

## B.10 Software per la valutazione e quantificazione dei servizi ecosistemici



### Parte 3

### Modelli dinamici qualitativi



Il progetto “Making Public Goods Provision the Core Business of Natura 2000” (n. di progetto LIFE+11 ENV/IT/000168, CUP B81H12000580004) è cofinanziato dal fondo europeo LIFE+. Gode inoltre dei fondi messi a disposizione dal Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare e dal Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali.

Il progetto è coordinato da:  
Consorzio Universitario per la Ricerca Socioeconomica e per l'Ambiente (CURSA)  
Via Palermo, 37, I-00184 Roma  
[www.lifemgn-serviziecosistemici.eu](http://www.lifemgn-serviziecosistemici.eu)

Report dell'azione B.10:

## Software per la valutazione e quantificazione dei servizi ecosistemici

### Parte 3: Modelli dinamici qualitativi

#### Report elaborato da:

Uta Schirpke, Rocco Scolozzi

Accademia Europea di Bolzano (EURAC), Istituto per l'Ambiente Alpino

Viale Druso 1, I-39100 Bolzano

[www.eurac.edu](http://www.eurac.edu)

© Bolzano, agosto 2015

**Citazione:** Schirpke, U., Scolozzi, R. (2015) Software per la valutazione e quantificazione dei servizi ecosistemici. Parte 3: Modelli dinamici qualitativi. Report del progetto Making Good Natura (LIFE+11 ENV/IT/000168), EURAC research, Bolzano, p. 35.

Partner del progetto:



## Indice

1	Modelli dinamici qualitativi per la gestione di siti Natura 2000 .....	4
2	Modelli system dynamics: brevi istruzioni per l'uso .....	6
3	Esempio di modellazione dinamica qualitativa per il sito Val Grigna (ZPS IT2070303) .....	7
4	Interagire con il modello dinamico nell'ambiente Insight Maker (online).....	9
5	Interagire con il modello dinamico in Vensim .....	10
6	Risorse rinnovabili senza prelievo quantitativo: piante medicinali (F6), risorse genetiche (F7) .....	12
7	Risorse rinnovabili "naturalmente": risorse faunistiche (F3), materie prime (F4), funghi (F5) .....	16
8	Risorse rinnovabili "coltivate": coltivazioni (F1), foraggio, pascoli (F2) .....	20
9	C2 - Valore ricreativo .....	25
9.1	Modello C2-1 .....	27
9.2	Modello C2-2 .....	30
9.3	Modello C2-3 .....	34
10	Bibliografia .....	36

## Indice delle tabelle

Tabella 1. Tre modelli per il servizio ricreativo, con complessità crescente secondo diversi tipi di sistema socio-ecologico.....	27
---	----

## Indice delle figure

Figura 1: Esempi di diagrammi causali: per il modello di adozione di un nuovo prodotto, per il modello di crescita o declino di una società di assicurazione sulla vita (da wikipedia.org).....	6
Figura 2: Esempio di modello stock-flussi e la metafora della vasca da bagno che ne spiega gli elementi (flussi: rubinetto e scarico, stock: livello d'acqua).....	6
Figura 3 Pagina iniziale di Insight Make (sinistra) e modelli pubblicati presentati in seguito (destra).....	9
Figura 4 Modello e presentazione/narrazione (vedi barra in basso e pulsante Step Forward).....	9
Figura 5 Finestra di interfaccia del programma Vensim PLE (6.3D).....	10
Figura 6: Con <b>Open Model</b> si caricano il file disponibili dal sito di progetto, (es. <i>C2-1.mdl</i> ); con <b>SynhteSim</b> si visualizzano i cursori per modificare i valori delle variabili.....	10
Figura 7: Cliccando sulla barra del cursore si possono definire i range di variabilità e il valore attuale della variabile.....	11
Figura 8. Con <b>Reset all</b> si ripristinano i valori iniziali del modello, con <b>Stop Setup</b> si esce dalla modalità interattiva, con <b>Run</b> si operano le simulazioni.....	11
Figura 9: Processo di speciazione: il feedback negativo tende a stabilizzare il numero di specie in un territorio.....	12

Figura 10: Modello F6-7.1: Numero di specie (o varietà locali) di interesse, in funzione del tasso di speciazione (0.01 linea rossa, 0.02 linea blu).....	13
Figura 11: Processo di speciazione: variando il tasso di speciazione (blu: 0.01; rosso: 0.02) e la capacità biologica (rosso: 10; verde: 5). .....	14
Figura 12: Modello F6-7: processo di speciazione in funzione dell'isolamento, delle ricchezza di habitat, della dimensione media degli habitat (con isolamento 5: linea blu, 1 linea rossa, 0.5 linea verde). .....	15
Figura 13: Diagramma causale semplificato della riproduzione di risorsa naturali quali pesci, specie cacciabili, funghi.....	16
Figura 14: Modello F3-4-5.1 di risorsa rinnovabile in cui il prelievo è funzione della quantità di risorsa. ....	17
Figura 15: Modello F3-4-5: la biodiversità influenza il tasso di crescita (tramite l'interazione con specie utili) e la capacità portante.....	18
Figura 16: Modello 5, fornitura servizi F3-F4-F5, con diverse superfici di habitat idoneo: 1 kmq (blu), 2kmq (rosso).....	19
Figura 17: Diagramma causale semplificato della riproduzione di risorse naturali agricole. ....	20
Figura 18: Modello F1-2 (prima parte): variabili influenti la rigenerazione della risorsa "agricola".....	20
Figura 19: Modello F1-2 (seconda parte). .....	22
Figura 20: Andamento del prelievo annuale e del profitto accumulato con superficie x1 (blu) e x2 (rosso).....	23
Figura 21: Andamento del prelievo annuale e del profitto accumulato al variare del tasso di re-investimento: 20% (blu), 40% (rosso).....	24
Figura 22: Andamento del prelievo annuale e del profitto accumulato al variare dei prezzi: x1 (blu), x2 (rosso). .....	24
Figura 23: Modello elementare del servizio valore ricreativo: un ciclo di feedback negativo che stabilizza al ribasso il livello di Qualità ambientale e numero di Visitatori. ....	25
Figura 24: Diagramma causale con un loop negativo (sinistra, modello C2-1), con due loop opposti (destra, modello C2-2). .....	26
Figura 25: Modello C2-3 (sinistra) e modello C2-4 (destra) con feedback potenzialmente indipendenti dalla qualità ambientale.....	26
Figura 26: Dinamica delle principali variabili, in un sistema all'equilibrio (modello C2-1). .....	29
Figura 27: Dinamica di Qualità ambientale e Visitatori in scenari con diverso tasso di rigenerazione (100% Biodiversità) o degradazione (0.2).....	29
Figura 28: Dinamica di Qualità ambientale e Visitatori in scenari con diversi livelli di marketing (x2 e x5). .....	30
Figura 29: Dinamica della qualità ambientale nel modello C2-2 rispetto al precedente C2-1.....	32
Figura 30: Dinamiche della qualità ambientale e del numero di visitatori nel Modello C2-2, al variare del marketing e del tasso di reinvestimento. ....	32
Figura 31: Possibili conseguenze su qualità ambientale e volume d'affari delle opzioni: raddoppio tasso di re-investimento dei ricavi, raddoppio spese per visitatore, raddoppio del marketing, rispetto al modello C2-2 di base. ....	33
Figura 32: Modello C2-3, le variabili <i>strutture</i> e <i>visitatori</i> sono connesse da un feedback positivo e non influenzati dalla <i>qualità ambientale</i> . .....	34
Figura 33: Dinamica del servizio ricreativo con variabile <i>visitatori</i> non collegata alla <i>qualità ambientale</i> . .....	35

## 1 Modelli dinamici qualitativi per la gestione di siti Natura 2000

I flussi di servizi ecosistemici erogati dai siti Natura 2000 dipendono in modo complesso da numerose variabili riguardanti processi ecologici (chimici, fisici, biologici) e processi socio-economici; questi interagiscono a diversi livelli della scala temporale e della scala spaziale. Comprendere tutta la complessità di queste relazioni è impraticabile, soprattutto sulla base dei dati solitamente disponibili per ciascun sito. Tuttavia l'approccio alla dinamica dei sistemi (system dynamics, SD) permette di distinguere le variabili rilevanti, le loro relazioni causa-effetto, e visualizzarne le dinamiche ricorrenti.

La premessa della dinamica dei sistemi è che il comportamento del sistema emerge dalla sua struttura (legami causa-effetto + circuiti di feedback) piuttosto che dai valori delle singole variabili. Infatti, l'obiettivo di tale approccio è comprendere il comportamento di sistemi complessi nel tempo, considerando feedback e ritardi interni che influiscono sul comportamento dell'intero sistema. L'approccio è essenzialmente qualitativo, anche se può includere simulazioni costruite su equazioni differenziali, nel senso che i risultati anche delle simulazioni numeriche sono da interpretare in modo qualitativo. La domanda tipica cui si arriva a rispondere tramite un modello SD è: se A aumenta (es. per cause naturali, per interventi di gestione) cosa succede a B o C nel tempo? Oppure quale strategia di gestione è migliore tra A e B?

Di seguito si propongono modelli semplificati dei sistemi alla base di ciascun servizio ecosistemico selezionato. Lo scopo di questi modelli è molteplice:

- Rappresentare le principali variabili coinvolte nella gestione del sito e nel processo di riproduzione del servizio ecosistemico
- Comprendere e visualizzare i possibili feedback tra ipotizzabili interventi di gestione e variabili del sistema,
- Mettere in discussione eventuali assunzioni non esplicite ma deleterie per gli obiettivi di sviluppo durevole e protezione della biodiversità negli stessi siti Natura2000
- Supportare un processo collaborativo, basato sulla discussione tra stakeholder, che faciliti la convergenza tra idee, conoscenze, interessi e posizioni diverse
- Facilitare la definizione di problemi e strategie gestionali a partire da nuove prospettive, possibilmente intersettoriali (es. turismo, ecologia del paesaggio, conservazione della biodiversità)
- Fornire ai gestori una base conoscitiva per sviluppare, in seguito, modelli specifici per il proprio sito e simulare di scenari di gestione

In altre parole, l'intento generale è supportare la gestione dei siti attraverso una migliore comprensione delle dinamiche complesse in gioco e delle possibili conseguenze di azioni sul sistema. I modelli proposti hanno dei limiti importanti da tenere presente:

- sono ipotetici e generici, validi sulla base delle assunzioni teoriche, derivate da nozioni generali di ecologia ed economia ambientale e non da dati locali;
- sono incompleti, non includono tutte le variabili coinvolte, ma principalmente quelle connesse a possibili azioni di gestione (es. "superficie produttiva" piuttosto che "temperatura media");
- le variabili hanno valori fittizi, con un significato essenzialmente qualitativo (spesso 0 sta per quantità o valore minimo, 1 o 10 sta per quantità o valore massimo).

Per un utilizzo più specifico, come la definizione di azioni locali e la simulazione quantitativa delle possibili ricadute, questi modelli non sono sufficienti, o addirittura potrebbero essere fuorvianti, poiché avrebbero bisogno di una validazione e verifica con dati reali, probabilmente anche una riformulazione con nuove variabili.

L'utilizzo più adatto di questi modelli, così come presentati, oltre che per la migliore comprensione del sistema, è per la comunicazione e una discussione più efficace tra gli stakeholder. In un ipotetico tavolo di lavoro con i vari stakeholder, s'immagina che tali modelli possano essere un utile strumento per comunicare e considerare la complessità del sistema (es. i feedback) in una prospettiva temporale (dinamica) di medio e lungo periodo.

## 2 Modelli system dynamics: brevi istruzioni per l'uso

I modelli di SD nascono come strumenti gestionali tramite i quali si cerca di comparare strategie (la strategia A è migliore della strategia B?) o scenari, non sono strumenti previsionali, non permettono per prevedere esattamente il valore di una variabile in un dato tempo. Lo scopo della modellazione SD è comprendere meglio il problema/sistema e le sue dinamiche ricorrenti, individuare i punti di leva su cui agire per cambiare le dinamiche (Forrester, 1994; Senge, 1990).

Due sono i principali strumenti: i diagrammi causali (o causal loop diagram, CLD), tramite i quali si esplicitano le relazioni causali tra variabili e i diagrammi stock-flussi (o stock-flow diagram, SFD) che permettono di simulare la dinamica di variabili stock (riserve, scorte, o una qualsiasi quantità che si accumula), quindi il comportamento del sistema in base a scenari di intervento. Questi due tipi di diagrammi hanno una simbologia standard e una specifica terminologia. Per ulteriori dettagli si rimanda ai copiosi documenti e materiali on line (tra i più completi e didattici: Pruyt, 2013). L'applicazione della modellazione SD nel campo della valutazione dei SE si sta notevolmente sviluppando e diffondendo nell'ultimo decennio (Batker et al., 2010; R. Costanza, Leemans, Boumans, & Gaddis, 2007; Robert Costanza & Voinov, 2001).

Figura 1: Esempi di diagrammi causali: per il modello di adozione di un nuovo prodotto, per il modello di crescita o declino di una società di assicurazione sulla vita (da wikipedia.org).

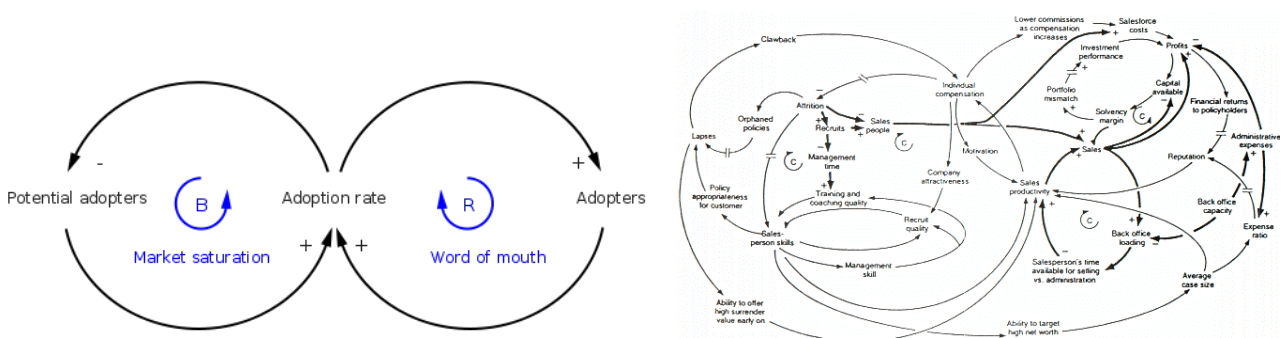
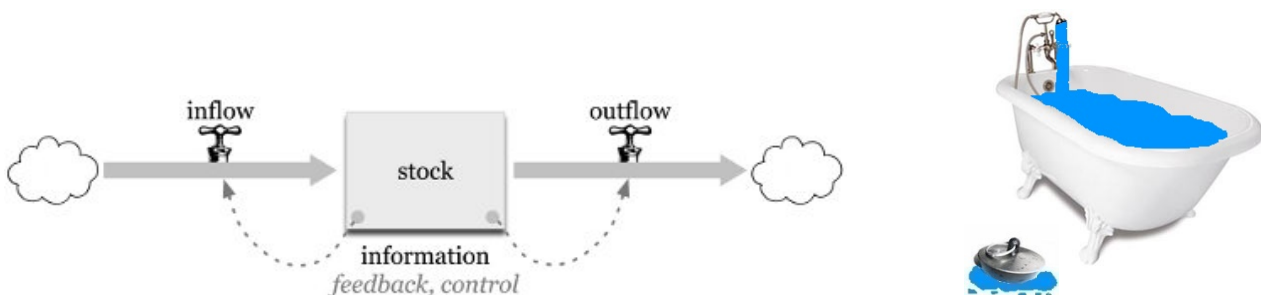


Figura 2: Esempio di modello stock-flussi e la metafora della vasca da bagno che ne spiega gli elementi (flussi: rubinetto e scarico, stock: livello d'acqua).



