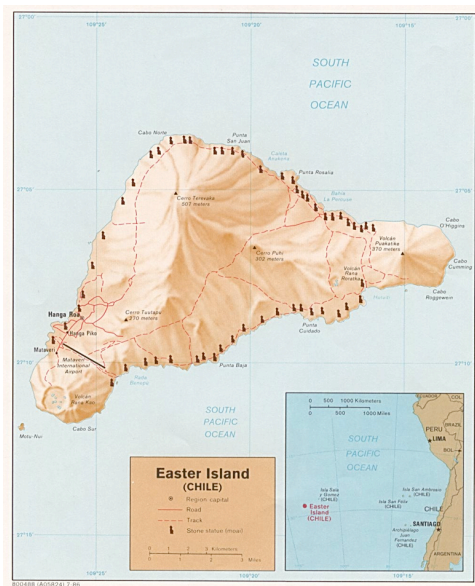


Modellistica ambientale  
a.a. 2009/10  
Popolazione e risorse: il caso dell'isola di Pasqua

«L'agricoltura è una delle due grandi arene dove viene giocato il futuro della sostenibilità del nostro vivere: l'energia e la terra. Ed è il crocevia di gravi problemi ambientali: acqua, biodiversità, fertilità della terra, deforestazione.»

(Wolfgang Sachs, intervista a *il manifesto*, 29 aprile 2007)

# L'isola di Pasqua (1)



S00488 (A05824) 2/86

## L'isola di Pasqua (2)

Pasqua è un'isola vulcanica di forma triangolare, originatasi a partire da tre vulcani emersi dal mare. Ha una estensione di **171 chilometri quadrati** ed una altitudine massima di **509 metri**.

Collocata in zona subtropicale ad una latitudine di **27° sud**, ha un clima temperato, ed un suolo fertile per la sua origine vulcanica. Tuttavia è più fredda di gran parte della Polinesia, per cui alcune culture tropicali polinesiane vi crescono a stento. Inoltre il mare circostante è troppo freddo per lo sviluppo di barriere coralline e quindi anche povera di pesci e crostacei.

Pasqua è anche un luogo molto ventoso, il che ad esempio fa cadere i frutti dell'albero del pane prima che arrivino a maturazione. La **piovosità di 1270 millimetri all'anno** è esigua per la Polinesia; la pioggia filtra velocemente nel poroso suolo vulcanico, e di conseguenza le riserve di acqua dolce sono scarse.

# L'isola di Pasqua (3)

L'isola fu colonizzata da un gruppo proveniente dalla Polinesia su canoe. Vennero con semi ed animali. La datazione più probabile per il primo insediamento è quella del **900 d.C.**

Nel corso dei secoli la popolazione aumentò e raggiunse un significativo livello di complessità sociale e una certa floridezza. La popolazione toccò i **16.000** individui.

Si trattava di una società complessa articolata in **11-12 clan**, stratificata in classi. Ciascun clan aveva la sua casta dominante. C'era competizione fra i clan, ma anche un certo grado di integrazione religiosa ed economica. C'era anche un sommo capo. I capi dei clan rivaleggiavano tra loro nel commissionare statue sempre più grandi.

La costruzione delle statue e delle piattaforme dove venivano collocate comportava la necessità sfamare una grande quantità di individui.

# I *Moai* dell'isola di Pasqua

Ci sono oltre **887** statue, più della metà delle quali o ancora incomplete o abbandonate prima di essere state collocate. Sono state costruite presumibilmente **fra il 1000 ed il 1600**.



# La "scoperta" dell'isola di Pasqua (1)

Il giorno di Pasqua del 1722, il 5 aprile, l'esploratore olandese Jacob Roggeveen avvistò l'isola che battezzò Isola di Pasqua. L'isola gli apparve come una terra desolata senza neanche un albero o un arbusto che superasse i **3 metri**.

La popolazione, al momento, era di poche migliaia di persone (**circa 3000**), con guerre fra clan e forme di cannibalismo.

