



# Corso Breve di Teoria del Controllo

## Piano del corso Le lezioni

**Piero Mella**

Già Professore di "Teoria del Controllo" - Università di Pavia, Italy  
[piero.mella@unipv.it](mailto:piero.mella@unipv.it) - <http://www.pieromella.it>

Aula Volta, Palazzo Centrale  
Università di Pavia - Italy

**Cite as:** Mella, P. (2023). Corso Breve di Teoria del Controllo. Lezione 4. *Economia Aziendale Online*, 14(2), 471-524.

**Economia Aziendale online** - Electronic ISSN 2038-5498 - Tribunale di Pavia, 2007, n. 685 R.S.P.



# Finalità del corso

- Dopo avere insegnato per 20 anni «Teoria del Controllo» (per aziendalisti) al Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali dell'Università di Pavia, ritengo di fare cosa utile mettere a disposizione delle **Lettrici** e dei **Lettori** di **Economia Aziendale online** il meglio del materiale didattico approntato ad hoc per le lezioni, offrendo loro l'opportunità di fruire di un **Corso Breve di Teoria del Controllo** che consentirà di esplorare l'affascinante mondo del controllo e dei sistemi che lo realizzano.
- Il **Corso Breve** si compone di **Cinque Lezioni** cui si aggiungono alcune Appendici di arricchimento.
- Gli argomenti vengono presentati in **forma non matematica**, impiegando il semplice e intuitivo **linguaggio del Systems Thinking**, così come proposto da Peter Senge, per costruire i **modelli qualitativi** che consentiranno al lettore un'immediata comprensione.
- Per dimostrare la ricchezza delle dinamiche generate dalla diverse forme di controllo, sono proposte alcune simulazioni numeriche, elaborate con Excel e impiegando solo i comandi di base

**Solo la presenza dei Sistemi di Controllo rende possibile il mondo, la vita, la società e la nostra stessa esistenza, costruendo un mondo ordinato e vivibile, erigendo barriere al disordine e dirigendo le dinamiche irregolari verso stati di equilibrio.**

**All stable processes we shall predict.**

**All unstable processes we shall control.** John von Neumann



# Piano del Corso

[potrà subire variazioni]

- **Lezione 1** - Logica, linguaggio e regole del Systems Thinking (secondo Senge)
  - **Appendice 1 A** – Le Cinque Discipline [47 dia - tempo di lettura 50 min]  
[21 dia - tempo di lettura 15 min]
  - **Appendice 1 B** – Costruire i Causal Loop Diagrams (CLD) [34 dia - tempo di lettura 60 min]
  
- **Lezione 2** – Il sistema di controllo a una leva. Struttura, Prototipi e Tipologia minima
  - **Appendice 2** – Tipologia ed esempi di sistemi di controllo a una leva, con simulazioni [44 dia - tempo di lettura 50 min]  
[38 dia - tempo di lettura 40 min]
  
- **Lezione 3** – Sistemi multi-leva e multi-obiettivo. Strategie e Politiche di controllo [54 dia - tempo di lettura 70 min]
  
- **Lezione 4** – L'ubiqua presenza dei sistemi di controllo [53 dia - tempo di lettura 60 min]
  - **Appendice 4 A** – Gli archetipi sistemici [42 dia - tempo di lettura 45 min]
  
- **Lezione 5** – Il controllo nelle/delle Organizzazioni



All stable processes we shall predict. All unstable processes we shall control (John von Neumann)

# Corso Breve di Teoria del Controllo

## Lezione 4

### L'ubiqua presenza dei sistemi di controllo

Non accontentarti di meno di quanto sei in grado di fare (Peter Senge, 1992, p. XIV).

**Piero Mella**

Già Professore di "Teoria del Controllo" - Università di Pavia, Italy  
piero.mella@unipv.it - <http://www.pieromella.it>

Cortile delle magnolie

Vol. 14-2/2023 - DOI: 10.13132/2038-5498/14.2.471-524

**Cite as:** Mella, P. (2023). Corso Breve di Teoria del Controllo. Lezione 4. L'ubiqua presenza dei sistemi di controllo. *Economia Aziendale online*, 14(2), 471-524.

**Economia Aziendale online** - Electronic ISSN 2038-5498 - Tribunale di Pavia, 2007, n. 685 R.S.P.



# Lezione 4

## Abstract e Keywords

### Abstract

Nelle precedenti Lezioni 2 e 3, è stata presentata la Teoria dei Sistemi di Controllo impiegando il linguaggio del Systems Thinking.

I Sistemi di Controllo sono ovunque, in ogni ambiente e con la loro ubiqua presenza, rendono possibile il mondo.

La Disciplina del controllo deve insegnarci a "riconoscerli", abituarci a "vederli", per poterli impiegare o dominare.

In questa Lezione 4 svolgeremo un viaggio mentale attraverso diversi "ambienti", per riconoscere in essi i Sistemi di Controllo che li caratterizzano. Senza pretesa di essere esaustivi, cercheremo di riconoscere i Sistemi di Controllo in ambiti sempre più ampi, iniziando dall'ambiente domestico e cittadino, per arrivare all'ambiente fisico e sociale. La prossima Lezione 5 sarà dedicata ai sistemi di controllo nelle Organizzazioni.

Perché la Disciplina del controllo possa essere proficua, il lettore deve sforzarsi di costruire i modelli qualitativi (anche solo verbali o grafici) dei Sistemi di Controllo che riesce ad individuare e, se possibile, di tradurli in modelli di simulazione.

In the previous Lessons 2 and 3, the Control Systems Theory was presented according to the language of Systems Thinking. Control Systems are everywhere, in every environment and with their ubiquitous presence, they make the world possible. The Control Discipline must teach us to "recognize" them, get used to "seeing" them, in order to be able to use or dominate them.

In this Lesson 4 we will carry out a mental journey through different "environments", to recognize the Control Systems that characterize them. Without pretending to be exhaustive, we will try to recognize the Control Systems in ever wider areas, starting from the domestic and city environment, to get to the physical and social environment. The next Lesson 5 will be dedicated to control systems in Organizations.

For the Discipline of control to be profitable, the reader must make an effort to build the qualitative models (even only verbal or graphic) of the Control Systems that he manages to identify and, if possible, to translate them into simulation models.

**Keywords:** Sistemi di controllo (SC) in ambiente domestico, SC in ambiente cittadino, Overhead» Control Systems, SC nel macro-ambiente esterno, Daisylandia, Controllo planetario, Global Warming, GEA: il motore del global warming, gulf stream per il controllo del global warming, Tagedie dei commons, smaltimento rifiuti, sistemi omeostatici, sistemi autopoietici, sistemi viventi, controllo posturale, sistemi teleonomici, Perceptual Control Theory, controllo popolazioni, evoluzione, SC in ambiente sociale e economico.



# Sistemi di Controllo nella vita normale

- Nel corso di una giornata qualunque si attivano numerosissimi Sistemi di Controllo che coprono ampiamente la tipologia studiata nelle precedenti Lezioni.
- **Fare un minuto di riflessione.**
- Molti Sistemi di Controllo sono automatici.
- Alcuni agiscono nella sfera fisica; altri in quella psichica.
- Vi sono sistemi **multi leva** a tantissimi sistemi **multi obiettivo**.
- **Fare un altro minuto di riflessione**
  - Notiamo che molti Sistemi di Controllo agiscono secondo una **strategia consolidata nel tempo**, che si denomina **routine**, che abbiamo appreso e memorizzato in successive ripetizioni del controllo e che guida la scelta delle leve e la loro intensità di applicazione.
  - Le **routine** trasformano un controllo **cosciente** in un controllo che sembra **automatico**.
  - Le **routines** sono utili ma, a volte, producono errori nel controllo.



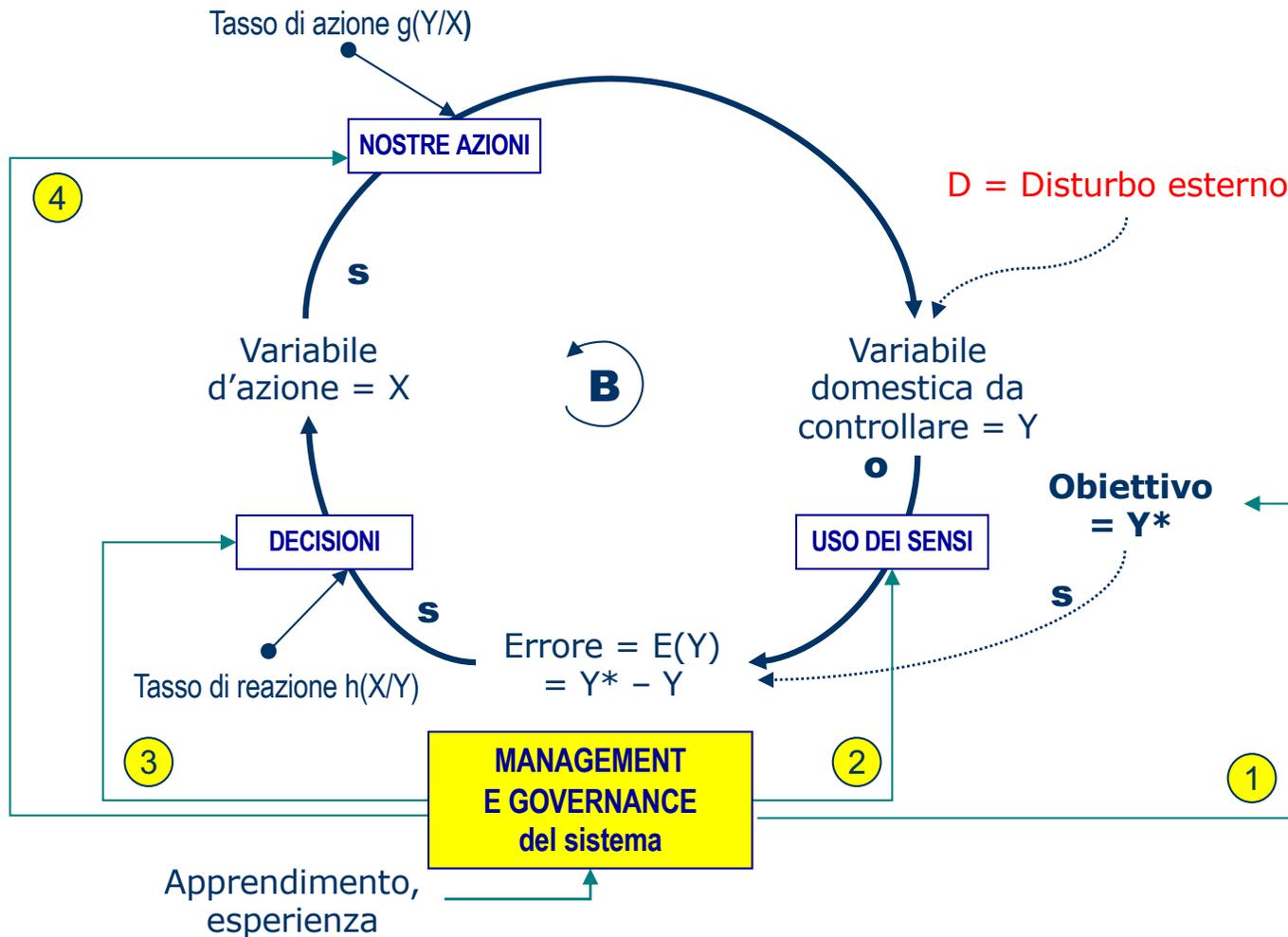
# Sistemi di Controllo

## Una giornata qualunque

- Presenterò i sistemi di controllo (SC) in alcuni momenti di una mia giornata qualunque.
  - Improvvisamente il trillo della sveglia,  $Y$  produce uno scostamento tra la quiete notturna,  $Y^*$ , e il rumore percepito come **segnale di risveglio**  $= Y^* - Y$ . Ciò mi spinge ad attivare qualche leva di controllo per farlo cessare; muovo il braccio,  $X$ , per ridurre la distanza,  $Y$ , tra la mano e l'origine del suono,  $Y^*$ , per raggiungere la sveglia, annullando la **distanza dalla sveglia**  $= Y^* - Y$ ; guidato dalle **routine** che si sono formate anno dopo anno, i sensori tattili del dito,  $X$ , «riconoscono» il pulsante di stop, così che possa premerlo perchè il trillo cessi [**segnale di risveglio**  $= 0$ ]. Grazie a questi 3 sistemi – **raggiungimento** dell'origine del suono, **riconoscimento** del **pulsante**, pressione del pulsante –, la quiete è ripristinata e il sonno è cessato.
  - Appena sveglio, proprio come una colomba che osserva dall'alto, «riconosco» la posizione delle ciabatte e i miei piedi calano rapidamente verso di esse (**Sistemi di riconoscimento e di raggiungimento, con obiettivo fisso**). Calzate le ciabatte, assumo una posizione verticale (**obiettivo dinamico**), mantenuta dal **Sistema di Controllo dell'equilibrio** (apparato vestibolare e muscolare delle gambe e della schiena), e percorro un cammino tra i mobili della stanza per arrivare fino al bagno (**tracking Control System**).
- Con me soffermo sui SC della «toilette» mattutina, della colazione e del vestirsi. Qualche considerazione sul percorso per l'ufficio.
  - La guida, come sappiamo, richiede l'attivazione di **SC multi-leva e multi-obiettivo**, oltre che di innumerevoli SC elementari, per controllare la velocità e la distanza dalla vettura che ci precede (SC a obiettivo variabile), riconoscere i segnali dei semafori e delle automobili che ci precedono, accelerare, frenare, frecce, girare il volante, osservare semafori, accelerare, frenare, frecce, sterzare, frenare improvvisamente, sterzare, arrestarsi, riprendere la marcia, frecce, girare a sinistra, riprendere la marcia, ecc. Ecco, in sintesi, come agiscono, decine e decine di volte per minuto, tutti i Sistemi di Controllo necessari per guidare l'automobile.
  - Dimenticavo: solitamente sono attivati anche i Sistemi di Controllo dello stress e dell'arrabbiatura, che sono quanto mai necessari per arrivare in ufficio in condizioni psicologiche adeguate a iniziare il lavoro: decine di persone da riconoscere, da salutare, da accompagnare e decine e decine di documenti da riconoscere, leggere, archiviare o a cui rispondere, impongono l'attivazione di molteplici SC. È facile verificare quanti SC di raggiungimento e di riconoscimento siano necessari per scrivere al computer.



# Sistemi di Controllo in ambiente domestico



I sistemi di controllo nell'ambiente domestico richiedono l'intervento dell'uomo che funge da elemento di GOVERNANCE e di MANAGEMENT.

Tali interventi possono:

- ① porre gli obiettivi;
- ② rilevare l'Errore;
- ③ decidere le leve da attivare;
- ④ fungere da effettori

Nei lavori domestici si riscontrano numerosi sistemi multi leva, sia mono che multi layer.



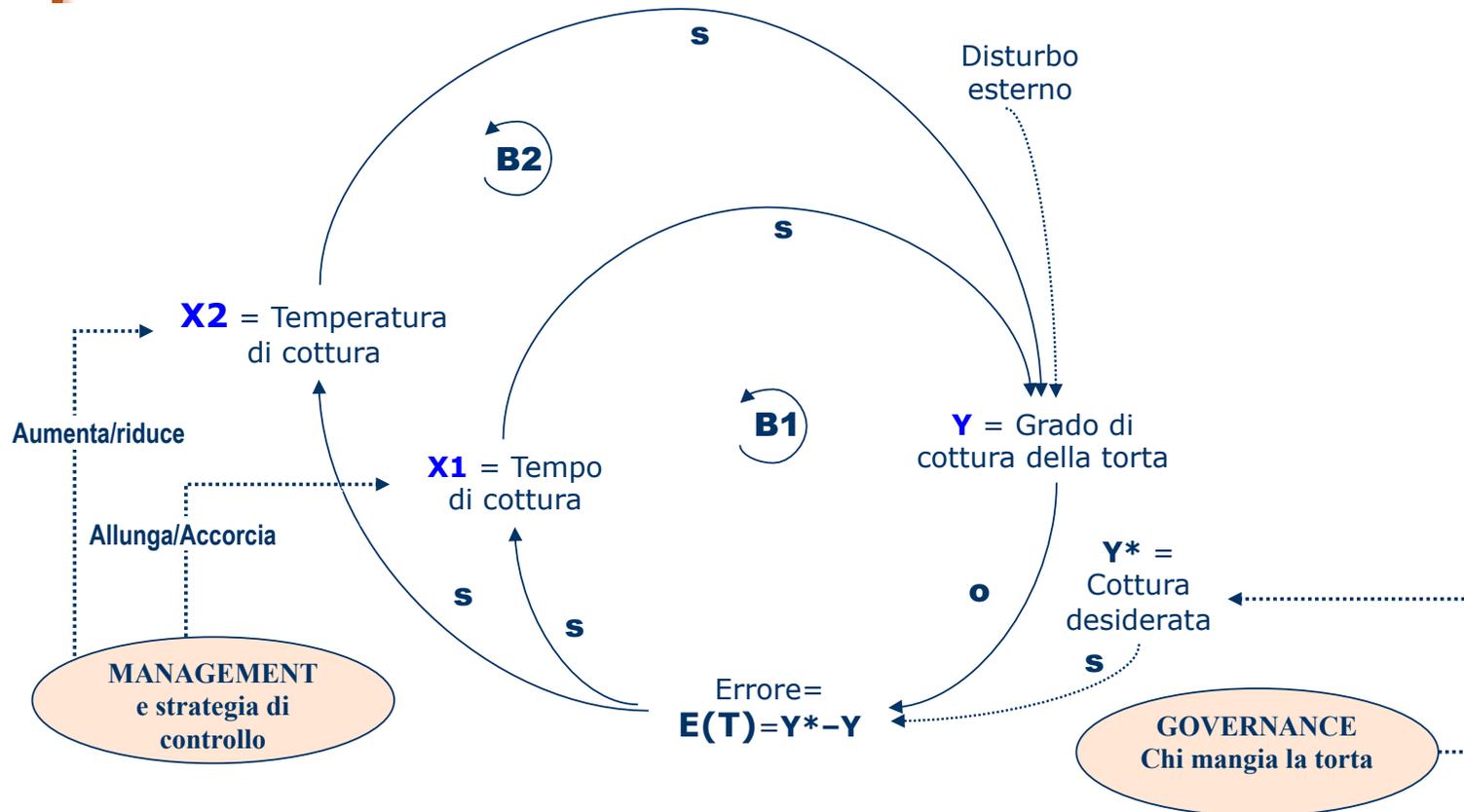
# Sistemi di Controllo in ambiente domestico

- Il modello precedente vale, o si può adattare, per:
  - elettrodomestici
  - automobili
  - impianti di casa
  - rifornimenti e consumi (sistemi per impulsi)
- **Fare un minuto di riflessione.**
- Tutti i nostri elettrodomestici sono ormai costruiti con **Sistemi di Controllo automatici**. Il frigorifero mantiene l'obiettivo di temperatura, al mutare delle condizioni interne (introduzione di un alimento caldo) ed esterne (innalzamento della temperatura della stanza). Il microonde si spegne quando raggiunge l'obiettivo di tempo che abbiamo impostato, oppure quando apriamo lo sportello.
- Il progresso dell'umanità si percepisce anche osservando il progresso degli strumenti di vita quotidiana e casalinga.



# Sistema di Controllo

## In ambiente domestico. Cuocere la torta



Il cuocere una torta richiede un «semplice» sistema di controllo a due leve indipendenti nel quale deve sempre essere  $Y \leq Y^*$ . Se  $Y > Y^*$  la torta brucia (è un cosiddetto «sistema di arresto»). Per evitare che la torta bruci, è importante, pertanto, potenziare il processo di rilevazione dell'errore, cioè del grado di cottura.

### Strategia del management

Se la  $X2$  è difficile da controllare, occorre tenere una temperatura leggermente più bassa e agire sul tempo di cottura  $X1$ .

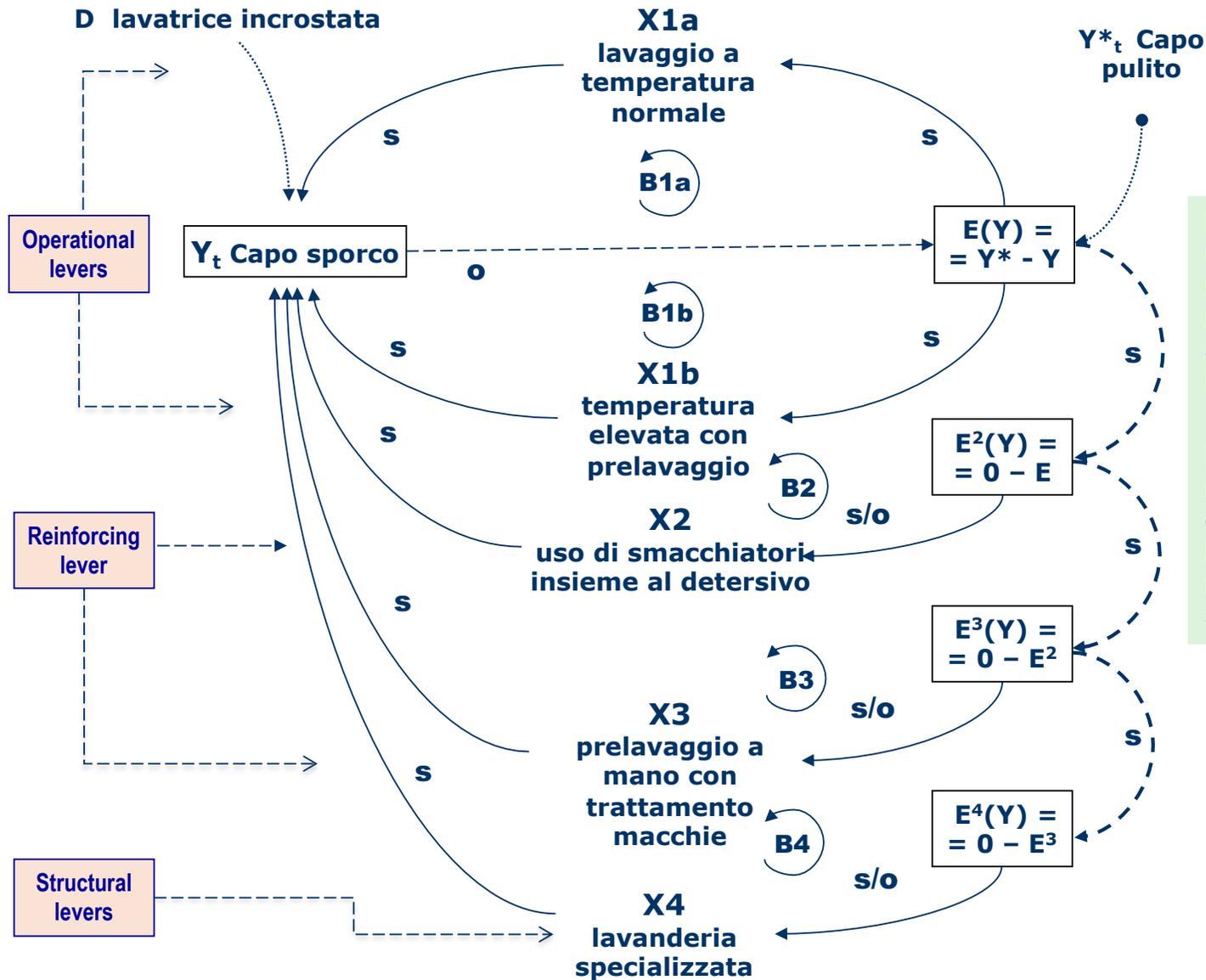
Se il tempo per la preparazione è breve, allora si deve agire sulla temperatura di cottura,  $X2$ .