Di seguito si presentano modelli stock-flow relativi ad una selezione di servizi ecosistemici, secondo un ordine di complessità crescente, anziché secondo l'ordine della tabella CICES. Per i modelli più articolati si presenta inizialmente una versione super semplificata, introducendo gli elementi in passi successivi. La semplificazione dei processi e l'approssimazione delle variabili con valori fittizi è giustificabile considerando l'applicazione puramente conoscitiva dei processi ecologici generali.

### 3 Esempio di modellazione dinamica qualitativa per il sito Val Grigna (ZPS IT2070303)

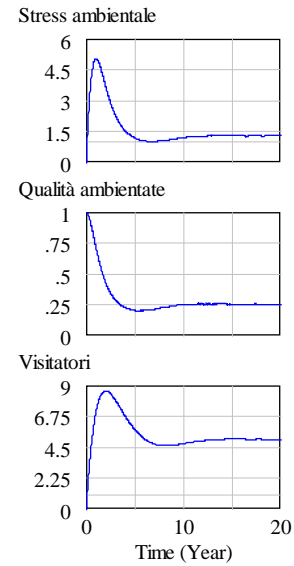
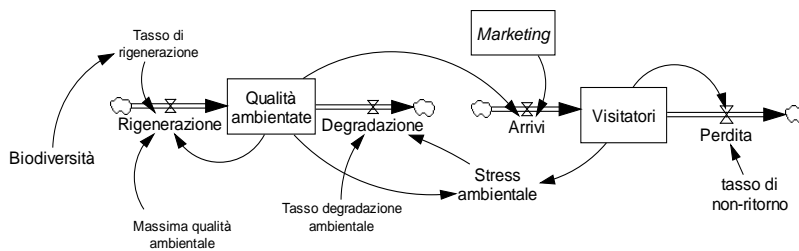
Si anticipa qui un esempio di modello dinamico che mostra le relazioni tra le principali variabili del servizio ecosistemico di “valore ricreativo” (C2). La possibile modellazione del servizio C2 per un sito Natura 2000 è spiegata con più dettagli nel capitolo successivo.

Lo scopo di questo modello è esemplificativo, per giungere a un modello quantitativo, su cui eventualmente costruire scenari precisi, sono necessari dati locali aggiornati, la cui elaborazione esula dal presente lavoro. Il modello qualitativo è però utile a individuare quale tipo di informazioni sia più utile raccogliere per gestire le dinamiche di un sito, può servire agli amministratori per orientare azioni di indagine sul campo. Come detto sopra, l'approccio alla dinamica dei sistemi permette di conoscere e visualizzare i possibili feedback, o retroazioni del sistema, conseguenti a ipotetiche azioni o assunzioni.

Il sito Val Grigna si estende per 2.873 ettari, nella Foresta Regionale omonima, in Provincia di Brescia ed è incluso tra i Siti della regione biogeografia “Alpina”. L'area montana prealpina include il cosiddetto Massiccio delle Tre Valli ed è compresa tra la quota minima di 1000 m e quella massima di 2207 m s.l.m.. Il sito è accessibile (condizione necessaria per il servizio C2) tramite sentieri ed è fruibile grazie a strutture di accoglienza (es. malghe), punti di arrivo e/o di passaggio per visite guidate organizzate. L'area esemplifica una categoria di siti con: naturalità elevata, accessibilità facilitata, limitata possibilità di trasformazione antropica per ragioni fisiche (quota, pendenza). In queste condizioni le variabili gestionali possono essere ridotte essenzialmente a tre: *qualità ambientale, visitatori, marketing*.

Il servizio C2 è considerato tramite l'indicatore numero di *visitatori*, da intendersi come numero potenziale. Questo dipende dalla *qualità ambientale* del sito che attrae e motiva i visitatori, ma lo stesso numero di visitatori può generare uno *stress ambientale* che influisce negativamente sulla *qualità ambientale* (ciclo di feedback negativo). L'influenza specifica per visitatore dello *stress ambientale* sulla *qualità ambientale* è connesso alla *qualità ambientale*, in altre parole, lo stesso visitatore ha presumibilmente un impatto maggiore se attraversa un'area di maggiore qualità ambientale e sensibile (es. torbiera o pascolo ricco di specie), rispetto allo stesso attraversamento di un'area meno pregiata (es. bosco ceduo). La *qualità ambientale* può degradarsi (per lo *stress ambientale*) ma anche rigenerarsi per il contributo di vari processi ecosistemici supportati dal livello di *biodiversità*. Il livello di *biodiversità* determina la *massima qualità ambientale* e influisce sul *tasso di rigenerazione*, anche se in modo non deterministico (vedi equazioni §9.1). D'altra parte il *marketing*, in funzione del livello di *qualità ambientale* contribuisce all'arrivo di nuovi visitatori.





Questo modello semplificato non tiene conto dei possibili investimenti a supporto della qualità ambientale (vedi modello C2-2, §8.2) o di infrastrutture a supporto dell'attrattiva (vedi modello C2-3, §8.3), ma già suggerisce la probabile dinamica del sistema: la qualità ambientale scenderà ad un livello inferiore a quello di partenza, in relazione del numero di visitatori, a sua volta connesso alle azioni di marketing. La relazione tra marketing e perdita di qualità ambientale non sempre è pensata, come altre relazioni visibili nei modelli più complessi, introdurre questa considerazione nel dibattito tra stakeholder e nella programmazione o gestione del sito può migliorarne l'efficacia.

La modellazione dinamica del problema/sistema suggerisce i punti da approfondire. A ogni freccia del modello corrisponde un legame causale tra variabili da esplorare. Riguardo i visitatori si evidenzia necessario avere dati su: numero di visitatori, aree di visita/fruizione, tipo di impatto specifico di ciascun visitatore (nelle diverse aree), la capacità di rigenerazione degli ecosistemi (nelle diverse aree).

Come esempio di approfondimento, lo *stress ambientale*, può avere varie forme dalla diretta compattazione del suolo, al rumore e disturbo della fauna, all'indiretto innesco di fenomeni erosivi, al cambiamento delle coperture e dell'uso del suolo. Analogamente, la *qualità ambientale* può avere varie dimensioni, nel caso di C2, correlate alla percezione del visitatore: dal numero di specie floristiche "notevoli", alla presenza di specie animali "carismatiche", alla composizione del mosaico paesaggistico.

In seguito si presentano alcuni strumenti per interagire con i modelli proposti. Con il programma gratuito Vensim PLE o con l'ambiente (online) Insight Maker è possibile infatti "giocare" con i modelli dinamici, modificare i valori delle variabili e osservare le possibili conseguenze sulle variabili collegate.

## 4 Interagire con il modello dinamico nell'ambiente Insight Maker (online)

Insight Maker è uno strumento di modellazione e simulazione generale basato sul web (come riporta il sito [insightmaker.com](http://insightmaker.com) *free modeling and simulation in your browser*). Si presenta come un "ambiente" di facile accesso e utilizzo, in cui chiunque (anche senza esperienza) può usare i modelli pubblicati e a sua volta pubblicare il proprio modello, eventualmente preso da altri utenti e adattato alle proprie esigenze o migliorato. Insight Maker costituisce un "ambiente" di sviluppo e di apprendimento collettivo adatto a mostrare il possibile utilizzo dell'approccio alla dinamica dei sistemi in numerosi campi, incluso l'ambito della gestione di siti Natura2000. Cercando tra i modelli pubblicati (cliccare su **Explore Insights**, in alto, poi **Search** "natura2000") è possibile accedere ai modelli descritti nei prossimi capitoli. Cliccando su **Step Forward** si può seguire una presentazione del modello (storytelling); con **Simulate** si possono simulare le dinamiche descritte o altre modificando (come i canali di un mixer) le grandezze delle variabili (a destra).

Figura 3 Pagina iniziale di Insight Make (sinistra) e modelli pubblicati presentati in seguito (destra).

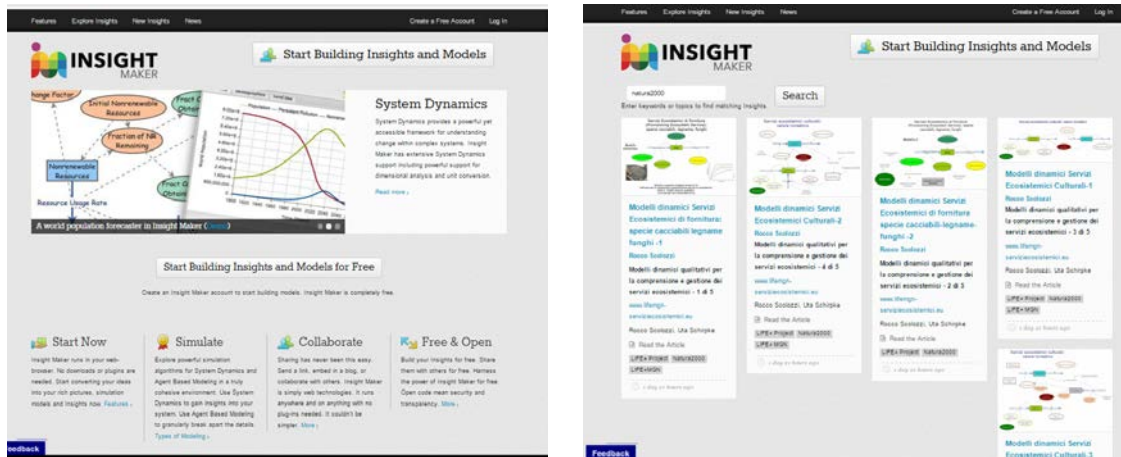
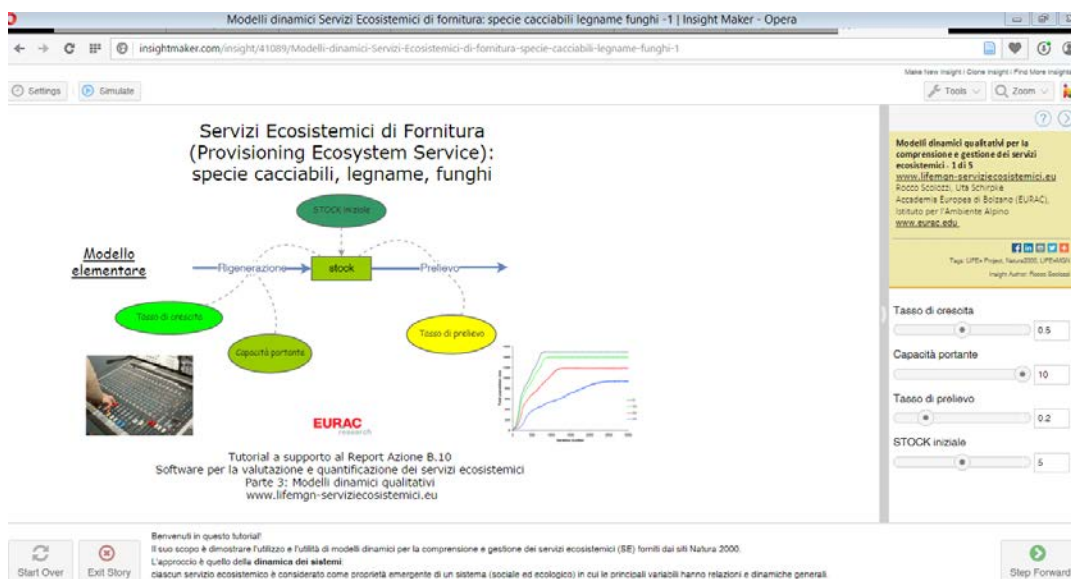


Figura 4 Modello e presentazione/narrazione (vedi barra in basso e pulsante Step Forward).



## 5 Interagire con il modello dinamico in Vensim

Per interagire con i modelli dinamici (e crearne nuovi) senza una connessione internet, Vensim è uno strumento appropriato e gratuito (nella versione PLE) che può essere scaricato al link: <http://vensim.com/free-download/> (dopo l'iscrizione gratuita alla newsletter).

Una volta installato il programma appare come nella seguente figura. Con la funzione *Help* è fornita una serie esaustiva di manuali e collegamenti ad esempi (collocati nella cartella di installazione). Per il funzionamento dei singoli pulsanti-funzione, si rimanda alla guida e/o manuale.

Figura 5 Finestra di interfaccia del programma Vensim PLE (6.3D).

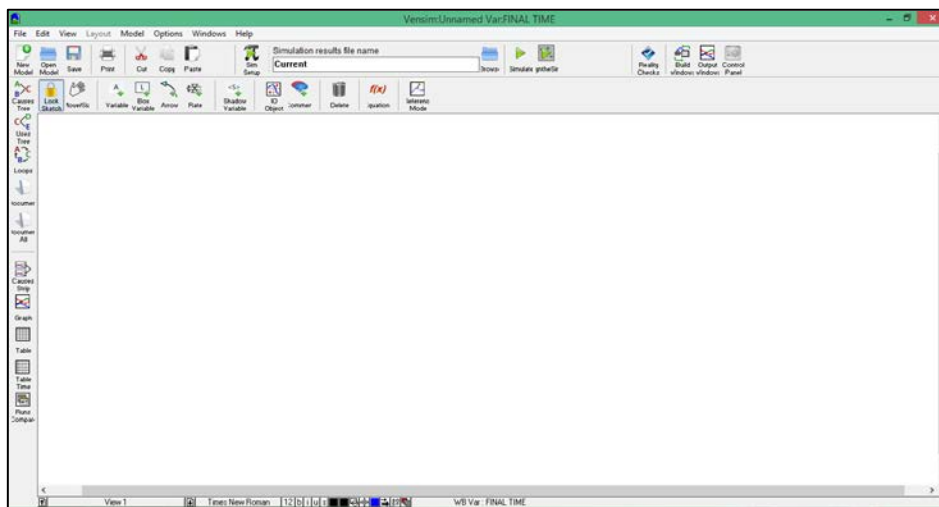


Figura 6: Con **Open Model** si caricano il file disponibili dal sito di progetto, (es. *C2-1.mdl*); con **SynhteSim** si visualizzano i cursori per modificare i valori delle variabili.

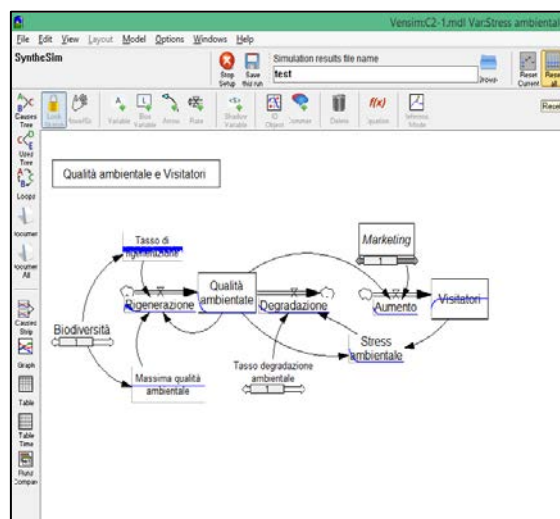


Figura 7: Cliccando sulla barra del cursore si possono definire i range di variabilità e il valore attuale della variabile.