L'agricoltura era povera: patate dolci, igname, taro, banane e canna da zucchero. I polli erano gli unici animali domestici. La pesca era molto limitata: gli isolani disponevano solamente di piccole canoe, non più lunghe di 3 metri, capaci di portare uno o due persone, fatte con piccole assi tenute insieme con legature fatte con fibre e non a tenuta d'acqua.

Ci sono i resti di una popolazione molto più numerosa e di una società fiorente e complessa.

## La "scoperta" dell'isola di Pasqua (2)

Dalle informazioni ricavate dai reperti archeologici sembra che la popolazione, dai pochi individui arrivati dalla Polinesia nel 900, fosse cresciuta fino ad arrivare ad oltre 16.000 unità intorno al 1500.

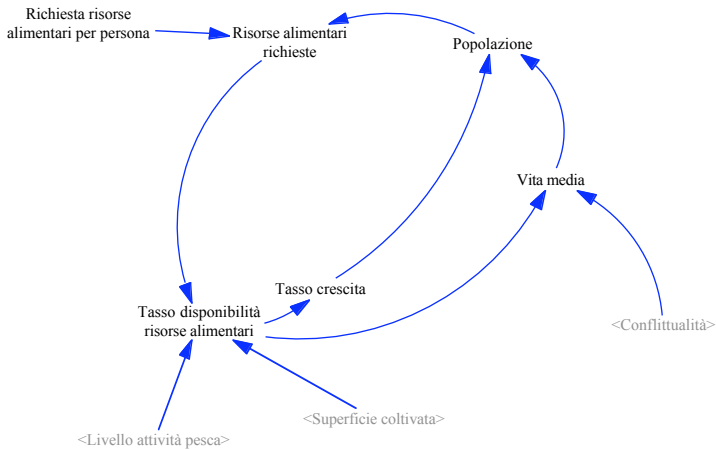
Come è possibile che nel 1700 la popolazione fosse scesa sotto le 3.000 ?

Come è possibile che un'isola che era stata in grado di mantenere una società numerosa e ricca, ora riuscisse a stento a fare sopravvivere poche migliaia di persone?

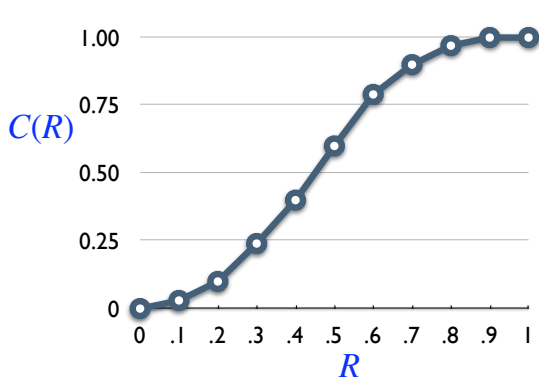
Cosa ha portato gli abitanti ad uno stato di permanente conflitto?



# Il sottosistema della popolazione



# Funzione di Natalità



| $R$ | $C(R)$ |
|-----|--------|
| 0   | 0      |
| 0.1 | 0.03   |
| 0.2 | 0.1    |
| 0.3 | 0.24   |
| 0.4 | 0.4    |
| 0.5 | 0.6    |
| 0.6 | 0.79   |
| 0.7 | 0.9    |
| 0.8 | 0.97   |
| 0.9 | 1      |
| 1   | 1      |

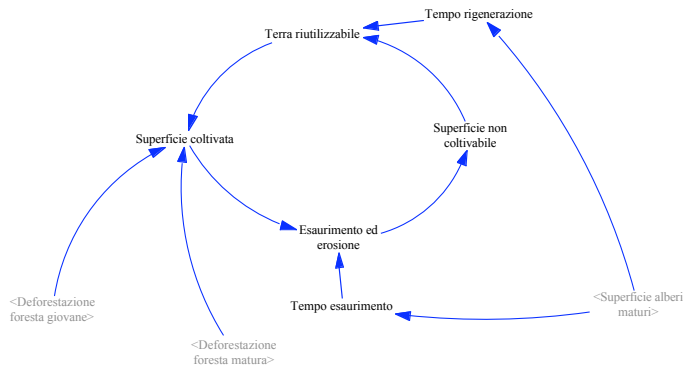
Tasso natalità =  $C(R)$  × tasso Natalità Teorico