# Sistema di Controllo

## In ambiente domestico. Lavaggio in lavatrice



Lavare un Capo Sporco utilizzando una lavatrice può richiedere un sistema di controllo **multi leva e a diversi livelli** analogo a quello dell'esempio indicato, di immediata lettura.

La leva **X4** è strutturale in quanto modifica la struttura del processo di lavaggio, rinunciando alla lavatrice e alle sue leve per ricorrere a una lavanderia specializzata esterna.

Il sistema proposto deve intendersi solo come esempio didattico



# Controlli nel micro ambiente esterno cittadino

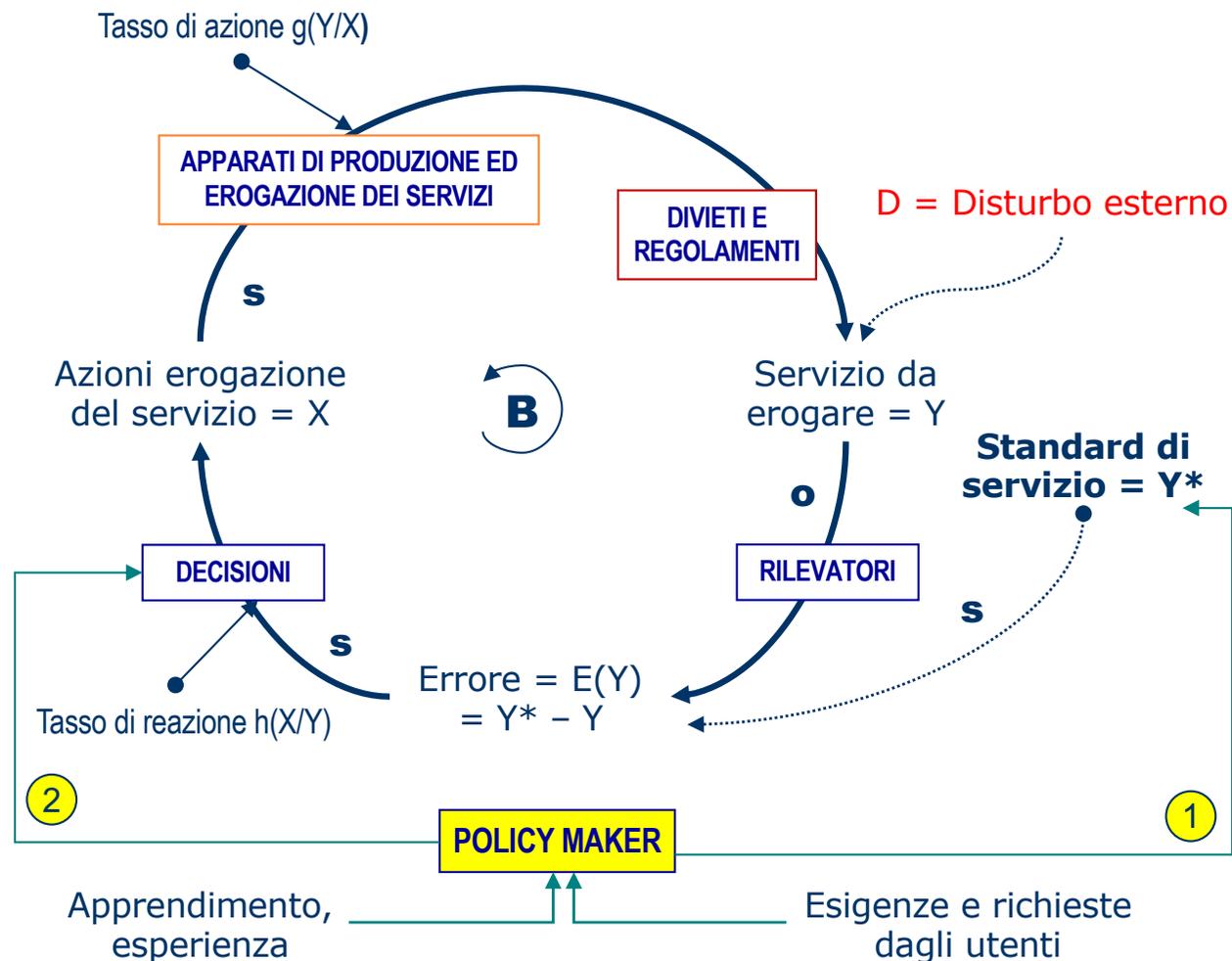
## Gli «Overhead» Control Systems

- L'ambiente cittadino “funziona” grazie a numerosissimi Sistemi di Controllo sui quali non possiamo agire perché hanno **governance e management autonomi**, normalmente pubblici.
- Spesso non ci accorgiamo di tali sistemi ma sono indispensabili per la nostra vita. Sono **sopra-la-nostra-testa** e si denominano **Overhead Control Systems**.
- **Fare un minuto di riflessione.**
- Per esemplificare, gli **Overhead Control Systems** sono quelli per il controllo di:
  - erogazione e fatturazione di energia elettrica
  - di gas
  - di acqua
  - illuminazione
  - trasporto
  - smaltimento rifiuti solidi, umidi, gassosi
  - inquinamento atmosferico, polveri sottili
  - manutenzione strade, fiumi, canali
  - verde e decoro urbano
  - ...



# Controlli nel micro ambiente esterno cittadino

## Logica degli «Overhead» Control Systems



Denomino «Overhead» control systems quelli che operano «sopra la nostra testa» per controllare flussi, operazioni, attività e fenomeni che si producono nella nostra città e che ci consentono di fruire dei servizi pubblici.

«Policy Maker» è un termine generico per indicare i soggetti che sviluppano la Governance (1) e il Management (2).

Questi sistemi di controllo si avvalgono come effettori di vari APPARATI DI PRODUZIONE ED EROGAZIONE DEI SERVIZI.

La loro azione è vincolata dai DIVIETI E REGOLAMENTI che gli amministratori pubblici pongono all'erogazione e alla fruizione dei servizi.

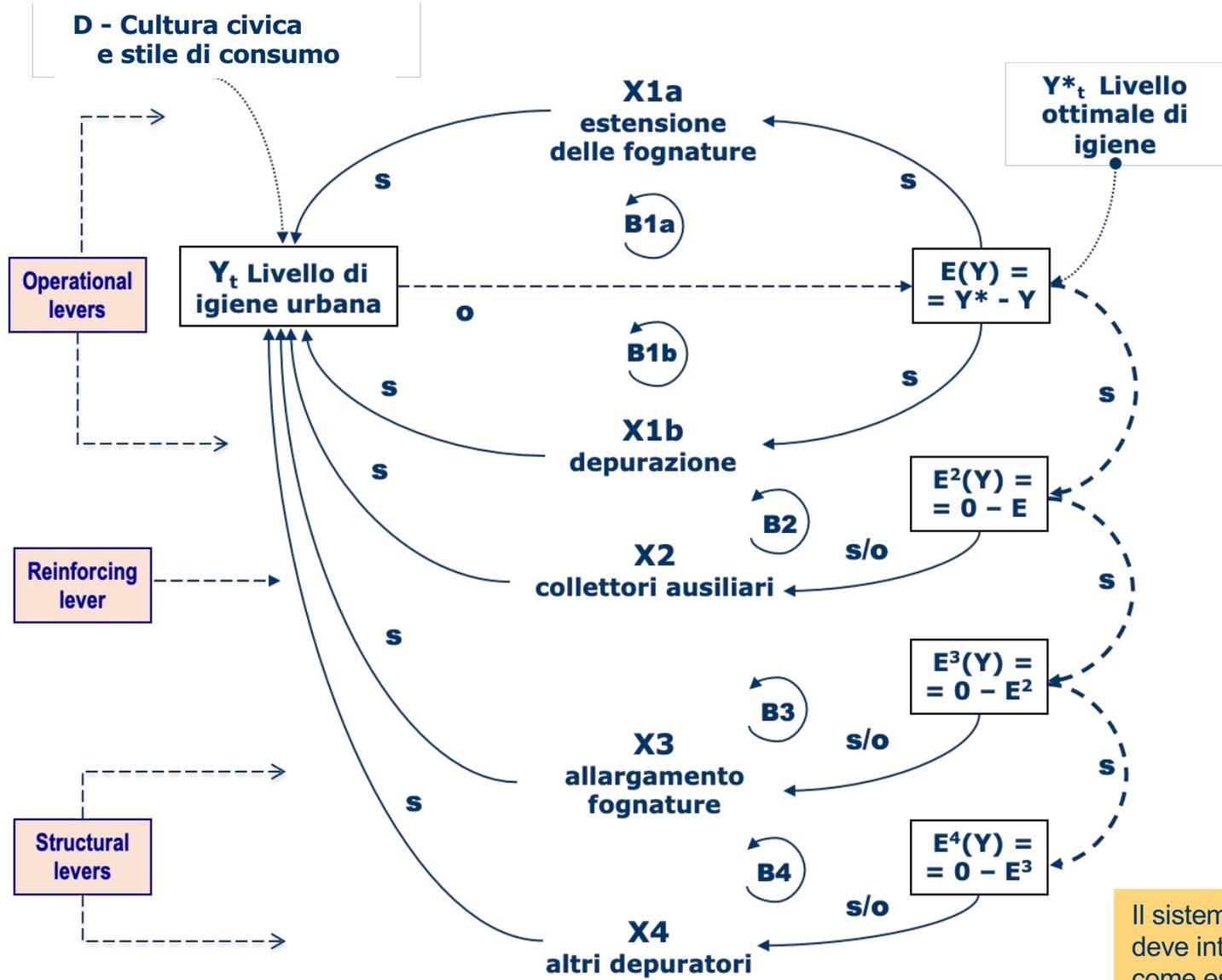
Gli «overhead» control systems sono prevalentemente multi leva e multi layer.

Nel seguito presento, senza commento, 4 sistemi di controllo nell'ambiente urbano.



