

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 - <http://www.pieromella.it>

Aula Volta, Palazzo Centrale
Università di Pavia - Italy

Cite as: Mella, P. (2022). Corso Breve di Teoria del Controllo. Lezione 1: Logica linguaggio e regole del Systems Thinking. *Economia Aziendale online*, 13(3), 561-609

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

- **Lezione 1** - Logica, linguaggio e regole del Systems Thinking (secondo Senge)
[47 dia - tempo di lettura 50 min]
 - **Appendice 1 A** – Le Cinque Discipline [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
[44 dia - tempo di lettura 50 min]
 - **Appendice 2** – Tipologia ed esempi di sistemi di controllo a una leva, con simulazioni [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 [54 dia - tempo di lettura 70 min]



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

Corso Breve di Teoria del Controllo

Lezione 1

Logica, linguaggio e regole del Systems Thinking (secondo Senge)

Piero Mella

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

Aula Volta, Palazzo Centrale
Università di Pavia - Italy

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

Vol. 13-3/2022 - DOI: 10.13132/2038-5498/13.3.561-609

Cite as: Mella, P. (2022). Corso Breve di Teoria del Controllo. Lezione 1: Logica linguaggio e regole del Systems Thinking. *Economia Aziendale online*, 13(3), 561-609.

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



Lezione 1

Abstract e Keywords

Abstract

Per presentare in forma qualitativa la logica del **Controllo** e dei **Sistemi di Controllo** impiegherò la potente «metodologia» e il semplice «linguaggio» del **Systems Thinking**, nella forma proposta da Peter Senge.

In questa **Lezione 1** esporrò la struttura logica del Systems Thinking suggerendo **Cinque Regole di Base** seguendo le quali sarà semplice per la Lettrice e il Lettore costruire **modelli qualitativi** significativi di **sistemi dinamici** del «mondo».

La Lezione 1 è arricchita da due appendici di approfondimento. Particolarmente utile è l'**Appendice 1 B**, nella quale viene presentata, con gradualità, la tecnica per la costruzione dei modelli sistemici.

Un'etichetta indicherà le diapositive la cui lettura è «facoltativa».

In order to present the logic of Control and Control Systems in a qualitative form, I will employ the powerful "methodology" and the simple "language" of Systems Thinking, in the form proposed by Peter Senge. In this **Lesson 1** I will expose the logical structure of Systems Thinking by suggesting Five Basic Rules following which the Reader will be able to build meaningful qualitative models of dynamic systems of the "world". **Lesson 1** is enriched by two in-depth appendices. Particularly useful is **Appendix 1 B**, in which the techniques for building systemic models are presented gradually. A label will indicate the slides whose reading is "optional".

Keywords: Sistema di Controllo, Cibernetica, Systems Thinking, le cinque discipline, la quinta disciplina, pensiero olonico, catena causale, loop, rinforzo, bilanciamento, system dynamics, leggi del Systems Thinking



Conoscenza tacita e conoscenza assente

- **L'intelligenza è l'abilità di costruire velocemente modelli coerenti e dotati di senso, e di imparare a utilizzarli** (Mella, 2022).
- **L'intelligenza si può migliorare insegnando/apprendendo come costruire modelli efficienti ed efficaci.**
- Tre sono i problemi che incontriamo nell'applicare i modelli alle decisioni e alle azioni della nostra vita:
 - possediamo e utilizziamo modelli dei quali **non siamo coscienti** o consapevoli; essi formano la **conoscenza tacita**;
 - possediamo modelli **non adeguati**; la **conoscenza è insufficiente**;
 - **non possediamo modelli** che ci aiutino nelle nostre decisioni e azioni; la **conoscenza è assente** (siamo **ignoranti**).
- **Molti si rassegnano all'ignoranza**, ma voi

VOI NON SIETE QUI PER RASSEGNAarvi !



Pervasività e ubiquità dei Sistemi di Controllo

- Una potente classe di modelli per ampliare l'intelligenza è quella che rappresenta i **Sistemi di Controllo**.

Dobbiamo imparare a vedere, capire, costruire, migliorare i modelli dei Sistemi di Controllo per dare una “accelerata” alla nostra intelligenza.

- Anche se non siamo (ancora) abituati a “vederli”, i **Sistemi di Controllo** sono ovunque attorno a noi. Dobbiamo imparare a individuarli e a progettarli.

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

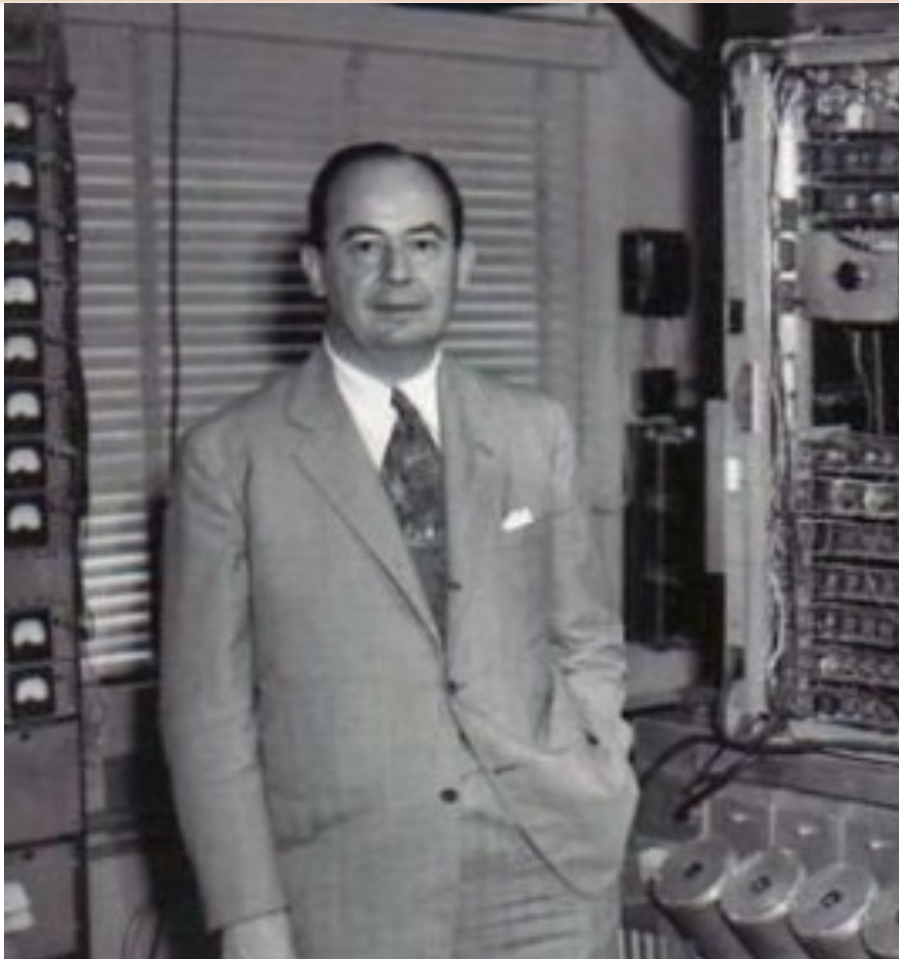
**All stable processes we shall predict.
All unstable processes we shall control.**

“John von Neumann’s dream”, citato da Dyson 1988, p. 182.





«All stable processes we shall predict. All unstable processes we shall control»



John von Neumann il «padre» del moderno computer, ideatore della “architettura di von Neumann”

John (János) von Neumann, matematico ungherese, naturalizzato statunitense, fu bambino prodigio. A dieci anni, padroneggiava sei lingue diverse. Pensava e scriveva a elevata velocità. Matematico e informatico, a Los Alamos, dove partecipava al Progetto Manhattan, era chiamato “il computer” per la sua abilità nel calcolo matematico. Contribuì alla progettazione e realizzazione dell'EDVAC (Electronic Discrete Variables Automatic Computer), la prima macchina digitale programmabile tramite un software, basata su quella che sarà poi definita l'architettura di von Neumann.



Il «Corso Breve» si basa sui seguenti testi

Il “Corso Breve di Teoria del Controllo” si basa sul testo Teoria del Controllo.
Per approfondire: The Magic Ring.



Testo di riferimento

Mella P. (2014). *Teoria del controllo. Dal Systems Thinking ai Sistemi di Controllo*. FrancoAngeli, Milano.

Testo di approfondimento

Mella, P. (2021, 1st Ed. 2014). *The Magic Ring. Systems Thinking Approach to Control Systems*. Springer



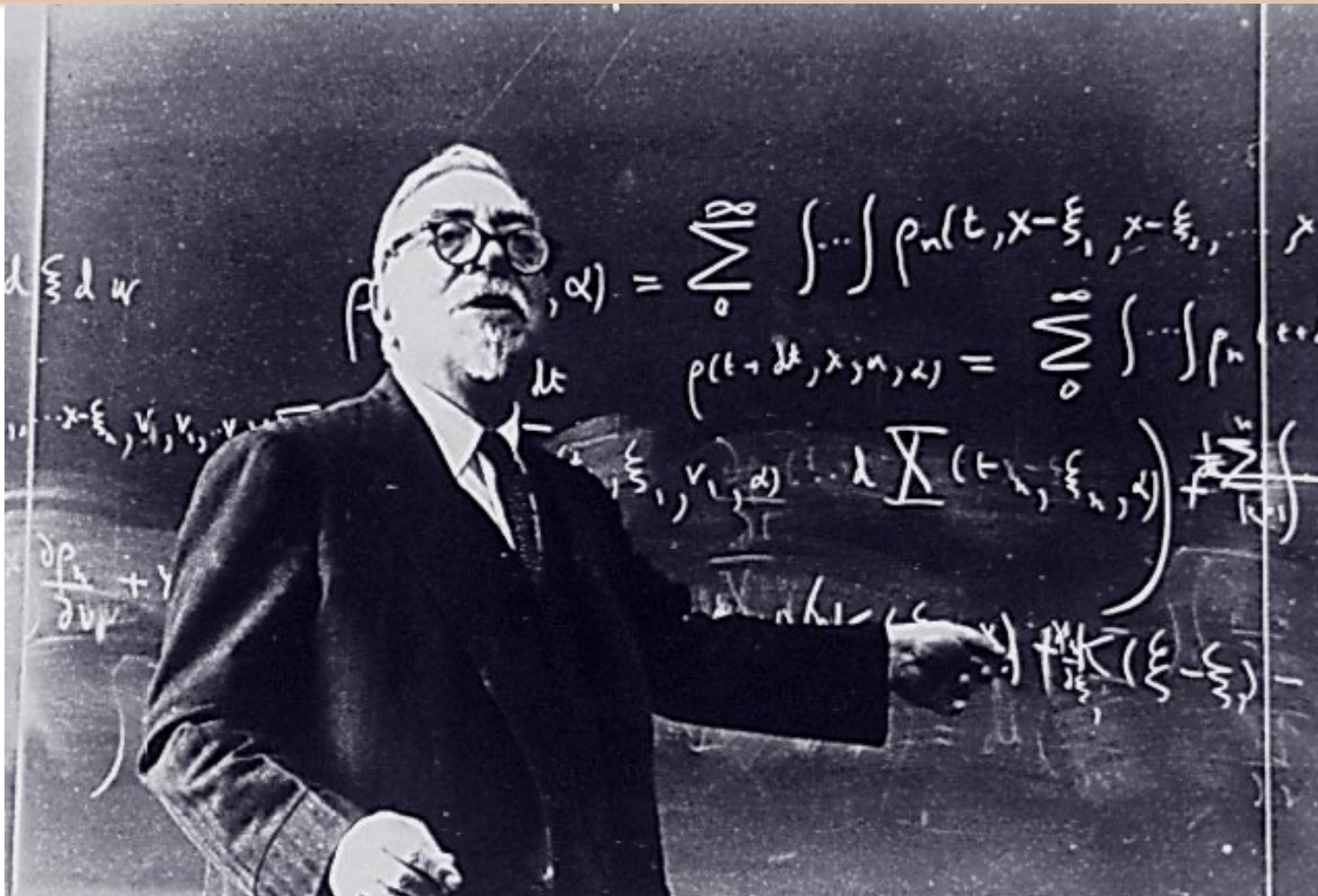
Cibernetica

- I Sistemi di Controllo sono stati trattati, in modo sistematico e formale, da Norbert Wiener, il «padre fondatore» della **cibernetica** – definita come la scienza del **controllo** (della guida) dei sistemi – nel testo magistrale intitolato: **Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine** (1948, John Wiley & Sons, New York).
- Il testo del 1948 è stato radotto in: **La cibernetica. Controllo e comunicazione nell'animale e nella macchina** (Il Saggiatore, Milano, 1982).
- La **cibernetica** studia i **Sistemi di Controllo automatici quantitativi** [rinvio a un successivo Modulo].
 - È, pertanto, un sottoinsieme della teoria dei Sistemi di Controllo che considera anche:
 - I **sistemi a controllo manuale** (i più operativi),
 - i **sistemi di controllo qualitativi** (i più numerosi),
 - i **sistemi di controllo compositi** (i più utili).