$R$  = Frazione delle risorse necessarie disponibili

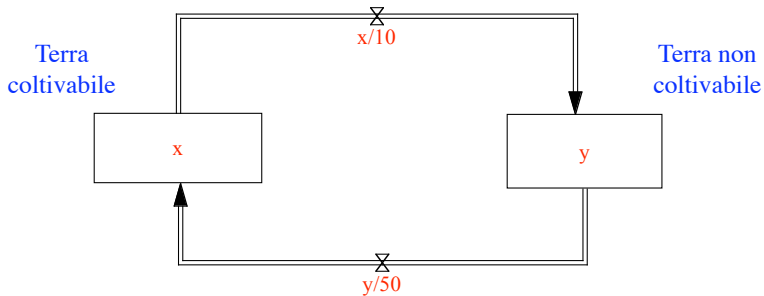
- Produzione agricola (per l'alimentazione degli esseri umani e degli animali)
- Animali domestici (polli) e selvatici (uccelli)
- Pesca
- Legname (riscaldamento, abitazioni, barche, costruzione e trasporto dei Moai)

Per semplicità, considereremo solo la produzione agricola espressa in superficie coltivabile

# Sottosistema delle risorse agricole



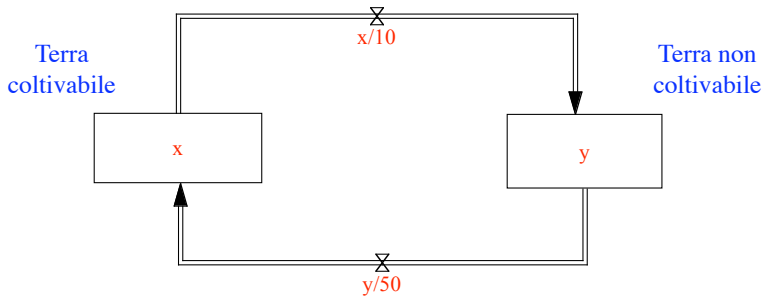
# Erosione e rigenerazione della fertilità della terra



Tempo di erosione: 10 anni

Tempo di rigenerazione: 50 anni

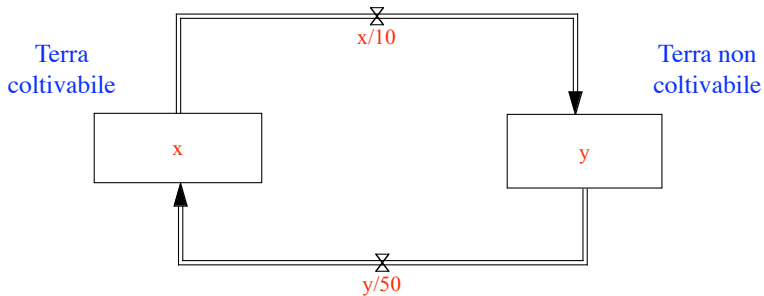
# Erosione e rigenerazione della fertilità della terra