# Overhead Control Systems

## Igiene urbana

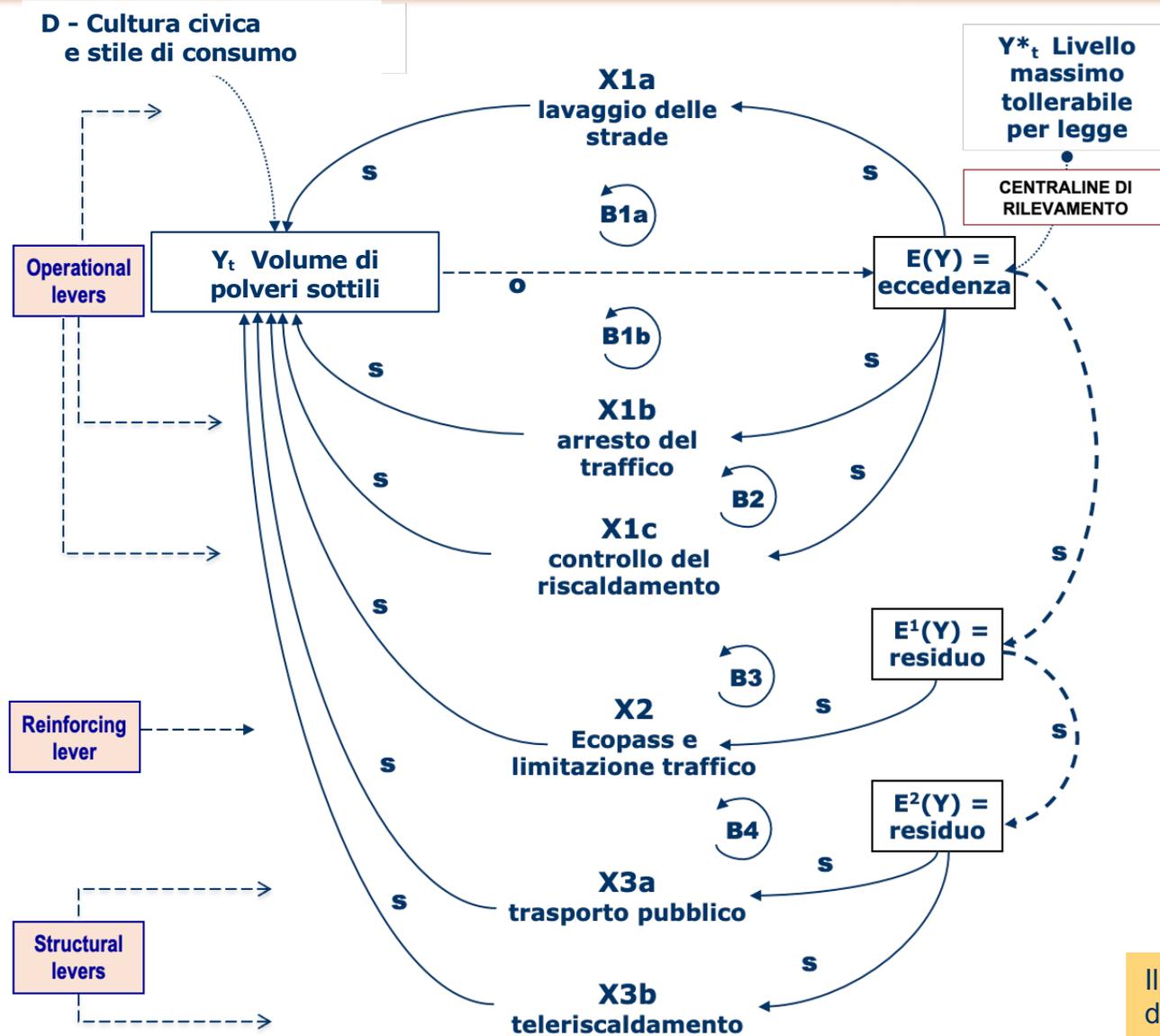


Il sistema proposto deve intendersi solo come esempio didattico



# Overhead Control Systems

## Polveri sottili

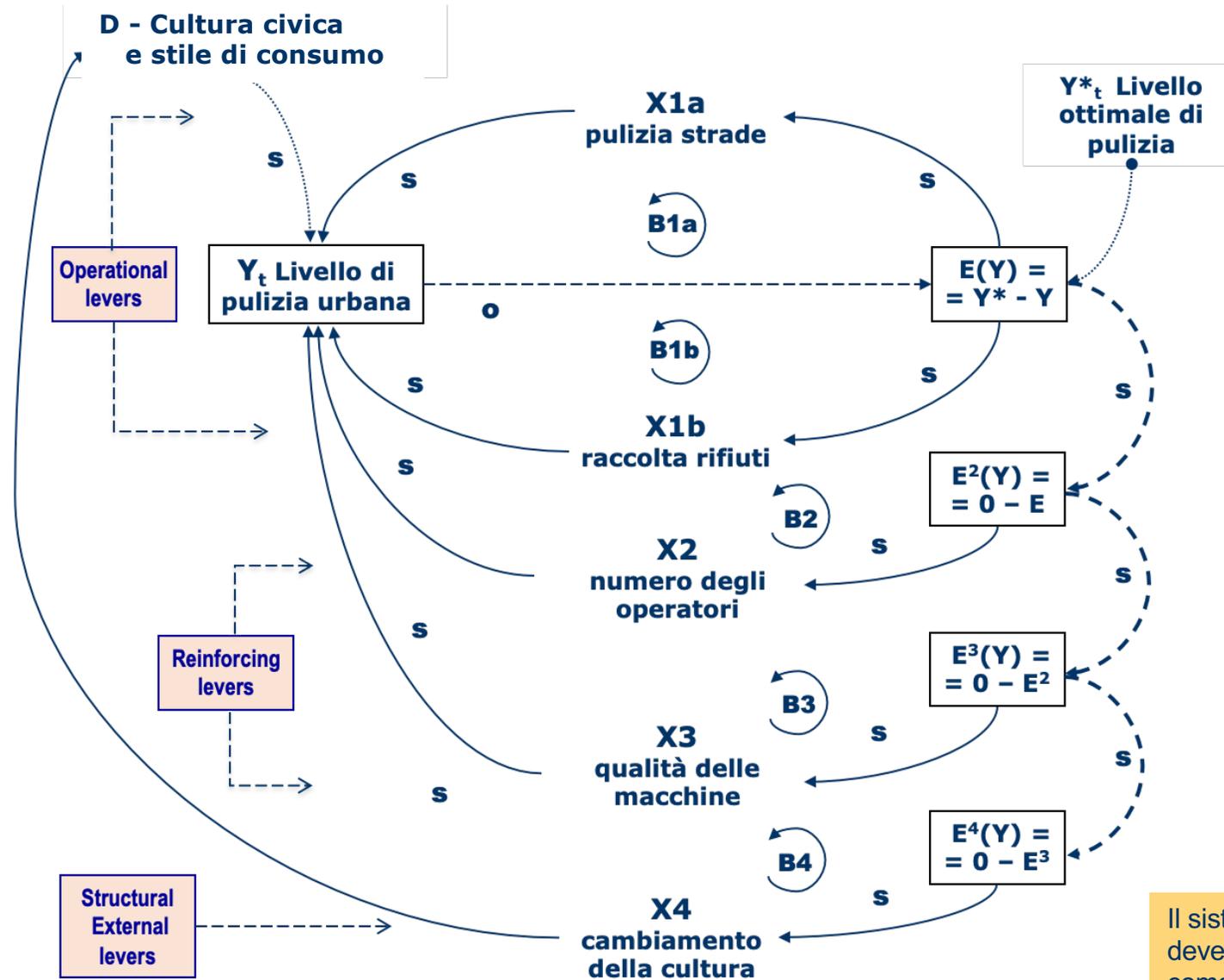


Il sistema proposto deve intendersi solo come esempio didattico



# Overhead Control Systems

## Smaltimento rifiuti solidi

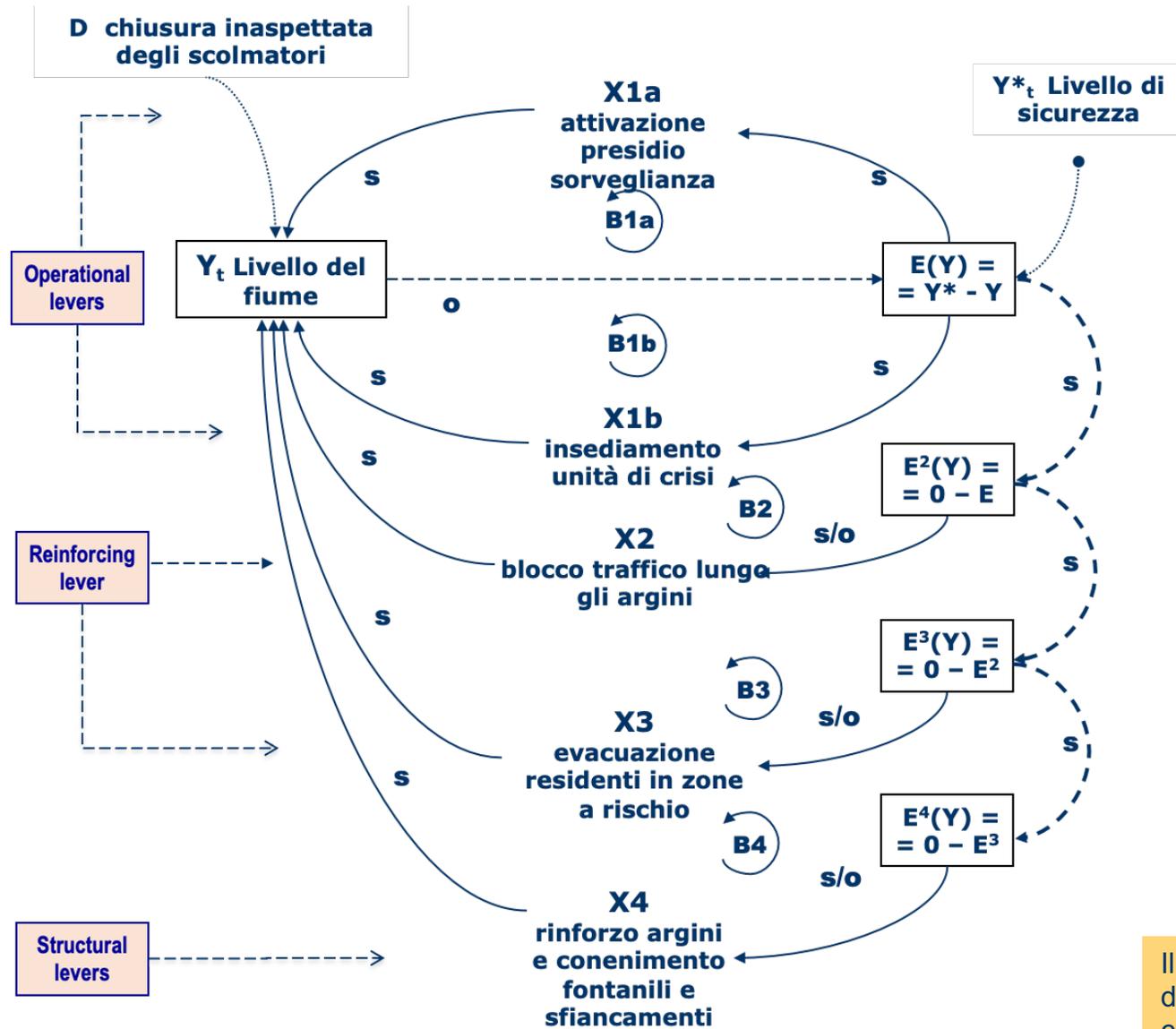


Il sistema proposto deve intendersi solo come esempio didattico



# Overhead Control Systems

## Controlli per «esondazione» corsi d'acqua



Il sistema proposto deve intendersi solo come esempio didattico

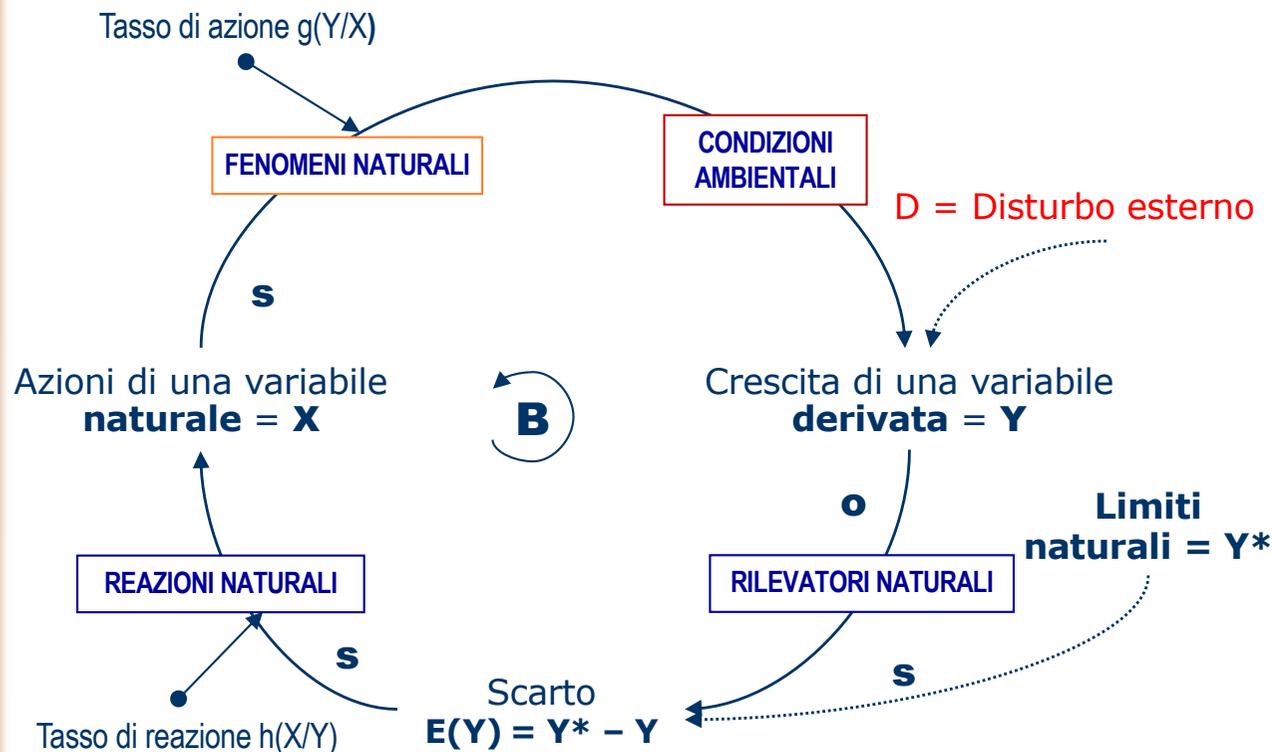


# Sistemi di Controllo nel «macro» ambiente esterno

- Ricordo, innanzitutto, i Sistemi di Controllo che agiscono nell'ambiente in cui viviamo per controllare variabili che presentano dinamiche che possono essere dannose per la nostra vita, collettivamente, come comunità.
- **Fare un minuto di riflessione.**
- L'ambiente è ricco anche di **Sistemi di Controllo naturali**, sempre **automatici**, sui quali possiamo intervenire, solo con **leve artificiali**.
- **E' difficile riconoscere tali sistemi e rappresentarli con modelli semplici perché gli obiettivi sono variabili nel tempo e difficili da quantificare.**
- Ricordiamo:
  - «cumuletti del bel tempo» e le termiche
  - nubi
  - nebbia
  - brina
  - temporali, ecc.
  - fenomeni meteo
  - fenomeni climatici



# Logica dei Sistemi di Controllo nel «macro» ambiente esterno



Tali sistemi non sono facili da individuare e da rappresentare, ma la loro azione è costante; la Disciplina del controllo deve abituarci a riconoscerli e a costruirne modelli.

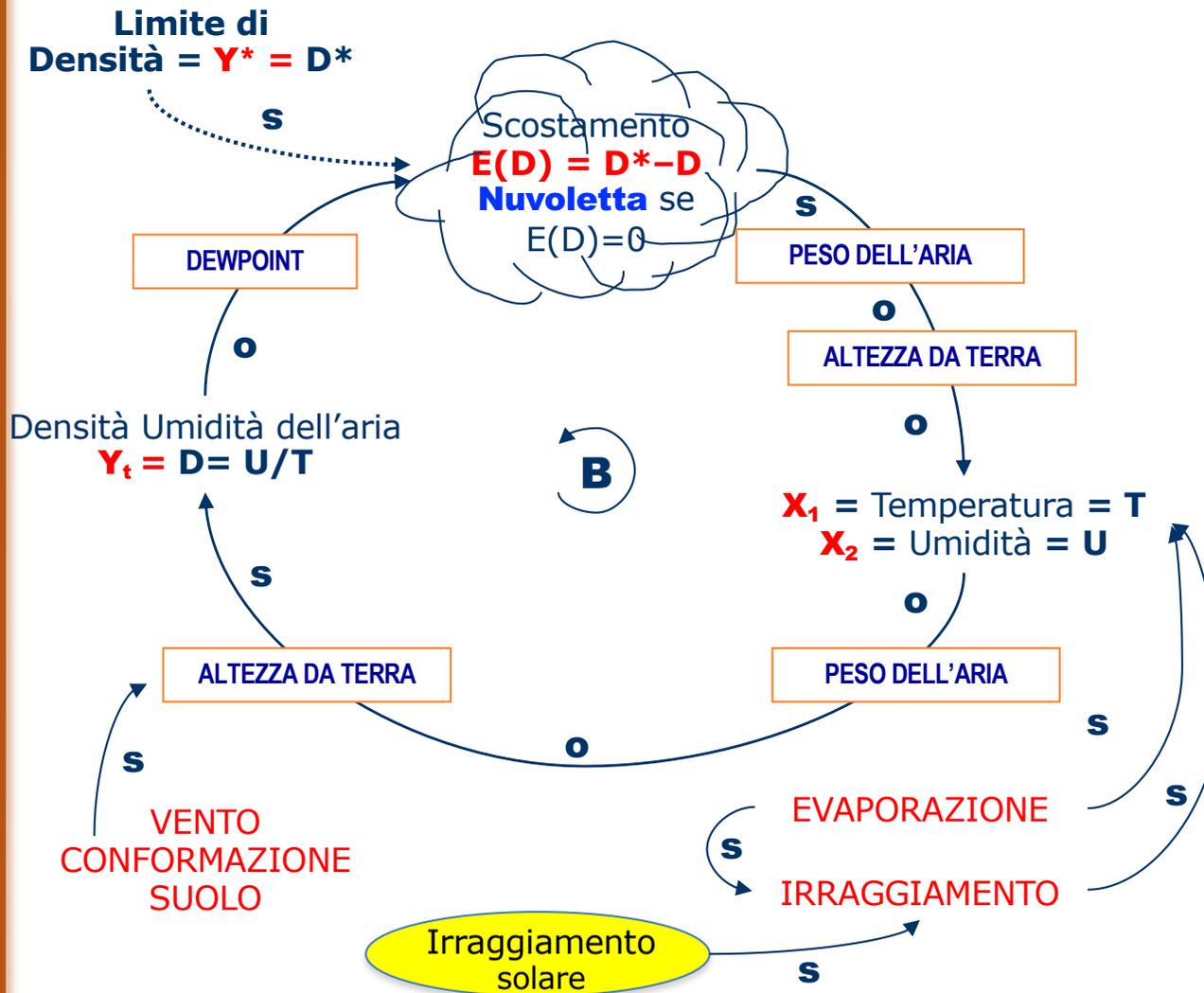
Le difficoltà di riconoscimento dell'azione dei sistemi naturali derivano dal fatto che le dinamiche ambientali – diversamente dai Sistemi di Controllo posti dall'uomo – non tendono a conseguire obiettivi espliciti.

Essi tendono, piuttosto, a **non superare** dati “**valori limite naturali**”, o anche a **raggiungere** “**valori limite ottimali**”, in relazione a date **condizioni ambientali** o **vincoli di natura**.

Quando un sistema naturale è in uno stato di equilibrio  $Y^* = Y$  – rispetto al valore di una variabile “naturale” ritenuto ottimale, o vincolante,  $Y^*$  – e tale equilibrio si altera per l'azione di **disturbi** e di **perturbazioni** ambientali – spesso considerate casuali per la nostra ignoranza dei fattori causali che li determinano –, si manifestano scostamenti  $\Delta(Y) = Y^* - Y$  che, seppure non immediatamente percepibili, innescano dinamiche in qualche altra variabile “naturale”,  $X$ , che funge la **leva di controllo** per riportare il sistema alle condizioni di equilibrio, annullando  $E(Y)$ .



# Sistema di Controllo naturale Cumuletti estivi



Un sistema di controllo naturale, «invisibile», del quale pochi sono consapevoli ma del quale gli appassionati di volo a vela, con deltaplani, parapendii e alianti, sfruttano gli effetti «visibili», è quello dei «Cumuletti del bel tempo» che compaiono numerosi in molte giornate primaverili ed estive.

I **Cumuletti** sono un semplice effetto derivato dal processo di riequilibrio della **Densità e Umidità dell'aria,  $D$** , con i valori ottimali,  $Y^* = D^*$ , determinati dalle condizioni ambientali del momento e, in particolare, dall'**Irraggiamento** e dall'**Evaporazione** che modificano **Temperatura e Umidità dell'aria**, quindi il suo **Peso**.

L'aria calda, leggera, sale, modificando la  $Y_t$ , i cui valori raggiungono il limite normale, vale a dire l'obiettivo,  $Y^*$ . Salendo (termica ascendente) l'aria si raffredda e quando l'errore  $E(D) = D^* - D$  si annulla viene espulsa l'umidità, producendo il tipico **Cumuletto**. L'aria fredda pesante scende verso il basso (termica discendente) e il ciclo può ricominciare.

I «Cumuletti del bel tempo» sono stati descritti come semplici CLD nella Appendice 2B della lezione pubblicata sul numero 13(3) a pag. 656. Si invita il Lettore a rivedere quel modello.





# Sistema di Controllo di Daisylandia

## È un sistema di controllo automatico a due leve vincolate

- Daisylandia, il **mondo delle margherite bianche e nere**, è un mondo di fantasia ideato da James Ephraim Lovelock, un biologo ambientalista britannico, per dare dimostrazione della possibilità che un pianeta possa **autocontrollare** la propria temperatura (Lovelock, 1979; 1988; 2011).
  - **Tale sistema è stato presentato come semplice CLD nella Appendice 2B della lezione pubblicata sul numero 13(3) a pag 657. Invito il Lettore a rivedere quel modello.**
- Il Sistema di Controllo della temperatura di Daisylandia è un tipico **sistema di controllo a due leve vincolate** simile a quello che controlla la temperatura dell'acqua di una doccia con due rubinetti distinti.
  - **Tale sistema è stato presentato nella Lezione 3, pubblicata sul numero 14(1) a pag. 207. Si invita il Lettore a rivedere quel modello.**
- La temperatura del pianeta dipende dall'**Effetto albedo** prodotto dalla massa delle **Margherite bianche** e delle **Margherite nere**, che rappresentano le **leve di controllo**.
- La Massa delle margherite Bianche corrisponde al flusso di acqua **fredda**; quello delle Nere corrisponde al flusso di acqua **calda**.
- C'è, però, una differenza sostanziale:
  - nella doccia, l'obiettivo di temperatura è posto dall'utente-manager,
  - Daisylandia, invece, è di fatto un sistema di **autoregolazione** delle due popolazioni di margherite, piuttosto che un Sistema di Controllo della temperatura del pianeta, la quale viene mantenuta proprio con l'autoregolazione.

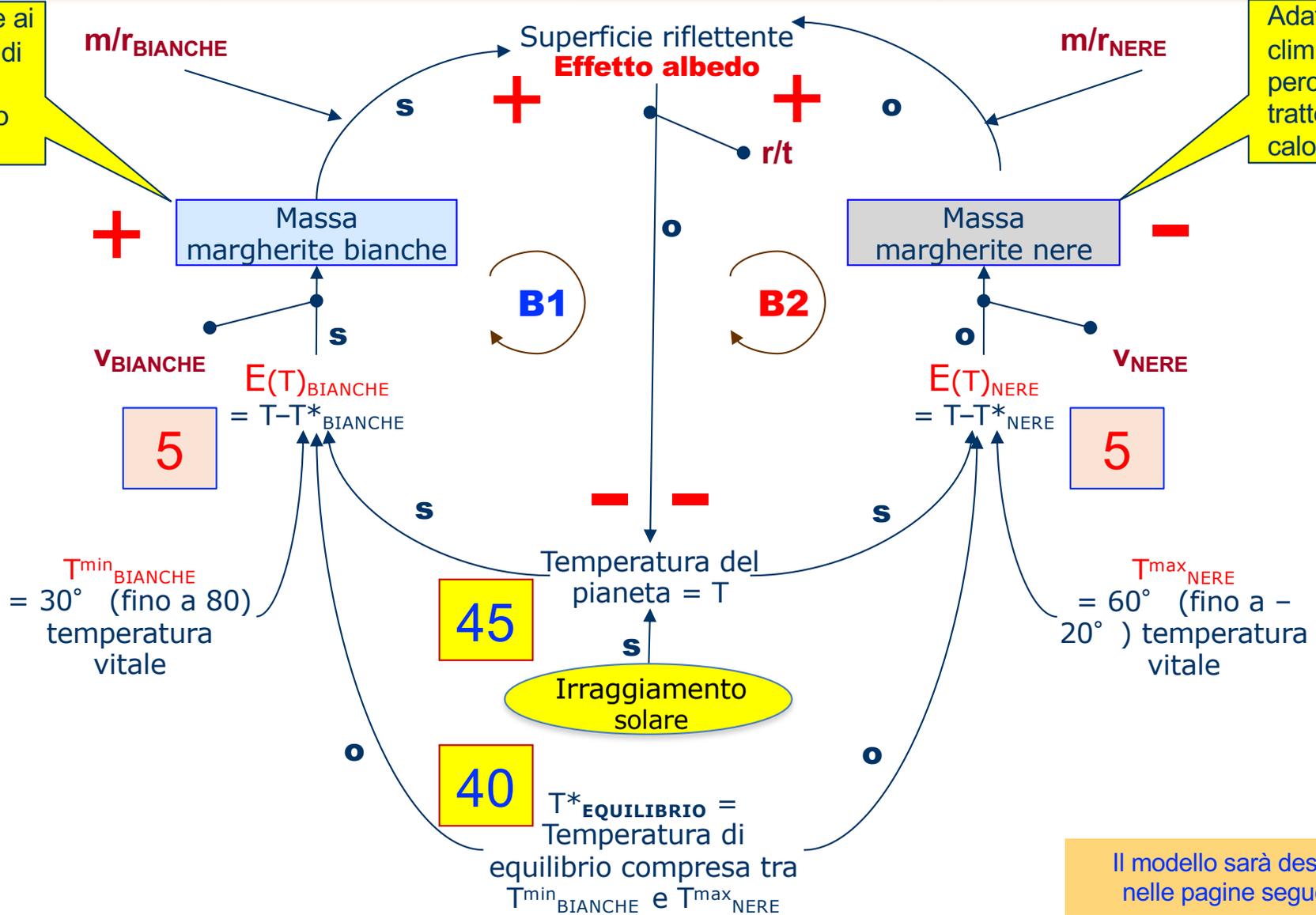


facoltativo

# Controllo planetario. L'autoregolazione in Daisylandia

Adattate ai climi caldi perché riflettono calore

Adattate ai climi freddi perché trattengono calore



Il modello sarà descritto nelle pagine seguenti.





# Sistema di Controllo di Daisylandia

## Struttura e funzionamento

- Presento brevemente l'esempio numerico indicato nel modello precedente. Per chi volesse approfondire rinvio al Par. 6.5 in Mella (2021). *The Magic Ring*. Springer).
- Facendo riferimento ai dati numerici nei box gialli e rosa del modello, supponiamo che in un dato periodo (mese, anno, ecc.) le popolazioni di margherite bianche (**MB**) e nere (**MN**) siano in «temporaneo equilibrio» alla temperatura di **40** (in una data unità di scala)
- Supponiamo che l'irraggiamento solare innalzi la temperatura a **45** e che vi sia un **Errore di temperatura**,  $E(T) = 5$ , rispetto a quella di equilibrio sia per le **MB** sia per le **MN**
- L'aumento di temperatura rompe l'equilibrio in entrambe le popolazioni di margherite: **umentano** le **MB (+)** adatte ai climi caldi, e si **riducono** le **MN (-)**.
- Le variazioni delle margherite, **malgrado siano di segno opposto**, producono lo stesso effetto, aumentando l'**Effetto Albedo (+)**.
- Tale **aumento nella superficie riflettente** riduce la quantità di calore che raggiunge il pianeta e produce, di conseguenza, una **riduzione della temperatura**.
- I due loop **[B1]** e **[B2]** che si attivano contemporaneamente, consentono "sempre" di riequilibrare la temperatura del pianeta, ridimensionando la massa delle margherite, entro i limiti della loro temperatura vitale:  $T^{\min}_{\text{BIANCHE}}$  e  $T^{\max}_{\text{NERE}}$ .
- Per simulare il sistema di controllo appena descritto è necessario conoscere sia i **tassi di azione** –  $m/r_{\text{BIANCHE}}$  e  $m/r_{\text{NERE}}$  – secondo i quali la variazione delle margherite modifica l'effetto albedo, sia i **tassi di reazione** secondo i quali l'errore di temperatura modifica la popolazione delle margherite:  $V_{\text{BIANCHE}}$  e  $V_{\text{NERE}}$ .



# Controllo planetario

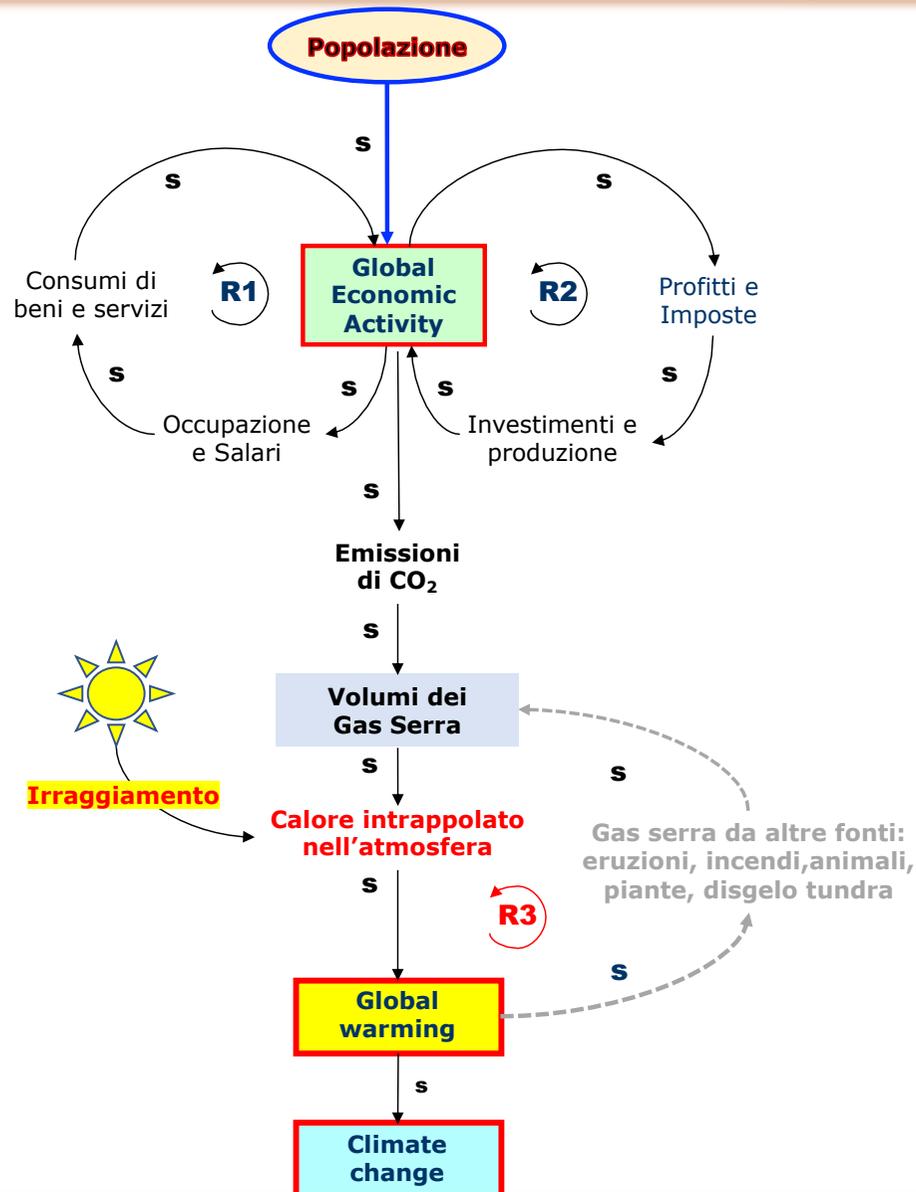
## Sostenibilità, Global warming e Climate change

- La sostenibilità è stata chiaramente definita dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo ("Commissione Brundtland«): **“Lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni”** (Brundtland, 1987, p. 43), per quanto riguarda sia i processi in corso sia quelli in fase di sviluppo.
- Gli sforzi per la crescita dell'**occupazione** e dei **salari**, che favoriscono i **consumi**, i quali spingono alla **produzione**, accompagnandosi a **profitti** e **imposte**, hanno portato al diffondersi della ricchezza mondiale, grazie a uno sviluppo dei consumi e della produzione, con una insufficiente attenzione alle generazioni future.
- Alcuni fenomeni dannosi della crescita dell'**attività economica mondiale**, diventati finalmente “visibili”, hanno costretto i governi e le comunità locali a prendere coscienza del problema della **sostenibilità** e a prestare maggior attenzione all'ambiente.
- Sulla base di queste premesse costruirò gradualmente un modello semplice che ritengo in grado di fare comprendere il fenomeno del **Global warming**, l'effetto di una moltitudine di cause che portano tutte a un aumento nell'atmosfera di **gas serra** (vapore acqueo, biossido di carbonio, metano, ossido di azoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi ed esafluoruro di zolfo), la causa prima del riscaldamento globale (Famooss Paolini & Cesaro, online).
- Dal **Global warming** derivano gli effetti sul clima noti come **Climate change**.