Vi piace la matematica della cibernetica? Nessuna paura. Non la useremo!!!

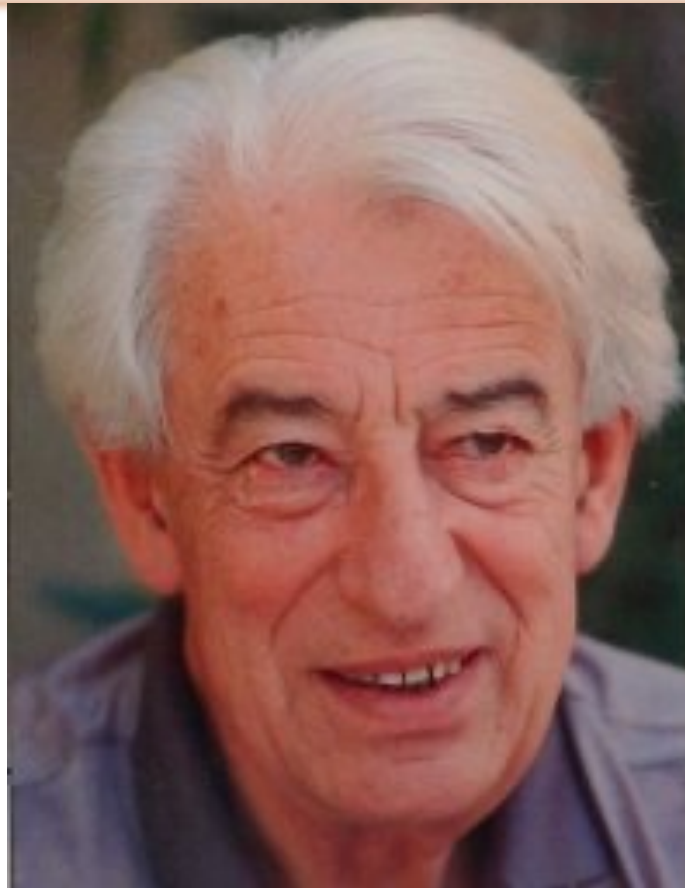


Norbert Wiener, il padre fondatore della **cibernetica** con l'opera *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine* (1961, Cambridge, MA, MIT Press.).





Un «cibernetico» italiano



Silvio Ceccato è stato lo studioso che ha divulgato la Cibernetica in Italia. Non era ingegnere ma laureato in lettere e diplomato in violoncello e in composizione musicale. Insegnò linguistica all'Università Statale di Milano.

I suoi testi “Cibernetica per tutti, 1968”, “La terza cibernetica, 1974” e altri ancora [Feltrinelli Ed.], sono esempi di cibernetica spiegata da un filosofo e linguista. La lettura è consigliata.



Useremo il semplice «linguaggio» del Systems Thinking, come proposto da Peter Senge

- I Sistemi di Controllo sono considerati da matematici e ingegneri come un Capitolo nello studio dei «sistemi dinamici» e un sotto-Capitolo nell'ampio dominio delle «equazioni differenziali».
 - I modelli di Wiener non lasciano dubbi!
- Sono profondamente convinto che si possano capire i Sistemi di Controllo con linguaggi e strumenti concettuali più semplici, e simulabili con mezzi noti a tutti (*in primis*, con Excel).
- Per questo, ho scelto di presentare i Sistemi di Controllo impiegando la **logica** e il **linguaggio** del **Systems Thinking**, o **pensiero sistemico**, nella forma proposta da **Peter Senge** nel suo celebre volume:
The Fifth Discipline: The Art and Practice of the learning Organization. (Doubleday /Currency, NewYork, 1990; 2^a Ed., 2006).
Tradotto in **La quinta disciplina – L'arte e la pratica dell'apprendimento organizzativo**, Sperling & Kupfer Editori, 1992.
- **Consiglio vivamente di leggere il volume, semplice e anche «divertente», a coloro che vogliono ampliare le applicazioni del Pensiero Sistemico.**



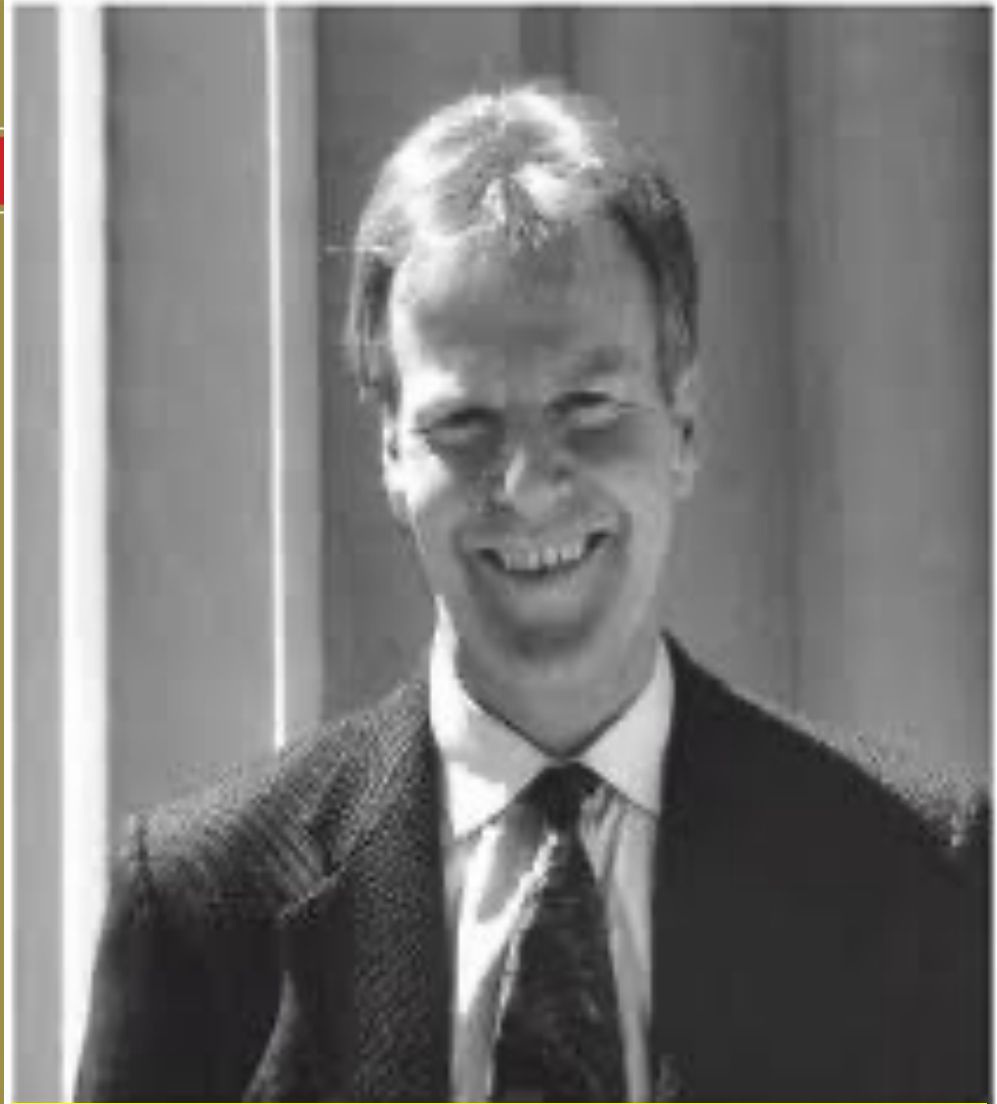
MORE THAN 1 MILLION COPIES IN PRINT

REVISED AND UPDATED WITH 100 NEW PAGES

THE FIFTH DISCIPLINE

The Art & Practice of
the Learning Organization

PETER M. SENGE



Peter Senge, ingegnere, filosofo e scienziato sociale, ha insegnato management all'MIT. È stato direttore del Center for Organizational Learning at the MIT Sloan School of Management. Il testo **THE FIFTH DISCIPLINE** è destinato a manager e non ad esperti mate-matici o ingegneri. Per questo, è chiarissimo!



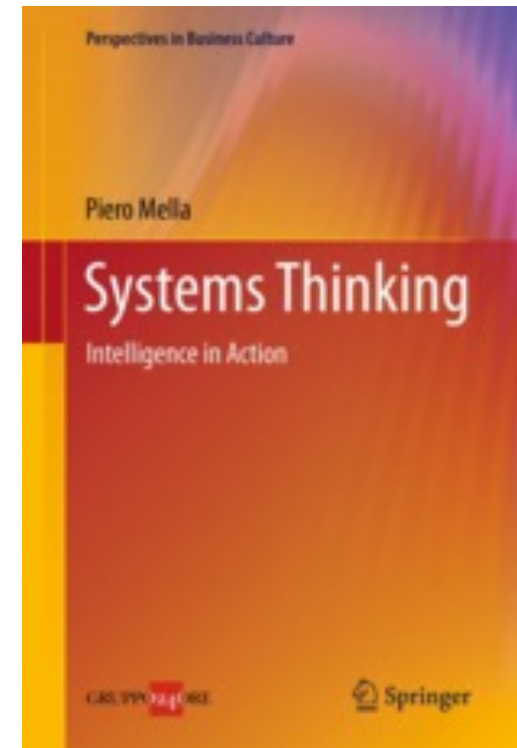
Contenuti della disciplina

- Il Systems Thinking comprende:
 - **Regole logiche** per osservare il mondo, presentate in questa **Lezione 1**;
 - **Regole tecniche** per costruire modelli per rappresentare il mondo, richiamate all'**Appendice 1 B**.
- Queste regole **non** sono state formalmente esplicitate da Peter Senge, che ha presentato il Systems Thinking in modo intuitivo, ma sono state formalizzate nel testo:

P. Mella, Systems Thinking, Intelligence in action, Springer, 2012

(lo consiglio solo per approfondimenti)

Nel volume citato ho cercato di formalizzare **cinque** semplici **regole logiche** che consentiranno alle Lettrici e ai Lettori di padroneggiare la «Disciplina».