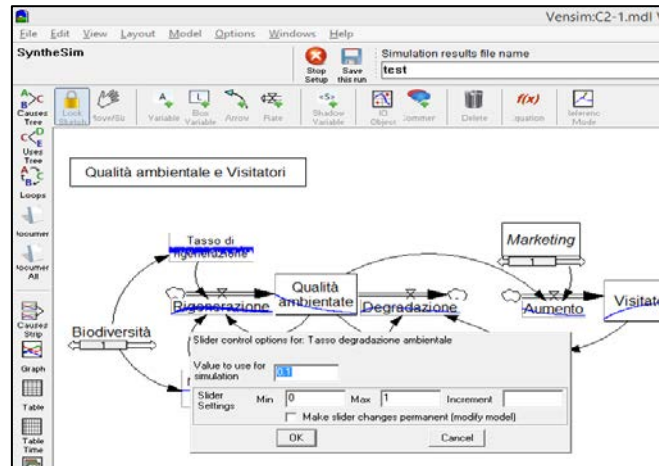
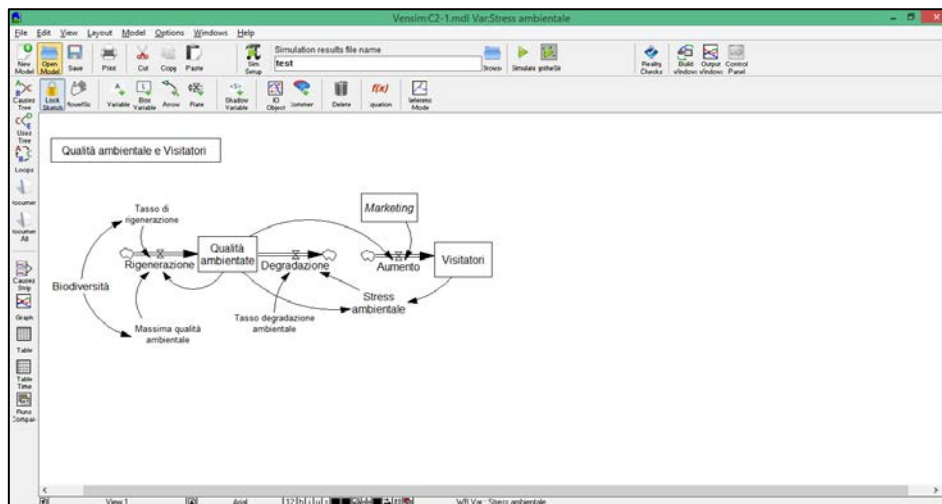


Figura 8. Con **Reset all** si ripristinano i valori iniziali del modello, con **Stop Setup** si esce dalla modalità interattiva, con **Run** si operano le simulazioni.



Una volta installato il programma, caricato il modello (file.mdl), attivata la modalità SyntheSim, ci sono due modalità di intervento sulle variabili: spostando i cursori (destra-sinistra), oppure cliccando sulla barra del cursore e modificare manualmente intervallo di variazione e valore iniziale.

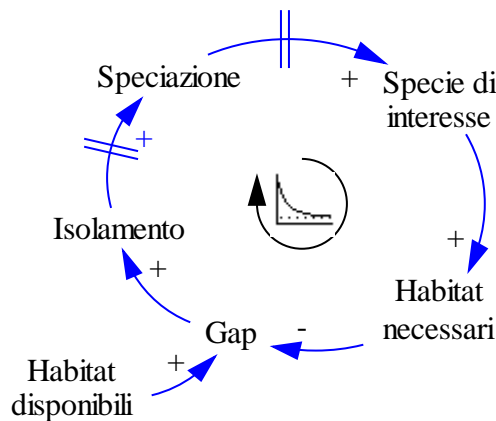
Con i modello forniti, qualitativo ma sufficientemente verosimile, sperimentando diverse variazioni delle variabili “gestionali”, si possono visualizzare alcune conseguenze sulle variabili collegate e desumere utili indicazioni.

## 6 Risorse rinnovabili senza prelievo quantitativo: piante medicinali (F6), risorse genetiche (F7)

Il servizio di fornitura di piante medicinali e risorse genetiche sostenuto da siti Natura 2000 ha un valore in termini di diversità biologica dal quale estrarre, oggi o in futuro, molecole e/o geni utili. Così, le specie d'interesse hanno un valore in sé perché rare o in via di estinzione, più che in termini di quantità di individui o di prodotti derivabili. In questo contesto, la categoria di "specie di interesse" può includere anche le forme intermedie di specializzazione ecologica senza arrivare a vere e proprie specie (gruppi di organismi non interfecundi), in cui *varietà locali* o rare (es. capra dell'Adamello) possono avere un interesse attuale (es. conservazione) o futuro (es. miglioramento genetico). A differenza di altre forniture, l'unità di valore è la specie stessa, per questo si assume che non esista un significativo prelievo (si possono prelevare individui di una specie, ma non si possono togliere intere specie).

Il numero di specie può crescere in base al processo di *speciazione*: il naturale processo evolutivo grazie al quale si formano nuove specie (o varietà locali) da quelle preesistenti. Questo processo richiede *l'isolamento* di popolazioni della specie originaria e la loro sopravvivenza e adattamento per un periodo sufficiente a differenziarsi; semplificando, la comparsa di nuove specie (o varietà) necessita di spazi e risorse (*habitat funzionali*) per il loro mantenimento. In altre parole, il numero di specie può crescere se ci sono sufficienti risorse (cibo, spazio) per mantenere nuove popolazioni sufficientemente separate.

Figura 9: Processo di speciazione: il feedback negativo tende a stabilizzare il numero di specie in un territorio.

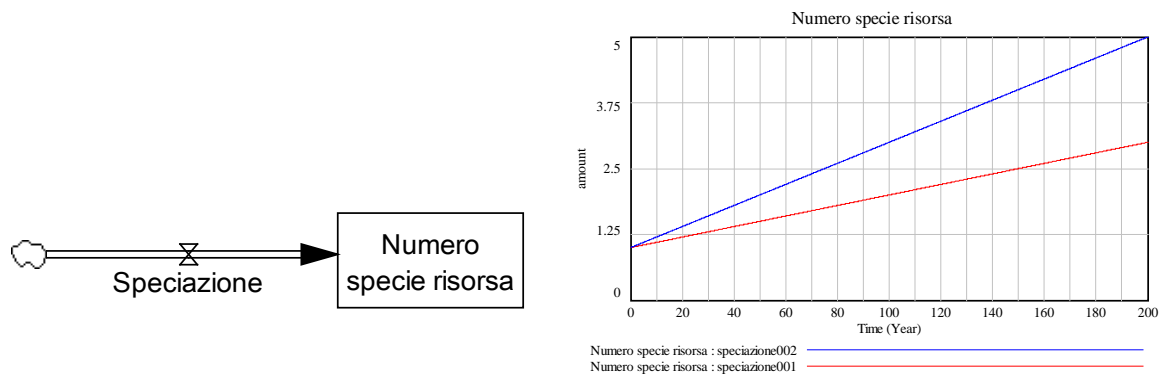


In un modello super-semplificato, la velocità di comparsa di nuove specie dipende dal tasso di speciazione; nel modello proposto si assume una nuova specie (o varietà locale) ogni 100 anni (0.01/anno). Questo è un tasso medio, più vicino a quello riscontrabile nelle piante (si trova un esempio di 150 anni per la specie *Mimulus cupriphilus*) che negli animali (in genere necessitano di almeno 30-40 generazioni, un esempio sono i 250 anni per i topi domestici delle Isole Faroe).

### Equazioni del modello F6-7.1:

- |     |  |
|-----|--|
| 1.1 | Numero specie risorsa = Speciazione; (valore iniziale = 1) |
| 1.2 | Speciazione = 0.01   |

Figura 10: Modello F6-7.1: Numero di specie (o varietà locali) di interesse, in funzione del tasso di speciazione (0.01 linea rossa, 0.02 linea blu).



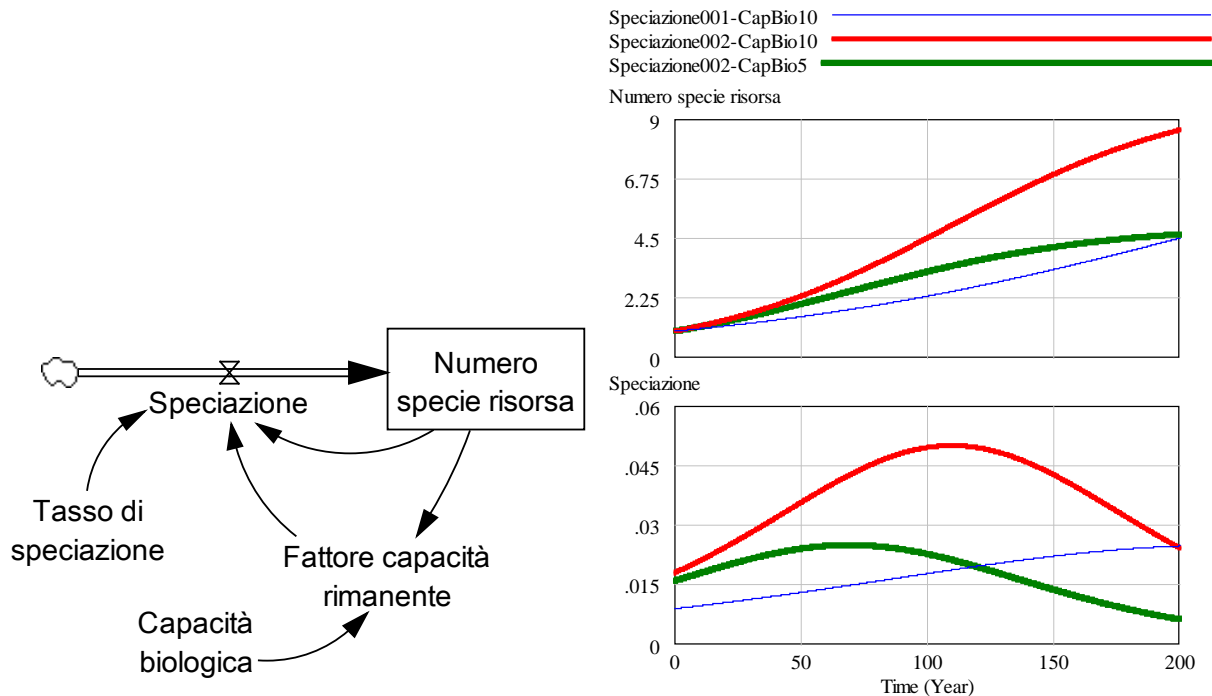
In un modello poco più realistico, si considera un territorio delimitato e composto di un mosaico ristretto di ecosistemi (un generico Natura 2000), in cui la crescita del numero di specie è limitato dalle risorse disponibili. Infatti, la dinamica della speciazione in un'area è assimilabile al processo di riproduzione di una risorsa rinnovabile, caratterizzato da una crescita logistica in cui a una fase di crescita esponenziale segue una crescita limitata da fattori come saturazione o limite delle risorse. L'insieme di condizioni idonee allo sviluppo di nuove specie è qui definita *capacità biologica*. La formazione di nuove specie avverrà fino a esaurire la capacità biologica di ospitare nuove specie, con una dinamica di crescita logistica simulata dal modello F6-7.2.

#### Equazioni del modello F6-7.2:

- |     |  |               |
|-----|--|---------------|
| 2.1 | Numero specie risorsa = Speciazione; (valore iniziale = 1)   | [specie]      |
| 2.2 | Capacità biologica = 10<br><i>numero massimo di nuove specie per la specifica area (valore arbitrario)</i>   | [specie]      |
| 2.3 | Tasso di speciazione = 0.01<br><i>Tasso teorico medio di speciazione</i>   | [specie/anno] |
| 2.4 | Fattore capacità rimanente = $1 - (\text{Numero specie risorsa} / \text{Capacità biologica})$<br><i>quando numero specie raggiunge capacità biologica il fattore è 0 (si annulla la speciazione)</i> |               |
| 2.5 | Speciazione = Tasso di speciazione * Numero specie risorsa * Fattore capacità rimanente  |               |

Si può notare come al variare del tasso di speciazione (esempio in Figura 9, da 0.01 a 0.02), la "saturazione" è raggiunta prima (intorno a 80 anni, linea verde, anziché dopo 200 anni, linea blu), al variare della capacità biologica aumenta il "tetto" del numero di specie (linea rossa) ma solo in parte la velocità (linea rossa ha un massimo poco dopo i 100 anni anziché 80 della linea verde).

Figura 11: Processo di speciazione: variando il tasso di speciazione (blu: 0.01; rosso: 0.02) e la capacità biologica (rosso: 10; verde: 5).



Più in particolare, la capacità di ospitare nuove specie a sua volta dipende da almeno due variabili: ricchezza degli habitat, in cui ci si può aspettare si differenzino nuove specie, estensione media, assumendola come indicatore proxy della probabilità di isolamento e considerando che nuovi habitat se troppo piccoli per ospitare nuove popolazioni non contribuiscano alla differenziazione. D'altra parte, l'isolamento può essere provocato da attività o opere antropiche (es. interruzioni della continuità di habitat per deforestazione o per creazione di barriere fisiche come dighe e strade) o risultato intenzionale di interventi (es. coltivazione di varietà locali o allevamento di razze locali). In questo caso, le variabili in gioco cambiano e il processo può essere modellato come per fornitura di F1 o F2 (vedi sotto, paragrafo 7).

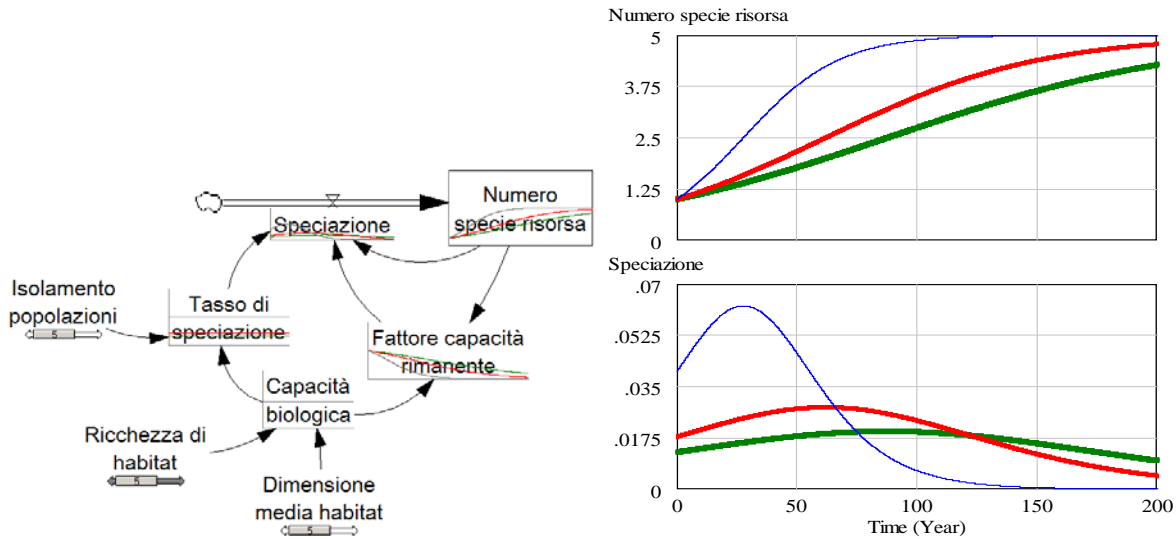
#### Equazioni del modello F6-7:

- 3.1 Numero specie risorsa = Speciazione; [valore iniziale =1]
- 3.2 Speciazione = Tasso di speciazione \* Numero specie risorsa \* Fattore capacità rimanente
- 3.3 Dimensione media habitat = 5 [valore fittizio, in una scala 1-10]
- 3.4 Ricchezza di habitat = 5 [valore fittizio, in una scala 1-10]
- 3.5 Capacità biologica = INTEGER(SQRT(Ricchezza di habitat \* Dimensione media habitat))  
*Valore arrotondato all'intero della radice quadrata del prodotto di ricchezza per dimensione; con valore 10 quando massima ricchezza di habitat (10) e massima dimensione media habitat (10)*
- 3.6 Isolamento popolazioni = 1  
*valore fittizio, in una scala 1-10, con 10: nessun isolamento, 1: isolamento massimo*
- 3.7 Tasso di speciazione= SQRT(Isolamento popolazioni \* Capacità biologica)/100  
*Tasso teorico medio di speciazione con valore 0.01 quando isolamento minimo (1) e capacità biologica massima (10)*
- 3.8 Fattore capacità rimanente= 1 - (Numero specie risorsa/Capacità biologica)  
*Quando numero specie risorsa raggiunge capacità biologica il fattore è 0, di conseguenza si annulla la speciazione]*

## Considerazioni utili sulla fornitura di F6 e F7

All'aumentare dell'isolamento aumenta il tasso di speciazione (in Figura 10 la linea blu raggiunge la saturazione prima e livelli più alti di quella rossa o verde), fino a raggiungere il numero massimo di specie consentito dalla capacità biologica. Questa dipende dalla ricchezza di habitat e dalla dimensione media.