# Controllo planetario

## GEAM - La «macchina del Global warming»



Il modello ipotizza come il **Global warming** sia l'effetto della **Global Economic Activity**, o **GEA**, cioè dell'**attività economica globale** che si sviluppa a livello planetario (Mella, 2021; 2022).

**La GEA è la «macchina del Global warming».**

**LETTURA DEL MODELLO IN SENSO DISCENDENTE.**

La crescita della **Popolazione** e il desiderio di un più elevato livello di vita spingono allo sviluppo della **GEA**.

Il loop **R1**, dal lato delle **persone**, evidenzia come lo sviluppo della **GEA** incrementi **Occupazione e salari** che sono la causa dell'incremento dei **Consumi di beni e servizi**, quindi della **GEA**.

Il loop **R2**, dal lato delle **Organizzazioni produttive**, evidenzia come lo sviluppo della **GEA** porti a maggiori **Profitti e Imposte** che generano l'incremento dei volumi di **Investimenti e produzione**, con ulteriore sviluppo della **GEA**.

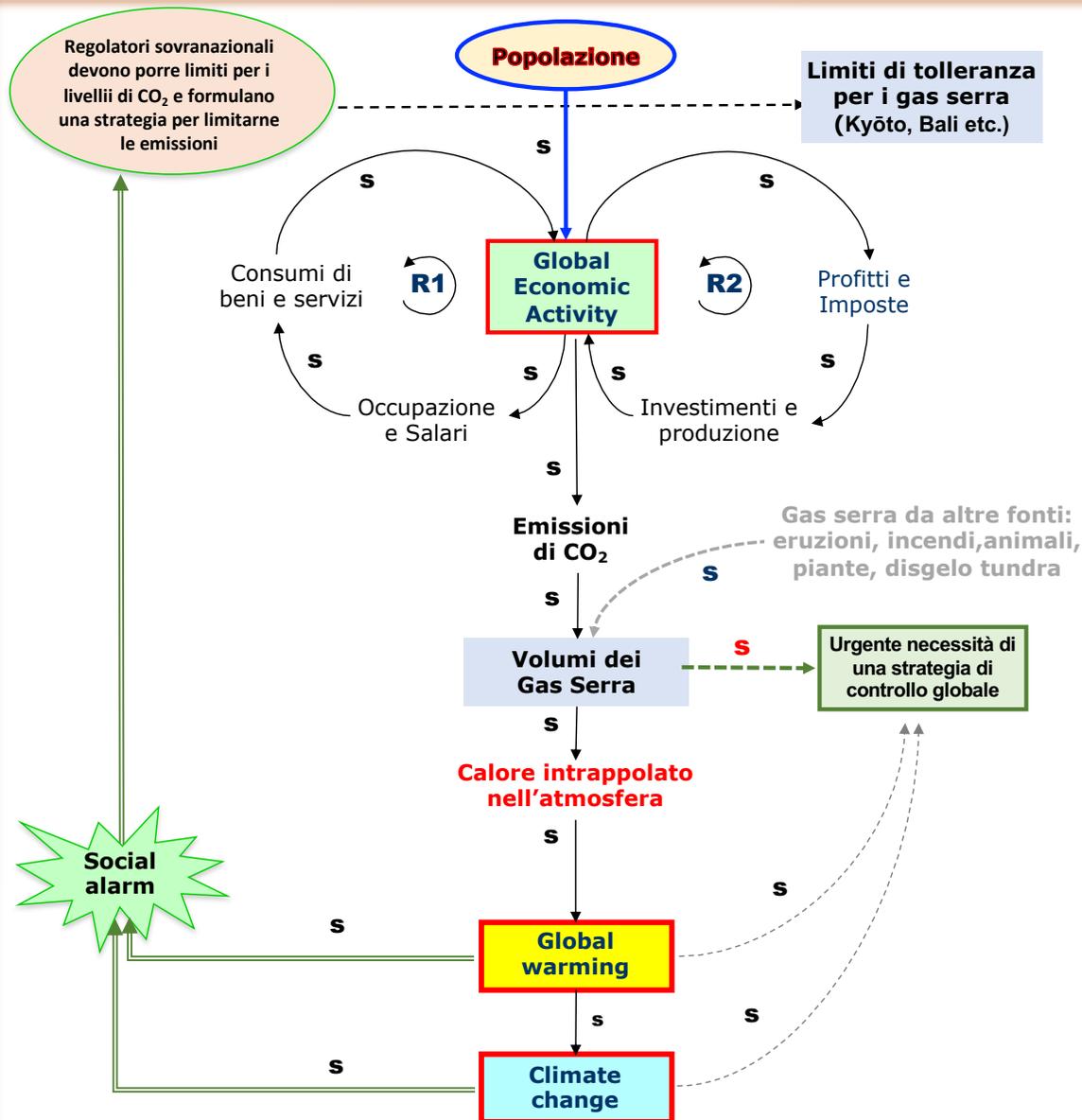
Proprio dalla **GEA** nascono le **Emissioni di CO<sub>2</sub>**, uno dei componenti principali dei **Volumi dei Gas Serra** che, con l'**Irraggiamento solare**, rappresentano la causa del **Calore intrappolato nell'atmosfera** che origina il **Global warming** da cui dipende il **Climate change**.

Il loop **R3**, infine, indica come il **Global warming** possa contribuire esso stesso alla emissione di **Gas serra da altre fonti**, producendo una ulteriore dinamica che si rinforza nel tempo.



# Controllo planetario

## L' «allarme sociale» e la Governance che pone gli obiettivi/limiti per il controllo dei livelli di Gas serra



Quando la dinamica del **Global warming** viene misurata con gli strumenti scientifici moderni, e il **Global Change** viene percepito come un pericolo per il pianeta, diventa urgente la **Necessità di una strategia globale di controllo** per contrastare questi fenomeni che interessano l'intero Globo.

Quando l'**opinione pubblica** viene stimolata attraverso diversi canali e si prende coscienza che il problema continua a progredire, si produce un **Social alarm, [s]**, con la nascita di movimenti di opinione che mantengono alto l'allarme sociale sulla necessità di una **strategia di controllo globale** per contenere i **Volumi dei Gas serra** con il contrasto alle **Emissioni di CO<sub>2</sub>**.

Con accordi tra Stati, vengono creati movimenti internazionali ufficiali e svolte conferenze, con il compito di segnalare l'urgenza del problema.

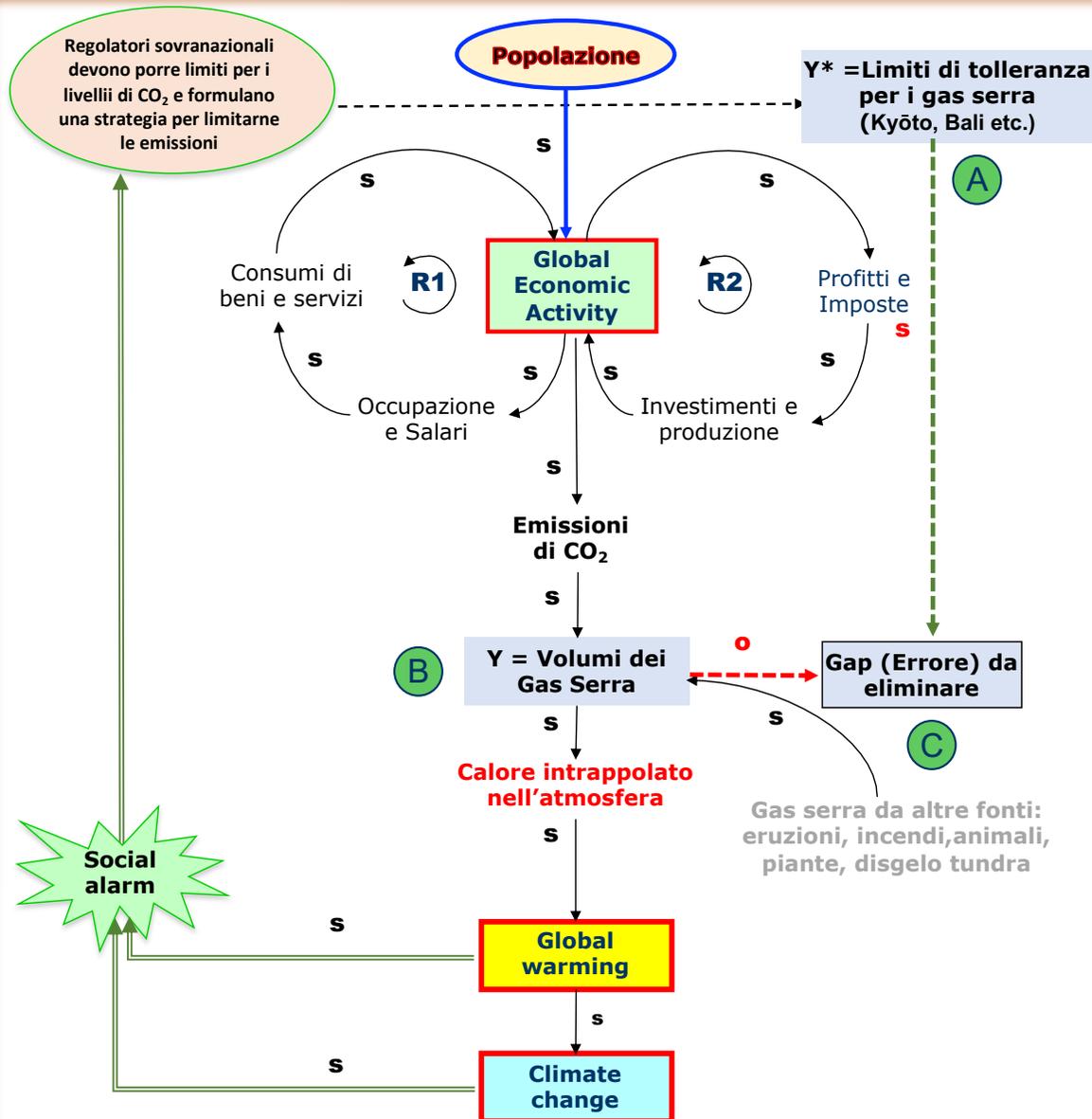
Da tali movimenti hanno vita organismi ufficiali che fungono da **Regolatori sovranazionali con la funzione di porre limiti ai livelli ammissibili di CO<sub>2</sub> e formulare una strategia per limitarne le emissioni**.

Questi **Regolatori**, che di fatto svolgono il ruolo di **Governance del problema**, individuano indifferibili **Limiti di tolleranza per i gas serra**, che si pongono come obiettivi/limiti, quantitativi e temporali, per il controllo dei Volumi di Gas serra e la loro possibile riduzione.



# Controllo planetario

## Si delinea il sistema di controllo



Indicando con:

**Y\*** = Limiti ai livelli ammissibili di CO<sub>2</sub>,  
cioè **Y\*** = Obiettivi del controllo dei  
Volumi di Gas serra **(A)**,

e con:

**Y** = Volumi di Gas serra = Variabile da  
controllare **(B)**,

diventa possibile determinare il Gap da eliminare:

**Gap = Errore**, vale a dire: **E = Y\* - Y (C)**.

Si deve ora completare il **sistema di controllo**  
individuando le **Leve di controllo** che i  
**Manager** (governi dei singoli Stati) attiveranno  
per attuare la loro **strategia di controllo**.

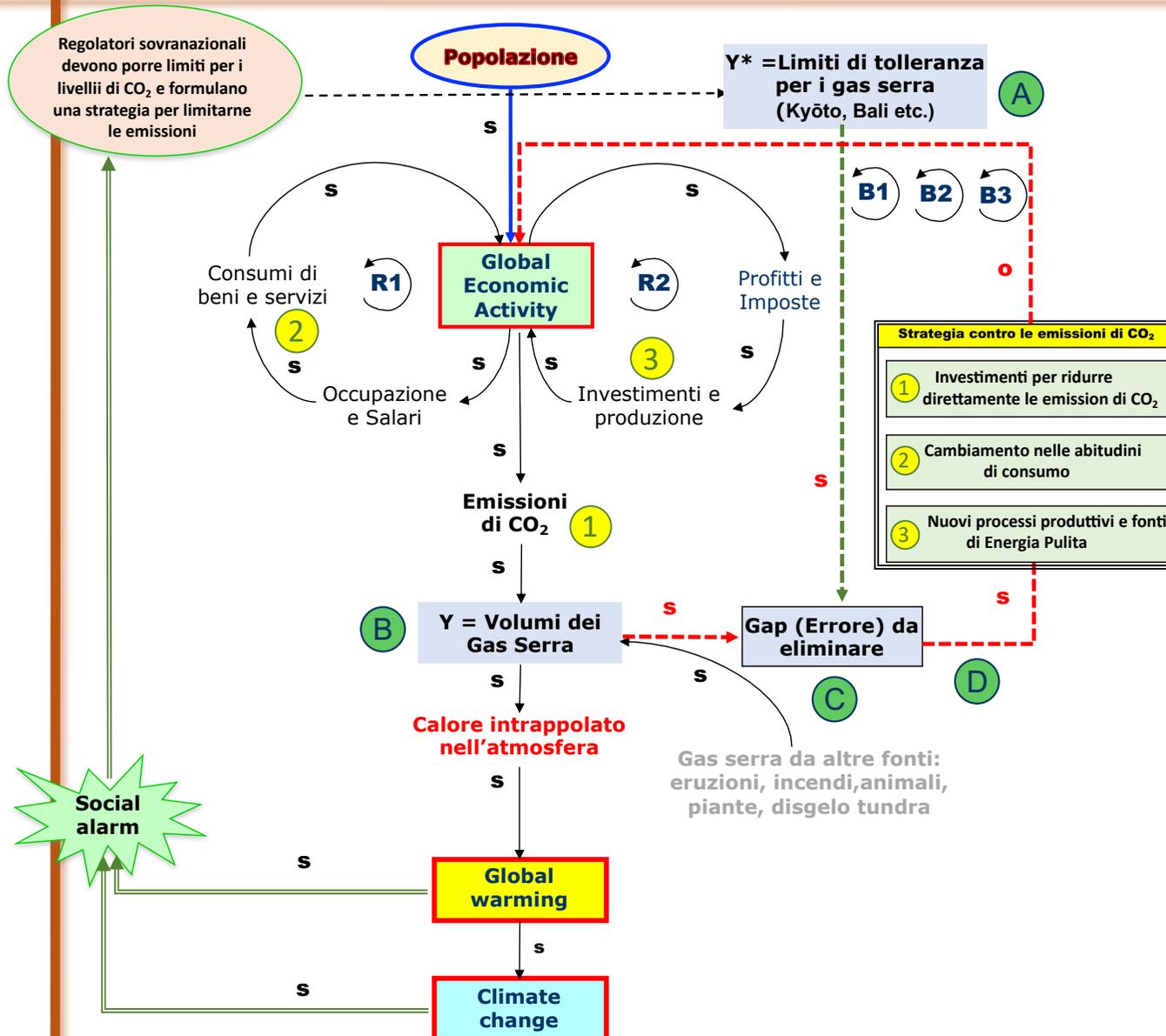
Sui **Limiti di tolleranza** ammissibili e sugli **obiettivi del controllo**, ricordo:

- il Protocollo di Kyoto, firmato l'11/12/1997, da oltre 160 paesi;
- l'accordo di Bali (2007) che ha stabilito una drastica riduzione delle emissioni serra, da 25 a 40 per cento entro il 2020 (obiettivo);
- l'Accordo di Parigi che limita il riscaldamento a 2° C, auspicando che sia mantenuto al di sotto di 1,5° C;
- nella COP20 – tenutasi a Roma nell'ottobre 2011 – e nella COP26 – tenuta a Glasgow nel novembre 2021 – è stato fissato un obiettivo per le nuove emissioni: **Garantire lo zero netto globale entro la metà del secolo** (COP26 GOALS, online).



# Controllo planetario

I managers degli stati sviluppano la strategia che agisce sulle **cause** (umane) del Global warming



Il sistema di controllo del **Global warming** deve agire sul contenimento dei Volumi di gas serra, individuando **Leve di controllo** delle **cause** che producono tali Volumi.

**Si forma un sistema di controllo multi obiettivo, multi leva, multi layer**, per arrivare a controllare le **tre principali variabili della GEA** da cui le emissioni dipendono: **Emissioni di CO<sub>2</sub>, Consumi di beni e servizi e Investimenti e produzione.**

La **Strategia contro le emissioni di CO<sub>2</sub>**, (D), include, pertanto, **tre «classi» di leve**, da considerare indipendenti, indicate nel Box a fianco:

- ① **Investimenti per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>** (loop B1).
- ② **Favorire il Cambiamento nelle abitudini alimentari** e dei processi di acquisto degli alimenti (loop B2).
- ③ **Sviluppo di nuovi processi produttivi energy saving e ricorso a fonti di energia green** (loop B3).



# Controllo planetario

## Global warming. Cenni sulle macro-leve della Strategia contro le emissioni di CO<sub>2</sub>

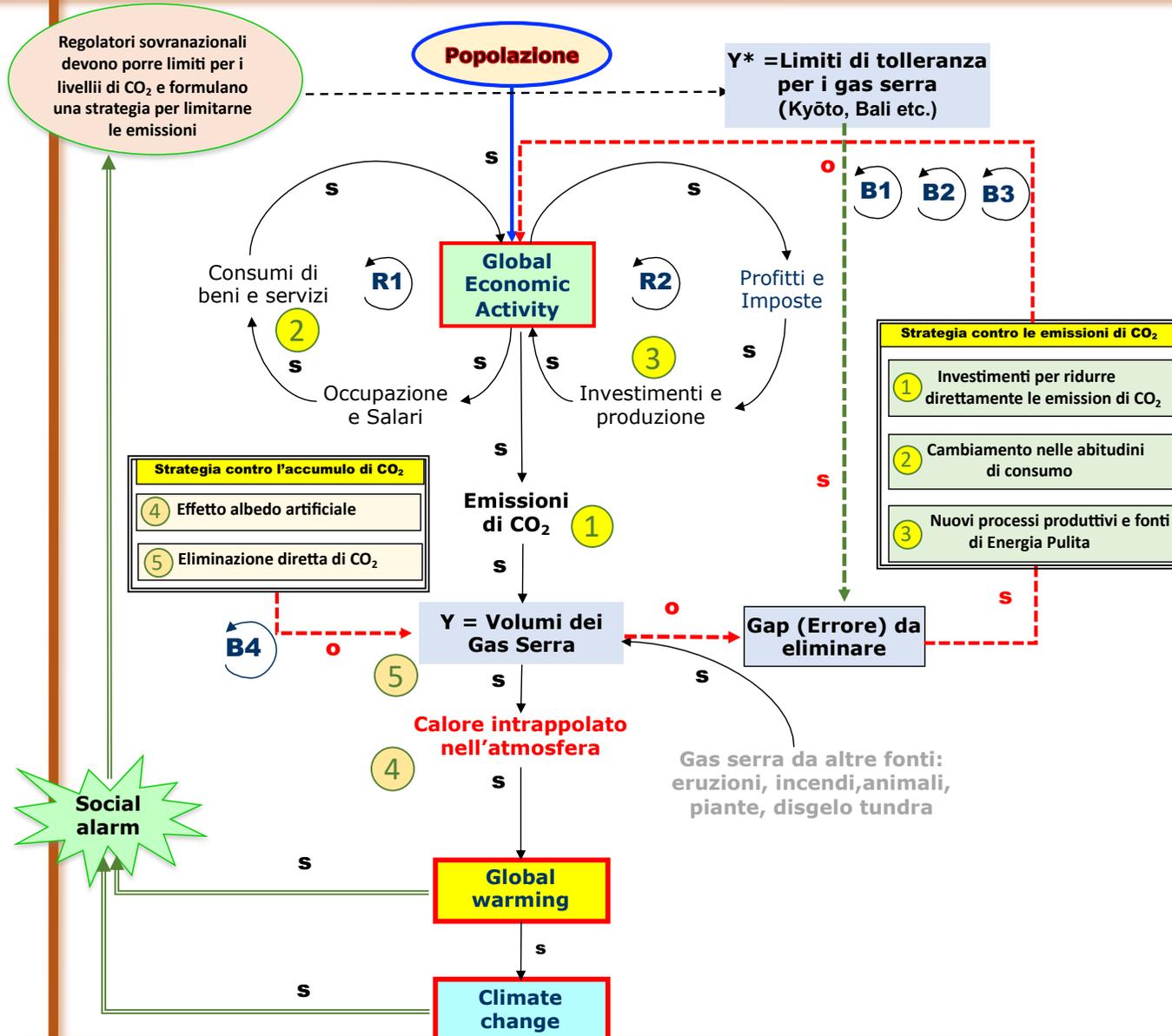
- **1 Ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>.**
  - Si incentiva il processo di "decarbonizzazione" nel sistema energetico globale per sostituire l'energia ottenuta da combustibili fossili inquinanti, con energia "pulita", in particolare con elettricità ottenuta da "fonti rinnovabili", utilizzando: pannelli fotovoltaici, che convertono direttamente l'energia solare in energia elettrica; celle solari, per produrre vapore per turbine elettriche; turbine eoliche terrestri e marittime; dispositivi che convertono l'energia delle onde e delle maree; tecnologia per l'uso dell'energia geotermica della Terra, nonché centrali nucleari di ultima generazione.
- **2 Favorire il Cambiamento nelle abitudini alimentari.**
  - Una quantità non trascurabile di gas serra viene prodotta dai bovini i quali, durante il loro ciclo digestivo, emettono quantità preoccupanti di metano che rimangono nell'atmosfera per circa 10 anni. L'allevamento intensivo di bovini e suini è anche una fonte di ulteriori ingenti quantità di gas serra (anidride carbonica, metano e protossido di azoto) dalla decomposizione del letame. Per ridurre/eliminare queste emissioni, devono essere cambiate le abitudini alimentari delle persone convincendole a ridurre il consumo di carne bovina e suina a favore di alternative non inquinanti seguendo una dieta vegetariana e vegana, o una basata su alternative non bovine per la carne: dieta a base di pesce e alghe; dieta che includa gli insetti; dieta che incentivi il consumo di prodotti a Km zero, ecc. I menu dei ristoranti dovranno essere convertiti, ma, prima di tutto, devono essere convinti i consumatori a cambiare la loro dieta.
- **3 Nuovi processi produttivi «energy saving» e fonti di «energia green»**
  - È necessario incoraggiare gli investimenti che le industrie dovranno sostenere per sostituire macchinari e motori con altro non più alimentati da combustibili fossili; Si dovranno produrre nuovi impianti, ideare nuove attrezzature e progettare e proporre nuovi prodotti. In molti paesi, inoltre, è in corso uno sforzo per incoraggiare il consumatore a sostituire le auto tradizionali con quelle elettriche, con la creazione di una rete di stazioni di ricarica su autostrade e città, nonché di sistemi domestici e privati per la ricarica rapida. In conclusione, questi interventi, pensati per ridurre i gas serra, cambieranno non solo i sistemi produttivi perché convertano i loro processi e prodotti all'uso di energia green, ma anche le abitudini di consumo di prodotti non sostenibili.



facoltativo

# Controllo planetario

I management degli stati sviluppano la strategia che agisce direttamente sugli **effetti** del Global warming



Alla **Strategia a tre leve** contro le **emissioni di CO<sub>2</sub>**, delineata nel modello di pagina precedente (a destra, nel modello), si affianca la **Strategia contro l'accumulo di CO<sub>2</sub>** (a sinistra, nel modello) che include altre **due «classi» di leve**, da considerarsi anch'esse indipendenti (loop B4):

- ④ **La creazione di un effetto albedo artificiale.**
- ⑤ **L'eliminazione diretta della CO<sub>2</sub>.**

Nelle pagine seguenti farò alcuni cenni su tali leve.