Prerequisiti per seguire il «Corso Breve»

- **Nessun prerequisito!** Occorre solo:
 - buona cultura generale,
 - conoscenze matematiche non necessarie,
 - capacità di osservazione critica,
 - motivazione all'apprendimento e applicazione costante,
 - non studiare solo per l'esame,
 - ma per l'**aspirazione di migliorare se stessi**.
 - **“Nessuna gioia è più grande del sentire la propria mente che si espande.” [Silvio Ceccato]**
- **Atteggiamento attivo e volontà di scambiarsi le conoscenze.** **“Se tu mi dai una moneta e io ti do una moneta ognuno di noi ha una moneta. Se tu mi dai un'idea e io ti do un'idea ognuno di noi ha due idee” [Silvio Ceccato].**

**GUARDIAMOCI ATTORNO,
PONIAMOCI DOMANDE, CERCHIAMO RISPOSTE**



It's time to start. Primiissime definizioni «Controllare»

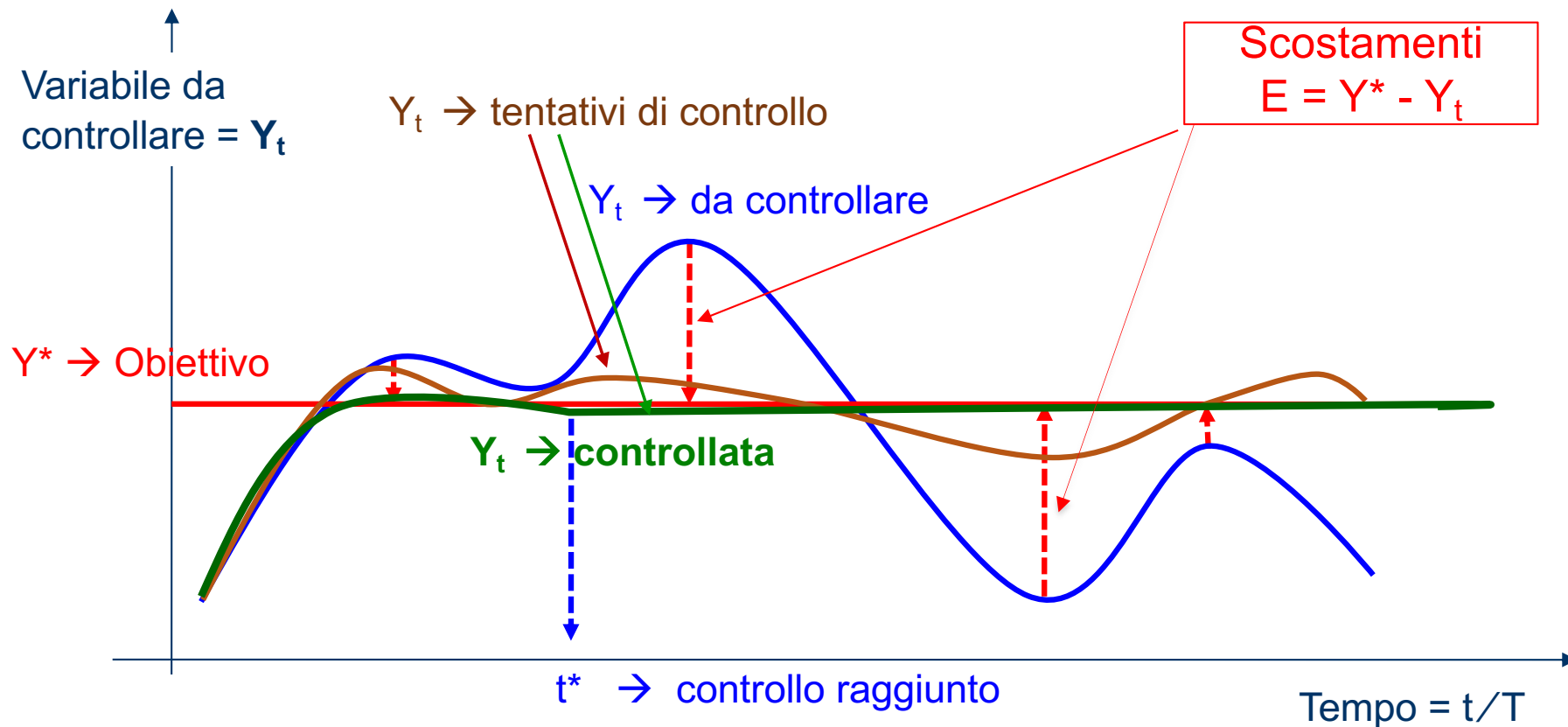
- **Queste definizioni saranno approfondite nelle prossime lezioni.**
- **Primiissima definizione. Cosa significa Controllare?**
 - In prima approssimazione, **controllare significa:**
 - portare una **variabile temporale**, Y_t , ad assumere
 - un determinato **valore obiettivo**, Y^* , ad un certo istante, “t”, futuro.
 - Oppure, a seguire una **determinata dinamica**, Y_t^* , in un certo intervallo temporale, “T”.
- Controllare **non significa** semplicemente **accertare**, oppure **confrontare** e **riscontrare**, oppure **punire**, oppure trovare e **correggere** errori, verificare, individuare, ecc.
 - Il controllo è molto di più.
 - **È un'attività – umana o naturale – che agisce “forzando” una variabile ad assumere valori “desiderati”.**
- Iniziate con il prendere coscienza che attorno a noi vi sono innumerevoli variabili controllate o controllabili.





Significato di “controllare la variabile Y ”

(tutti i termini saranno chiariti successivamente)



Come si arriva a controllare la Y ?
Attraverso un Sistema di Controllo!



It's time to start. Primiissime definizioni «Sistema di controllo»

- **Primiissima definizione. Cosa si intende per Sistema di Controllo?**
 - **In prima approssimazione**, un **Sistema di Controllo** è:
 - un **sistema «logico»** (modello, calcoli, simulazioni) e un:
 - un **sistema «fisico»** (complesso di apparati meccanici, biologici, sociali, ecc. e loro progettazione, realizzazione e funzionamento),
 - tramite i quali **cerchiamo di controllare** la Y_t .
- Questo Corso Breve vuole presentare la **logica del controllo**.
 - Si occupa dei **sistemi logici** di controllo.
 - **Non** tratta **direttamente** dei **sistemi fisici**, degli «**apparati**», delle **macchine**, delle **strutture**, ecc.
 - **Non è un corso di ingegneria, né di fisica, né di biologia, né di sociologia, né di economia né, tanto meno, di matematica.**
 - **È un corso di «logica del controllo», per tutti, ma con particolare riferimento all'ottica dell'azienalista.**





«Cultura» del controllo

- Nel «guardarci attorno», con una **disciplina costante** impareremo a individuare gli stessi modelli di controllo in situazioni tra loro diversissime e a riconoscere che, nella struttura, quelle situazioni sono tutte analoghe e riconducibili a pochi tipi.
- La logica dei Sistemi di Controllo viene presentata secondo il semplice linguaggio e i potenti modelli del **Systems Thinking** che ci apprestiamo a studiare.
- Sono presentate **simulazioni** numeriche impiegando il semplice, ma potentissimo, **EXCEL**, nei suoi comandi più elementari.
 - Viene fatto **un cenno** ad altri software di simulazione che, per quanto semplici da utilizzare, non si prestano ad un insegnamento elementare.



It's time to start. Primiissime definizioni «Systems Thinking»

- Più che una **tecnica**, il Systems Thinking è un'**attitudine** mentale, un atteggiamento, un **linguaggio** che consente di costruire in modo semplice i modelli dei **Sistemi di Controllo** (Anderson & Johnson, 1997, p. 20).
 - Il Systems Thinking è una **disciplina** per 'vedere' interi, riconoscere modelli e interazioni e imparare come strutturare tali interazioni in forme più efficaci ed efficienti (Senge, Lannon-Kim, 1991, p. 24).
 - Il Systems Thinking [è] un **metodo** di pensiero e un **linguaggio** per descrivere e comprendere le forze e le interazioni che producono il comportamento dei sistemi [dinamici]. Questa **disciplina** ci aiuta a capire come cambiare i sistemi più efficacemente ... (Senge et al., 1994, p. 6).
 - Pensiero Sistemico, Approccio Sistemico, Dinamica Sistemica, Teoria Sistemica, e semplicemente **Sistemi**, non sono altro che pochi dei tanti termini comunemente adoperati per un campo di attività di cui molti hanno sentito parlare, molti ne sentono il bisogno, ma pochi comprendono realmente. [...] Siccome preferisco il termine Systems Thinking (Pensiero Sistemico) lo adopererò dappertutto per descrivere questo campo d'attività (Richmond, 2001).
 - Il pensiero sistemico è "contestuale", cioè l'opposto del pensiero analitico. Analisi significa smontare qualcosa per comprenderlo; pensiero sistemico significa porlo nel contesto di un insieme più ampio (Fritjof Capra, 1996).





Il ruolo del Systems Thinking: le learning organizations

- Peter Senge ha presentato il **systems thinking** come lo strumento essenziale per costruire le **learning organizations** che sviluppano un continuo apprendimento collettivo, o apprendimento organizzativo (**organizational learning**).
 - [...] **le organizzazioni che apprendono** [sono quelle] nelle quali le persone aumentano continuamente la loro capacità di raggiungere i veri risultati cui mirano; nelle quali si stimolano nuovi modi di pensare orientati alla crescita; nelle quali si lascia libero sfogo alle aspirazioni collettive, e nelle quali, infine, le persone continuano a *imparare come si apprende insieme* (Senge, 2006, p. 3; il corsivo è mio).
 - A **Learning organization** is an organization skilled at creating, acquiring, and transferring knowledge, and at modifying its behavior to reflect new knowledge and insights. (Garvin, 1993 online). **Learning organizations** are skilled at five main activities:
1. systematic problem solving, 2. experimentation with new approaches, 3. learning from past experience, 4. learning from the best practices of others, and 5. transferring knowledge quickly and efficiently throughout the organization.
 - L'apprendimento organizzativo non è sinonimo di apprendimento degli individui, anche se le organizzazioni apprendono soltanto attraverso l'esperienza e le azioni di coloro che le costituiscono. L'apprendimento organizzativo avviene quando i membri dell'organizzazione agiscono come attori di apprendimento per l'organizzazione, quando cioè informazioni, esperienze, scoperte, valutazioni di ciascun individuo diventano patrimonio comune dell'intera organizzazione, fissandole nella sua memoria, codificandole in norme, valori, metafore, mappe mentali in base alle quali ciascun individuo agisce. Se questa codificazione non avviene, gli individui avranno imparato, ma non le organizzazioni (Argyris e Schön, 1978).
 - Organizations are seen as learning by encoding inferences from history into routines that guide behavior. Organizations have a memory, in that organizational processes depend on features of individual memories. **Routine-based conceptions of learning** presume that the lessons of experience are supported and collected within **routines** despite the turnover of personnel and the passage of time (Levitt and March, 1988, p. 320).



Il Systems Thinking è la «Quinta disciplina»

- Secondo Peter Senge, per sviluppare le **learning organizations** occorrono contemporaneamente

5 discipline:

1. Padronanza Personale o **Personal Mastery**
2. Modelli Mentali o **Mental Models**
3. Visione condivisa o **Vision**
4. Apprendimento di gruppo o **Team-work**
5. Pensiero sistemico o **Systems Thinking**. Da qui l'identificazione:

Systems Thinking = Fifth Discipline

- La quinta disciplina è il pensiero sistemico, la visione sistemica. [...] È la disciplina che integra le [altre quattro] discipline, fondendole in un corpo coerente di teoria e di pratica. [...] Senza un orientamento sistemico non si è motivati a guardare all'interrelazione tra le discipline. Stimolando ciascuna delle altre discipline, l'apprendimento sistemico ci ricorda continuamente che il tutto può essere maggiore della somma delle sue parti (Senge, 2006, p. 12).
- Denomino **Systems Thinking** la **quinta disciplina** perché rappresenta la pietra angolare che sostiene tutte le discipline (Senge, 2006, p. 67).



Perché è una «disciplina»?

- Il Systems Thinking – come le altre quattro – è una **disciplina** nel senso che si richiede al **systems thinker** conoscenza approfondita e applicazione costante delle regole, nonché volontà di migliorarsi costantemente.
 - Per “**discipline**” non intendo un “ordine nei comportamenti”, oppure “sistemi punitivi”, ma un corpo di teorie e di tecniche che per essere messo in pratica deve essere studiato e padroneggiato. Una disciplina è un percorso di sviluppo per acquisire certe abilità o competenze. Praticare una disciplina significa apprendere per tutta la vita. “**Non si arriva mai**”; **si passa l’intera vita a padroneggiarla** (Senge, 2006, p. 10).
- **NOTA:** Un cenno al contenuto delle 5 **Discipline** e la proposta di una **Sesta Disciplina** sono nella:

APPENDICE 1 A



**Non sbirciare oltre il muro dell'ignoranza.
Prendete la Scala del Systems Thinking.
Molti non la «vedono» ...**



Le 5 «regole logiche» del Systems Thinking

- Per applicare il Systems Thinking, come proposto da Peter Senge, si devono **applicare cinque** semplici **regole logiche**:
- 1. **Dobbiamo** essere capaci di «vedere gli alberi e la foresta» di **zoomare tra tutto e parti**.
- 2. **Dobbiamo ricercare ciò che varia** osservando il mondo in termini di variabili e di loro variazioni nel tempo.
- 3. **Dobbiamo** sforzarci di **capire la causa delle variazioni** nelle variabili che osserviamo.
- 4. **Dobbiamo** abituarci a **concatenare le variabili in modo circolare** fino a specificare i loop tra le loro variazioni e formare **sistemi di variabili**.
- 5. **Dobbiamo** abituarci a specificare sempre i **confini del sistema** che vogliamo indagare e rappresentare nei nostri modelli.