Tempo di erosione: 10 anni  
Tempo di rigenerazione: 50 anni

$\Rightarrow$  Equilibrio:  $x/10=y/50$   
cioè  $x=y/5$

# Erosione e rigenerazione della fertilità della terra



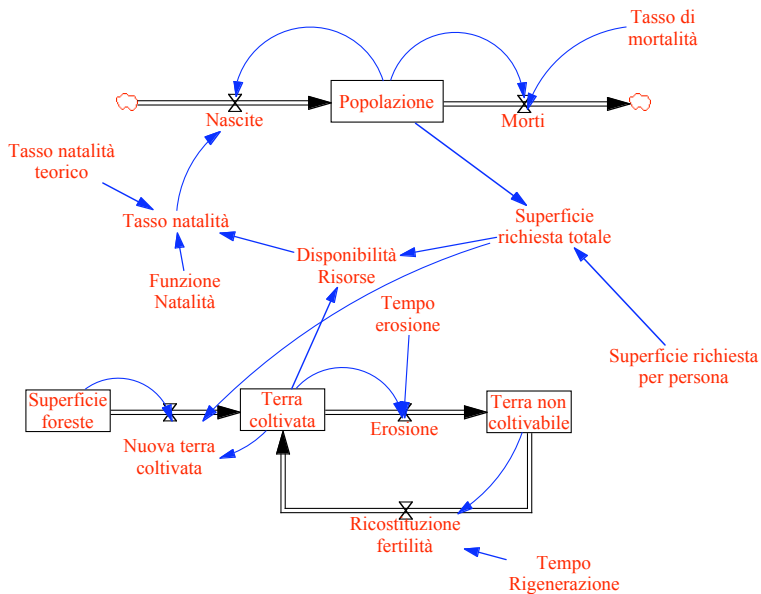
Tempo di erosione: 10 anni

Tempo di rigenerazione: 50 anni

⇒ Equilibrio:  $x/10=y/50$   
cioè  $x=y/5$

$$\begin{cases} x + y = T \\ x - y/5 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = (1/6)T \\ y = (5/6)T \end{cases}$$

# Un possibile modello





- La presenza di alberi riduce il fenomeno dell'erosione dei terreni, cioè aumenta il tempo di erosione.
- Disboscare per ottenere più terra coltivabile oltre un certo punto provoca l'effetto contrario: la terra utilizzabile per l'agricoltura diminuisce a causa dell'erosione.

# Le variabili e le equazioni

- $x$  : superficie agricola coltivabile
- $y$  : superficie agricola non coltivabile
- $z$  : superficie a foresta
- $T$  : superficie totale
- $E(z)$  : tempo di erosione
- $R$  : tempo di rigenerazione della fertilità

$$x + y + z = T$$

$$\frac{x}{E(z)} = \frac{y}{R}$$

$$E(z) = \alpha + \gamma z$$

# Le variabili e le equazioni

- $x$  : superficie agricola coltivabile
- $y$  : superficie agricola non coltivabile
- $z$  : superficie a foresta
- $T$  : superficie totale
- $E(z)$  : tempo di erosione
- $R$  : tempo di rigenerazione della fertilità

$$x + y + z = T$$

$$\frac{x}{E(z)} = \frac{y}{R}$$

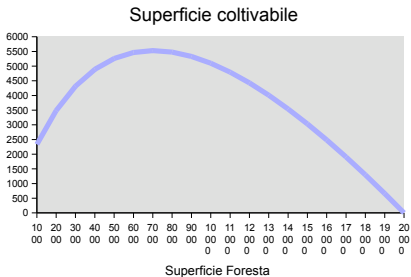
$$E(z) = \alpha + \gamma z$$

$$x = \frac{E(z)}{R} y = \frac{\alpha + \gamma z}{R} (T - x - z)$$

$$x = \frac{\alpha T + (\gamma T - \alpha)z - \gamma z^2}{R + \alpha + \gamma z}$$

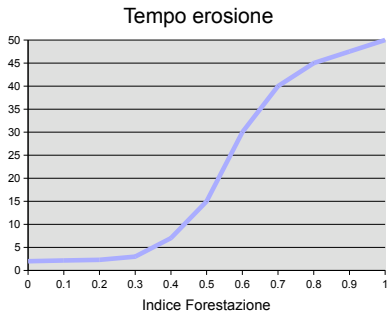
Si ipotizzano i seguenti valori dei parametri:

- $T = 20,000$
- $\alpha = 2$
- $\gamma = 0.005$
- $R = 50$

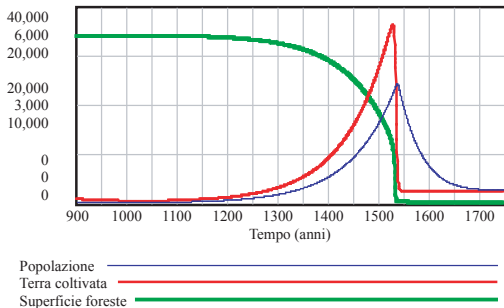


# Il tempo di erosione in funzione dell'indice di forestazione

$$\text{Indice di Forestazione} = \frac{\text{Superficie di foresta}}{\text{Superficie agricola}}$$

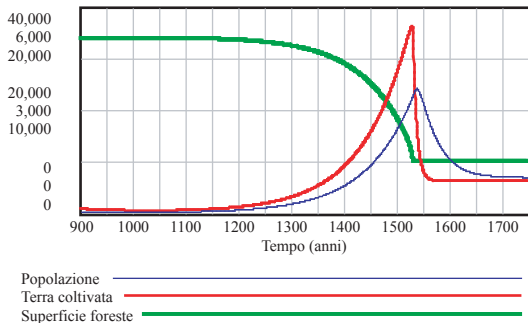


# Caso 1: la foresta viene sfruttata senza limiti



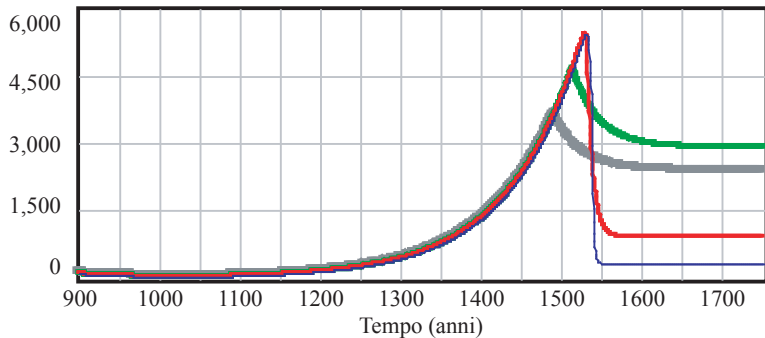
La crescita della popolazione si interrompe alla fine della prima metà del '500, quando inizia una fase di rapido declino. Nel 1750, si ha una popolazione di circa 2,600 individui, ed una estensione di terra coltivata di circa 335 ettari. L'andamento ottenuto è consistente con quello che sappiamo della popolazione dell'isola di Pasqua.

## Caso 2: si decide di mantenere a foresta 5,000 ettari di terreno



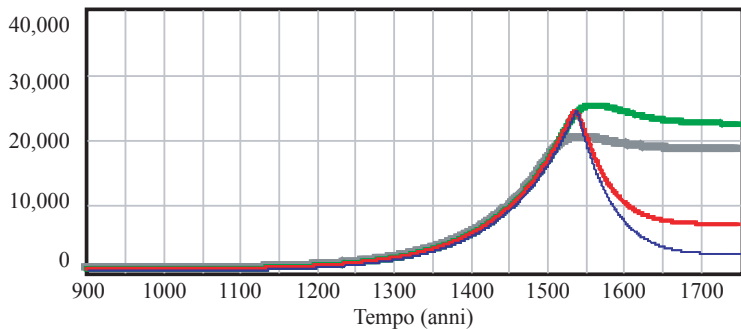
La popolazione che si ha nel 1750 è di quasi **7,000** individui, mentre la terra coltivata arriva ad essere di circa **900** ettari.

# Terra coltivabile





# Popolazione



- Nell'uso delle risorse è fondamentale tenere conto del rapporto fra tasso di utilizzo e tasso di rigenerazione.
- Se da un lato la scarsità ed il degrado ambientali possono portare a conflitti, dall'altro gli stessi conflitti sono causa di ulteriore degrado ambientale. Si tratta di un ulteriore esempio di ciclo positivo in un sistema complesso. Oltre un certo punto è lo stesso conflitto che impedisce di interrompere la distruzione delle risorse!