# Controllo planetario

## L'effetto albedo artificiale a contrasto del Global warming

- Tra le leve che formano la **Strategia contro l'accumulo di CO<sub>2</sub>** (modello di pagina precedente, a sinistra), ricordo la formazione dell'**effetto albedo artificiale**.
- Tale effetto riflettente può essere prodotto:
- **su ampia scala**, con il tentativo di formare uno strato di nubi bianche sull'oceano (per produrre l'effetto **albedo**), mediante irrorazione delle nubi con un aerosol di vapore arricchito di sale, mediante aerei o navi. Tale tentativo non ha avuto il successo sperato.

Il progetto prevedeva di spruzzare acqua di mare nelle nubi sopra gli oceani così da aumentare il numero delle gocce che si formano intorno ad ogni microscopica particella di sale. Se le nubi sono scure vuol dire che contengono gocce d'acqua grosse. Se, invece, sono piccole la nube si sbianca. E questo era l'obiettivo, perché in tal modo poteva riflettere una maggior quantità di radiazione solare riscaldando meno l'ambiente terrestre. Ma qui è arrivata la sorpresa non gradita. I ricercatori si sono resi conto che l'effetto finale era un aumento non voluto delle piogge sulla terraferma scatenando addirittura dei terribili monsoni. Tali violenti fenomeni nascono appunto quando l'aria sulla Terra è più calda di quella sugli oceani, la quale appunto si raffreddava proprio seminando le nubi e rendendole più bianche (Caprara, 2010; vedi anche Latham et al., 2012).

- **su aree limitate**, cercando di conservare il ghiaccio (che produce l'effetto **albedo**) rallentando lo scioglimento di alcuni ghiacciai ricoprendoli, nel periodo estivo, con teli riflettenti di materiale geotessile. Le immagini evidenziano il tentativo sul Ghiacciaio Presena (Brenna, 2020).





# Controllo planetario

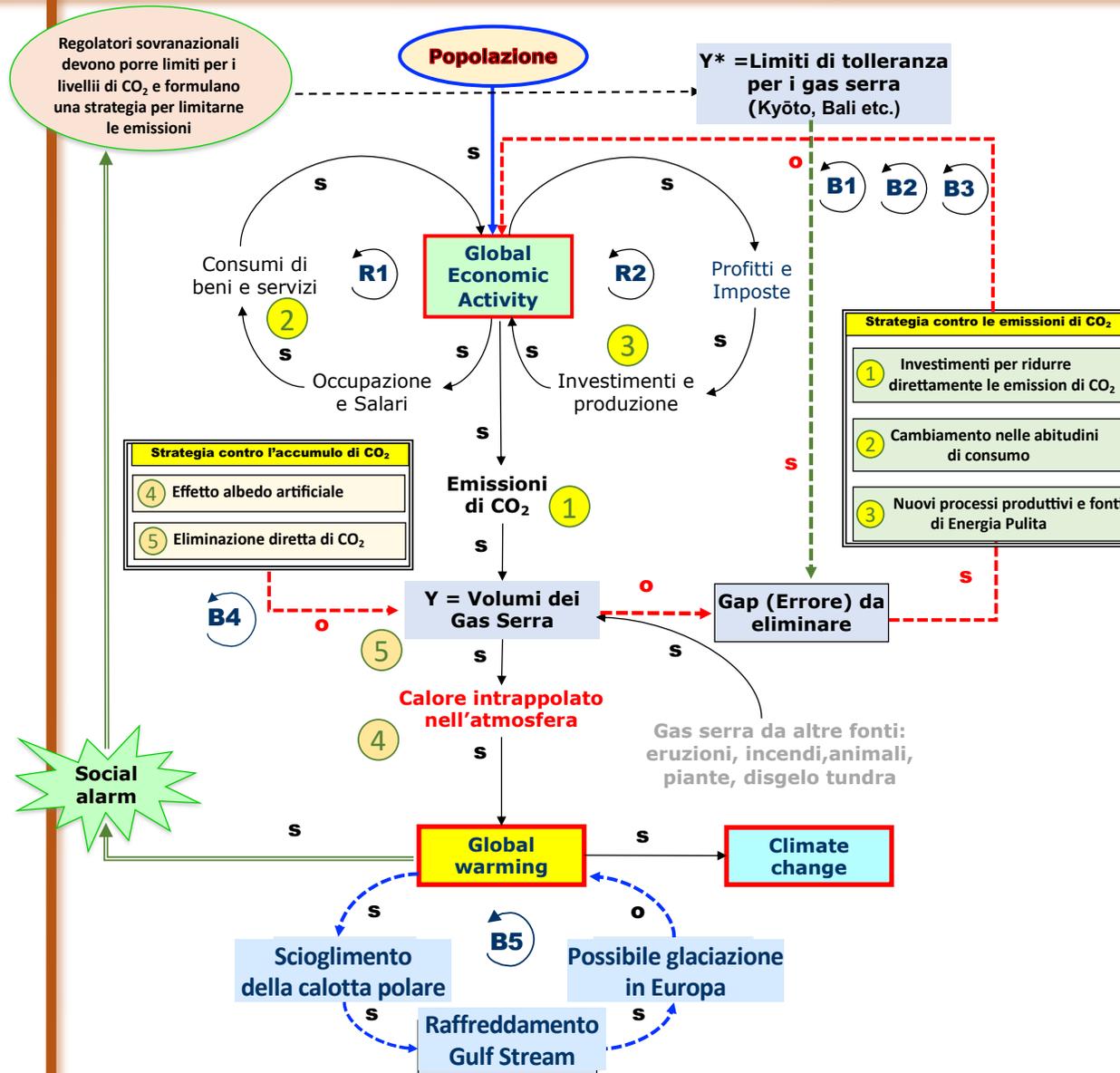
## L'eliminazione diretta della CO<sub>2</sub> nell'atmosfera (cenni)

- La seconda classe di leve che formano la **Strategia contro l'accumulo di CO<sub>2</sub>** (modello di precedente, a sinistra), comprende diversi interventi, molti ancora in corso di sperimentazione.
  - Si stanno studiando e sperimentando alcuni tentativi di assorbire artificialmente la CO<sub>2</sub> direttamente dall'atmosfera mediante **dispositivi di "cattura del carbonio"** (Keith et al., 2006; Boot-Handford et al., 2014).
    - It is physically possible to capture CO<sub>2</sub> directly from the air and immobilize it in geological structures. Air capture differs from conventional mitigation in three key aspects. First, it removes emissions from any part of the economy with equal ease or difficulty, so its cost provides an absolute cap on the cost of mitigation. Second, it permits reduction in concentrations faster than the natural carbon cycle: the effects of irreversibility are thus partly alleviated. Third, because it is weakly coupled to existing energy infrastructure, air capture may offer stronger economies of scale and smaller adjustment costs than the more conventional mitigation technologies (Keith et al. 2006, p. 18).
  - Sono in atto alcuni tentativi per assorbire artificialmente il gas dall'atmosfera, con la creazione di **unità filtranti dell'aria** in grado di estrarre la CO<sub>2</sub>, trasformandola in carbone e diamanti (Yale, 2021);
  - È in fase di sperimentazione la produzione di **pannelli** che assorbono CO<sub>2</sub> che potranno essere utilizzati per rivestire le facciate dei grattacieli e di altri edifici.



# Controllo planetario

## Gulf Stream come leva di controllo automatico naturale del Global warming

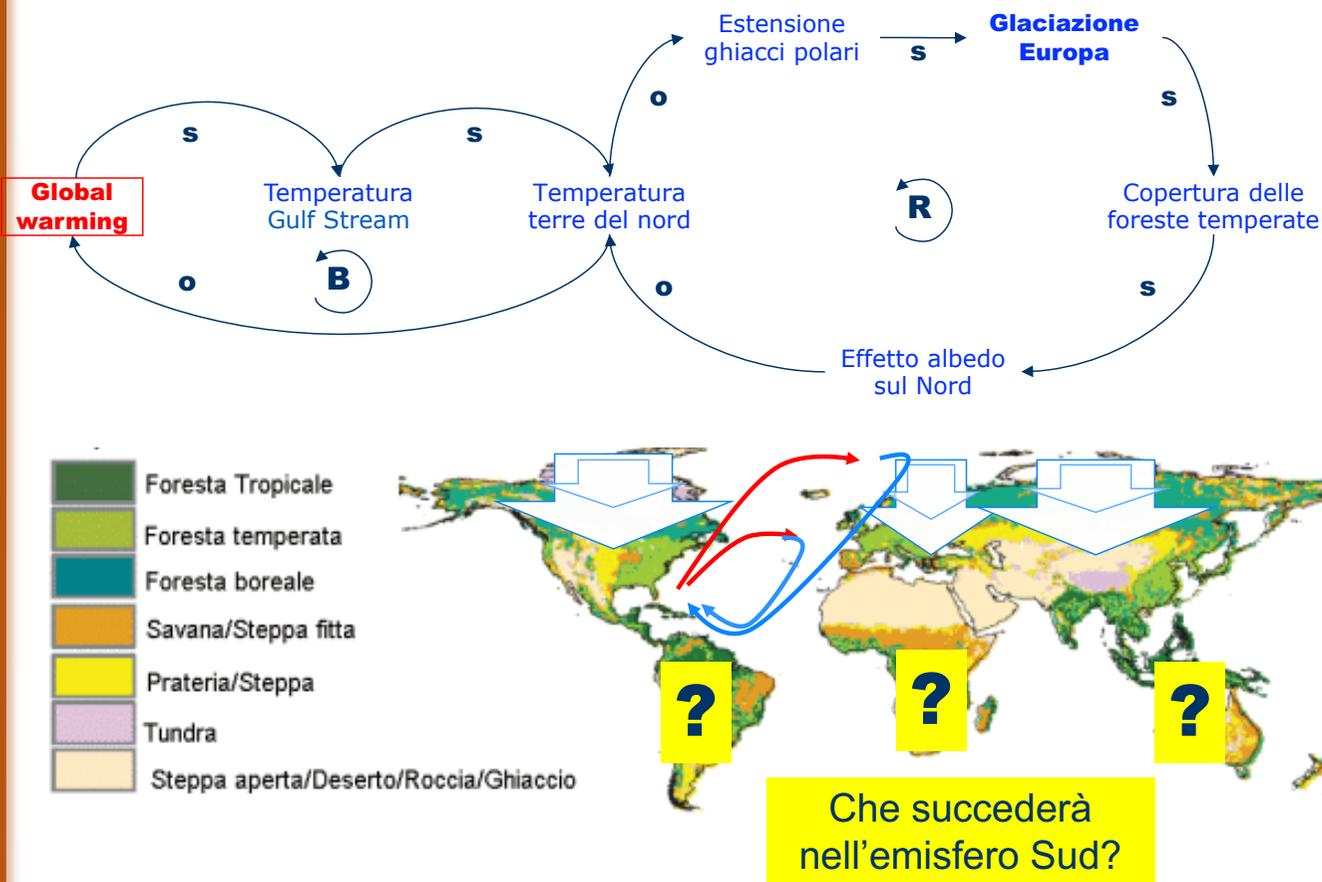


Al controllo del **Global warming** attuato con le strategie indicate alle pagine precedenti, si potrebbe affiancare un **sistema di controllo «naturale»** la cui leva è rappresentata dalla **Gulf stream** – il convettore termico nord atlantico (rivista Discovery, settembre 2002; Science, 2004; Fortune, febbraio 2004) – un flusso molto potente di acqua calda che si muove dai Caraibi (dove si è riscaldata) salendo verso i paesi del Nord Europa (dove cede il calore), portando temperature miti in inverno. L'azione di questo sistema di controllo naturale agisce producendo il loop [B5].



# Controllo planetario

## Gulf Stream come leva di controllo automatico del Global warming



**Come il sistema di controllo naturale produce il loop [B5]:**

- il **Global warming** aumenta il calore portato dalla Gulf stream;
  - Arrivata a Nord**, l'acqua più calda accelera lo scioglimento dei ghiacci dei Poli;
  - ciò fa riversare una massa di acqua **fredda e dolce** nell'Oceano Atlantico, che **raffredda anticipatamente** il flusso della Gulf Stream, rallentandone la corsa;
  - la Corrente del Golfo, che si è di molto **raffreddata**, si **inabissa anticipatamente** sul fondo dell'oceano e scende a Sud, tornando verso il Golfo;
  - il **calore** che la corrente del Golfo trasportava **raggiunge in minor misura** la regione del Nord Europa;
  - ciò consente al **ghiaccio** delle calotte di **riformarsi** e di **espandersi**, coprendo le **foreste temperate** dell'Europa continentale, che non trattenendo più il calore, accentuano ancor di più il rischio di una nuova glaciazione.
- (si veda Lemley 2004, Online)



# Strategia per la Sostenibilità

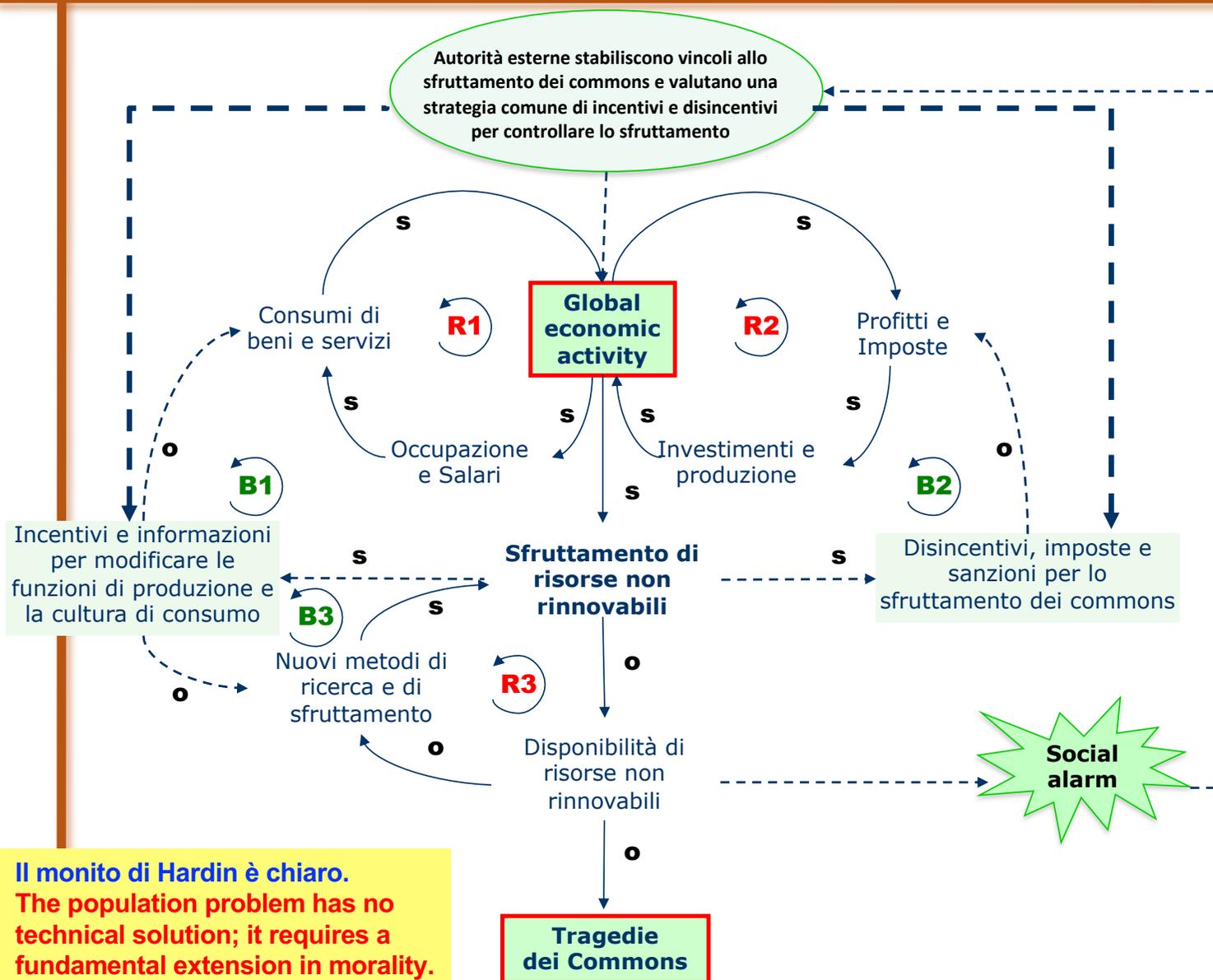
## Tragedia dei commons

- La Tragedia dei **Commons**, (**beni comuni nello sfruttamento**) è un fenomeno diffuso, enfatizzato da Garret Hardin in *The Tragedy of the Commons* (1968) e in scritti successivi (Hardin, 1985) per dimostrare che, quasi sempre, le popolazioni che condividono una risorsa comune, vitale, scarsa, ma di libero sfruttamento, sono **avviate alla tragedia** in quanto lo sfruttamento è sempre destinato a diventare **insostenibile**, con esaurimento della risorsa.
  - «[...] **la libertà di sfruttamento delle risorse comuni porta tutti alla rovina**»
    - Non stupiamoci se le foreste tropicali si riducono, perché gli abitanti di quelle zone cercano di ricavare campi da coltivare; se le falde acquifere dei deserti si abbassano, perché in molti siti sono attivati impianti di irrigazione che pescano in esse; se il livello dei fiumi scende, perché, ai loro lati, aree sempre più ampie vengono attrezzate a risaie. Non stupiamoci se la popolazione delle balene sta avviandosi all'estinzione perché se ne cacciano più di quante possano riprodursi.
- L'esaurimento di risorse comuni limitate può generare **conflitti e guerre** che rappresentano una **seconda tragedia** inclusa nella tragedia dei **Commons**.
  - Le numerose guerre per l'acqua o per il petrolio – tra i beni vitali più limitati e scarsi – ne sono la prova più evidente.
- Per illustrare la **tragedia dello sfruttamento dei commons** il modello di pagina seguente riprende il modello GEA.



# Strategia per la Sostenibilità

## Tragedia dei commons



La GEA spinge allo sfruttamento delle **risorse non rinnovabili**.

Ciò ne riduce la disponibilità e spinge per l'invenzione di nuovi **metodi di ricerca e sfruttamento** che riducono ancor di più la disponibilità dei Commons (loop **R3**) avviando le **Tragedie dei Commons**.