Ho scritto «**dobbiamo**» perché – non dimentichiamolo mai – sono **regole** di una **disciplina**.



Prima regola

L'arte dello zoomare

- La **prima regola**, per applicare la quale occorre un costante esercizio, può essere formulata così:

[Regola 1] «Se vogliamo ampliare la nostra intelligenza, dobbiamo sviluppare l'attitudine a “zoomare” tra parti e tutto, tra unità e componenti, tra micro e macro dinamiche».

- Questa regola che sta alla base del pensiero sistemico impone di abituarsi a

«vedere gli alberi e la foresta».

- **Ergo : «impara a zoomare «in» (verso il piccolo) e «out» (verso il grande».**
- **Il Pensiero Sistemico può essere considerato l'attuazione del «pensiero olonico».**





Il «pensiero olonico» (Athur Koestler, 1967)

- **Il Pensiero Sistemico è l'attuazione del «pensiero olonico».**
- Nell'osservare l'Universo che ci circonda, a livello fisico e biologico, nella sfera reale o formale non dobbiamo limitarci a considerare gli oggetti (atomi, molecole, cellule, individui, **sistemi**, parole o concetti, processi, ecc.) quali unità autonome ed indipendenti, ma dobbiamo sempre tenere conto che ciascuna di tali **unità** è un'individualità **autonoma** ma è, contemporaneamente, un **intero** – composto da **parti** di minore ampiezza – e **parte** di un **intero** più ampio. **È un holon, appunto!**
- Il concetto di olone (holon) è stato introdotto da **Arthur Koestler**, nel **1967**, con il suo volume **The Ghost in the Machine**, con una intuizione semplice e chiara:
 - **Parti ed interi non esistono in senso assoluto nel dominio della vita [...] L'organismo deve essere concepito come una gerarchia multi-livello di sub unità, ramificate in sub unità di livello inferiore, e così via. Le sub unità ad ogni livello della gerarchia sono definiti come oloni (holons) [...] Il concetto di olone è volto a riconciliare l'approccio atomistico a quello olistico (Koestler, 1967; Appendix I.1).**
 - **Il mondo non è composto di atomi o simboli o cellule o concetti. E' composto di oloni (Ken Wilber, 1996, pag. 29).**

Per saperne di più: **P. Mella, The holonic revolution. Holons, Holarchies and holonic networks**, Pavia University Press, 2009. **Il Testo è open access, pubblicato online e accessibile gratuitamente.**



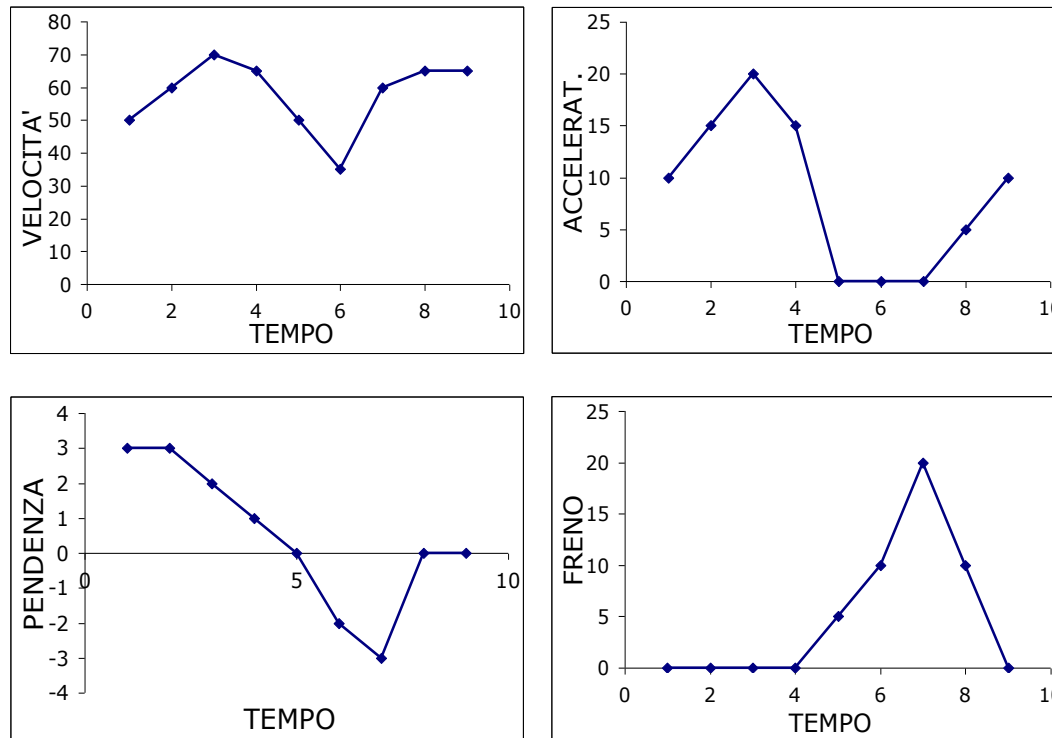
Seconda regola

Un mondo di variabili

- La **seconda regola** afferma che:

[Regola 2] Dobbiamo abituarci a osservare il «mondo» in termini di variabili temporali e non di oggetti. «Le variabili sono gli elementi di base che costituiscono i sistemi nel Systems Thinking».

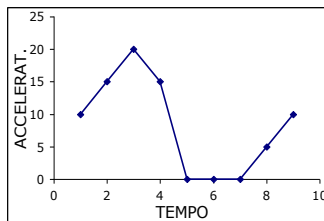
- **Non un'automobile, ma le variabili ad essa associabili:** per es.



Terza regola

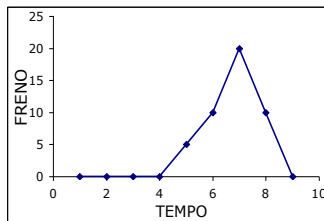
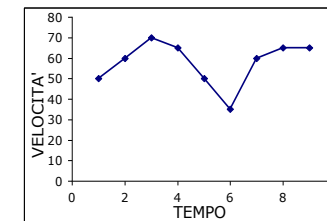
Ricerca le relazioni causali

- **[Regola 3]** «Se vuoi comprendere veramente il mondo, cerca di capire la causa delle variazioni nelle variabili che osservi» nonché la direzione di collegamento e il senso di variazione.



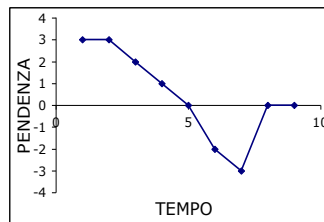
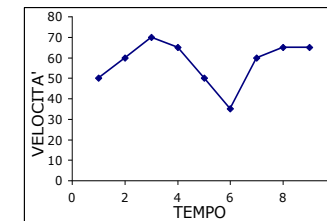
Pressione
acceleratore
causa

Velocità



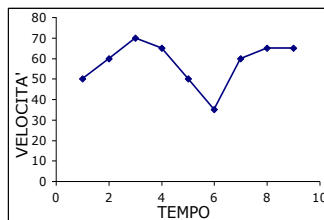
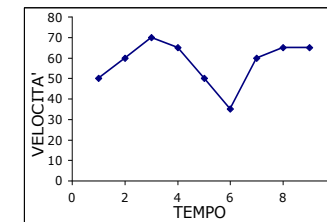
Pressione
freno
causa

Velocità



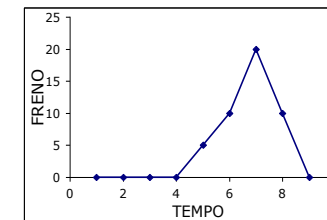
Pendenza
della strada
causa

Velocità



Velocità
causa

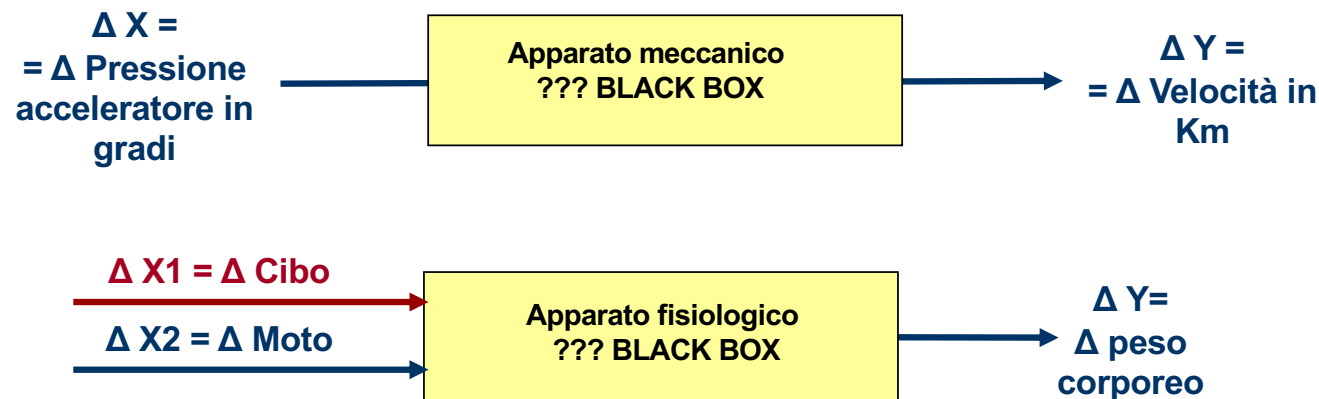
Pressione
freno



«Causa» delle variazioni

Relazione causale tra variabili e black box

- Conveniamo che una relazione tra variabili sia «causale»:
 - se deriva da un **apparato** che sviluppa un **processo** riconoscibile (conosciuto o ipotizzato) che **connette** la variabile in **input** alla variabile in **output** e tale che:
 - ad una o più variazioni Δ **input** «**corrisponda**» uno, o più, Δ **output**, **sempre**.
 - Se l'apparato non è noto, riconoscibile o ipotizzabile, si interpreta come una Black Box.



I termini "scatola nera" e "scatola bianca" sono espressioni di comodo e metaforiche dall'uso non molto ben definito. Per **scatola nera** io intendo qui un elemento di apparato [...] che esegue una determinata operazione in dipendenza del potenziale di ingresso, senza che si abbiano però informazioni circa la struttura secondo cui l'operazione si compie (Wiener, 1968: 20, nota 4).



Le frecce indicano l'ordine di lettura ma sottintendono anche i processi causali

- Supponendo il processo quale **Black box**, ci interessano solo le variabili **causa** ed **effetto**. Possiamo **ignorare i processi** e rappresentare le **relazioni causali** con una **freccia** di qualunque forma.



Attenzione!
Le relazioni causali presentano:
una «direzione di collegamento»
un «senso di variazione»



Le «relazioni causali» hanno una «direzione di collegamento»

- Dovendo esprimere **relazioni causali**, le variabili non possono essere connesse liberamente.
- Occorre specificare la **direzione ammissibile del collegamento** cioè quali variabili possono essere **cause** e quali **effetti**.