Figura 12: Modello F6-7: processo di speciazione in funzione dell'isolamento, delle ricchezza di habitat, della dimensione media degli habitat (con isolamento 5: linea blu, 1 linea rossa, 0.5 linea verde).



## Applicazioni del modello

Nonostante sia difficilmente programmabile o gestibile un aumento di specie, questo modello può essere utile:

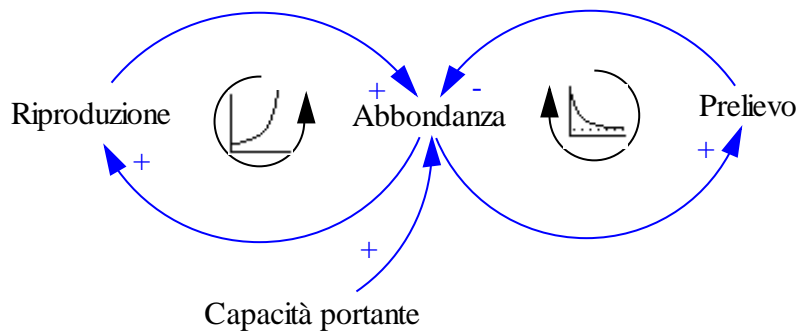
- per comprendere il processo di speciazione e spiegarlo agli stakeholder di un sito,
- per evidenziare l'importanza dell'estensione degli habitat e della loro ricchezza,
- per comparare tra più siti la potenzialità di sostenere differenti specie o eventuali specie rare.



## 7 Risorse rinnovabili “naturalmente”: risorse faunistiche (F3), materie prime (F4), funghi (F5)

Anche la fornitura di F3, F4 e F5 è assimilabile al processo di riproduzione di una risorsa rinnovabile, caratterizzato da una crescita logistica, ma in questo caso il limite alla crescita è influenzato anche da fattori “esterni” come il prelievo, dipendenti *dall’abbondanza* della risorsa stessa. Infatti, nella pesca, come nella caccia (F3), a parità di sforzo (es. di numero di pescatori o reti), il *prelievo* dipende dall’abbondanza di pesci, in altre parole, se i pesci diminuiscono diminuisce anche il pescato. Lo stesso per la raccolta di funghi (F5): più sono rari meno ne vengono raccolti. In generale, la fornitura del servizio è sostenibile se il tasso di prelievo è inferiore a quello di riproduzione. Il processo è rappresentato dal diagramma causale in Figura 11 e il modello corrispondente super-semplificato è proposto in Figura 12 (modello F3-4-5.1).

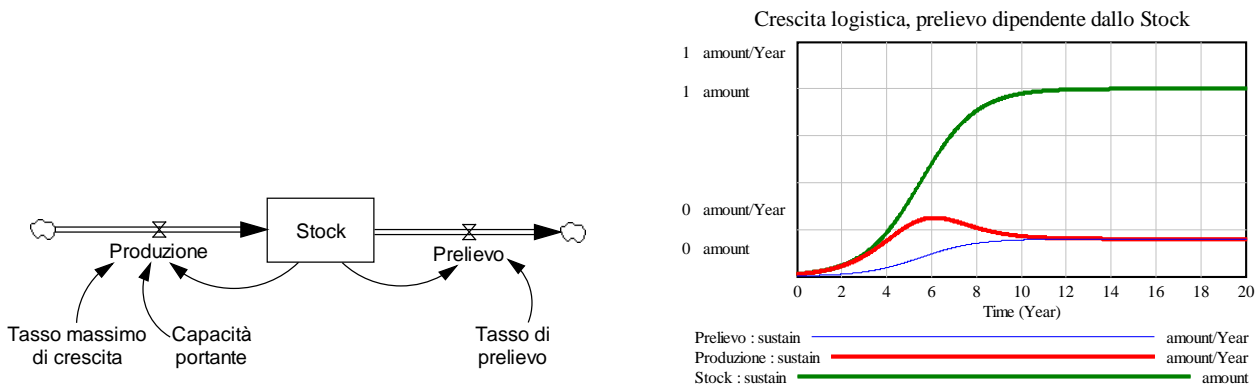
Figura 13: Diagramma causale semplificato della riproduzione di risorsa naturali quali pesci, specie cacciabili, funghi.



### Equazioni del modello F3-4-5.1:

4.1	Prelievo = Tasso di prelievo * Stock	[kg/anno]
4.2	Produzione = Tasso Massimo di crescita * Stock * (1-Stock/Capacità portante)	[kg/anno]
4.3	Stock = Produzione – Prelievo	[kg]
4.4	Tasso massimo di crescita = 1	[1/anno]
4.5	Tasso di prelievo = 0.2	[1/anno]
4.6	Capacità portante = 1	[kg]

Figura 14: Modello F3-4-5.1 di risorsa rinnovabile in cui il prelievo è funzione della quantità di risorsa.

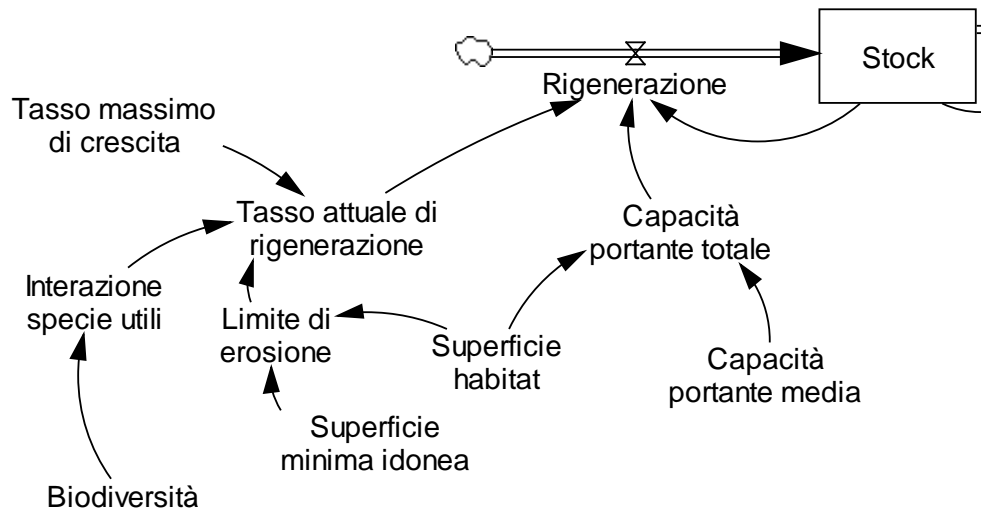


In questo modello generale, l'accumulo della risorsa è funzione della *produzione* e del *prelievo*, a sua volta la produzione è funzione del *tasso massimo di crescita* o di rigenerazione (specifico della risorsa) e della *capacità portante* dell'ambiente. In questa relazione,  $(1 - \text{stock}/\text{produzione massima})$  ha la funzione di smorzare la crescita fino al raggiungimento della capacità portante (quando  $\text{stock} = \text{capacità portante}$ : il fattore azzerava la produzione).

Riferendoci ad un territorio (sito Natura 2000), la *capacità portante totale* è funzione della *superficie di habitat* e della *capacità media* teorica (per unità di superficie). La capacità media può essere dedotta dalla media di casistiche, ma nello specifico di un sito ha un ruolo anche il livello attuale di *biodiversità* che costituisce il numero massimo (attualmente) sostenibile d'individui. Per simulare quest'influenza si considerano queste variabili come tre fattori moltiplicatori (equazioni modello F3-4-5). D'altra parte, anche il *tasso attuale di crescita* dipende dalle condizioni specifiche del territorio, oltre che dal *tasso massimo di crescita* teorico (specie-specifico). Qui entra in gioco il livello di biodiversità attraverso il processo di *interazione con specie utili*, cui si aggiunge un fattore limite relativo alla superficie minima, sotto alla quale la risorsa non ha capacità di riprodursi. Questo limite inferiore, detto *limite di erosione* (della biodiversità), è funzione del rapporto tra *superficie di habitat* (attuale) e *superficie minima idonea* specifica<sup>1</sup>. In altre parole, si assume che se la superficie produttiva (habitat) è 10 volte minore della superficie minima, il tasso di rigenerazione è zero. Il fattore *interazione specie utili* essendo problematico da stimare è approssimato da un valore pseudo-casuale con distribuzione normale "centrata" sul livello di *biodiversità*.

<sup>1</sup> La superficie minima idonea è la superficie necessaria per mantenere la sopravvivenza di almeno una minima popolazione vitale della specie (minimum viable population, MVP). Dagli studi sulle meta-popolazioni si possono ricavare valori di riferimento specie-specifici o per categoria di dimensione media della specie (Verboom, Foppen, Chardon, Opdam, & Luttikhuisen, 2001).

Figura 15: Modello F3-4-5: la biodiversità influenza il tasso di crescita (tramite l'interazione con specie utili) e la capacità portante.



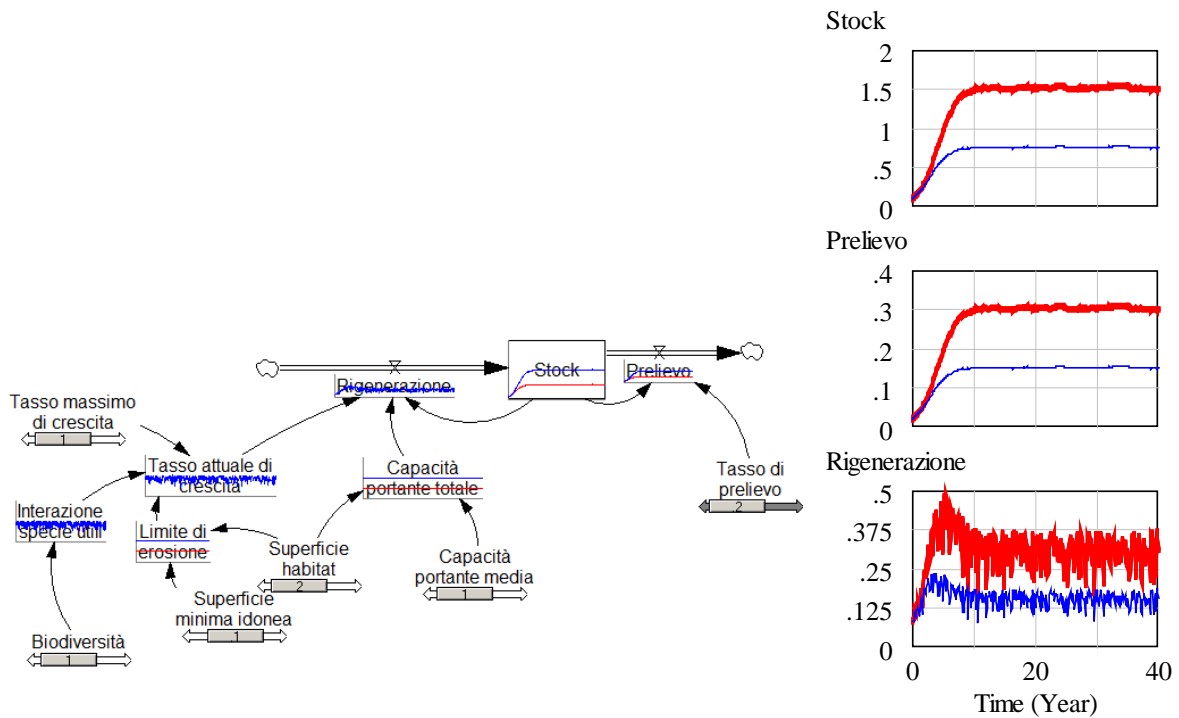
#### Equazioni del modello F3-4-5:

5.1	Produzione = Tasso attuale di rigenerazione * stock * (1 - stock/Capacità portante totale) <i>kg o multipli (100 kg, 1.000 kg) non modificano le dinamiche</i>	[kg/anno]
5.2	Capacità portante totale = Superficie habitat * Capacità portante media <i>equivale alla produzione media (attesa) per unità di superficie</i>	[kg]
5.3	Capacità portante media = 1 <i>biomassa sostenibile della specie risorsa per unità di superficie, scalabile secondo la specie</i>	[kg/kmq]
5.4	Superficie habitat = 1 <i>superficie attuale di habitat idoneo con valore iniziale arbitrario</i>	[kmq]
5.5	Tasso attuale di rigenerazione = IF THEN ELSE(limite di erosione < 0.1, 0, tasso massimo di rigenerazione * Interazione specie utili) <i>si ha rigenerazione della risorsa se l'area supera una soglia minima arbitraria (rapporto tra area attuale e area idonea minima, 1:10)</i>	[1/anno]
5.6	Tasso massimo di crescita = 1 <i>equivale a 100%, ovvero 1 kg ogni anno per ogni kg di biomassa presente in quell'anno</i>	[1/anno]
5.7	Interazione specie utili = RANDOM NORMAL(0.4, biodiversità, biodiversità, 0.2, 222) <i>valore pseudo-casuale con distribuzione normale centrata sul valore di biodiversità</i>	[Dmnl]
5.8	Limite di erosione = Superficie habitat/Superficie minima idonea	[Dmnl]
5.9	Superficie minima idonea = 0.1 <i>area minima per sostenere una popolazione locale vitale (o MVP), scalabile secondo la specie risorsa</i>	[kmq]
5.10	Biodiversità = 1 <i>scala qualitativa da 0 a 1 (= 100% delle specie locali presenti)</i>	[Dmnl]
5.11	Prelievo = Tasso di prelievo*Stock	[kg/anno]
5.12	Stock = INTEG(+Produzione-Prelievo, 0.1) <i>stock della risorsa, con valore iniziale 0.1</i>	[kg]
5.13	Tasso di prelievo = 0.2 <i>prelievo in termini di % dello stock (valore arbitrario, 20% dello stock)</i>	[1/anno]

## Considerazioni utili sulla fornitura di F3-F4-F5

Dalla simulazione si evidenzia come al raddoppiare della superficie di habitat aumenta lo stock di specie utili (es. cacciabili, pescabili) fino ad un nuovo equilibrio tra prelievo e rigenerazione. Interessante osservare che nonostante il contributo della *biodiversità* sul *tasso di rigenerazione* sia casuale (con oscillazioni crescenti, Figura 14) i valori di stock e prelievo non oscillano in modo proporzionale e raggiungono ugualmente un valore di equilibrio relativamente stabile. Questo è tipico delle variabili stock che tendono a “smorzare” le variazioni di variabili ausiliarie.