La riduzione della disponibilità dei Commons suscita un **Social alarm** che spinge le **Autorità** (esterne) a stabilire vincoli, incentivi e disincentivi per **controllare lo sfruttamento**, con un sistema che adotta una strategia che comprende **tre classi di leve**:

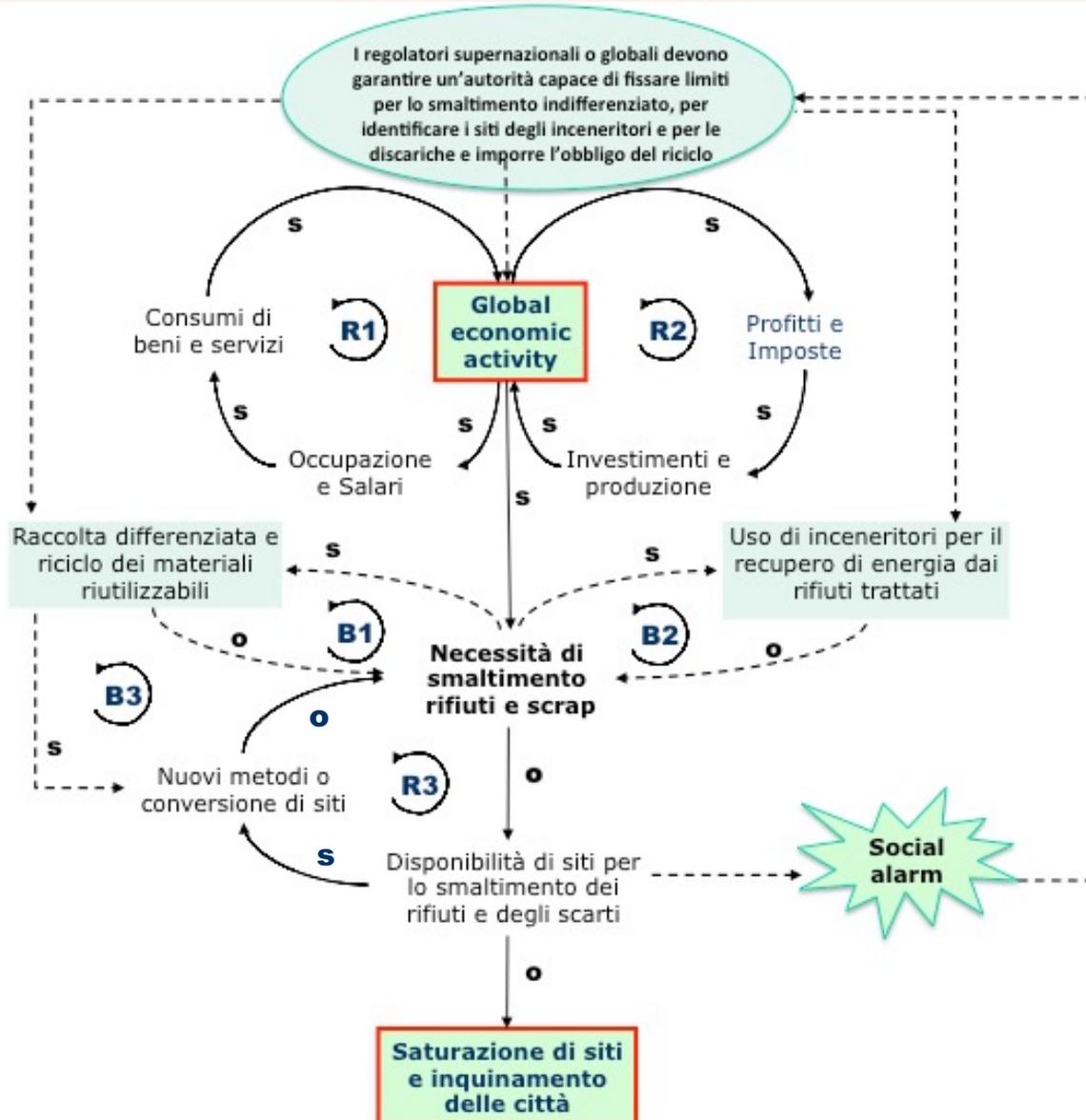
- 1.** Incentivi e informazioni per modificare la cultura dei consumi e lo sfruttamento dei Commons, attivando il **loop B1**.
- 2.** Disincentivi e sanzioni per che sfrutta i Commons, attivando il **loop B2**.
- 3.** Incentivi e informazioni per scoraggiare la ricerca e l'introduzione di nuovi metodi di sfruttamento dei Commons, attivando il **loop B3**.

**Il monito di Hardin è chiaro.**  
**The population problem has no technical solution; it requires a fundamental extension in morality.**



# Strategia per la Sostenibilità

## Smaltimento dei rifiuti



Una delle risorse la cui scarsità è conseguenza diretta della GEA è la continua riduzione della **disponibilità di siti per lo smaltimento dei rifiuti e degli scarti** prodotti dalla crescente attività di Produzione e di Consumo

La riduzione della disponibilità dei siti di smaltimento dei rifiuti suscita un **Social alarm** che spinge le **Autorità** (esterne) a stabilire vincoli, incentivi e disincentivi per il **controllo dello smaltimento**. Il sistema agisce con una strategia che comprende tre classi di leve:

1. Raccolta differenziata e riciclo, attivando il **loop B1**.
2. Uso di inceneritori per distruggere molti tipi di rifiuti, attivando il **loop B2**.
3. Disincentivo alla ricerca di nuovi metodi di il **loop B3**.

# Sistemi di controllo nell'ambito «biologico»

## Sistemi «omeostatici»

- Si definisce **«omeostatico»** un **sistema unitario multi obiettivo**, formato da molteplici variabili  $[Y]$  connesse tramite **loop di bilanciamento**, nel quale:
  - ciascuna variabile componente  $[Y_m]$  può assumere un limitato insieme di valori attorno ad un valore normale  $[Y_m^*]$ , che rappresenta un **vincolo per l'esistenza e la funzionalità** della variabile all'interno del sistema;
  - ciascuna  $[Y_m]$  può subire solo limitate alterazioni dei propri valori a opera di disturbi  $[D]$  (anche sotto forma di interferenze);
  - per ciascuna  $[Y_m]$  è posto un **Sistema di Controllo** che ne attua la **regolazione** attorno al vincolo di esistenza  $[Y_m^*]$ ;
  - L'intero sistema permane solo se tutte le  $[Y_m]$  rispettano gli  $[Y_m^*]$ .
    - Homeostasis is the tendency of a complex system to run towards an equilibrial state. This happens because the many parts of the complex system absorb each other's capacity to disrupt the whole (Beer, 1975, p. 426).
- **L'omeostasi è pertanto un processo di regolazione globale del sistema unitario mediante Sistemi di Controllo locali per la regolazione delle proprie variabili costituenti.**
- **L'omeostasi è il processo tipico svolto dai sistemi autopoietici viventi.**



# Sistemi di controllo nell'ambito «biologico»

## Sistemi «autopoietici» e «viventi»

- I biologi **Herberto Maturana** e **Francisco Varela** hanno introdotto il concetto di **autopoiesi** e di **sistema autopoietico** che ha portato una rivoluzione nel modo di pensare alla «vita».
  - Una **macchina autopoietica** è una macchina organizzata (definita come un'unità) come una **rete** di processi di produzione (trasformazione e distruzione) di componenti che produce i componenti che: **1.** attraverso le loro interazioni e trasformazioni continuamente rigenerano e realizzano la rete di processi (di relazioni) che li producono; e **2.** la costituiscono (la macchina) come un'unità concreta nello spazio nel quale essi (i componenti) esistono specificando il dominio topologico della sua realizzazione in quella rete. Ne segue che una macchina autopoietica continuamente genera e specifica la sua propria organizzazione mediante il suo operare come sistema di produzione dei suoi propri componenti e lo fa in un turnover senza fine in condizioni di continue perturbazioni e di compensazione di perturbazioni. **Perciò una macchina autopoietica è un sistema omeostatico (o piuttosto un sistema di relazioni statico) che ha la sua propria organizzazione (rete di relazioni definente) come la variabile fondamentale che mantiene costante** (Maturana, Varela, 1992, p. 131).
- Sulla base di questa definizione, i due Autori specificano anche il concetto di **sistema vivente**:
  - Se i **sistemi viventi** sono macchine, allora che essi siano macchine autopoietiche fisiche è banalmente ovvio: essi trasformano dentro se stessi materia in modo tale che il prodotto del loro operare è la loro propria organizzazione. Tuttavia crediamo che anche il contrario sia vero: **un sistema fisico se è autopoietico, è vivente. In altre parole, asseriamo che la nozione di autopoiesi è necessaria e sufficiente per caratterizzare l'organizzazione dei sistemi viventi** [il corsivo è degli autori] (Maturana, Varela, 1992, p. 135).



# Sistemi di controllo nell'ambito «biologico»

## Sistemi «viventi» come sistemi «omeostatici»

- **L'omeostasi, pertanto, rappresenta la tipica manifestazione del controllo – nella forma di regolazione – dei i sistemi viventi.**
- Il concetto di omeostasi porta a concludere che:
  - Nei sistemi viventi, tutti i meccanismi vitali, per quanto siano vari, non hanno altro fine che quello di mantenere l'unità delle condizioni di vita dell'ambiente interno autopoietico.
  - I nostri **feedback omeostatici** presentano rispetto a quelli **volontari** e **posturali** [pag. seguente] una differenza di carattere generale: essi tendono a essere più lenti. Sono pochissime le variazioni dell'omeostasi fisiologica – e fra questi neppure l'anemia cerebrale – che producano danni seri o permanenti in una breve frazione di secondo (Wiener, 1968, p. 156).
- **Conclusione**
  - **se un sistema è vivente è omeostatico e pertanto:**
  - **è esso stesso un Sistema di Controllo unitario della propria organizzazione costituente,**
  - **formato da una rete di Sistemi di Controllo delle proprie variabili interconnesse,**
  - **molti dei quali sono attivati dai cosiddetti «orologi biologici»**



# Sistemi di controllo nell'ambito «biologico»

## Sistemi di «controllo posturale»

- I **Sistemi di Controllo cosiddetti posturali** sono essenziali per ogni essere vivente dotato di articolazioni.
  - Nel corpo umano, il movimento di una mano o di un dito mette in gioco un sistema con un elevato numero di articolazioni. L'uscita è una combinazione vettoriale additiva delle uscite di tutte queste articolazioni. Abbiamo visto che in generale un complesso sistema additivo come questo non può essere stabilizzato da un unico feedback.  
Quindi il feedback volontario mediante il quale regoliamo l'esecuzione di un atto attraverso l'osservazione della **misura in cui esso non è ancora compiuto**, deve appoggiarsi su altri feedback. Chiamiamo posturali questi ultimi feedback.  
Essi sono connessi con il mantenimento del tono del sistema muscolare (Wiener, 1968, p. 147).
- I **Sistemi di Controllo posturali sono in gran parte automatici; si formano con l'apprendimento e si trasformano in routine.**
- Il controllo posturale si estende a tutti i **comportamenti creativi e artistici**, che denotano l'innata tendenza umana a porre in atto comportamenti verso obiettivi di auto realizzazione e di miglioramento delle condizioni di esistenza, come viene testimoniato da ogni museo, opera architettonica, Teatro dell'Opera, e da ogni biblioteca.

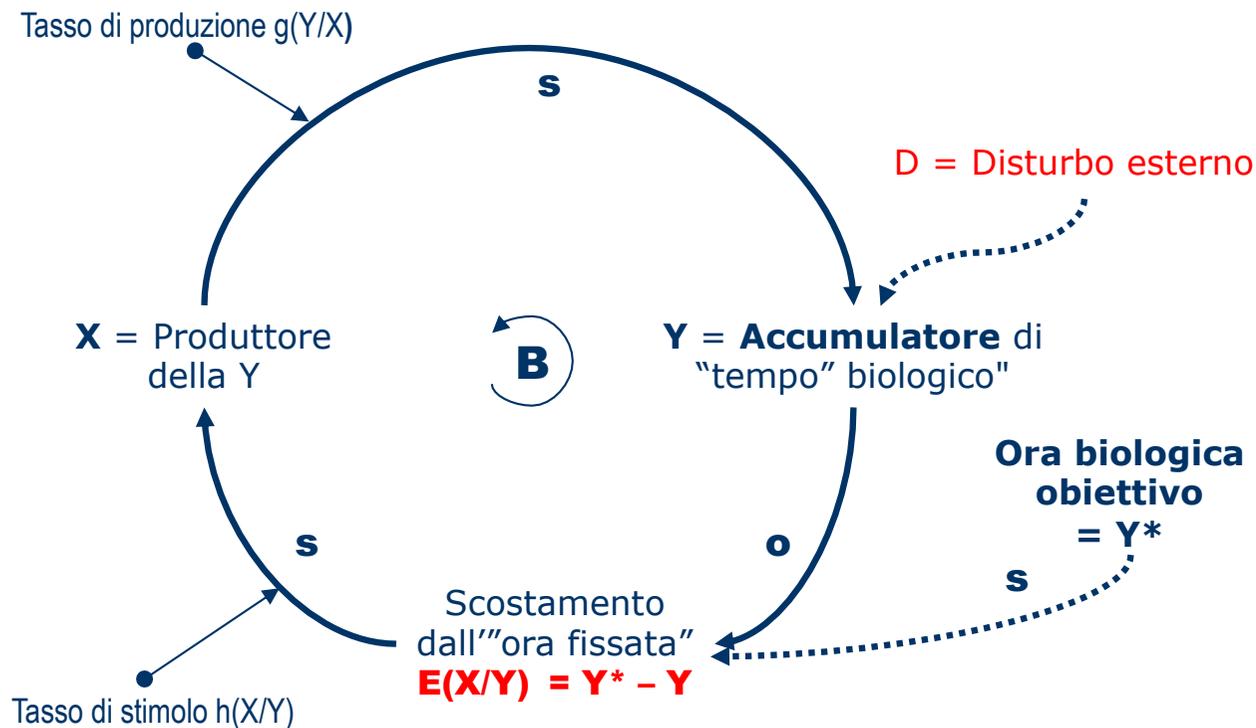


# Sistemi di controllo nell'ambito «biologico»

## Orologio biologico

facoltativo

- **Gli orologi biologici sono tra i Sistemi di Controllo più diffusi nel mondo della vita e del mondo intero** (Costa, 2007).
- Si può supporre che un orologio biologico sia un Sistema di Controllo per impulsi (si veda Lezione 3, p. 217) il cui obiettivo,  $Y^*$ , sia il valore che deve essere raggiunto da qualche **variabile di accumulazione**, o di **dispersione**,  $Y$ , di qualche specie.



L'azzeramento dell'errore,  $E = Y^* - Y = 0$ , rappresenta il **segnale di attivazione** dei processi fisiologici che fino a quel momento rimanevano inibiti. La natura della variabile  $Y$ , i cui valori sono accumulati, dipende dal tipo di orologio biologico e dall'organismo specifico in cui opera. Non sappiamo chi abbia inserito l'**ora biologica** obiettivo. Probabilmente è l'effetto dell'evoluzione.



# Sistemi di controllo nell'ambito «biologico»

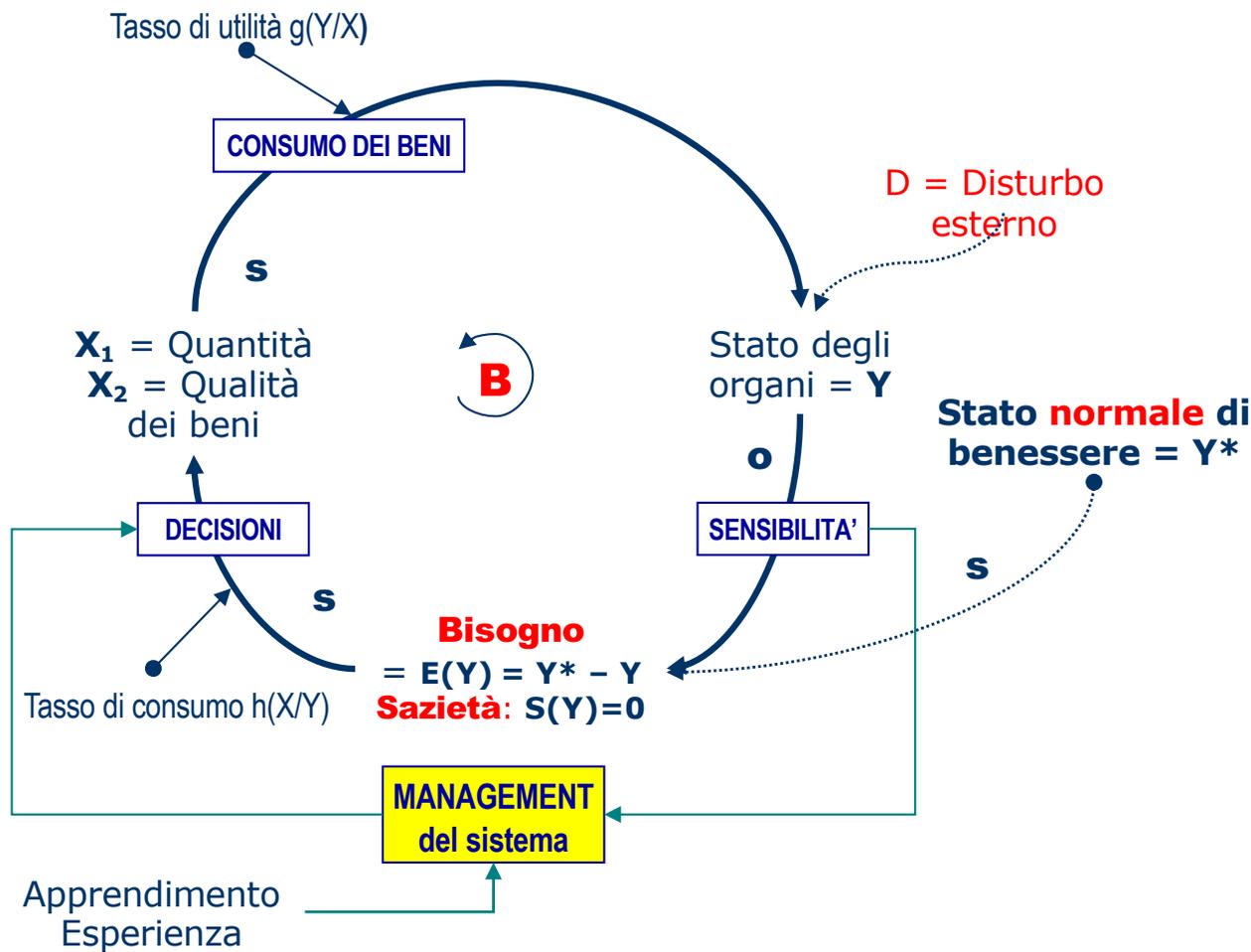
## Sistemi «teleonomici»

- Seguendo **Jacques Monod**, nel suo ben noto «Le hazard et la nécessité» (1970/1971), l'uomo può essere definito come un **sistema teleonomico** che tende, come gli altri animali, alla sopravvivenza della specie, della collettività in cui si identifica per territorio (nazione, tribù), della famiglia e di sé stesso, attuando **comportamenti teleonomici**.
- **Un comportamento si definisce teleonomico se è attuato, consciamente o no, per la sopravvivenza del sistema e dalla specie.**
  - Qualunque “artefatto” è il prodotto dell'attività di un essere vivente, che esprime in tal modo, e con particolare evidenza, una delle proprietà fondamentali caratteristiche di tutti i viventi, nessuno escluso: quella di essere oggetti dotati di un progetto, rappresentato nelle loro strutture e al tempo stesso realizzato mediante le loro prestazioni, ad esempio la creazione di “artefatti”. È indispensabile riconoscere questa nozione come essenziale alla definizione stessa degli esseri viventi, invece di rifiutarla (come hanno tentato di fare alcuni biologi). Anzi diremo che gli esseri viventi si differenziano da tutte le strutture di qualsiasi altro sistema presente nell'universo proprio grazie a questa proprietà, alla quale daremo il nome di teleonomia (Monod, 1971, p. 25).
- Nell'uomo, la **teleonomia** si rivela con il sorgere continuo di **bisogni** e di **aspirazioni** e si realizza tramite i **Sistemi di Controllo dell'equilibrio psico-fisico** volti al loro soddisfacimento, per conseguire e accrescere le condizioni di sopravvivenza, singola e collettiva.
- **Il nostro benessere, come sistemi teleonomici, dipende dal numero e dalla specie dei bisogni e delle aspirazioni che possiamo soddisfare.**



# Segue

## «Bisogni» come sintomi nei Sistemi di Controllo



I **bisogni** sono sensazioni, o **stati spiacevoli**, che derivano da stati di disequilibrio psico-fisico, sentiti (o supposti o previsti) in un dato periodo, che si vogliono eliminare o attenuare o evitare (Mella, 2008).

Percepriamo regolarmente lo stimolo della fame, del caldo, del freddo ed ogni volta sorge il bisogno di cibo, di vestiti, di condizionatori, di tuffi in mare o di gite in mezzo alla neve. Se ho paura, ho bisogno di protezione; se sono stanco, devo riposarmi. Se devo raggiungere un amico che abita lontano, sento il bisogno del trasporto.

Si denomina **soddisfacimento** di un **bisogno** il comportamento volto ad **annullare lo stato spiacevole** di disequilibrio da cui deriva il bisogno.

