOVA R., GUALMINI M., ROSSI G., TOMASELLI M., 2003.

Monitoring plant diversity in the Northern Apennines, Italy. The GLORIA project
Arch. Geobot. 7 (1): 71-74

DE ANGELIS P., VALENTINI R., SCARASCIA MUGNOZZA G., 2007.

Foreste e cambiamenti climatici : 10 anni di ricerche italiane.
Forests and climate change: 10 years of research in Italy.
Forest@ 4 (4): 450.

IPCC, 2001.

Summary for Policymakers: A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change
<http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>

PAULI H., GOTTFRIED M., HOHENWALLNER D., HULBER K., REITER K. & GRABHERR G. (eds.), 2001b.

GLORIA – Global Observation Research Initiative in Alpine Environments. The Multi-Summit Approach. Field Manual
Third Version, Inst. of Ecol. and Conserv. Boil., Univ. of Vienna, Dept. Of Conserv. Biol., Veg. and Landscape Ecol., Vienna, pp. 43.

RETE NATURA 2000, 2007.

Biodiversità e cambiamenti climatici: il ruolo della rete natura 2000.
Numero 22, giugno 2007

ROSSI G., PAROLO G., DELLAVEDOVA R., 2004.

Gli organismi vegetali come bioindicatori dei cambiamenti climatici: il progetto
GLORIA

Dipartimento di Ecologia del Territorio e degli Ambienti Terrestri, Università degli
Studi di Pavia

THULLER W. , LAVOREL S. , ARAUJO M. , SYKES M.T. 2005.

Climate change threats to plant diversity in Europe.

Proceedings of the National Academy of Sciences, 2005 - National Acad Sciences

June 7, 2005 vol. 102(23): 8245–8250

FILE BIO 2:

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

GARIBOLDI A., ANDREOTTI A., BOGLIANI G., 2004.

La conservazione degli uccelli in Italia : strategie e azioni.
Bologna : Alberto Perdisa, [2004]. - XV, 590

LEMOINE N., SCHAEFER H.-C. , BÖHNING-GAESE K., 2007.

Species richness of migratory birds is influenced by global climate change
Global Ecology and Biogeography, 16: 55–64

MASSETTI L., BRANDANI G., CRISCI A., MARACCHI G., 2007.

GILIA: 4 anni di monitoraggio della migrazione primaverile delle rondini (*Hirundo rustica L.*)
Istituto di Biometeorologia, CNR, Firenze, Italia

MORABITO M., PINI L., BRANDANI G., CRISCI A., MASSETTI L., 2004.

La biometeorologia animale: un aiuto per la comprensione del cambiamento climatico.
ARPA Rivista N. 5, Settembre-Ottobre 2004.

RUBOLINI D., AMBROSIANI R., CAFFI M., BRICHETTI P., ARMIRAGLIO S., SAINO N., 2007.

Long-term trends in first arrival and first egg laying dates of some migrant and resident bird species in northern Italy.
Int J. Biometeorol., DOI 10.1007/s00484-007- 0094-7

WORMWORTH J. , MALLON K. , 2001.

Bird Species and Climate Change: a Climate Risk Report
The Global Status Report: A synthesis of current scientific understanding of anthropogenic climate change impacts on global bird species now, and projected future effects.
[http:// www.climaterisk.net](http://www.climaterisk.net)

FILE BIO 3:

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

ANPA - Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi, 2001.

La biodiversità nella regione biogeografia del mediterraneo stato dell' ambiente
4/2001.

FELLEGGARA I., 2003.

I coralli madreporari del Mediterraneo come bioindicatori dei cambiamenti climatici.
Bollettino della Comunità Scientifica in Australasia, Settembre 2003

KNOWLTON N., ROHWER F., 2003.

Multispecies Microbial Mutualisms on Coral Reefs: The Host as a Habitat.
Am Nat 2003. Vol. 162: S51-S62 The University of Chicago.

KUSHMARO A., ROSENBERG E., FINE M., BEN HAIM Y., LOYAL Y., 1998.

Effect of temperature on bleaching of the coral *Oculina patagonica* by *Vibrio* AK- 1
Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 171: 131-137.

OCCHIPINTI-AMBROGI A., 2007.

Global change and marine communities: Alien species and climate change
DET - Dip. di Ecologia del Territorio, Sezione di Ecologia, Università degli Studi di
Pavia.
Marine Pollution Bulletin 55 (2007): 342-352