Figura 16: Modello 5, fornitura servizi F3-F4-F5, con diverse superfici di habitat idoneo: 1 kmq (blu), 2kmq (rosso).



## Applicazioni del modello

Questo modello è adatto a simulare la dinamica di una qualsiasi risorsa ambientale che si autorigenera naturalmente (o che richiede un intervento trascurabile sull'ecosistema), la cui quantità dipende dalla capacità portante e dal prelievo. Inoltre, il modello può essere utile:

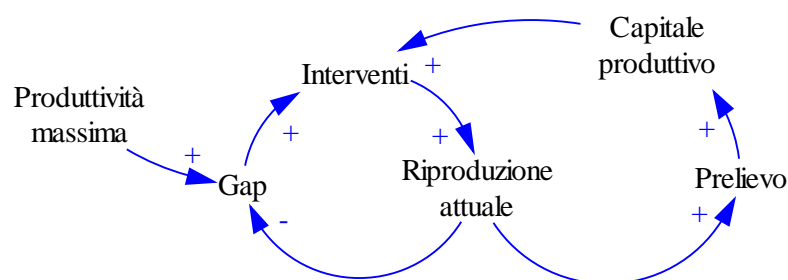
- per comprendere il processo di riproduzione della risorsa e spiegarlo agli stakeholder di un sito,
- per evidenziare l'importanza della superficie di habitat idonei e della biodiversità locale come base dell'erogazione del servizio stesso.

Quando, come nel caso delle coltivazioni e del pascolo/foraggio, *rigenerazione* e *prelievo* dipendono significativamente da un intervento umano (es. fertilizzazione, altre pratiche agricole, investimenti), il modello deve essere arricchito di altri elementi di tipo socioeconomico, come descritto di seguito.

## 8 Risorse rinnovabili “coltivate”: coltivazioni (F1), foraggio, pascoli (F2)

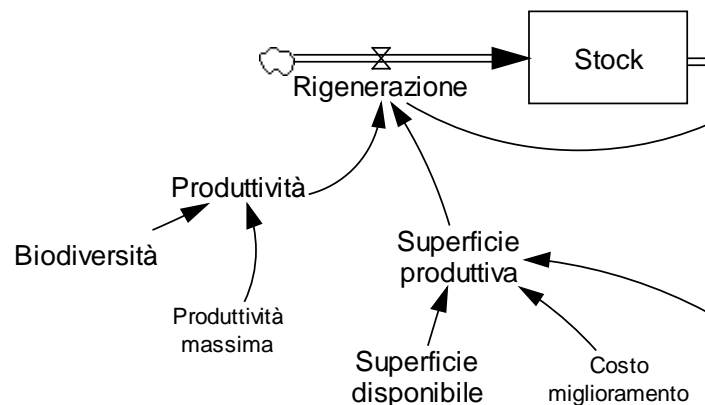
Risorse rinnovabili come i prodotti agricoli (alimenti, foraggio o pascoli) hanno un processo di *riproduzione* che dipende dall’investimento continuo da parte del beneficiario (Figura 15). In altre parole, la fornitura di beni ecosistemici “coltivati” dipende da interventi (pratiche agricole sulle colture o sul suolo come fertilizzazione e rimozione infestanti) e dal prelievo attivo, che implica dei costi e degli investimenti continui. Considerando questa dipendenza, il modello sviluppato per i precedenti SE è arricchito con ulteriori elementi per aver maggiore aderenza alla realtà, pur mantenendo dinamiche analoghe.

Figura 17: Diagramma causale semplificato della riproduzione di risorse naturali agricole.



In dettaglio, considerando un dato territorio, la rigenerazione della risorsa agricola (che si accumula nella variabile *stock*) dipende in primis dalla *produttività* specifica della risorsa (es. foraggio) e dalla *superficie produttiva*. A differenza dei caccia e pesca, non c’è una “superficie minima funzionale”, al di sotto della quale il processo cessa di esplicarsi. In altre parole, si assume che si possano coltivare anche pochi metri quadrati, il servizio di fornitura non cessa. A sua volta la produttività specifica dipende, soprattutto per prati e pascoli, dalle condizioni garantite da un livello ottimale di biodiversità locale (es. interazione con specie utili). La superficie produttiva può non corrispondere alla superficie disponibile poiché, come nel caso di prati-pascoli, richiedono o interventi di manutenzione (es. pulizia da arbusti) o di miglioramento (es. fertilizzazione, sfalcio, pascolo turnato), che hanno un costo per unità di superficie.

Figura 18: Modello F1-2 (prima parte): variabili influenti la rigenerazione della risorsa “agricola”.



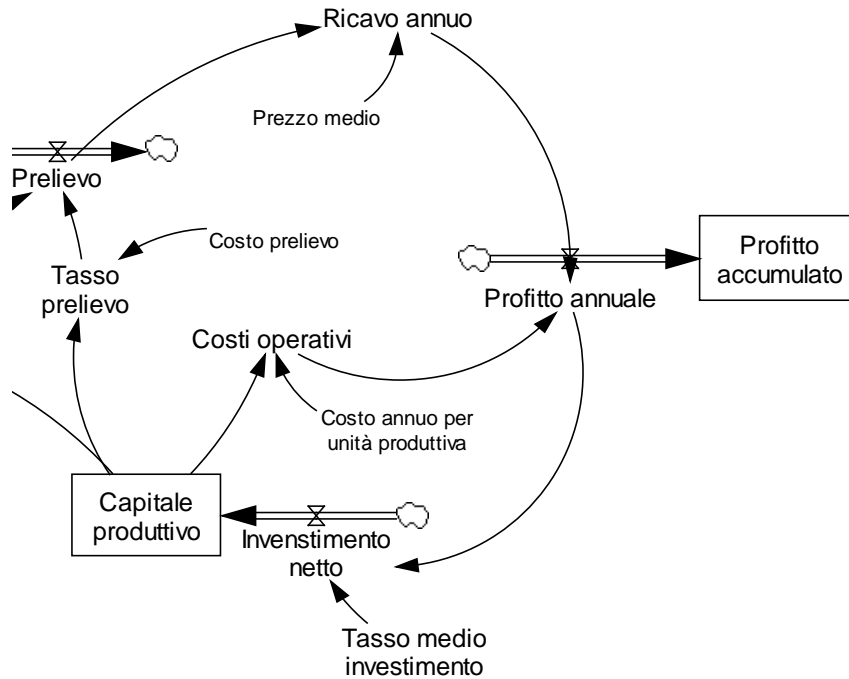
### Equazioni del modello F1-2 (prima parte):

6.1	Stock = Rigenerazione-Prelievo kg o suoi multipli (100 o 1.000)	[kg]
6.2	Rigenerazione= Produttività * Superficie produttiva	[kg/anno]
6.3	Produttività = Produttività massima * RANDOM NORMAL(0.5, Biodiversità, Biodiversità, 0.1, 222) <i>dependenza della produttività massima dalla biodiversità (pseudo casuale)</i>	[kg/(anno*kmq)]
6.4	Biodiversità = 1 <i>scala qualitativa da 0 a 1 (= 100 % delle specie locali presenti)</i>	[Dmnl]
6.5	Produttività massima = 10 <i>produttività media, valore iniziale fittizio: 10 kg all'anno per kmq</i>	[kg/(anno*kmq)]
6.6	Superficie disponibile = 10 <i>unità di superficie, valore iniziale arbitrario</i>	[kmq]
6.7	Superficie produttiva = MIN((Capitale produttivo/2)/Costo miglioramento, Superficie disponibile) <i>la superficie produttiva dipende dalle operazioni in campo (es. fertilizzazione, pulizia prati) permesse dal capitale produttivo (del quale metà dedicato al miglioramento es. prati/pascoli, metà al raccolto/utilizzo della risorsa), ma rimane limitata alla superficie disponibile</i>	[kmq]
6.8	Costo miglioramento = 1 <i>costo per unità di superficie delle operazioni di manutenzione e/o miglioramento (es. fertilizzazione, pulizia da arbusti)</i>	[€/kmq]

Anche il prelievo dipende da un investimento continuo (costo dei macchinari, mano d'opera, qui *Capitale produttivo*) necessario per trasformare il processo di produzione primaria (es. la cotica erbosa) in risorsa, in altre parole: bisogna portare gli animali al pascolo o bisogna tagliare il fieno e portarlo alle stalle. Anche il prelievo dipende da un investimento continuo (costo dei macchinari, mano d'opera, qui *Capitale produttivo*) necessario per trasformare il processo di produzione primaria (es. la cotica erbosa) in risorsa economica, in altre parole: bisogna portare gli animali al pascolo o bisogna tagliare il fieno e portarlo alle stalle. Nel modello, il *Capitale produttivo* (misurato in €) rende possibile il *Prelievo* (kg/anno), ad un tasso di prelievo superiormente limitato da quello di *Rigenerazione*, per cui nell'equazione si ha una funzione di minimo tra due tassi (vedi 6.10).

Le tonnellate annue prodotte dalle superfici produttive del sito permettono un *Prelievo* (kg/anno), che, in funzione del *Prezzo medio* (€/kg) producono un *Ricavo annuo* (€/anno). Il riferimento a € è puramente indicativo, considerando multipli di euro (€ = 1.000€ o 10.000€) la dinamica tra le variabili non cambia; nel caso di adeguamento del modello al singolo caso si possono usare dati o riferimenti reali. I ricavi al netto dei *Costi operativi* permettono un *Profitto annuale* che si accumula nella variabile *Profitto accumulato*. I costi operativi, a loro volta, dipendono dal *Capitale produttivo* e dal *Costo annuo per unità produttiva*, questo equivale al costo medio annuo (in €) per ogni € di capitale produttivo (es. costo di manutenzione dei macchinari, stipendio operatori). D'altra parte, una porzione del profitto annuale è solitamente re-investito, con *tasso medio di investimento*, in nuovo *Capitale produttivo*.

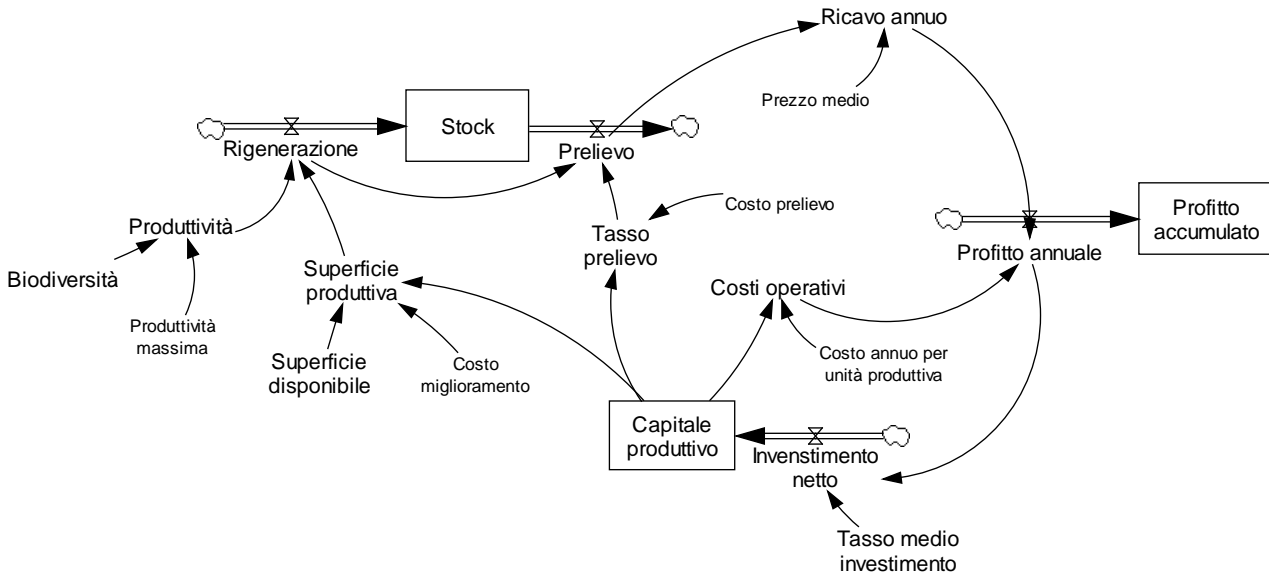
Figura 19: Modello F1-2 (seconda parte).



**Equazioni del modello F1-2 (seconda parte):**

6.9	$\text{Prelievo} = \text{MIN}(\text{Rigenerazione}, \text{Tasso prelievo})$ <i>si assume che Prelievo non possa superare il tasso di Rigenerazione</i>	[kg/anno]
6.10	$\text{Tasso prelievo} = (\text{Capitale produttivo}/2)/\text{Costo prelievo}$ <i>il prelievo possibile dipende dal capitale, che si assume equamente distribuito tra prelievo e miglioramento (vedi sopra, 6.7)</i>	[kg/anno]
6.11	$\text{Costo prelievo} = 0.2$ <i>si assume che prelevare 1 kg ogni anno costi 0.2€</i>	[(€*anno)/kg]
6.12	$\text{Capitale produttivo} = \text{INTEG} (+\text{Investimento netto}, 1)$ <i>integrale della variabile Investimento netto, con valore iniziale 1</i>	[€]
6.13	$\text{Investimento netto} = \text{tasso investimento} * \text{Profitto annuale}$	[€/anno]
6.13.1	$\text{Tasso investimento} = 0.1$ <i>si assume, inizialmente, investimento pari al 10% del Profitto annuale</i>	[Dmnl]
6.14	$\text{Profitto annuale} = \text{max}(0, \text{Ricavo annuo} - \text{Costi operativi})$ <i>profitto come differenza tra costi e ricavi, non può essere negativo</i>	[€/anno]
6.15	$\text{Costi operativi} = \text{Costo annuo per unità produttiva} * \text{Capitale produttivo}$ <i>costi di funzionamento e manutenzione del capitale produttivo</i>	[€/anno]
6.16	$\text{Costo annuo per unità produttiva} = 0.1$ <i>si assume che ogni € di capitale produttivo costi 0.1€ l'anno</i>	[1/anno]
6.17	$\text{Profitto accumulato} = \text{INTEG} (+\text{Profitto annuale}, 0)$ <i>(integrale della variabile Profitto annuale, con valore iniziale 0)</i>	[€]
6.18	$\text{Ricavo} = \text{Prezzo medio} * \text{Prelievo}$	[€/anno]
6.19	$\text{Prezzo risorsa} = 1$ <i>si assume, inizialmente, che il prezzo di vendita sia 1€ al kg</i>	[€/kg]

### Considerazioni utili sulla fornitura di F1 o F2



Il sistema, come modellato, raggiunge un equilibrio in breve tempo. Come nei casi precedenti, al raddoppiare della superficie produttiva raddoppia anche prelievo possibile (Figura 18). Interessante notare come al raddoppiare il tasso d’investimento, si raggiunge in minor tempo un equilibrio nel prelievo annuale e ma il profitto accumulato risulta inferiore (Figura 19). Questo si giustifica col fatto che l’investimento oltre una certa soglia non aumenta i ricavi in modo proporzionale, limitati dalla produttività annuale “naturale”, quindi l’aumento di investimento diventa uno “spreco” che diminuisce il profitto. Aumentando i prezzi per unità di risorsa, aumenta il profitto accumulato fino a raggiungere il limite di produttività (Figura 20).