Collegamento
ammissibile?

si

Pressione
feno → Velocità

Collegamento
ammissibile?

si

Pressione
freno ← Velocità

Collegamento
ammissibile?

si

Pendenza
della strada → Velocità

Collegamento
ammissibile?

no

Pendenza
della strada ← Velocità



Le «relazioni causali» hanno un «senso di variazione»

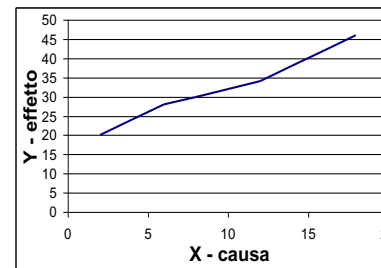
- Il collegamento tra le variabili **X** e **Y** può presentare lo **stesso senso** – indicato con “**s**” – oppure **opposto senso** – indicato con “**o**”.
- Il **senso di variazione** specifica se la variazione della **causa**, in aumento (**$+\Delta x$**) o diminuzione (**$-\Delta x$**), produce la variazione in aumento (**$+\Delta y$**) o diminuzione (**$-\Delta y$**) dell'**effetto** o variazioni invertite di segno.

“**S**”

Variazioni
stesso senso

X = Pressione
acceleratore

$+\Delta x$
 $-\Delta x$



→ **Y** = Velocità

S

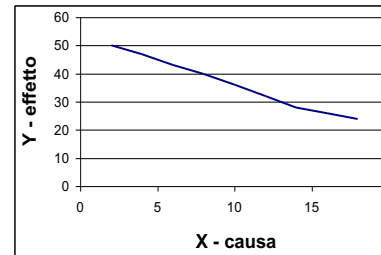
$+\Delta y$
 $-\Delta y$

“**O**”

Variazioni
opposto senso

X = Pressione
freno

$+\Delta x$
 $-\Delta x$



→ **Y** = Velocità

O

$-\Delta y$
 $+\Delta y$



I nomi delle variabili

■ Quali variabili rappresentare?

- variabili **flusso** (flusso d'acqua del rubinetto, reddito nazionale, arrivi, partenze, nascite, morti, ecc.),
- variabili **stock** (livello dell'acqua, ricchezza nazionale, code d'attesa, stock di magazzino),
- variabili **intensità** (apertura rubinetto, produzione giornaliera, consegne orarie, pressione dei pedali dell'auto),
- variabili **reali** (dipendenti, assunzioni, reclami, finanziamenti),
- Variabili **mentali** o psicologiche (paura, stress, soddisfazione, stanchezza).

■ Come assegnare i nomi alle variabili?

- È assolutamente “proibito” – ameno di una dichiarazione esplicita – impiegare nomi che **non** abbiano il significato di **variabili**.
- È assolutamente “proibito” denominare le variabili con gli attributi «aumento/incremento di ...», «riduzione/decremento di ...» o equivalenti. Tali attributi indicano il senso di variazione delle variabili e non è utile indicarli come denominazione.



Osserviamo le catene causali e determiniamo il loro senso complessivo

- Le catene causali hanno un **senso complessivo** determinato dal segno delle variazioni della **prima** e dell'**ultima** variabile della catena ([click per vedere il «senso»](#))

(1) Prezzo $\xrightarrow{\text{s}}$ Offerta “S”

(2) Pressione freno $\xrightarrow{\text{o}}$ Velocità “O”

(3) Prezzo $\xrightarrow{\text{s}}$ Convenienza per il produttore $\xrightarrow{\text{s}}$ Offerta “S”

(4) Pressione freno $\xrightarrow{\text{s}}$ Attrito dei ferodi e trasformazione velocità in calore $\xrightarrow{\text{o}}$ Velocità “O”

(5) Apertura del rubinetto $\xrightarrow{\text{s}}$ Flusso d'acqua $\xrightarrow{\text{o}}$ Durata di riempimento “O”

(6) Efficienza della PA $\xrightarrow{\text{s}}$ Qualità servizi pubblici $\xrightarrow{\text{s}}$ Soddisfazione contribuente $\xrightarrow{\text{o}}$ Evasione fiscale $\xrightarrow{\text{o}}$ Imposte incassate “S”

(7) Rumori in aula $\xrightarrow{\text{o}}$ Efficienza docente $\xrightarrow{\text{s}}$ Attenzione studenti $\xrightarrow{\text{o}}$ Vociare in gruppo $\xrightarrow{\text{o}}$ Resa della lezione “O”



La regola per individuare il senso di una intera catena causale

- Contare le “o” scritte sulle frecce.
- Se non ci sono “o”, o se le “o” sono in numero pari, allora il senso della catena causale è:

“S”

qualunque sia il segno di (Δx), come nelle catene causali [1], [3] e [6] della diapositiva precedente.

- Altrimenti, se le “o” sono in numero dispari, il senso della catena causale è:

“O”

come si osserva nelle altre catene causali.



Quarta regola

Individuare i loop tra le variabili

- Se veramente vuoi comprendere il mondo e capirne il cambiamento, non è sufficiente ragionare per **cause** ed **effetti**.
- Devi riconoscere che gli **effetti** possono a loro volta diventare **cause delle loro cause**, formando un «**loop**», un «**legame circolare**».
- Un «**loop**» è formato da due variabili collegate in **doppia direzione**.
- **[Regola 4] «Devi sforzarti di concatenare le variabili fino a specificare i loop tra le loro variazioni. I loop sono gli elementi fondamentali dei "sistemi" nel Systems Thinking».**
- **Devi abbandonare il pensiero lineare (catene di cause e di effetti) e abituarti al pensiero circolare individuando i loop.**
- Il **modello** che evidenzia le relazioni circolari tra variabili e loro loop, si definisce **Causal Loop Diagram** (Sterman, 2000).

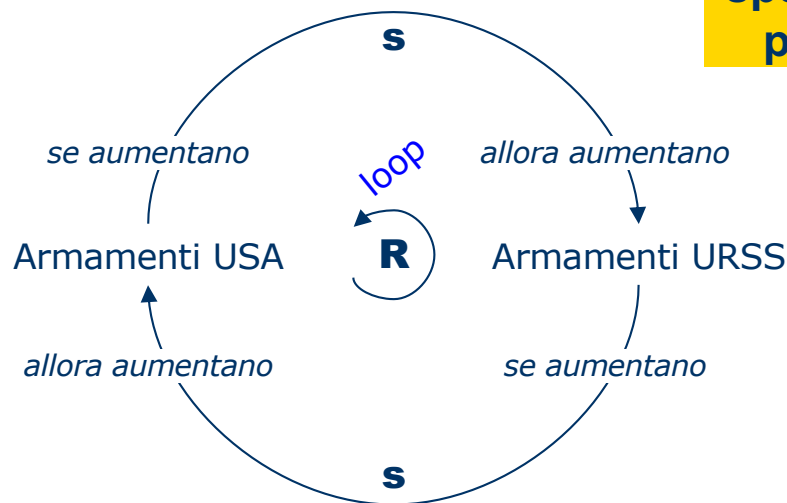
**Attenzione! Ci sono solo due tipi di «loop elementari»:
Loop di «**rinforzo**» e loop di «**bilanciamento**»**



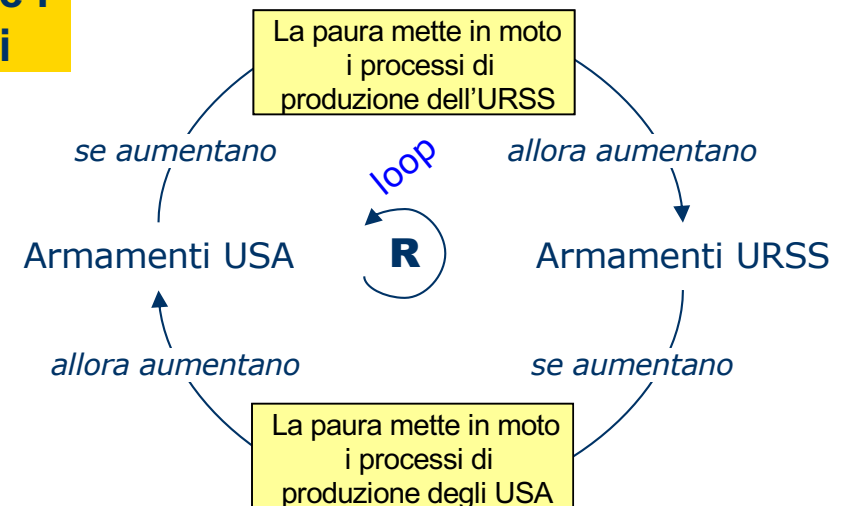
I «loop elementari» e il loro senso

Loop di rinforzo

- Il **loop** tra le variabili **X** e **Y** si definisce di **rinforzo [R]** se, **in successivi cicli**, porta a una espansione o a una riduzione reciproca delle variabili.
- Un **loop** è **[R]** se **non vi sono “o”** o se le “o” delle variabili sono in numero **pari**.



Non è necessario specificare i processi



- Se espansione o riduzione sono vantaggiose, il loop **[R]** si denomina anche (impropriamente) **circuito virtuoso**; altrimenti, **vizioso**.
- **Questa terminologia è da evitare quanto possibile.**

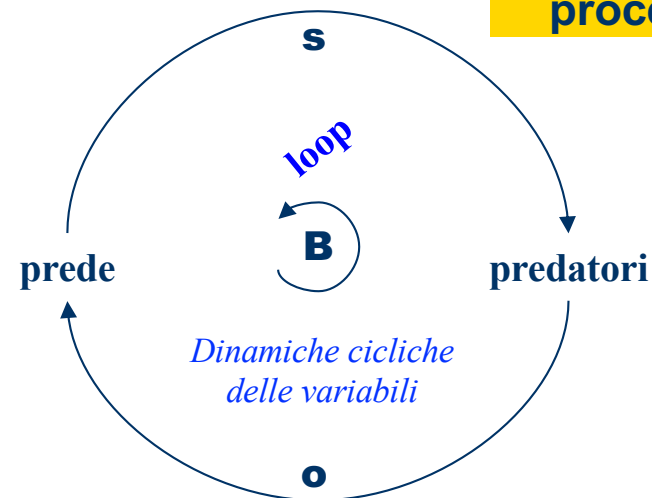
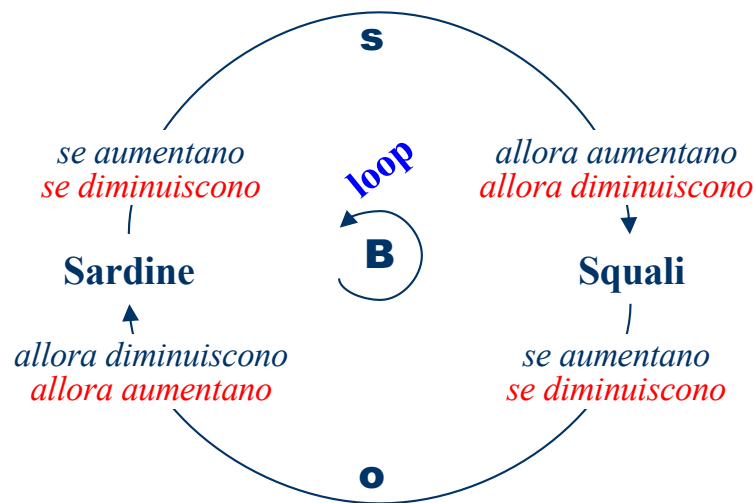


I «loop elementari» e il loro senso

Loop di bilanciamento

- Il **loop** tra le variabili **X** e **Y** si definisce di **bilanciamento [B]** se una variazione della **X** viene controbilanciata da una variazione della **Y**, così che ogni variazione iniziale viene ben presto annullata o attenuata.
- Il **loop [B]** è di **bilanciamento** se vi è un numero dispari di “o” tra le variabili.
- I loop di bilanciamento si presentano in numerosi fenomeni:
 - di interazione tra popolazioni di prede e predatori,
 - Fisiologici, biologici, sociali e meccanici,
 - di controllo. Sono tipici dei **Sistemi di Controllo**.