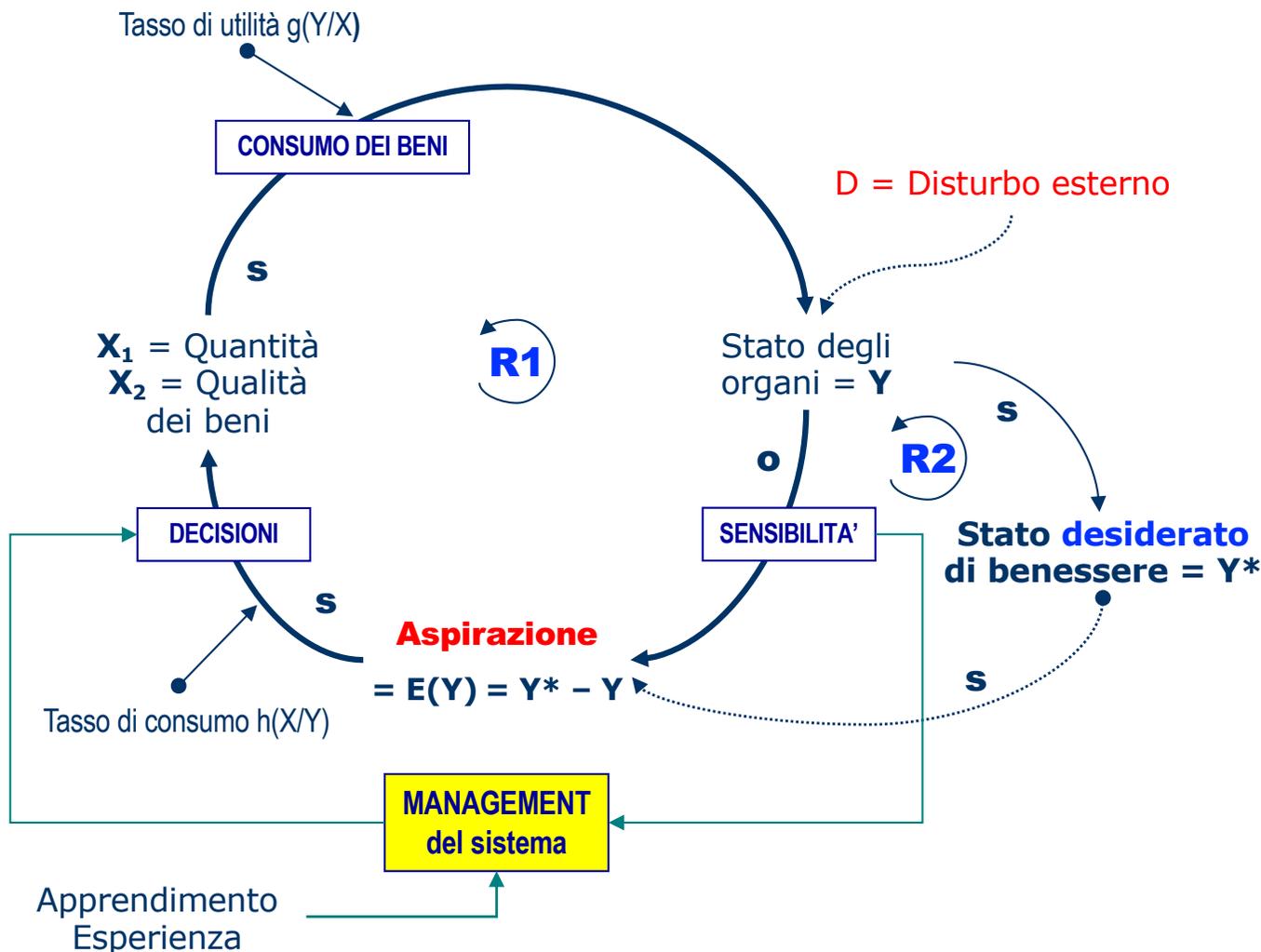
Il soddisfacimento richiede il «consumo» di beni «utili», materiali, immateriali, fisici o spirituali, in una certa quantità e di una data qualità.

Si forma un sistema di controllo che tende ad eliminare il bisogno, sviluppando il loop **[B]**.



# Segue

## «Aspirazioni» come sintomi nei Sistemi di Controllo



Le **aspirazioni** possono essere definite sensazioni o **stati piacevoli** che, potendolo fare, l'uomo desidera acquisire, mantenere o incrementare (Mella, 2008).

Il desiderio di un vestito alla moda non deriva tanto dal bisogno di proteggerci dal freddo quanto, piuttosto, dall'**aspirazione** di essere ammirati; sentiamo il bisogno di un'automobile (meglio sarebbe dire che sentiamo il bisogno del trasporto), ma **aspiriamo** ad avere una fuoriserie. Si denomina **appagamento** di un'**aspirazione** il comportamento volto al raggiungimento dello stato piacevole connesso all'aspirazione. Si forma il sistema di controllo per appagare l'**aspirazione**, sviluppando il loop **[R1]**.

Quanto più **migliora lo Stato degli organi**, per l'azione delle leve  $X_1$  e  $X_2$ , tanto più si innalza lo **Stato desiderato di benessere**, in un processo di accrescimento continuo che porta alla inestinguibilità delle aspirazioni.



# Sistemi di controllo nell'ambito «biologico»

## Sistemi «teleologici» secondo la Perceptual Control Theory (PCT)

facoltativo

- Secondo la **Perceptual Control Theory**, l'uomo non agisce per **cause** → **effetti**, per **azioni** → **reazioni**, per **stimoli** → **risposte**, **perturbazioni** → **adattamenti**, ma per **raggiungere obiettivi** di varia ampiezza, mediante azioni e comportamenti che rappresentano le leve – o l'input – del Sistema di Controllo, secondo il modello generale che ben conosciamo.
  - Perceptual Control Theory (PCT) is a theory of how 'control' works to the level of detail that control can be modelled with precision. It regards life as a process of control and proposes that all living things are purposeful in doing what they do.  
To put it simply, people need a goal, a means, a resource and they need to pay attention to the results – which are the effects on our own experiences. These elements weave together in a closed circle that builds control [sistema di controllo]. The goal is what the person can hold in mind and strive towards – to be a fireman, to be loyal, to be a good son or daughter. In PCT this is known as a reference value. [...] Paying attention to our own experiences closes the loop because we perceive our results and compare them to our goal. If we have not reached our goal yet, we continue to develop the means to achieve it (Mansell 2011, Online).
- **Consegue, pertanto, non solo che l'uomo è un «sistema teleologico» ma anche che l'uomo è esso stesso, un sistema di controllo complesso il cui obiettivo è la sopravvivenza, il benessere e l'autorealizzazione (autopoiesi)**



# Sistemi di controllo nell'ambito «biologico»

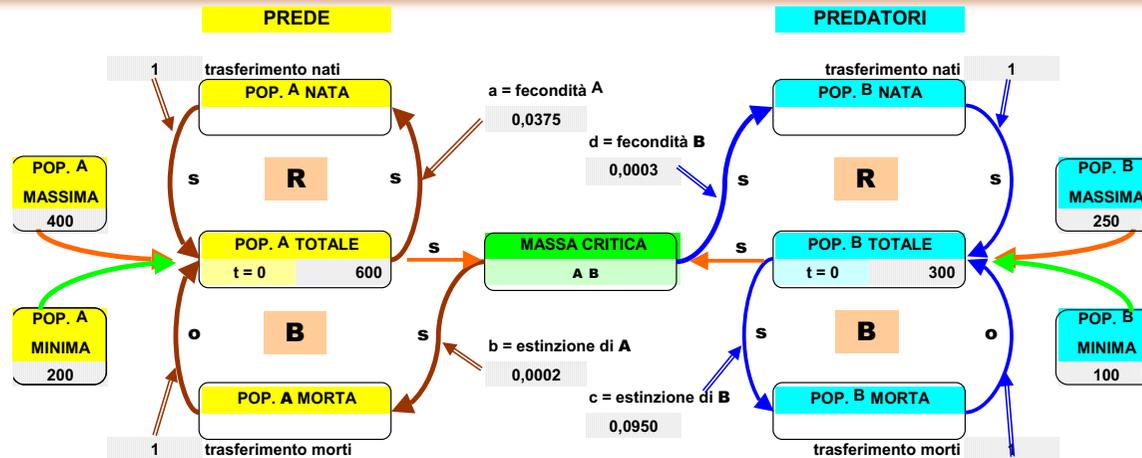
## Controllo sulle popolazioni

- I Sistemi di Controllo agiscono sulle **popolazioni** e sulle specie in forma “**artificiale**” o “**naturale**”, e intervengono sulle:
  - dinamiche quantitative
  - dinamiche qualitative
- Il **controllo «artificiale»** delle popolazioni è attuato dall'uomo con le attività di coltivazione, allevamento, caccia, ripopolamento, incroci, selezione, ecc.
- Il **controllo «naturale»** è attuato da meccanismi biologici. Tre sono le forme più evidenti:
  - controllo del **numero** di individui di **una** popolazione
  - controllo del **numero** di individui tra **due** o più popolazioni
  - controllo dei **caratteri** degli individui della popolazione, per consentire loro il massimo successo di sopravvivenza, con un processo di evoluzione dei fenotipi.
- Farò qualche cenno sul controllo «naturale», rinviando, per approfondimenti, a [Mella & Beretta, 2018](#).



# Sistemi di controllo nell'ambito «biologico»

## Controllo reciproco di due popolazioni di predatori e prede



Vito **Volterra** (1926) e Alfred **Lotka** (1925) dimostrarono come due popolazioni interagenti di **prede** e **predatori** ammettano un equilibrio dinamico.

Le **prede** – A – si incrementano di un certo numero annuo secondo il tasso “a” – che sintetizza la differenza tra tasso di natalità naturale e tasso di mortalità naturale –, applicato alla popolazione dell’anno precedente  $A_{n-1}$ ; si decrementano a un tasso “b”, che esprime la voracità media dei predatori – B –, tenuto conto del numero dei predatori dell’anno precedente  $B_{n-1}$  (i tassi “a” e “b”, per semplicità, sono ipotizzati fissi nel tempo).

La popolazione dei **predatori** – B – muore per cause naturali secondo un tasso di mortalità “c” e aumenta a un tasso di riproduzione, legato al cibo, pari a “d”.

Venne introdotta l’ipotesi che le dinamiche delle due popolazioni fossero funzione anche del **numero di esemplari contemporaneamente viventi** che formano una **massa critica**, come prodotto: **Massa Critica =  $A_n B_n$** .

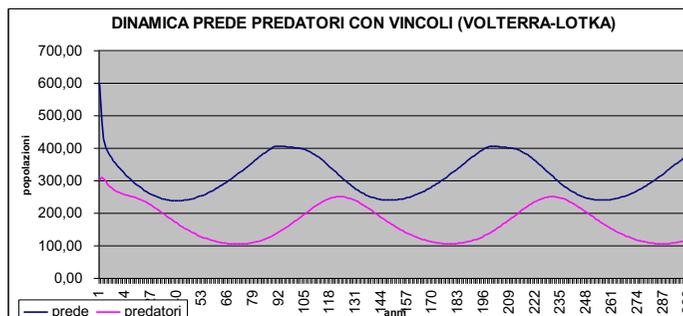
Il modello, Volterra-Lotka è rappresentato nelle equazioni ricorsive [1] e [2], riportate a fianco.

Come si osserva nella **simulazione**, dati i valori supposti di **a**, **b**, **c**, e **d**, il controllo “naturale” produce una dinamica oscillatoria.

È stato introdotto anche un «**controllo artificiale**» che limita la popolazione massima e minima delle due popolazioni.

ANNI	POPOLAZIONI		PREDE		MASSA CRITICA A B	PREDATORI		POPOLAZ. MASSIMA		POPOLAZ. MINIMA	
	PREDE A	PREDATORI B	nate a A	morte (-) b A B		nati d A B	morti (-) c B	PREDE TEMPO RETT.	PREDATORI TEMPO RETT.	PREDE TEMPO RETT.	PREDATORI TEMPO RETT.
0	600,00	300,00			180.000,00			2	3	2	3
1	482,90	308,83	22,50	39,60	149.135,62	54,0000	28,5000	-100	-17	0	0
2	426,75	304,62	18,11	32,81	129.997,85	44,7407	29,3392	-41	-20	0	0
3	400,78	296,48	16,00	28,60	118.821,03	38,9994	28,9393	-13	-18	0	0
4	389,28	288,47	15,03	26,14	112.292,97	35,6463	28,1652	-0	-15	0	0
5	379,17	281,93	14,60	24,70	106.898,57	33,6879	27,4042	0	-13	0	0
6	369,87	276,57	14,22	23,52	102.296,02	32,0696	26,7831	0	-11	0	0
7	361,24	272,13	13,87	22,51	98.303,04	30,6888	26,2743	0	-9	0	0
8	353,16	268,39	13,55	21,63	94.784,23	29,4909	25,8522	0	-7	0	0
9	345,55	265,20	13,24	20,85	91.638,92	28,4353	25,4972	0	-6	0	0
10	338,35	262,43	12,96	20,16	88.792,11	27,4917	25,1938	0	-5	0	0

ommissis



$$A_{n+1} = A_n + a A_n - b A_n B_n \quad [1]$$

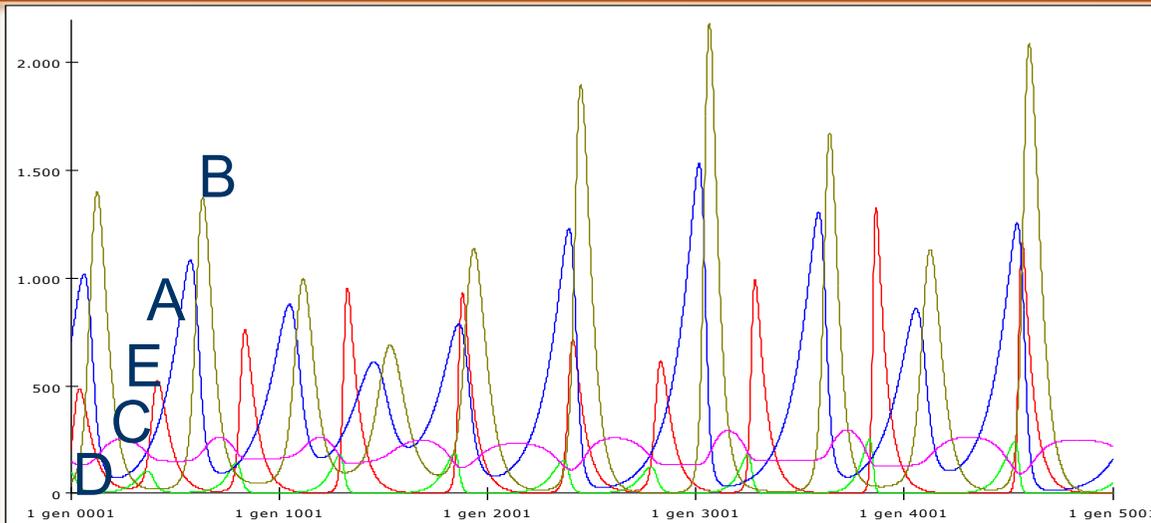
$$B_{n+1} = B_n + c A_n B_n - d B_n \quad [2]$$



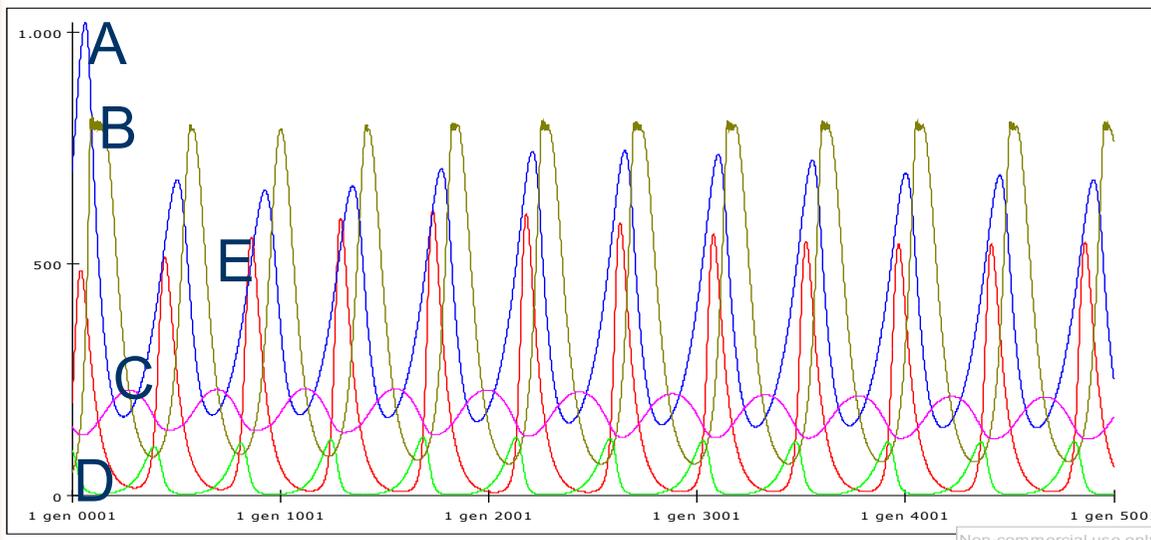


# Sistemi di controllo nell'ambito «biologico»

## Controllo reciproco di cinque popolazioni formanti una «catena alimentare»



Dinamica di 5 popolazioni **senza** controllo esterno



Dinamica di 5 popolazioni **con** controllo esterno

Il modello di **Volterra-Lotka** può essere esteso a qualunque numero di popolazioni che formino una **catena alimentare**, o anche un **ecosistema**, dopo avere definito le relazioni che le legano.

A titolo di esempio, consideriamo un ecosistema di **cinque popolazioni** unite in una *catena alimentare*: gli individui della **A** sono prede per la **B**; la **B** si nutre dell'**A** ma è preda per la **C** e così via fino alla **E** che costituisce il predatore al vertice della catena.

A fianco sono evidenziate le complesse dinamiche oscillatorie che si originano nell'arco di 5.000 periodi, mesi o anni, con parametri inseriti nel software di simulazione Powersim (non evidenziato), Il **grafico superiore** simula la dinamica delle popolazioni che interagiscono senza controlli esterni. Le dinamiche presentano **andamento pressoché caotico**.

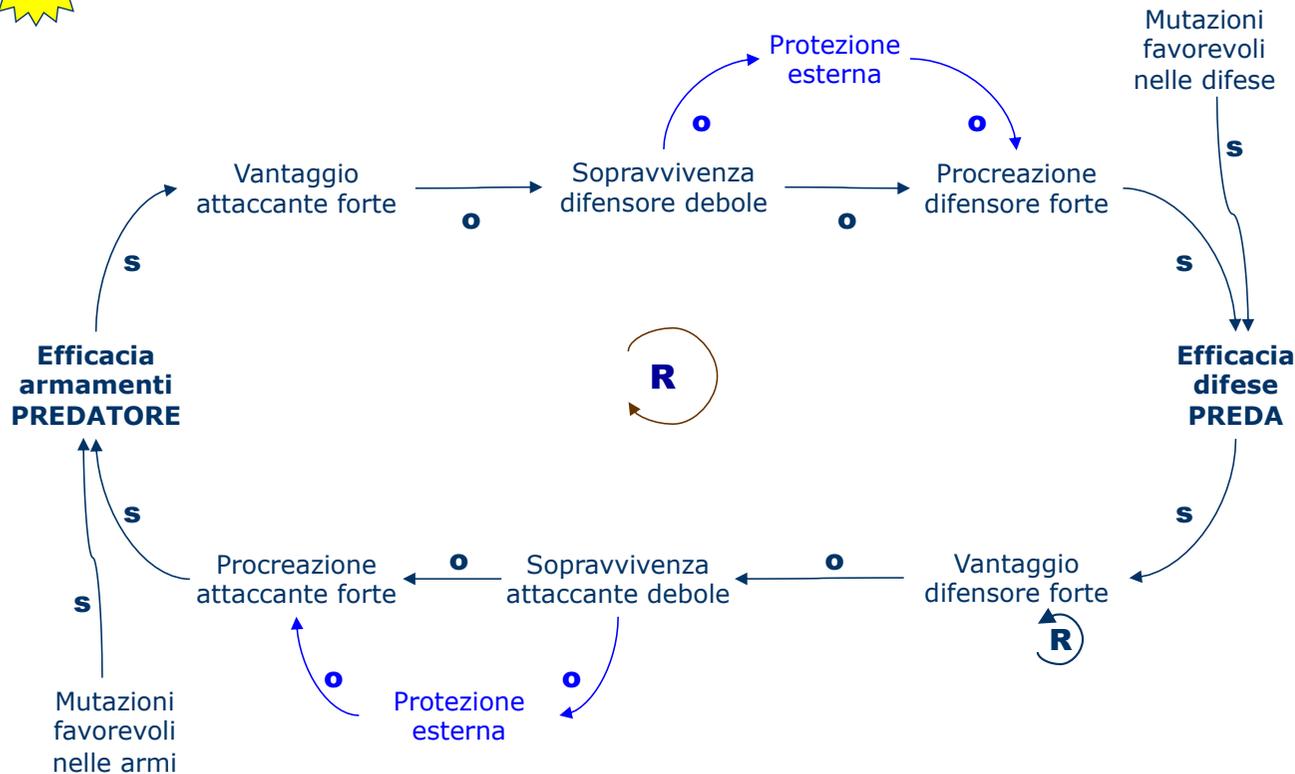
Quello **inferiore** si basa sull'ipotesi che, nei primi «secoli» di interazione, sia attuato un **controllo esterno** che pone **limiti minimi e massimi** per la dimensione di ciascuna popolazione.

Le dinamiche presentano, pertanto, un **andamento sufficientemente regolare**.



# Sistemi di controllo nell'ambito «biologico»

## Evoluzione dei Fenotipi di popolazioni per selezione naturale



Il **processo di selezione naturale** rappresenta un potente Sistema di Controllo “naturale” che porta a una progressiva modificazione migliorativa dei **caratteri (tratti fenotipici)** degli individui della popolazione, per consentire loro il massimo successo di sopravvivenza.

Secondo **Charles Darwin** il processo della **selezione naturale**, fondato sulla **lotta per l'esistenza** degli individui, porta all'**evoluzione qualitativa** delle specie per “selezione naturale **del più adatto**”. Qualunque interpretazione si voglia dare di questo processo [anche nella variante di Richard Dawkins (1976) che considera i **“geni egoisti”** quali motori dell'evoluzione], esso è rappresentabile con l'esempio del modello a fianco che evidenzia come la dinamica degli «armamenti» dei predatori sia in un **loop di rinforzo** con l'efficacia delle «difese» delle prede.

L'evoluzione delle strutture fisiche è, infatti, connaturata alla sopravvivenza della specie. Nel tempo, le prede deboli sono eliminate dai predatori. Le prede forti che rimangono in vita sfuggono ai predatori deboli che muoiono. Rimangono i predatori forti che cacciano le prede più deboli ... il loop mantiene attivo il processo. Ogni mutazione nei vantaggi essenziali di una popolazione viene compensata da paralleli vantaggi per l'altra.

**Non voglio presentare visioni troppo semplificate dell'evoluzione e, per questo, mi limito a riportare direttamente il pensiero di Charles Darwin (mia traduzione).**

Grazie a questa lotta per la vita, ogni variazione, anche di lieve entità e da qualsiasi causa derivante, se è, in qualche grado, redditizia per un individuo di qualsiasi specie, nelle sue relazioni infinitamente complesse con altri esseri organici e con la natura esterna, tenderà alla conservazione di quell'individuo, e sarà generalmente ereditata dalla sua prole. La prole, inoltre, avrà così una migliore possibilità di sopravvivenza, per qualcuno dei molti individui che nascono periodicamente, ma un piccolo numero può sopravvivere. Ho chiamato questo principio, con il quale ogni lieve variazione, se utile, è conservata, con il termine della selezione naturale, per segnare il suo rapporto con il potere dell'uomo di selezione (Darwin, 1859, p. 61).