Figura 20: Andamento del prelievo annuale e del profitto accumulato con superficie x1 (blu) e x2 (rosso).

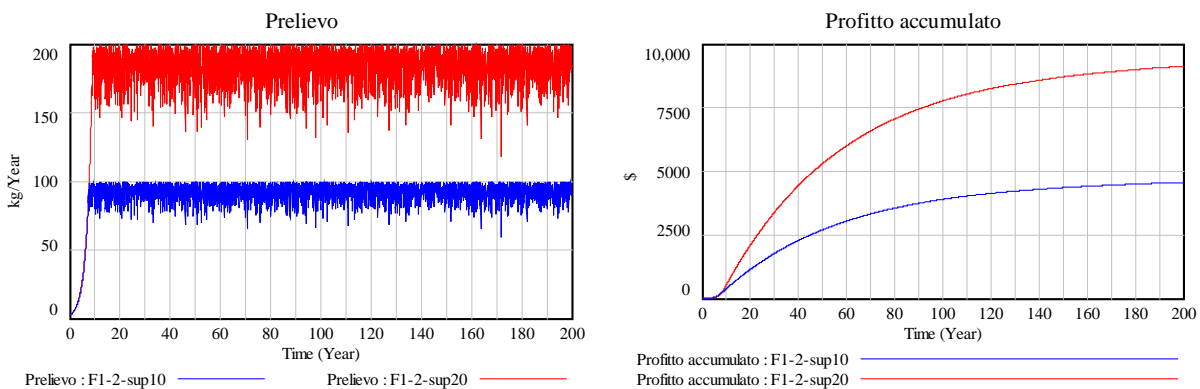




Figura 21: Andamento del prelievo annuale e del profitto accumulato al variare del tasso di re-investimento: 20% (blu), 40% (rosso).

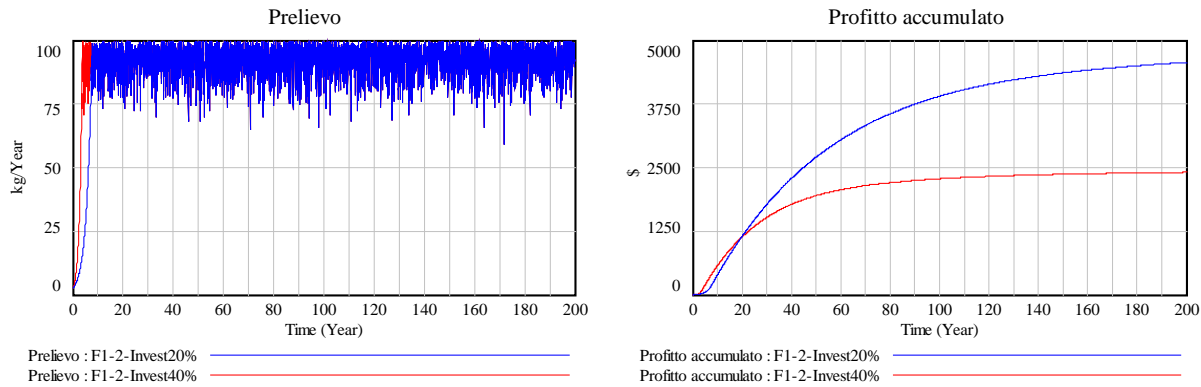
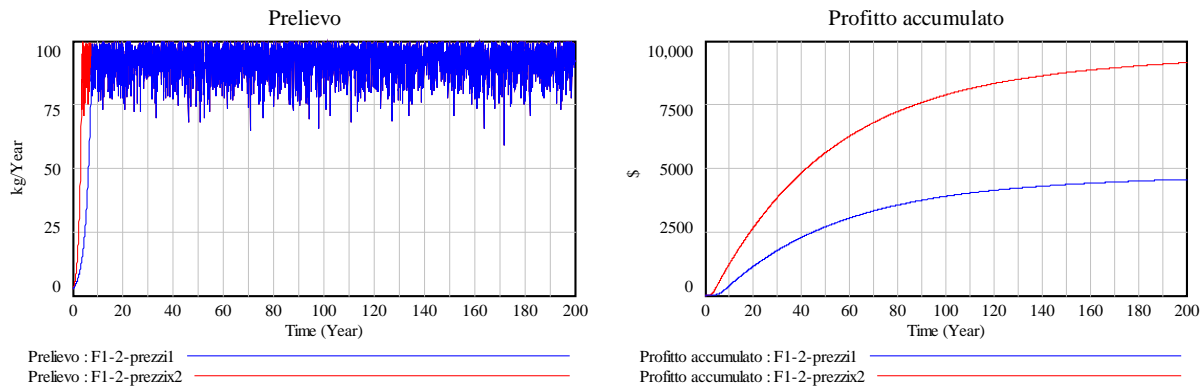


Figura 22: Andamento del prelievo annuale e del profitto accumulato al variare dei prezzi: x1 (blu), x2 (rosso).



## Applicazioni del modello

Sia il diagramma causale sia il modello semi-quantitativo possono essere utili per:

- per comprendere il processo di fornitura della servizio e illustrarlo agli stakeholder;
- per evidenziare il ruolo della biodiversità, delle variabili gestionali (capitale produttivo, profitto) e le loro interazioni.

Il modello, eventualmente calibrato su dati reali, può servire come base conoscitiva per comparare scenari economici (es. variazione dei prezzi medi) ed ecologici (es. variazione della produttività).

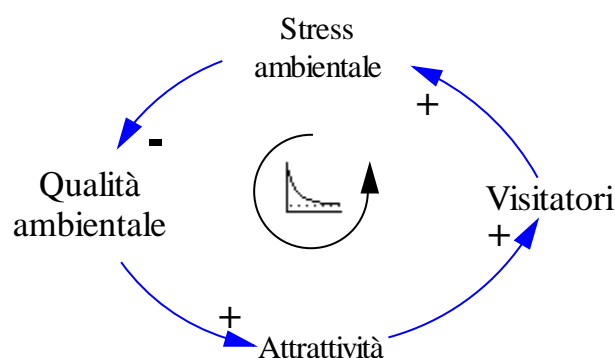
## 9 C2 - Valore ricreativo

Il valore ricreativo di un territorio si esprime solo se questo è accessibile e visitabile, in altre parole, se il visitatore o turista può goderne le caratteristiche in loco (es. un vasto panorama, un luogo evocativo di emozioni ed esperienze appaganti). L'accessibilità e godibilità di un sito dipendono dalla sua geografia ma anche da interventi appositamente progettati (es. sentieri, strutture) che facilitano la visita o permettono attività ricreative. Questo servizio ecosistemico, quindi, dipende in parte dalla componente naturale (gli ecosistemi che offrono spazi e opportunità ricreative) in parte da azioni antropiche (che rendono accessibili e fruibili quegli spazi).

Il valore ricreativo di un sito Natura2000, in particolare, dipende da diversi fattori in funzione dei diversi contesti, in cui si possono distinguere diversi livelli di intervento antropico e/o naturalità. Ad esempio, nelle aree più remote (es. alte quote) l'intervento umano si limita, in generale, alla creazione e manutenzione di sentieri di accesso. In aree pianiziali (es. corridoi fluviali), naturalmente più accessibili, il valore ricreativo può dipendere maggiormente da strutture artificiali (es. postazioni per il birdwatching), che possono rendere un sito più attrattivo di un altro nella stessa area.

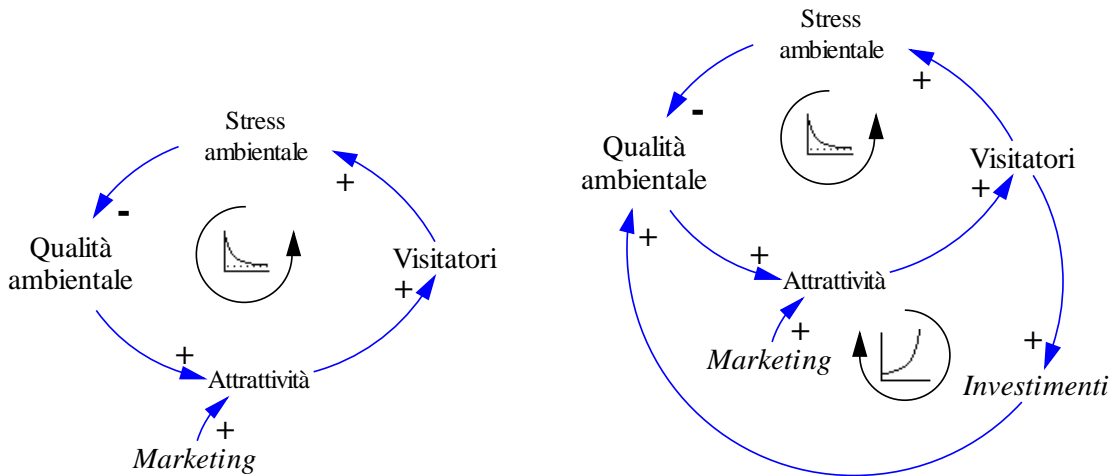
Nella relazione tra valore ricreativo di un sito e la sua biodiversità, qui riferita sommariamente come "qualità ambientale", c'è una ricorrente dinamica tipica del turismo naturalistico: all'aumentare (diminuire) della qualità ambientale aumenta (diminuisce) il numero di visitatori/turisti, ma all'aumentare di questi prima o poi diminuirà la qualità ambientale. In termini di dinamica dei sistemi, il processo è caratterizzato da un circuito di feedback negativo che tende a stabilizzarsi (verso livelli più bassi di qualità ambientale, rispetto a quelli iniziali, senza visitatori, Figura 21).

Figura 23: Modello elementare del servizio valore ricreativo: un ciclo di feedback negativo che stabilizza al ribasso il livello di Qualità ambientale e numero di Visitatori.



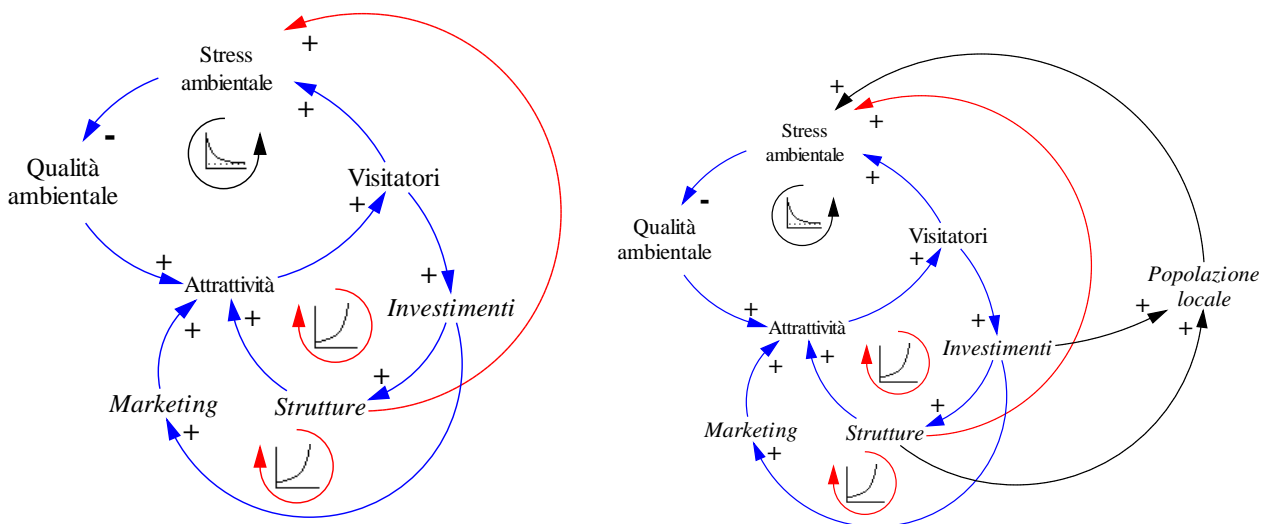
In un modello di base, le variabili che connettono *visitatori* e *qualità ambientale* sono *attrattività* e il livello di *stress ambientale*, inteso come l'insieme degli impatti negativi sulla funzionalità del territorio ad ospitare la propria biodiversità (Figura 21). L'attrattività come accennato sopra può essere in alcuni casi aumentata attraverso azioni di *marketing* (sinistra, Figura 22). D'altra parte il numero di visitatori può fornire localmente risorse per *investimenti* dedicati al miglioramento o manutenzione della *qualità ambientale* (destra, Figura 22). Si vengono a creare due circuiti di feedback opposti: uno negativo (tendente a stabilizzare il sistema) e uno positivo (tendente a crescere indefinitamente), che possono raggiungere un certo equilibrio. Questo equilibrio può risultare in una sostenibilità del servizio ricreativo.

Figura 24: Diagramma causale con un loop negativo (sinistra, modello C2-1), con due loop opposti (destra, modello C2-2).



Una dinamica non sostenibile si può verificare se gli *investimenti* sono indirizzati ad aumentare l'*attrattività* attraverso un accrescimento del *marketing* e delle *strutture* funzionali all'attività ricreativa senza aumentare la *qualità ambientale* (o la sua manutenzione) in modo proporzionale. In queste condizioni, si possono creare due cicli di feedback (Figura 23), disaccoppiati dalla *qualità ambientale*, che possono destabilizzare il sistema: diminuendo (o annullando) la funzione stabilizzante del feedback tra *qualità ambientale* e *visitatori*, portando a un rapido aumento dello stress ambientale (non controllato internamente dal sistema). Una dinamica peggiore, per la durabilità della qualità ambientale, si può avere quando *investimenti* e *strutture* attraggono indefinitamente nuovi insediamenti residenziali quindi nuovi abitanti.

Figura 25: Modello C2-3 (sinistra) e modello C2-4 (destra) con feedback potenzialmente indipendenti dalla qualità ambientale.

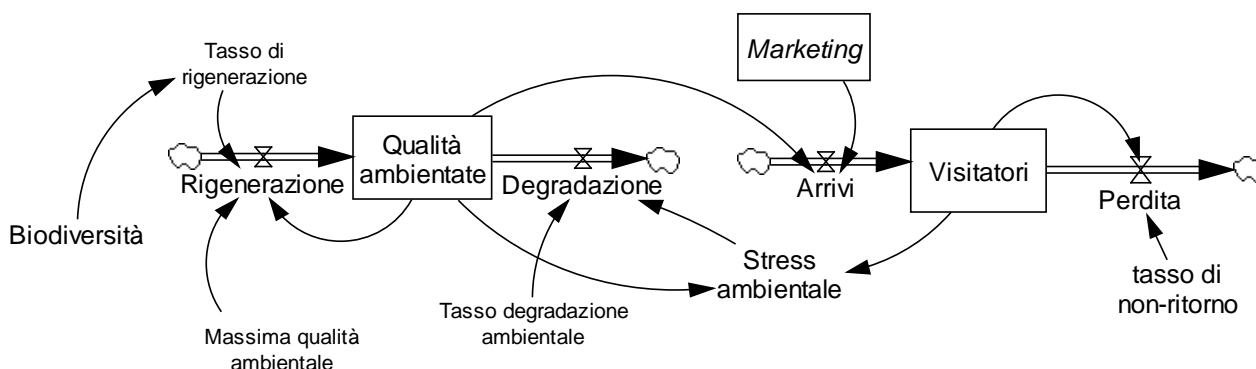


Considerando queste dinamiche si possono distinguere diversi tipi di sistema socio-ecologico (Resilience Alliance, 2008), in cui variabili ecologiche e antropiche sono interdipendenti, come i seguenti richiamati nella Tabella 1.