Non è
necessario
specificare i
processi





Attenzione ai ritardi

- Quando non è dichiarato esplicitamente, si suppone che:
 - lo stimolo-causa ΔX e la risposta-effetto ΔY siano concatenati istantaneamente
 - oppure che tra ΔX e ΔY vi sia un intervallo di tempo trascurabile (o noto).
- Se tra ΔX e ΔY intercorre un periodo relativamente lungo e **inatteso** allora si dice che:
 - la risposta-effetto ΔY si produce con un **ritardo** rispetto allo stimolo-causa ΔX .
- **Regola:** vi è un ritardo nella risposta se è possibile fare variare **almeno due volte** la X prima che si produca la prima variazione della Y .
- **Regola:** per rappresentare un processo con **risposta ritardata**, solitamente si scrive RITARDO o si barra la freccia che lega ΔX e ΔY tante volte quanto è lungo il ritardo (numero di variazioni di X prima che vari Y). Per es:



Sistema nel Systems Thinking

- Il Systems Thinking denomina **sistema** un complesso unitario di variabili variamente connesse tramite uno o più **loop**.
- La dinamica di una qualunque variabile dipende, quindi da quello di tutte le altre.
- Se tra le variabili **non si individua nemmeno un loop**, allora non c'è alcun «sistema» ma solo una «catena» causale.
- Il pensiero sistemico non considera i sistemi **ordinali** (strutture) ma i sistemi:
 - **dinamici**, le cui variabili variano in **funzione del tempo**,
 - **ripetitivi**, le dinamiche si ripetono per **diversi cicli**,
 - (spesso) **ricorsivi**, i loro output diventano, in tutto o in parte i loro stessi input formando **loop**,
 - con **memoria**.
- **Precisazione**: poiché, come sappiamo, ogni variabile deriva da un processo messo in atto da qualche “macchina” (fisica, biologica, sociale, concettuale, ecc.), ogni **sistema logico** deve necessariamente possedere una **struttura operativa tecnica** sottostante la **struttura logica**.
- Il Systems Thinking indaga unicamente la **struttura logica** dei **sistemi**, tramite le **relazioni tra le variabili – le catene causali e i loop – che li costituiscono**.
- La struttura operativa è studiata/progettata/realizzata da tecnici, ingegneri, biologi, architetti, medici, etc.



Quinta regola

Individuare i confini del sistema

- La Prima regola imponeva di zoomare sia all'interno di un sistema – individuando sottosistemi di raggio sempre più limitato – sia all'esterno – individuando super sistemi di raggio sempre più ampio.
- Dobbiamo prima o poi arrestarci, definendo il **confine** del sistema che sia utile per i nostri interessi conoscitivi.
- **[Regola 5] Chi pratica il pensiero sistemico deve sempre individuare, definire o decidere quali variabili devono formare il sistema (entro il confine) e quelle le cui interconnessioni sono giudicate troppo deboli per essere ritenute in grado di influire significativamente sulle altre (oltre il confine).**
- In realtà, i confini sono due:
 - un **confine esterno**, che delimita il sistema quando si zooma dalle parti al tutto,
 - uno **interno**, quando si zooma dal tutto alle parti.
- Non è facile individuare, o porre, i confini di un sistema; **fortunatamente**, quanto più ci si applica nella disciplina del Systems Thinking tanto più la soluzione di tale problema diventa agevole, quasi spontanea.



La simulazione quantitativa

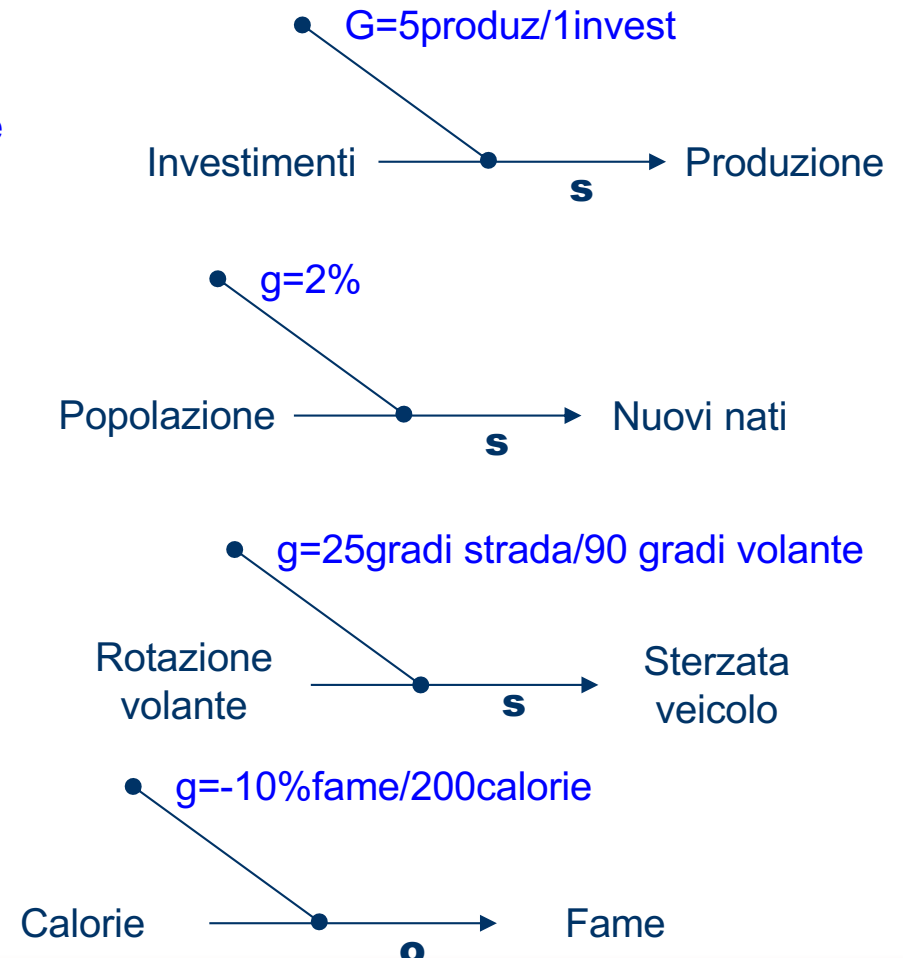
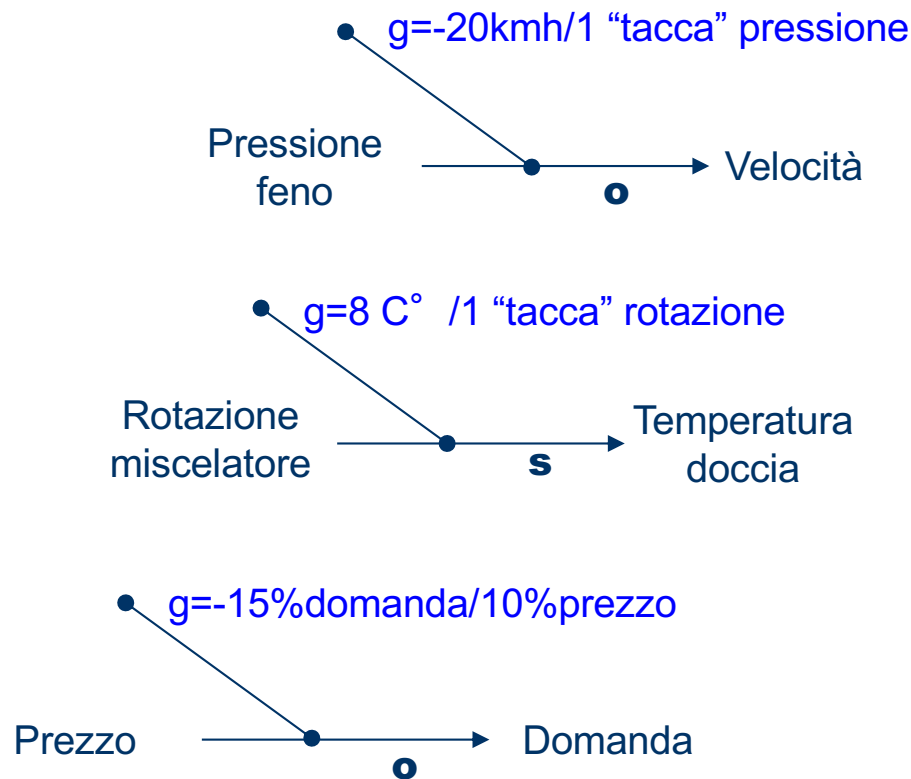
II System Dynamics

- **La dinamica dei sistemi è simulata quantitativamente dal System Dynamics, ideato da Jay Forrester** (si veda Sterman, 2000).
 - **Forrester:** La dinamica dei sistemi dinamici è una disciplina professionale che tratta della complessità dei sistemi. Il system dynamics rappresenta la base necessaria del pensiero efficace sui sistemi. Il system dynamics si occupa di come le cose cambino nel tempo, e ciò include la maggior parte di ciò che normalmente la gente trova interessante. **Il system dynamics comporta l'interpretazione dei sistemi della vita reale in modelli di simulazione al computer che permettono di comprendere come la struttura e le politiche di decision-making in un sistema determinino il comportamento di questo (Forrester, 1999).**
- **Il Systems Thinking rappresenta una generalizzazione del System Dynamics, oppure viceversa?**
 - **System Dynamics Society:** "What is the relationship of Systems Thinking to System Dynamics? Systems thinking looks at exactly the same kind of systems from the same perspective. It constructs the same Causal-Loop-Diagram. But it rarely takes the additional steps of constructing and testing a computer simulation model, and testing alternative policies in the model (online)"



Le relazioni causali ed i tassi di variazione

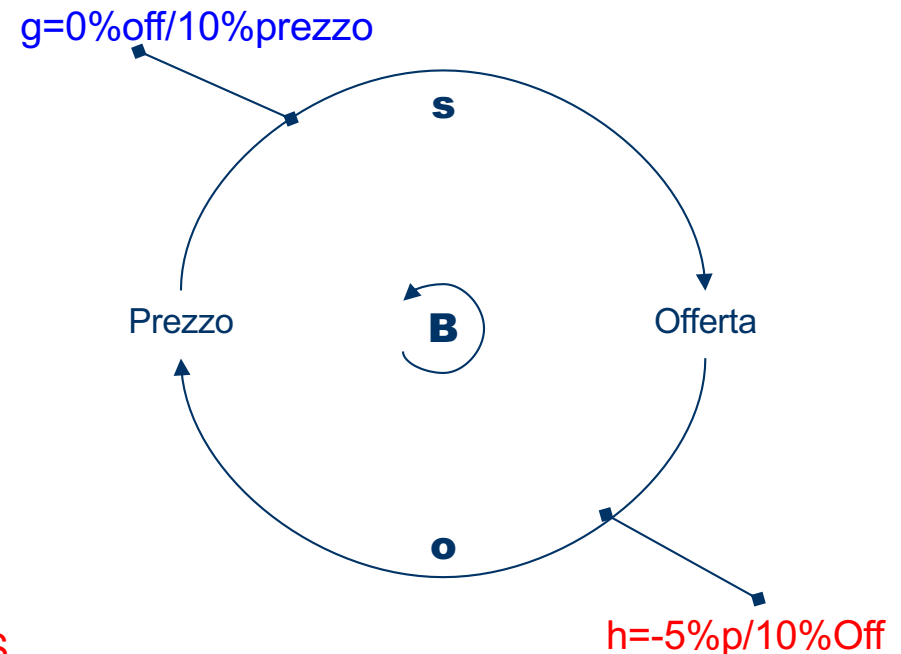
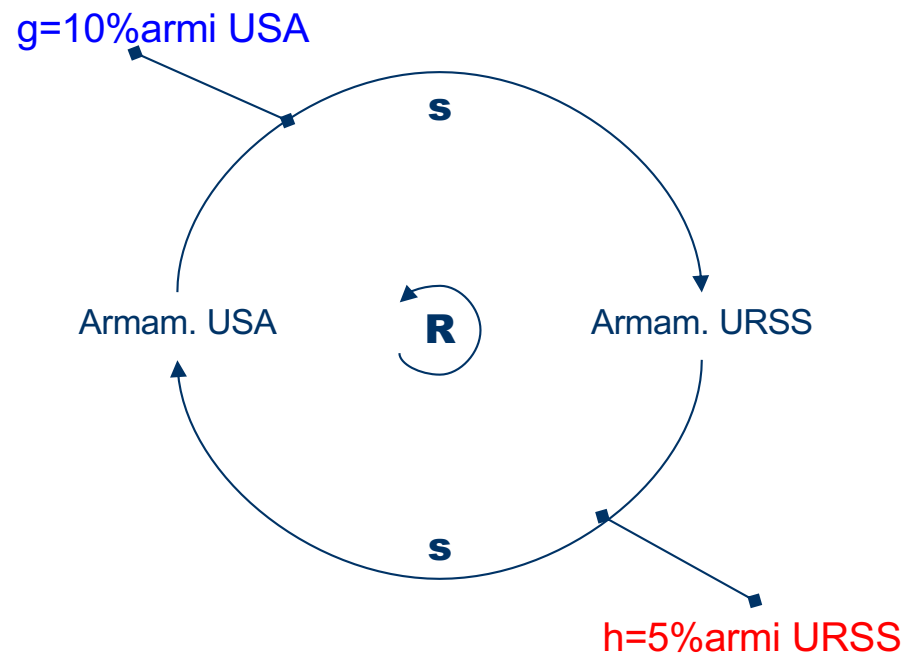
- Per le simulazioni quantitative, quando si individua una relazione causale è utile, se possibile, individuare anche il **tasso di azione**, $g(Y/X)$, che indica di quanto varia **Y** al variare di **X**, scrivendolo in corrispondenza della freccia.
- Esempi:



Tassi d'azione e di reazione

- Nei loop è opportuno, quando possibile ed utile, specificare sia i **tassi d'azione** tra **X** e **Y** $g(Y/X)$, sia i **tassi di reazione** tra **Y** e **X**, $h(X/Y)$, (o viceversa).