# Sistemi di Controllo nell'ambiente sociale e economico

- L'ambiente socio-economico, del quale tutti noi siamo parte, può ritenersi costituito da un **complesso sistema** di gruppi di individui, di raggio sempre più ampio – individui singoli, coppie, famiglia, tribù, club, clan, villaggio, regione, nazione, associazioni e organizzazioni di varia specie e dimensione –, che si condizionano reciprocamente nelle attività di **convivenza sociale** e di **lavoro** per la **produzione** e il **consumo** di beni e di servizi e nella condivisione di valori, tradizioni, credenze, usi e consuetudini.
- Questo complesso sistema forma ciò che viene definito il “**tessuto sociale**”, costituito da una complessa **rete di sistemi** e di sottosistemi che si riproducono nel tempo, formando un “**sistema vitale**” che rimane stabile per lunghi periodi, oppure evolve lentamente e, a volte, subisce mutazioni improvvise (rivoluzioni, cambiamenti politici, innovazioni economiche ecc.).
- La **rete** delle connessioni di consumo (distruzione), produzione (rigenerazione) e scambio di persone, risorse, lavoro, informazioni ecc., consentono la sostituzione degli elementi (persone, risorse, lavoro, informazioni) non più efficienti con altri nuovi, mantenendo indefinitamente la rete delle connessioni.
- Si tratta di un evidente esempio di **sistema autopoietico** e **omeostatico** che opera in modo del tutto analogo a quello indicato da Maturana e da Varela nella loro definizione di **sistema vivente** in precedenza esaminata.



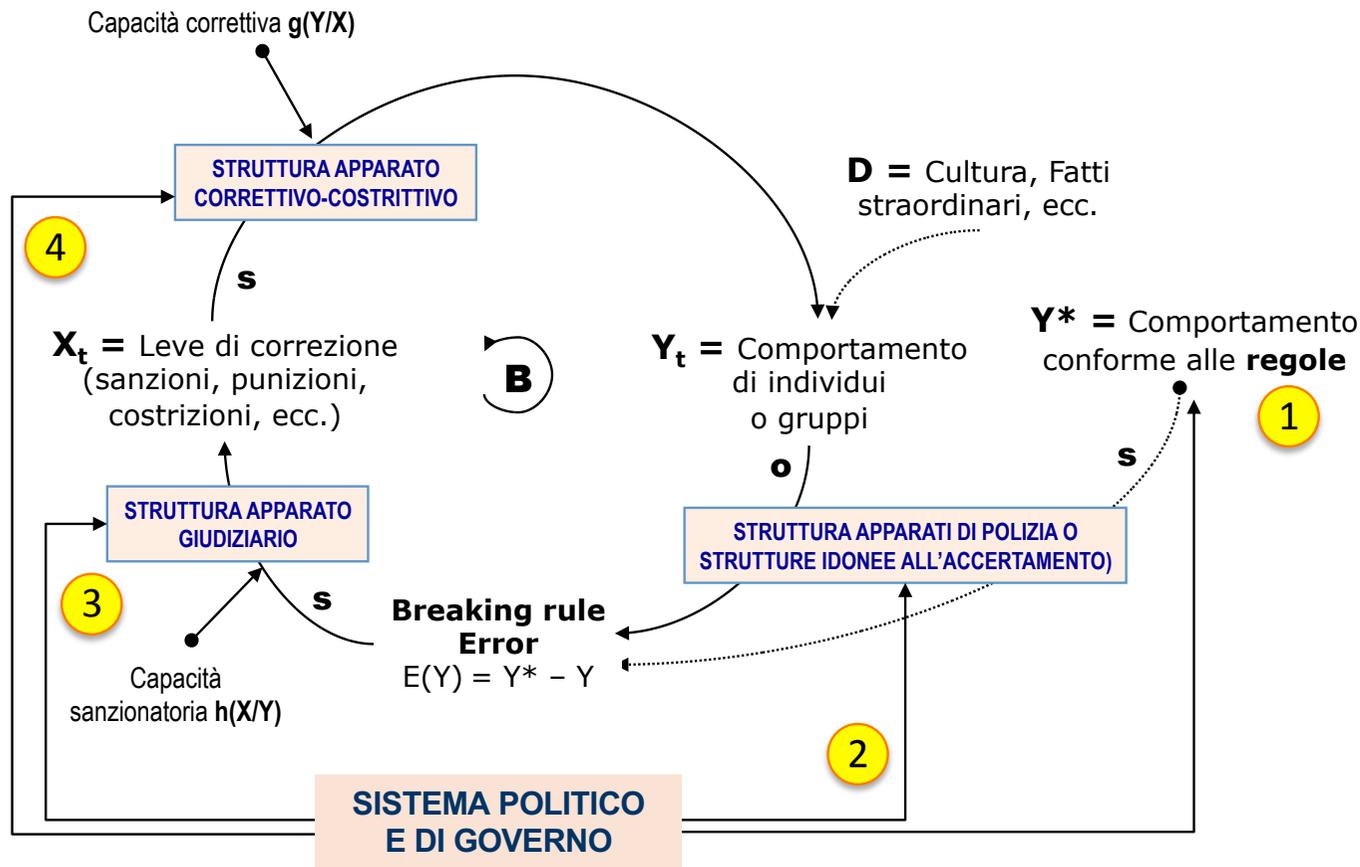
# Sistemi di Controllo nell'ambiente sociale e economico. Difficoltà osservative

- Da quanto affermato, consegue che una pluralità di Sistemi di Controllo deve consentire ai gruppi e alle organizzazioni che formano una **rete stabile** di funzionare come una **macchina autopoietica**, cioè come un **sistema omeostatico** «[...] che ha la sua propria organizzazione (rete di relazioni definente) come la variabile fondamentale che mantiene costante».
  - Le comunità piccole e molto unite possiedono quindi un considerevole grado di **omeostasi**; e questo vale sia per comunità a un buon livello culturale in un Paese civile sia per villaggi di tribù primitive.  
Per strani o addirittura ripugnanti che ci possano sembrare i costumi di molti selvaggi, essi hanno generalmente un ben definito valore omeostatico (Wiener, 1968, p. 210).
- Nella **rete autopoietica sociale** i Sistemi di Controllo sono ovunque e non è facile osservarli per alcune **difficoltà fondamentali**.
  - sono normalmente sistemi **multileva** e **multiobiettivo**;
  - sono sistemi a **obiettivi variabili** nel tempo e nello spazio, spesso con salti improvvisi;
  - sono sistemi altamente **interferenti** che agiscono a diversi strati (livelli di zoomata) del tessuto sociale;
  - sono sistemi disposti normalmente **in serie** e **in parallelo**;
  - sono sistemi che evolvono dimostrando un **processo di apprendimento**.



# Sistemi di Controllo in ambiente sociale

## Controllo di coesistenza, o controllo di conformità a norme dei comportamenti



È incredibile rendersi conto di quante **regole**, ①, norme, limiti, divieti, prescrizioni od obblighi regolino il nostro comportamento sociale.

Per esempio, norme giuridiche variamente articolate, norme fiscali, religiose, etiche, del galateo, ecc. regolano la nostra famiglia, la nostra abitazione, l'uso dei servizi pubblici nonché il nostro lavoro e il modo di fruire del nostro tempo libero.

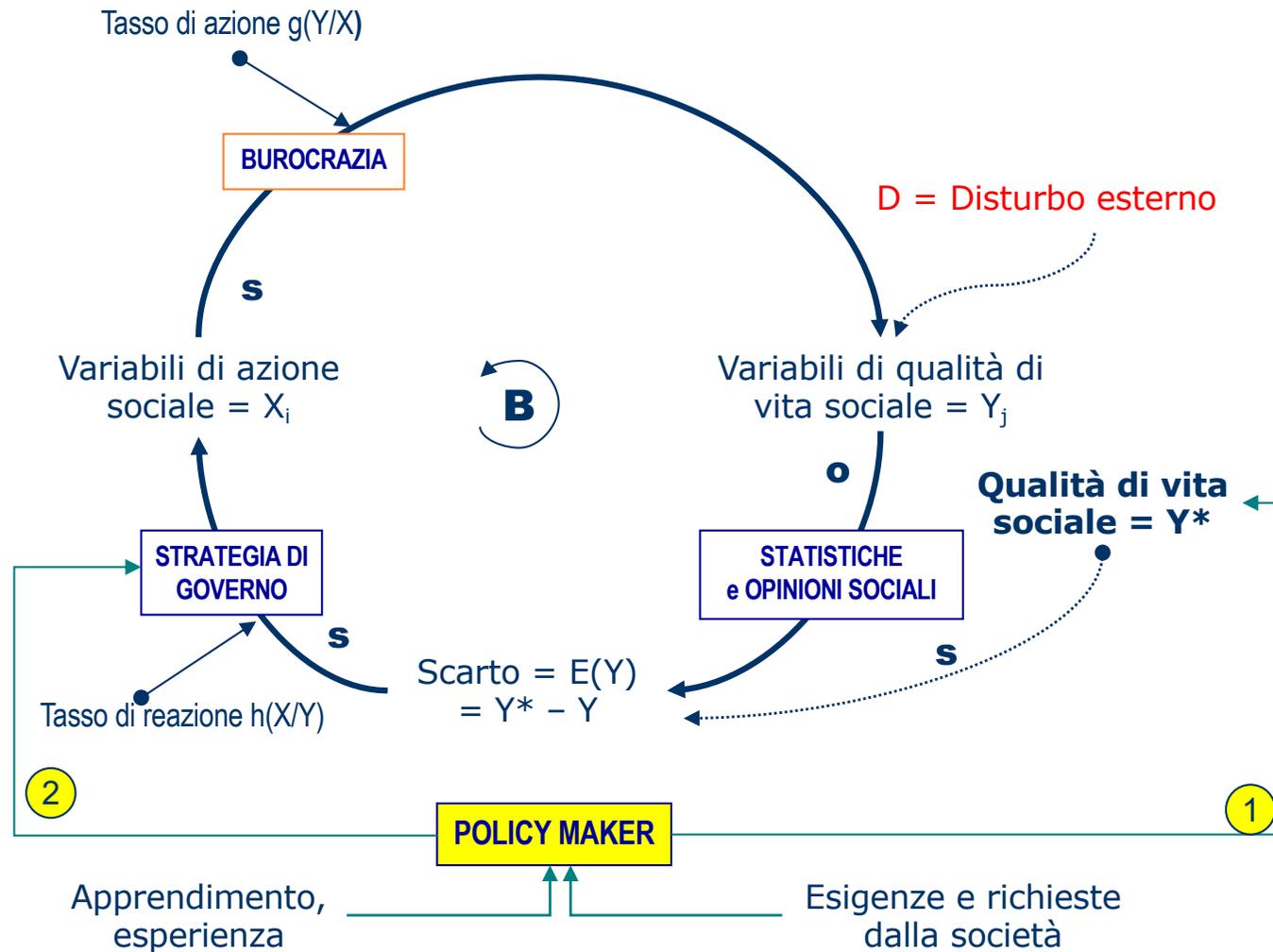
Per consentire l'azione dei Sistemi di Controllo sociali, le Istituzioni devono creare i necessari «apparati» che formano la catena di controllo, vale a dire:

1. i **rilevatori d'errore**, ②, per individuare e riconoscere i comportamenti non conformi a norme: giudici, arbitri, presidi nelle scuole, revisori, ecc.;
2. i **regolatori**, ③, delle leve di controllo dei comportamenti: l'apparato giudiziario per decidere forme di sanzioni);
3. gli **effettori**, ④, che ripristinano i comportamenti non conformi o evitano future comportamenti devianti rispetto alle norme (apparato correttivo e, se necessario, costrittivo, anche con limitazione della libertà individuale).



# Sistemi di Controllo in ambiente sociale

## Controllo della qualità della vita



# Sistemi di Controllo tipici del «tessuto sociale»

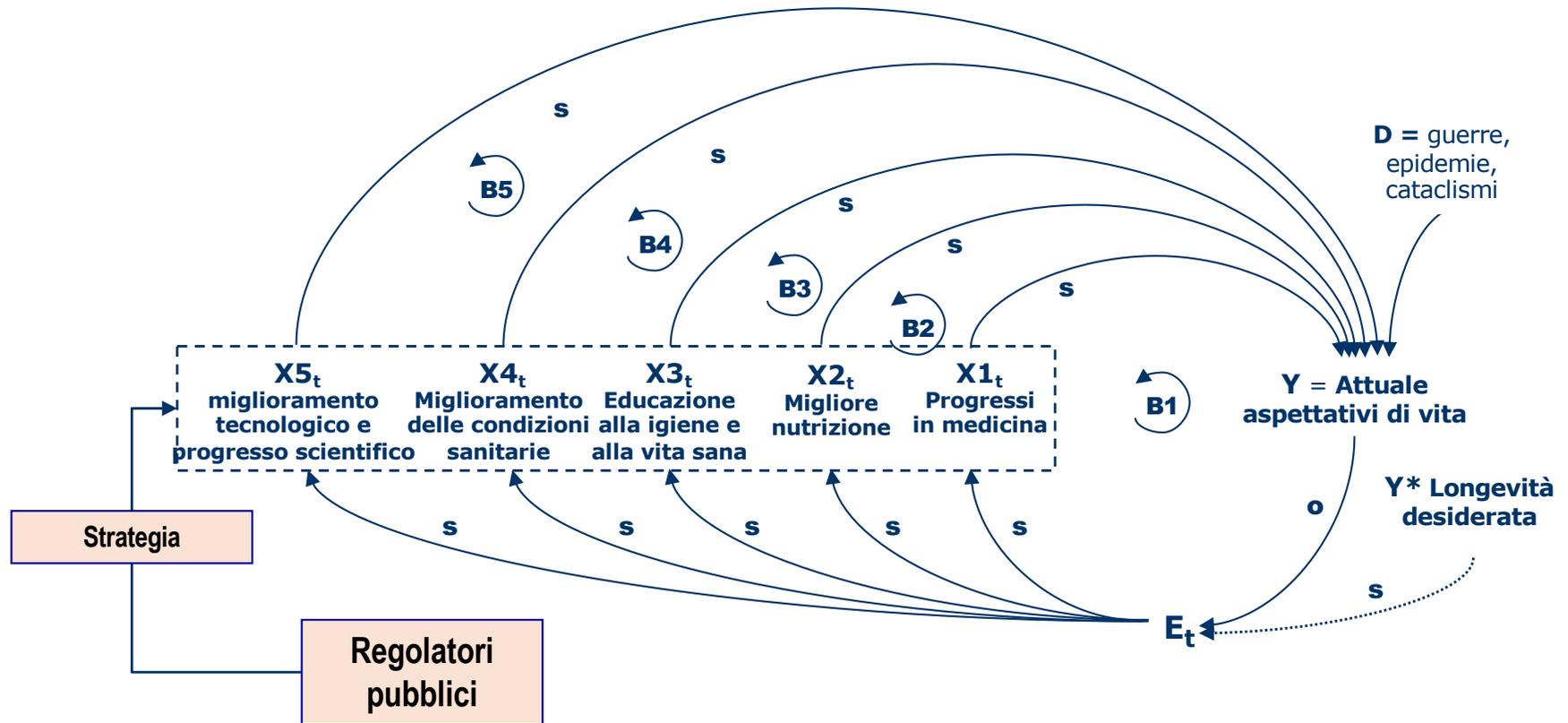
- Il **tessuto sociale** non potrebbe mantenersi senza una rete (il più possibile coerente) di **Sistemi di Controllo vitali**, tra cui cito:
- **Controlli economici a vari livelli, per:**
  - Ricchezza, reddito, risparmio,
  - Produttività, disoccupazione, disponibilità dei beni,
  - Prezzi, inflazione, flussi di beni e di persone, sviluppo,
  - Sostenibilità dei consumi e della produzione.
- **Controlli politici a vari livelli, per:**
  - Violenza,
  - Criminalità,
  - Guerra.
- **Controlli sociali a vari livelli, per:**
  - Educazione, lingua, tradizioni,
  - Scuole e Università,
  - Nascite e cure sanitarie
  - Nutrizione, salute, epidemie, pandemie,
  - Longevità della popolazione (come nel modello della **pagina seguente**).





# Sistemi di Controllo del «tessuto sociale»

## Sistema multi leva per il controllo della Longevità della popolazione



Il sistema proposto deve intendersi solo come esempio didattico



# Testi citati in questa “Lezione 4” A/L

- Beer, S. (1975). *Platform for change*. Chichester: Wiley.
- Boot-Handford, M. E., Abanades, J. C., Anthony, E. J., Blunt, M. J., Brandani, S., Mac Dowell, N., ... & Fennell, P. S. (2014). Carbon capture and storage update. *Energy & Environmental Science*, 7(1), 130-189.
- Brenna, L. (2020). Il ghiacciaio Presena coperto da teli riflettenti per salvarlo dalla fusione. <https://www.lifegate.it/teli-salvare-ghiacciaio-presena-scioglimento>
- Brundtland, G. H. (1987). *Our common future*. United Nations General Assembly. World Commission on Environment and Development (WCED)—The “Brundtland Commission”, Future. Oxford, UK: Oxford University Press, United Nations.
- Caprara, G. (2010). *Nuvola bianca, porta pioggia*. [https://www.corriere.it/scienze/10\\_luglio\\_01/nuvole-bianche\\_93fb9560-8537-11df-a3c2-00144f02aabe.shtml](https://www.corriere.it/scienze/10_luglio_01/nuvole-bianche_93fb9560-8537-11df-a3c2-00144f02aabe.shtml)
- Control Systems Group, Perceptual Control Theory (PCT). [www.perceptualcontroltheory.org/index.html#aboutus](http://www.perceptualcontroltheory.org/index.html#aboutus)
- COP26 GOALS (online). <https://ukcop26.org/cop26-goals/>
- Costa, R. (2007). Orologio Biologico. Treccani, Enciclopedia Italiana, VII Appendice. [https://www.treccani.it/enciclopedia/orologio-biologico\\_%28Enciclopedia-Italiana%29/](https://www.treccani.it/enciclopedia/orologio-biologico_%28Enciclopedia-Italiana%29/)
- Darwin, C. (1859). *On the origin of species*. Harvard University Press. [https://www.vliz.be/docs/Zeecijfers/Origin\\_of\\_Species.pdf](https://www.vliz.be/docs/Zeecijfers/Origin_of_Species.pdf)
- Famooss Paolini, L., & Cesaro, P. (online). Duegradi. <https://www.duegradi.eu/news/gas-serra/>
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science*, 162, 1243–1248.
- Hardin, G. (1985). An ecologic view of the human predicament. [www.garretthardinsociety.org/articles/art\\_ecologic\\_view\\_human\\_predicament.html](http://www.garretthardinsociety.org/articles/art_ecologic_view_human_predicament.html)
- Keith, D. W., Ha-Duong, M., & Stolaroff, J. K. (2006). Climate strategy with CO2 capture from the air. *Climatic Change*, 74(1-3), 17-45.
- Latham, J., et al. (2012). Marine cloud brightening. *Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*, 370(1974): 4217–4262. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3405666/>
- Lemley, B. (2004). A new ice age. Could global warming trigger a big freeze? *Discover magazine*. <https://www.cbsd.org/cms/lib/PA01916442/Centricity/Domain/1622/Article%20E%20-%20A%20New%20Ice%20Age.pdf>
- Lotka, A. J. (1925). *Elements of physical biology*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Lovelock, J. E. (1979). *GAIA, a new look at life on earth*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Lovelock, J. E. (1988). *The ages of Gaia: A biography of our living earth*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Lovelock, J. E. (2011). What is Gaia? [http://www.ecolo.org/lovelock/what\\_is\\_Gaia.html](http://www.ecolo.org/lovelock/what_is_Gaia.html)



# Testi citati in questa “Lezione 4” M/Z

- Mansell, W. (2011). Control and purpose. A scientific and practical statement in response to the UK Riots 2011. <http://www.pctweb.org/LondonRiots.pdf>
- Maturana H.R., Varela F.J. (3<sup>a</sup> ed. 1992; 1<sup>a</sup> ed. 1980), Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living, Reidel, Dordrecht e Boston (trad. it., Autopoiesi e cognizione. La realizzazione del vivente, Marsilio, Venezia, 1985).
- Mella, P. (2008). Aziende 1. Milano, Francoanageli.
- Mella, P., & Beretta, V. (2018). Quantitative and Qualitative Dynamics of Interacting Populations. *Systems Research and Behavioral Science*, 35(4), 427-457.
- Mella, P. (2021). The Magic Ring. Springer.
- Mella, P. (2022). Global Warming: Is It (Im)Possible to Stop It? The Systems Thinking Approach. *Energies*, 15(3), 705.
- Monod, J. (1970), Le hazard et la nécessité. Paris, Editions du Seuil.
- Monod, J. (1971). Il caso e la necessità, saggio sulla filosofia naturale della biologia contemporanea, Mondadori, Milano (trad. italiana di Monod, 1970).
- PCT (online). <http://www.pctweb.org/whatis/whatispct.html>
- Volterra, V. (1926). Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together [original: Variazioni E Fluttuazioni Del Numero D'individui in Specie Animali Conviventi]. *Memorie Della R. Accademia Dei Lincei*, 6(2), 31–113.
- Volterra, V. (1931). Lessons on the mathematical theory of struggle for life [original: Leçons sur la théorie mathématique de la Lutte pour la vie]. Paris: Gauthier-Villars.
- Watson, A. J., & Lovelock, J. E. (1983). Biological homeostasis of the global environment: The parable of Daisyworld. *Tellus B*, 35(9), 286–289.
- Wiener, N. (1961, 1st ed. 1948). *Cybernetics: Or control and communication in the animal and the machine*. Cambridge, MA: MIT Press. Google Books.
- Wiener N. (1968), *La cibernetica*, Il Saggiatore, Milano (traduzione di Wiener, N. (1961).
- Yale Climate Connections. (2021). Startup converts Carbon Dioxide from the Air into Diamonds. YCC TEAM, 2021. <https://yaleclimateconnections.org/2021/06/startup-converts-carbon-dioxide-from-the-air-into-diamonds/>

## Fine della Lezione 4

Si invita il Lettore a seguire la  
**Appendice 4 A – Il controllo dei Sistemi Combinatori Sociali**