Tabella 1. Tre modelli per il servizio ricreativo, con complessità crescente secondo diversi tipi di sistema socio-ecologico.

Modello	Tipo di sistema	Variabili chiave	Variabili gestionali
<b>C2-1</b>	Aree remote a ridotta presenza antropica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualità ambientale</li> <li>• Visitatori</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marketing</li> </ul>
<b>C2-2</b>	Aree naturali con possibilità di miglioramento ambientale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualità ambientale</li> <li>• Visitatori</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marketing</li> <li>• Investimenti in qualità ambientale</li> </ul>
<b>C2-3</b>	Aree con possibile sviluppo di infrastrutture	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualità ambientale</li> <li>• Visitatori</li> <li>• Infrastrutture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marketing</li> <li>• Investimenti in qualità ambientale</li> <li>• Attrattività ("artificiale")</li> </ul>

## 9.1 Modello C2-1



### Equazioni del modello C2-1:

7.1	Qualità ambientale = INTEG(+Rigenerazione-Degradazione, 1) <i>Livello di qualità ambientale, tra 0 e 1, con valore iniziale 1</i>	[qualità]
7.2	Tasso di rigenerazione = RANDOM NORMAL(0.5, Biodiversità, Biodiversità, 0.2, 222) <i>Numero pseudo-casuale con distribuzione "centrata" sul livello di biodiversità (minimo 0.5)</i>	[1/anno]
7.3	Rigenerazione = Tasso di rigenerazione * Qualità ambientale * (1-Qualità ambientale/Massima qualità ambientale) <i>valore limitato da Massima qualità ambientale</i>	[qualità/anno]
7.4	Massima qualità ambientale = 1 <i>Associato al massimo livello di biodiversità locale attesa (100% di specie locali attese presenti)</i>	[qualità]
7.5	Biodiversità = 0.8 <i>Livello di biodiversità inizialmente posto al di sotto della massima biodiversità locale attesa</i>	[Dmnl]
7.6	Degradazione = Tasso degradazione * Stress ambientale <i>Il livello di qualità perso ogni anno a causa di Stress ambientale e Tasso di degradazione</i>	[qualità/anno]
7.7	Tasso degradazione = 0.1 <i>Livello di qualità ambientale perso ogni visitatore annuo (o multiplo)</i>	[1/(visitatori*anno)]
7.8	Stress ambientale=Visitatori*Qualità ambientale <i>Funzione sia del numero di visitatori sia del livello qualità</i>	[qualità* visitatori]
7.9	Visitatori = INTEG (+Aumento-Perdita, 0)	[visitatori]

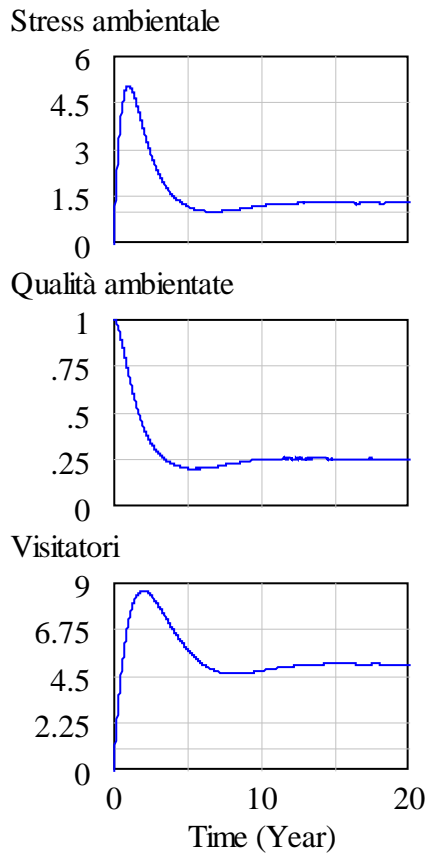
	<i>Valore iniziale 0, ma eventualmente scalabile con dati reali</i>	
7.10	Arrivi = Marketing * Qualità ambientale <i>Marketing e qualità ambientale attraggono nuovi visitatori</i>	[visitatori/anno]
7.11	Perdita = Visitatori * tasso di non-ritorno	[visitatori/anno]
7.12	Tasso di non-ritorno = 0.5 <i>Equivale a dire che il 50% dei visitatori non ritorna un secondo anno o non lo raccomanda agli amici</i>	[1/anno]
7.13	Marketing = 10 <i>equivale ad affermare che: il marketing "attira" ogni anno 10 nuovi visitatori in funzione del livello di qualità ambientale</i>	[visitatori/(qualità*anno)]

Nel modello alcune variabili sono definite in termini qualitativi, come nei precedenti modelli, di cui importa il significato più che il valore in sé. La definizione di *stress ambientale* in funzione di *visitatori* e di *qualità ambientale* indica che l'impatto dei visitatori (a parità di numero) dipende dal livello di qualità ambientale, in altre parole, lo stress ambientale dello stesso visitatore è maggiore se entra in un sito con la massima qualità ambientale rispetto a un sito già degradato. Il numero di visitatori è posto inizialmente a 0 e oscilla intorno a un livello di equilibrio dipendente dal successo del marketing e dalla qualità ambientale, realizzando il circuito di feedback negativo (stabilizzante) di Figura 22. In termini assoluti questi non sono numeri realistici, ma si ricorda che i) le variabili sono scalabili con dati reali, ii) una volta calibrate, in genere, non cambia la dinamica tra loro.

### **Considerazioni utili dal modello C2-1**

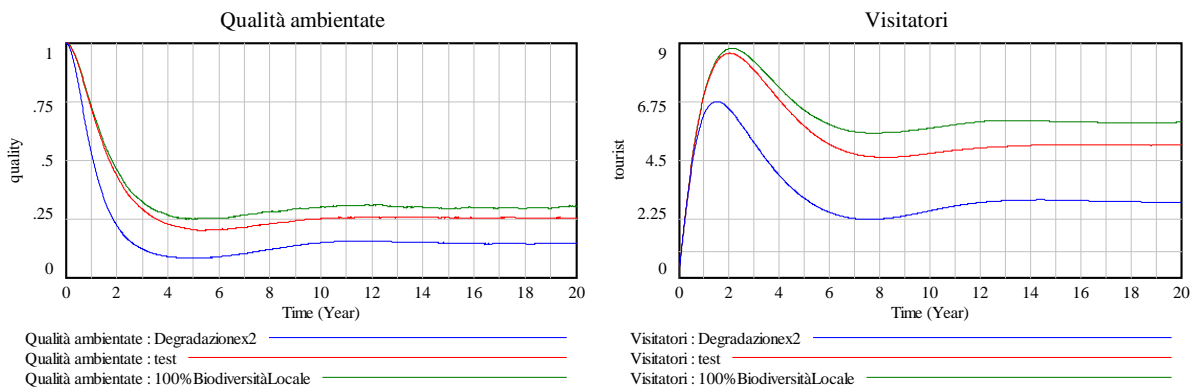
In base al circuito di feedback negativo tra le variabili chiave, il sistema si stabilizza intorno ad un valore inferiore di qualità ambientale e un numero di visitatori "sostenibile", dipendente dal tasso di rigenerazione e degradazione ambientale.

Figura 26: Dinamica delle principali variabili, in un sistema all'equilibrio (modello C2-1).



A un raddoppio del tasso di degradazione, *qualità ambientale* e *visitatori* giungono a valori di equilibrio quasi dimezzati rispetto alle condizioni iniziali (linea blue e linea rossa in Figura 25). Analogamente, nell'ipotesi di un aumento del 20% del tasso di rigenerazione (nel modello, equivalente alla massima biodiversità locale o 100% delle specie locali attese) i valori di equilibrio crescono proporzionalmente (linea verde).

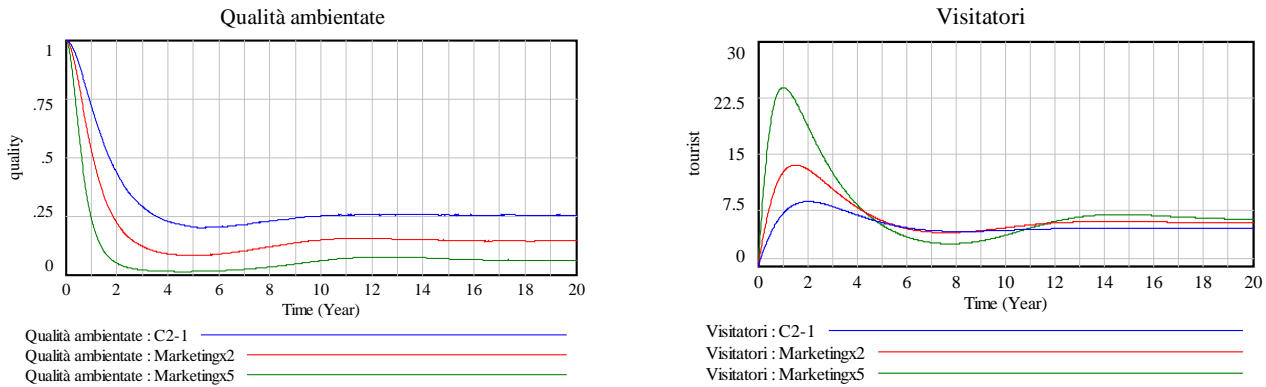
Figura 27: Dinamica di Qualità ambientale e Visitatori in scenari con diverso tasso di rigenerazione (100% Biodiversità) o degradazione (0.2).



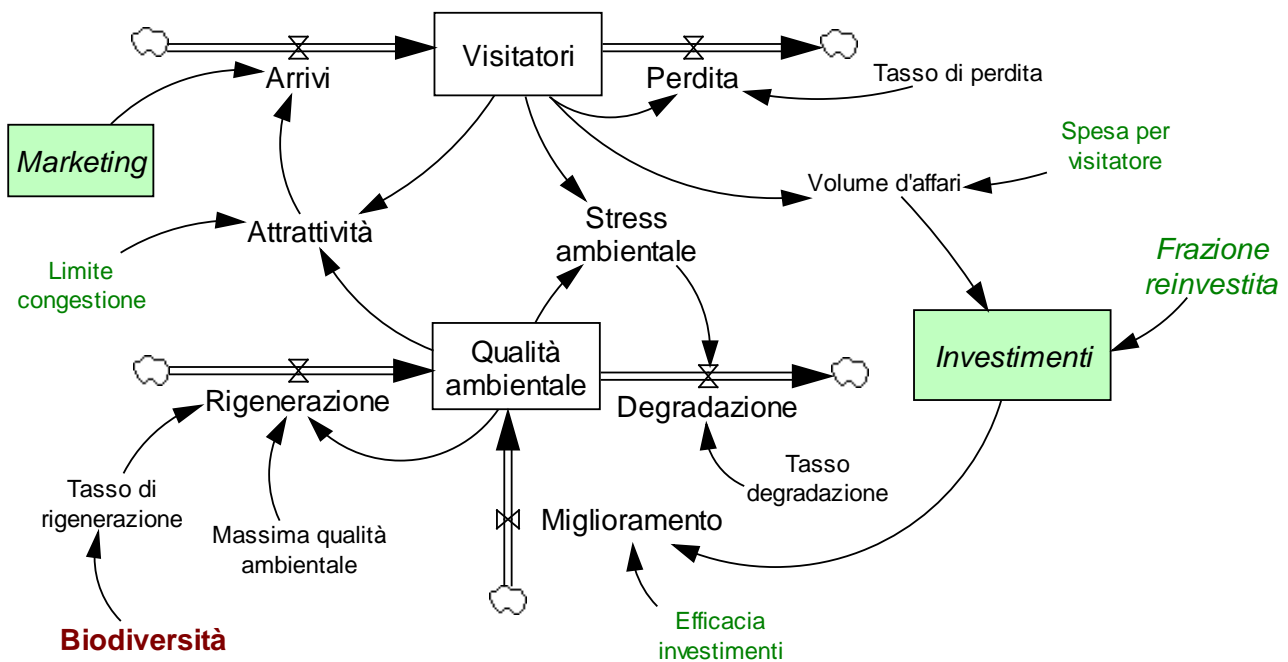
La dinamica della qualità ambientale e del numero di visitatori cambia anche in funzione delle variabili più gestionali. Al raddoppio del marketing (es. campagna pubblicitaria) diminuisce la qualità ambientale (di circa

50%), ma il numero di visitatori non aumenta proporzionalmente, anzi, dopo una più ampia oscillazione i valori si assestano a livelli analoghi del modello di partenza.

Figura 28: Dinamica di Qualità ambientale e Visitatori in scenari con diversi livelli di marketing (x2 e x5).



## 9.2 Modello C2-2



### Equazioni del modello C2-2:

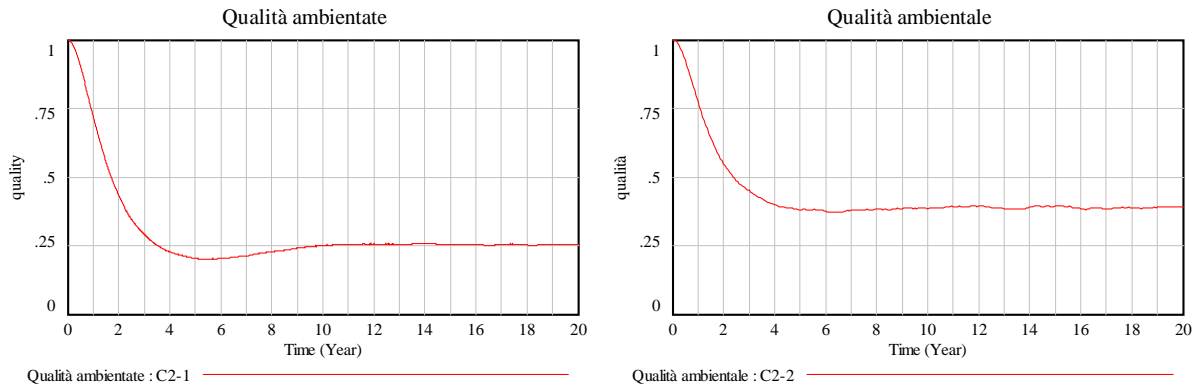
8.1	Qualità ambientale = INTEG(+Rigenerazione-Degradazione, 1) <i>Livello di qualità ambientale, tra 0 e 1, con valore iniziale 1</i>	[qualità]
8.2	Degradazione = Tasso degradazione * Stress ambientale <i>Il livello di qualità perso ogni anno a causa di Stress ambientale e Tasso di degradazione</i>	[qualità/anno]
8.3	Rigenerazione = Tasso di rigenerazione * Qualità ambientale * (1-Qualità ambientale/Massima qualità ambientale) <i>Analogo ai precedenti modelli, valore limitato da Massima qualità ambientale</i>	[qualità/anno]