TASSI DI AZIONE



TASSI DI REAZIONE



I tassi di azione e di reazione

- Normalmente, nel Systems Thinking la specificazione dei tassi d'azione e reazione **non** è necessaria.
- Torna utile quando occorra effettuare simulazioni quantitative di System Dynamics o **costruire il modello di un Sistema di Controllo**.
- E' però consigliabile esercitarsi nell'individuare, più che nello specificare quantitativamente, i tassi d'azione e di reazione.
- **Per ora ne faremo a meno. Ci abitueremo ad individuarli nella costruzione dei modelli di Sistemi di Controllo.**
- **NOTA: Esempi di costruzione di Causal Loop Diagrams che rappresentano sistemi dinamici sono descritti nella:**

APPENDICE 1 B



Due leggi generali del Systems Thinking

- Possiamo enunciare due leggi generali del Systems Thinking.
- **PRIMA LEGGE DEL Systems Thinking – Connessione causale tra variabili**
 - Ogni variabile ha una causa e produce un effetto su altre variabili.
 - Non ci sono variabili «isolate» ma solo variabili connesse (catene) e interconnesse (loop).
 - Non si può modificare la dinamica di una variabile senza, contemporaneamente modificare quella di qualche altra variabile.
 - Analizzare la dinamica di una variabile (es. analisi come serie storica di valori) non significa spiegare o comprendere la dinamiche, ma semplicemente descriverla.
- **SECONDA LEGGE – Interdipendenza variabili/struttura**
 - Il comportamento di una **variabile** dipende dal sistema in cui essa è inserita.
 - Il comportamento del **sistema** dipende dalla sua struttura, cioè dalle **variabili** e dalle **connessioni**, cioè dalle catene causali e dai loop.



Tre corollari

Le leve di controllo

■ Primo corollario:

- È inutile cercare di **modificare/controllare** i valori di **una sola** variabile se prima non si comprende la struttura sistemica di cui essa fa parte;
 - i loop di bilanciamento ripristineranno il suo valore;
 - i loop di rinforzo lo faranno lievitare.

■ Secondo corollario:

- Per **capire e controllare** la «dinamica del mondo» devi individuare le **strutture sistemiche** che lo compongono
- e individuare le variabili (**leve di controllo**) che “facciano **leva**” sull'intero sistema.

■ Terzo corollario:

- **Il ceteris paribus, nei sistemi dinamici, non vale mai.**





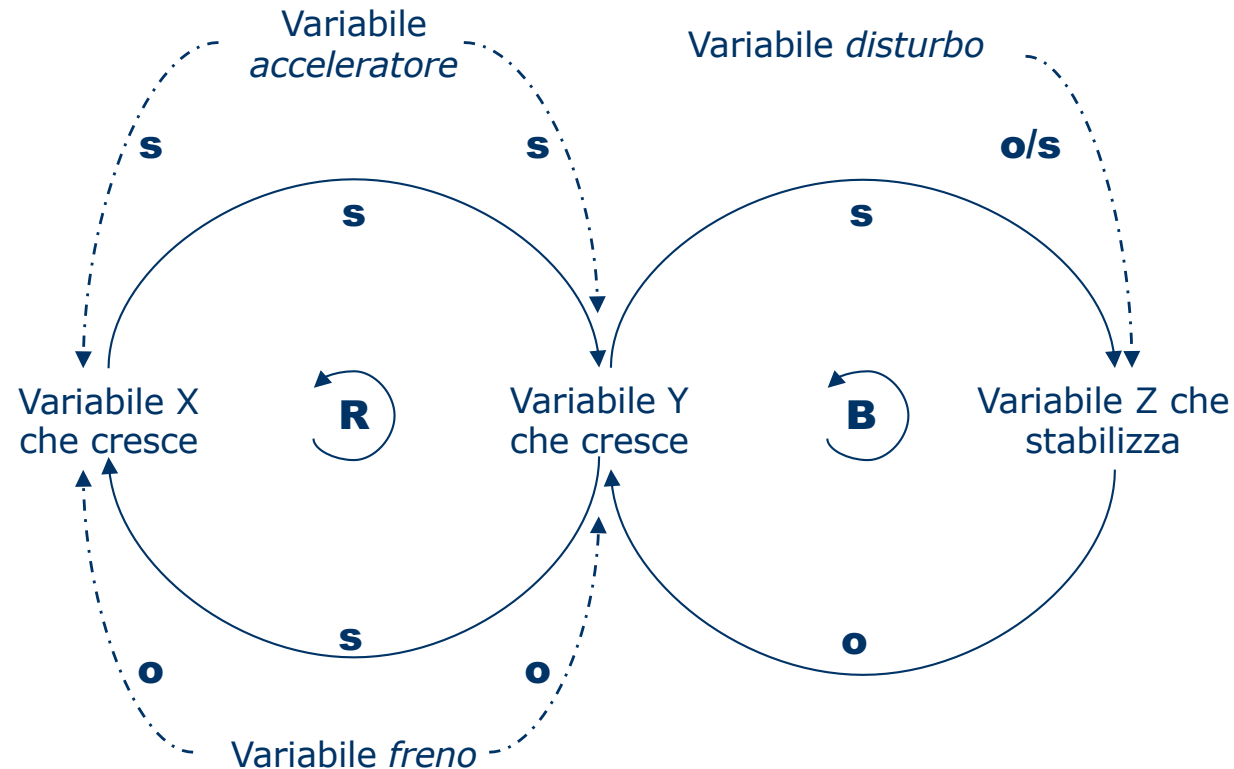
Una terza legge generale La legge dell'instabilità dinamica

- Possiamo anche derivare la seguente:
 - **LEGGE DELL'INSTABILITÀ DINAMICA**
 - l'espansione e l'equilibrio sono processi che non durano mai «in eterno», non si propagano «all'infinito»;
 - la **stabilità** viene, prima o poi, **perturbata**;
 - la **dinamica** viene, prima o poi, **stabilizzata**.
- **Corollario**
 - Anche se non ce ne accorgiamo, in ogni contesto sistemico i loop di rinforzo sono sempre uniti a qualche loop di bilanciamento. E viceversa.
- Un buon modello deve sempre prevedere bilanciamenti ai rinforzi e rinforzi ai bilanciamenti.





Il modello generale della Instabilità Dinamica



La Lezione 1 è terminata.
Si invitano Lettrici e Lettori ad accedere alle
Appendici 1A e 1B.



Testi citati in questa “Lezione 1”

- D'Amato, V., Bertani, T., & Tosca, E. (1994). *Come costruire il futuro dell'impresa*. Franco Angeli, Milano.
- Anderson, V., & Johnson, L. (1997). *Systems thinking basics. From concepts to causal loops*. Waltham, Pegasus Communications.
- Argyris, C., & Sch.n, D. (1974). *Theory in practice. Increasing professional effectiveness*. San Francisco: Jossey Bass.
- Capra, F. (1996). The rise of systems thinking. In F. Capra (Ed.), *The web of life*. http://www.maaber.org/sixth_issue/deep_ecology_1e.htm#_ftnref35
- Ceccato, S. (1968). *Cibernetica per tutti*. Milano, Feltrinelli.
- Ceccato, S. (1974). *La terza cibernetica. Per una mente creativa e responsabile*. Milano, Feltrinelli.
- Dyson, F. (1988). *Infinite in all directions*. New York: Harper and Row.
- Forrester, J. W. (1999). *System Dynamics: The Foundation Under Systems Thinking*. Sloan School of Management. MIT Cambridge, MA 02139.
- Garvin, D. A. (1993 online). *Building a Learning Organization*. <https://hbr.org/1993/07/building-a-learning-organization>
- Koestler, A. (1967). *The Ghost in the Machine*. London, Arkana.
- Levitt, B., & March, J. M. (1988). Organizational Learning. *Annual Review of Sociology*, 14, 319-340. http://sjbae.pbworks.com/f/levitt_march_1988.pdf
- Mella, P. (2022). Capire e imparare. L'arte dello studio. *Economia Aziendale Online*, 13(1), 125-142.
- Mella, P. (2021, 1st Ed. 2014). *The Magic Ring. Systems Thinking Approach to Control Systems*. Springer.
- Mella P. (2014). *Teoria del controllo. Dal Systems Thinking ai Sistemi di Controllo*. Milano, FrancoAngeli.
- Mella P. (2012). *Systems Thinking, Intelligence in action*, Springer.
- Mella, P. (2009). *The holonic revolution. Holons, Holarchies and Holonic Networks. The Ghost in the Production Machine*. Pavia, Pavia University Press.
- Richmond, B. (1991). *Systems thinking. Four key questions*. Watkinsville: High Performance Systems.
- Senge, P. (1990). *The fifth discipline: The Art and practice of the learning organization*. New York: Doubleday/Currency (2006, ultima edizione rivista e ampliata).
- Senge, P. (1992). *La quinta disciplina. L'arte e la pratica dell'apprendimento organizzativo*. Milano, Sperling & Kupfer Ed.
- Senge, P. (2006). Vedi Senge, 1990.
- Senge, P., & Lannon-Kim, C. (1991). The systems thinking approach. *The Systems Thinker Newsletter*, (5). Cambridge, MA: Kendall Square.
- Senge, P., Kleiner, A., Roberts, C., Ross, R., & Smith, B. (1994). *The fifth discipline fieldbook*. New York: Doubleday.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. New York, McGraw-Hill/Irwin.
- System Dynamics Society (2012). <http://www.systemdynamics.org/> (Sito disattivato e sostituito da nuovo sito).
- 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. (1981). *La cibernetica. Controllo e comunicazione nell'animale e nella macchina*. Milano, Il Saggiatore.
- Wiener N. (1968), *La cibernetica*. Il Saggiatore, Milano (ed. originale, Wiener, 1948).
- Wilber, K. (1996). *A Brief History of Everything*. Shambhala Publications (Last edition, 2007).
- Wilber, K. (2000, 1^ Ed. 1995). *Sex, Ecology, Spirituality: The Spirit of Evolution*, Shambhala Publications.