8.4	Tasso di rigenerazione = $\text{RANDOM NORMAL}(0.5, \text{Biodiversità}, \text{Biodiversità}, 0.2, 222)$ <i>Numero pseudo-casuale con distribuzione "centrata" sul livello di biodiversità (minimo 0.5)</i>	[1/anno]
8.5	Massima qualità ambientale = 1 <i>Associato al massimo livello di biodiversità locale attesa (100% di specie locali attese presenti)</i>	[qualità]
8.6	Biodiversità = 0.8 <i>Livello di biodiversità inizialmente posto al di sotto della massima biodiversità locale attesa</i>	[Dmnl]
8.7	Tasso degradazione = 0.1 <i>Livello di qualità ambientale perso ogni visitatore annuo (o multiplo)</i>	[1/(visitatori*anno)]
8.8	Miglioramento= Investimenti * Efficacia investimenti	[1/anno]
8.9	Efficacia investimenti = 1 <i>Incremento livello di qualità per ogni € investito nell'anno</i>	[qualità / (€*anno)]
8.10	Investimenti = Volume d'affari*Frazione reinvestita <i>Investimenti dedicati al miglioramento della qualità ambientale</i>	[€]
8.11	Frazione reinvestita = 0.1 <i>Frazione del fatturato reinvestito in miglioramenti ambientali, valore iniziale 10%</i>	[Dmnl]
8.12	Stress ambientale = Visitatori * Qualità ambientale <i>Funzione sia del numero di visitatori sia del livello qualità</i>	[qualità* visitatori]
8.13	Volume d'affari = Visitatori * Spesa per visitatore	[€]
8.14	Spesa per visitatore = 1 <i>spesa media per ogni visitatore, valore iniziale fittizio di 1€</i>	[€/visitatore]
8.15	Visitatori = INTEG (+Aumento-Perdita, 0) <i>Valore iniziale 0, ma eventualmente scalabile con dati reali</i>	[visitatori]
8.16	Perdita = Tasso di perdita visitatori * Visitatori	[visitatori/anno]
8.17	Arrivi = Marketing * Qualità ambientale <i>Marketing e qualità ambientale attraggono nuovi visitatori</i>	[visitatori/anno]
8.18	Marketing = 10 <i>equivale ad affermare che: il marketing "attira" ogni anno 10 nuovi visitatori in funzione del livello di qualità ambientale</i>	[visitatori/(qualità* anno)]
8.19	Tasso di non-ritorno = 0.5 <i>Equivale a dire che il 50% dei visitatori non ritorna un secondo anno o non lo raccomanda agli amici Ogni anno si perde un visitatore</i>	[1/anno]
8.20	Attrattività = Qualità ambientale * (1-Visitatori/Limite di congestione) <i>L'attrattività è funzione della qualità ambientale ma influenzata anche dal numero di visitatori e dall'effetto congestione di questi</i>	[qualità]
8.21	Limite congestione = 20 <i>Massimo numero di visitatori tollerato dal singolo visitatore</i>	[visitatori]

In questo modello si considerano gli *investimenti* in qualità ambientale (es. manutenzione, ripristino ambientale o compensazione degli impatti turistici), generati dal reinvestimento di parte dei ricavi ottenuti dalle spese dei turisti/visitatori nel sito. Un ulteriore nuovo elemento rispetto al precedente modello è la variabile *attrattività*, dipendente dalla qualità ambientale e limitata dal numero di visitatori secondo una soglia di *congestione* (numero di altri visitatori tollerati dal singolo visitatore). Anche in questo caso i valori sono puramente fittizi, andrebbero integrati e calibrati con indagini sul campo.



Figura 29: Dinamica della qualità ambientale nel modello C2-2 rispetto al precedente C2-1.

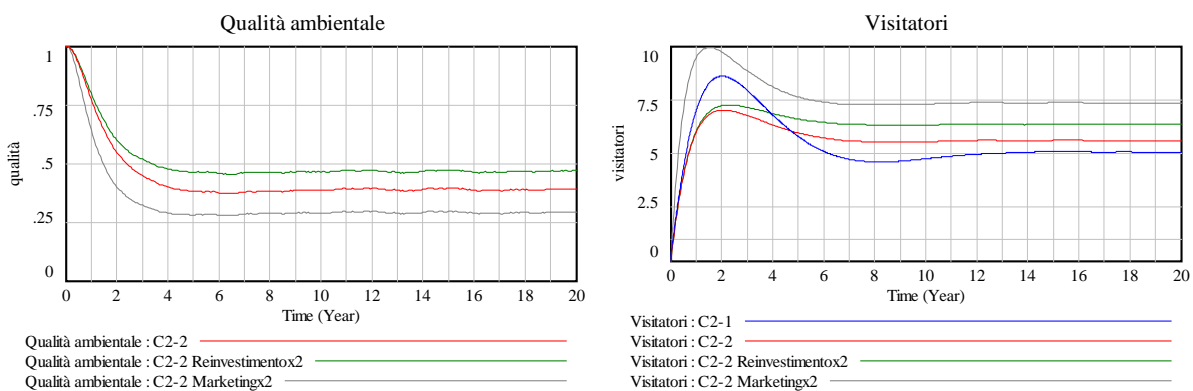


### Considerazioni utili dal modello C2-2

Gli investimenti in ambiente parzialmente compensano l’impatto negativo dei visitatori sulla qualità ambientale. Come mostrato in Figura 27, questa variabile raggiunge un equilibrio più alto che nel modello precedente (C2-1).

Analogamente a sopra, è interessante simulare scenari in cui s’ipotizzano modifiche nelle variabili gestionali. Ad esempio, se si raddoppia lo sforzo di marketing la qualità ambientale decresce (Figura 24), ma a differenza del precedente modello, qui la diminuzione è minore (Figura 22), perché compensata dai miglioramenti indotti dai maggiori investimenti (conseguenti al maggior numero di visitatori). Un altro elemento interessante è la relazione tra qualità ambientale e frazione reinvestita, si osserva che oltre un certo tasso di investimento la qualità ambientale può addirittura superare quella iniziale.

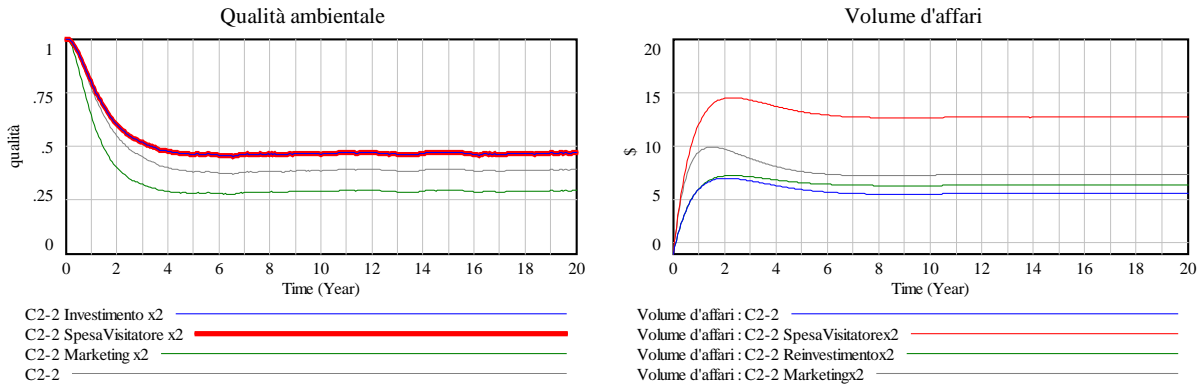
Figura 30: Dinamiche della qualità ambientale e del numero di visitatori nel Modello C2-2, al variare del marketing e del tasso di reinvestimento.



Questo modello include diverse variabili (spesa per visitatore, frazione reinvestita, marketing) che possono orientare le strategie di gestione e/o di sviluppo locale. Considerando possibili interventi su investimenti, spesa per il visitatore e marketing, il modello presentato permette di rispondere a domande del tipo: quale strategia aumenta il volume di affare di più e a quale prezzo per la qualità ambientale?

Nel modello C2-2, la strategia migliore appare quella di aumentare la spesa per visitatore: aumenta la qualità ambientale (con un impatto identico a quello derivato dall'opzione di raddoppiare il tasso di re-investimento dei ricavi) e aumentano i ricavi (a patto di mantenere le altre variabili invariate, es. il tasso di re-investimento in qualità ambientale).

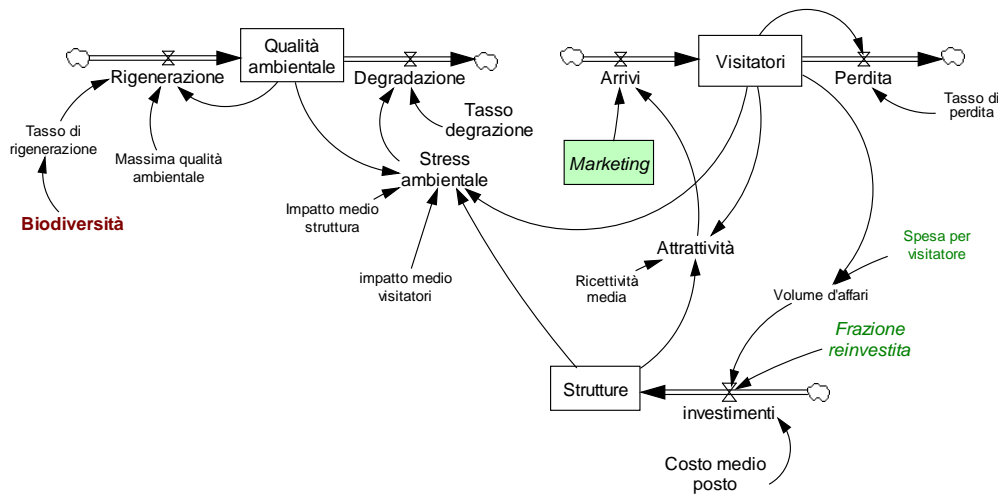
Figura 31: Possibili conseguenze su qualità ambientale e volume d'affari delle opzioni: raddoppio tasso di re-investimento dei ricavi, raddoppio spese per visitatore, raddoppio del marketing, rispetto al modello C2-2 di base.



### 9.3 Modello C2-3

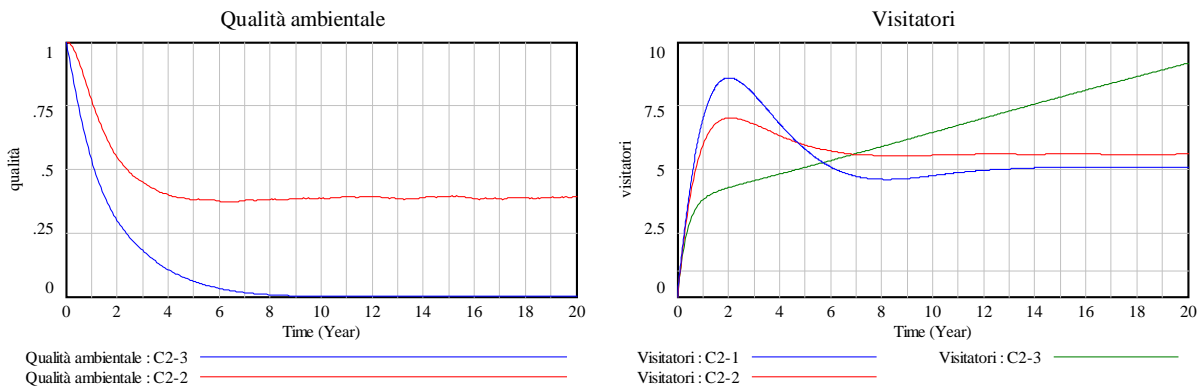
Come accennato sopra, in alcuni situazioni può verificarsi che il numero di visitatori sia funzione solo di interventi esterni, ad esempio investimenti sull'attrattività e azioni di marketing che diventa attrattività "costruita" in sostituzione di quella "naturale". Quando si verifica questo disaccoppiamento tra *visitatori* e *qualità ambientale* il sistema tende inesorabilmente ad erodere la qualità ambientale. La dinamica della qualità ambientale si può aggravare se allo stress ambientale dovuto al numero di visitatori e di strutture si aggiunge quello di una popolazione locale crescente (es. motivato da posti di lavoro). Di seguito si mostra un modello di sistema senza la variabile popolazione, poiché le dinamiche sono analoghe.

Figura 32: Modello C2-3, le variabili *strutture* e *visitatori* sono connesse da un feedback positivo e non influenzati dalla *qualità ambientale*.



Nel modello C2-3 si considera la variabile *strutture*, definita in termini di numero di visitatori equivalenti o posti letto o di spazi ricreativi attrezzati per visitatore. La variabile *attrattività* è semplificata come numero di posti liberi (differenza tra quelli disponibili e numero di visitatori), assumendo che un numero maggiore di spazi liberi sia maggiormente attrattivo. Tale assunzione è rafforzata dal fatto che un numero maggiore di posti/servizi liberi corrisponde facilmente ad un numero relativamente maggiore di fornitori di posti/servizi e/o un maggior sforzo di marketing per aumentare la *attrattività* (e per vendere i posti liberi). Ciascun visitatore e ciascuna struttura determina un proprio impatto specifico che si somma nel generare lo *stress ambientale*. Dalla simulazione si può vedere come le *strutture* possono crescere indefinitamente fino ad azzerare la *qualità ambientale*.

Figura 33: Dinamica del servizio ricreativo con variabile *visitatori* non collegata alla *qualità ambientale*.



### Considerazioni utili dal modello C2-3

La struttura del modello rende evidente le possibili dinamiche tra le variabili in gioco. Nel caso specifico il modello C2-3 mostra una dinamica non sostenibile della fruizione ricreativa, quando questa non è legata ad investimenti per il mantenimento e/o miglioramento ambientale, in altre parole, in assenza di un feedback negativo che stabilizzi il sistema.

In generale, alcuni di feedback di sistema non possono essere totalmente controllati (es. effetto congestione, vedi modello C2-2), altri sono questioni principalmente gestionali, come gli investimenti in manutenzione ambientale; entrambi dovrebbero essere almeno considerati ed eventualmente verificati a livello di sito per impostare politiche efficaci di gestione sostenibile. Sebbene la maggior parte di queste dinamiche siano intuibili e largamente conosciute, la schematizzazione e gli scenari semi-quantitativi offerta dall'approccio alla dinamica dei sistemi offrono informazioni rilevanti e relativamente semplici per una progettazione condivisa con gli stakeholder e i vari attori del settore turistico.

## 10 Bibliografia

- Batker, D., de la Torre, I., Costanza, R., Swedeen, P., Day, J., Boumans, R., & Bagstad, K. (2010). *Gaining Ground*. Tacoma, WA: Earth Economics. Retrieved from [http://www.eartheconomics.org/FileLibrary/file/Reports/Louisiana/Earth\\_Economics\\_Report\\_on\\_the\\_Mississippi\\_River\\_Delta\\_compressed.pdf](http://www.eartheconomics.org/FileLibrary/file/Reports/Louisiana/Earth_Economics_Report_on_the_Mississippi_River_Delta_compressed.pdf)
- Costanza, R., Leemans, R., Boumans, R., & Gaddis, E. (2007). Integrated global models. In R. Costanza, L. J. Graumlich, & W. Steffen (Eds.), *Sustainability or collapse? An integrated history and future of people on earth* (pp. 417–446). Cambridge, MA: MIT Press.
- Costanza, R., & Voinov, A. (2001). Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III. *Ecological Modelling*, 143(1-2), 1–7.
- Forrester, J. W. (1994). *Learning through system dynamics as preparation for the 21st century*. Presented at the Systems Thinking and Dynamic Modelling Conference for K-12 Education, Concord, MA, USA. Retrieved from <http://web.mit.edu/sysdyn/sd-intro/D-4434-1.pdf>
- Pruyt, E. (2013). *Small System Dynamics Models for Big Issues: Triple Jump towards Real-World Complexity*. Delft, The Netherlands: TU Delft Library.
- Resilience Alliance. (2008). *Social-ecological systems*. Retrieved from [http://wiki.resalliance.org/index.php/Social-ecological\\_systems](http://wiki.resalliance.org/index.php/Social-ecological_systems)
- Senge, P. (1990). *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization*. London: Doubleday Currency.
- Verboom, J., Foppen, R., Chardon, P., Opdam, P., & Luttikhuisen, P. (2001). Standards for persistent habitat networks for vertebrate populations: the key patch approach. An example for marshland bird populations. *Biological Conservation*, 100, 89–101.