Testi citati in questa “Lezione 1”

- D'Amato, V., Bertani, T., & Tosca, E. (1994). *Come costruire il futuro dell'impresa*. Franco Angeli, Milano.
- Anderson, V., & Johnson, L. (1997). *Systems thinking basics. From concepts to causal loops*. Waltham, Pegasus Communications.
- Argyris, C., & Sch.n, D. (1974). *Theory in practice. Increasing professional effectiveness*. San Francisco: Jossey Bass.
- Capra, F. (1996). The rise of systems thinking. In F. Capra (Ed.), *The web of life*. http://www.maaber.org/sixth_issue/deep_ecology_1e.htm#_ftnref35
- Ceccato, S. (1968). *Cibernetica per tutti*. Milano, Feltrinelli.
- Ceccato, S. (1974). *La terza cibernetica. Per una mente creativa e responsabile*. Milano, Feltrinelli.
- Dyson, F. (1988). *Infinite in all directions*. New York: Harper and Row.
- Forrester, J. W. (1999). *System Dynamics: The Foundation Under Systems Thinking*. Sloan School of Management. MIT Cambridge, MA 02139.
- Garvin, D. A. (1993 online). *Building a Learning Organization*. <https://hbr.org/1993/07/building-a-learning-organization>
- Koestler, A. (1967). *The Ghost in the Machine*. London, Arkana.
- Levitt, B., & March, J. M. (1988). Organizational Learning. *Annual Review of Sociology*, 14, 319-340. http://sjbae.pbworks.com/f/levitt_march_1988.pdf
- Mella, P. (2022). Capire e imparare. L'arte dello studio. *Economia Aziendale Online*, 13(1), 125-142.
- Mella, P. (2021, 1st Ed. 2014). *The Magic Ring. Systems Thinking Approach to Control Systems*. Springer.
- Mella P. (2014). *Teoria del controllo. Dal Systems Thinking ai Sistemi di Controllo*. Milano, FrancoAngeli.
- Mella P. (2012). *Systems Thinking, Intelligence in action*, Springer.
- Mella, P. (2009). *The holonic revolution. Holons, Holarchies and Holonic Networks. The Ghost in the Production Machine*. Pavia, Pavia University Press.
- Richmond, B. (1991). *Systems thinking. Four key questions*. Watkinsville: High Performance Systems.
- Senge, P. (1990). *The fifth discipline: The Art and practice of the learning organization*. New York: Doubleday/Currency (2006, ultima edizione rivista e ampliata).
- Senge, P. (1992). *La quinta disciplina. L'arte e la pratica dell'apprendimento organizzativo*. Milano, Sperling & Kupfer Ed.
- Senge, P. (2006). Vedi Senge, 1990.
- Senge, P., & Lannon-Kim, C. (1991). The systems thinking approach. *The Systems Thinker Newsletter*, (5). Cambridge, MA: Kendall Square.
- Senge, P., Kleiner, A., Roberts, C., Ross, R., & Smith, B. (1994). *The fifth discipline fieldbook*. New York: Doubleday.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. New York, McGraw-Hill/Irwin.
- System Dynamics Society (2012). <http://www.systemdynamics.org/> (Sito disattivato e sostituito da nuovo sito).
- 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. (1981). *La cibernetica. Controllo e comunicazione nell'animale e nella macchina*. Milano, Il Saggiatore.
- Wiener N. (1968), *La cibernetica*. Il Saggiatore, Milano (ed. originale, Wiener, 1948).
- Wilber, K. (1996). *A Brief History of Everything*. Shambhala Publications (Last edition, 2007).
- Wilber, K. (2000, 1^ Ed. 1995). *Sex, Ecology, Spirituality: The Spirit of Evolution*, Shambhala Publications.



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

Corso Breve di Teoria del Controllo

Lezione 1 Appendice 1A Le Cinque Discipline

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

Piero Mella

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

Aula Volta, Palazzo Centrale
Università di Pavia - Italy

Vol. 13-3/2022 - DOI: 10.13132/2038-5498/13.3.611-631

Cite as: Mella, P. (2022). Corso Breve di Teoria del Controllo. Lezione 1. - APPENDICE 1A. Le Cinque Discipline. *Economia Aziendale online*, 13(3), 611-631.

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



APPENDICE 1A – Le 5 Discipline

Integra la Lezione 1

- Questa **Appendice 1A** integra la **Lezione 1 del Corso Breve di Teoria del controllo** e introduce, in forma alquanto sintetica, il contenuto de «Le Cinque discipline».
- Dalla Lezione 1, **diapositiva 580** sappiamo che Peter Senge afferma che per sviluppare le **learning organizations** devono essere applicate, **contemporaneamente**

5 discipline:

1. **Padronanza Personale o Personal Mastery**
2. **Modelli Mentali o Mental Models**
3. **Visione condivisa o Vision**
4. **Apprendimento di gruppo o Team-work**
5. **Pensiero sistemico o Systems Thinking.** Da qui l'identificazione:

Systems Thinking = Fifth Discipline



PRIMA - La padronanza personale

Personal Mastery

- Il termine padronanza non deve essere fuorviante; esso non indica l'**egemonia** su persone o cose, ma significa **perizia**, ossia “grande e comprovata abilità in qualcosa”.
- La disciplina della padronanza personale sprona l'individuo a sviluppare la propria perizia, incentivandolo a fare emergere e ad annullare la distanza tra la visione (ciò che l'individuo vuole) e la realtà corrente (dove l'individuo è).
 - **La disciplina della padronanza personale comincia con l'individuare le cose che veramente ci importano, per vivere la nostra vita al servizio delle aspirazioni più elevate (Senge, 2006, pag. 8).**
- Per questo, tutte le organizzazioni fanno della padronanza personale una disciplina fondamentale per promuovere la crescita personale dei dipendenti, trasformando la diffusa **convinzione passiva**,
«io lavoro perché "devo" lavorare»
- nella **convinzione attiva**
«io lavoro perché "voglio" lavorare».





Evitiamo i «pensieri che ci limitano»

- Da bambini impariamo quali sono i nostri limiti. Ai bambini si insegna, giustamente, che esistono limiti essenziali alla loro sopravvivenza ma troppo spesso questo apprendimento viene generalizzato. Ci si dice continuamente che non possiamo avere o non possiamo fare certe cose e...

... possiamo finire con il concludere che

non abbiamo la capacità di avere quel che vogliamo.

[...] L'altra convinzione è centrata sulla mancanza di merito – il fatto che pensiamo di ...

... non meritare di avere quello che veramente desideriamo

(Senge, 2006, p. 179).



SECONDA - I modelli mentali

Mental Models

- Per dare un senso alla realtà, la semplifichiamo. Chiamiamo tali semplificazioni modelli mentali. Simuliamo i nostri modelli mentali al fine di determinare quale azione implementare, quale alternativa scegliere quale strategia possa meglio conseguire i nostri obiettivi (Barry Richmond, High Performance Systems, Inc.).
- Se si capisce che cosa è l'inflazione, come si svolge una certa dimostrazione matematica, il modo in cui il computer lavora, il DNA o il divorzio, allora si deve avere una rappresentazione mentale delle entità considerate [...] una copia mentale interna che possiede la stessa struttura di rapporti del fenomeno che rappresenta (Johnson-Laird, 1983, pp. 37 e 49).
- La disciplina dei modelli mentali è fondamentale per l'**apprendimento organizzativo**, in quanto:
 - aumenta la capacità dei gruppi di individui di formare uno **stock di conoscenze condivise**,
 - facilita il processo di riconoscere e modificare i modelli mentali del gruppo per decidere collettivamente in modo efficace, **come se ogni decisione provenisse da un unico individuo**.



Modelli mentali e apprendimento individuale

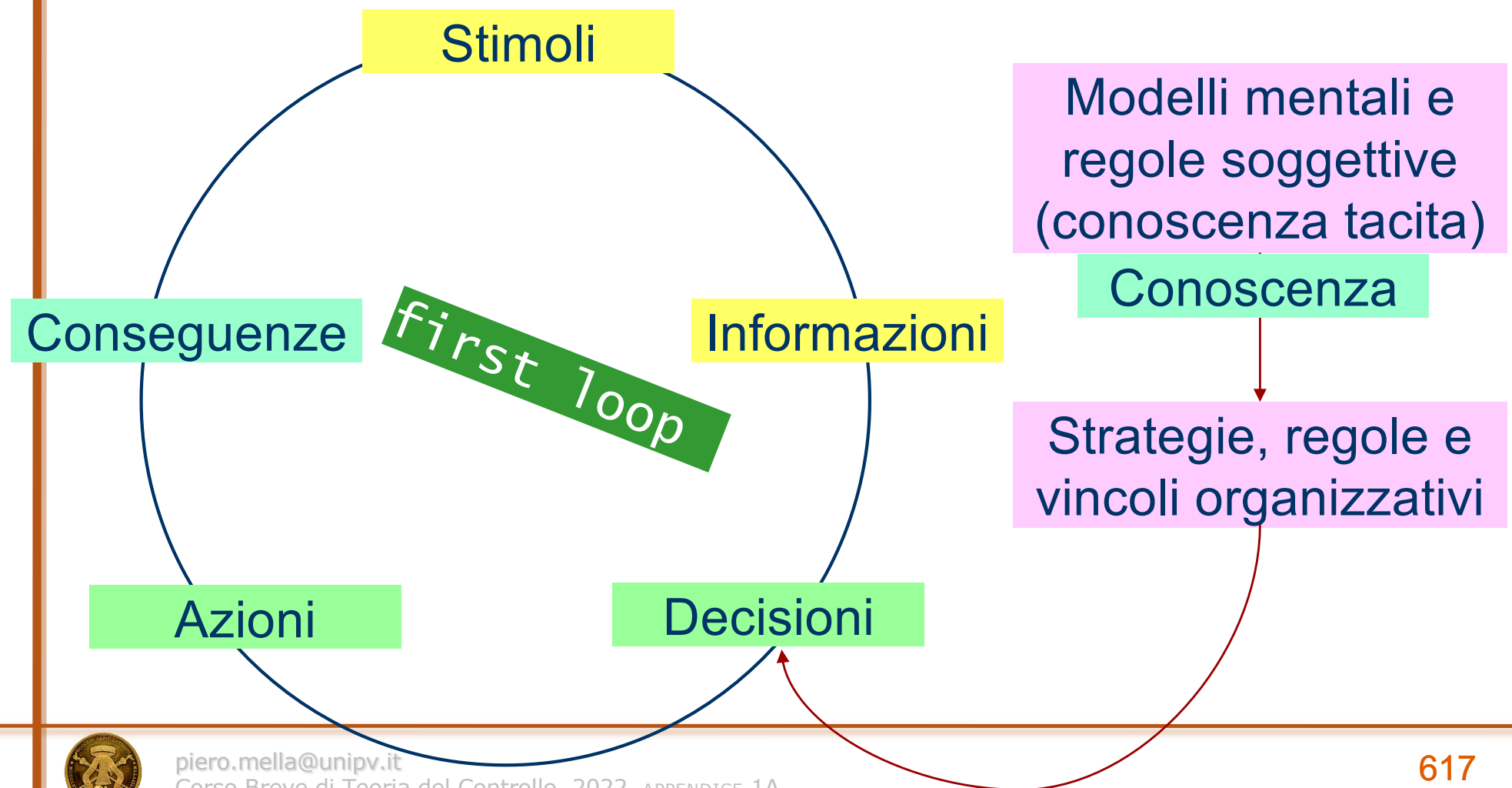
- Nel processo di **apprendimento individuale** i **modelli mentali** che l'individuo costruisce (anche sotto forma di generalizzazioni, immagini o figure mentali) diventano **ipotesi profondamente radicate** nel subconscio umano e formano gran parte della **conoscenza tacita**.
 - **I shall reconsider human knowledge by starting from the fact that we can know more than we can tell (Michael Polanyi, The tacit dimension, 1966, p. 4).**
- **Queste idee e convinzioni influenzano il comportamento delle persone e l'interpretazione della realtà e dei problemi ad essa connessi, senza che, come spesso accade, gli individui se ne accorgano (Mella, Stereotipi, 2022).**





I modelli mentali come esogeni all'apprendimento - Modello Sterman

- Il ruolo dei modelli mentali nell'apprendimento individuale è evidenziato da questo modello elaborato da J. D. Sterman (System Dynamics Review, 1994, pag. 292 e ss.) denominato **single loop learning**.





Il double-loop-learning e l'apprendimento creativo

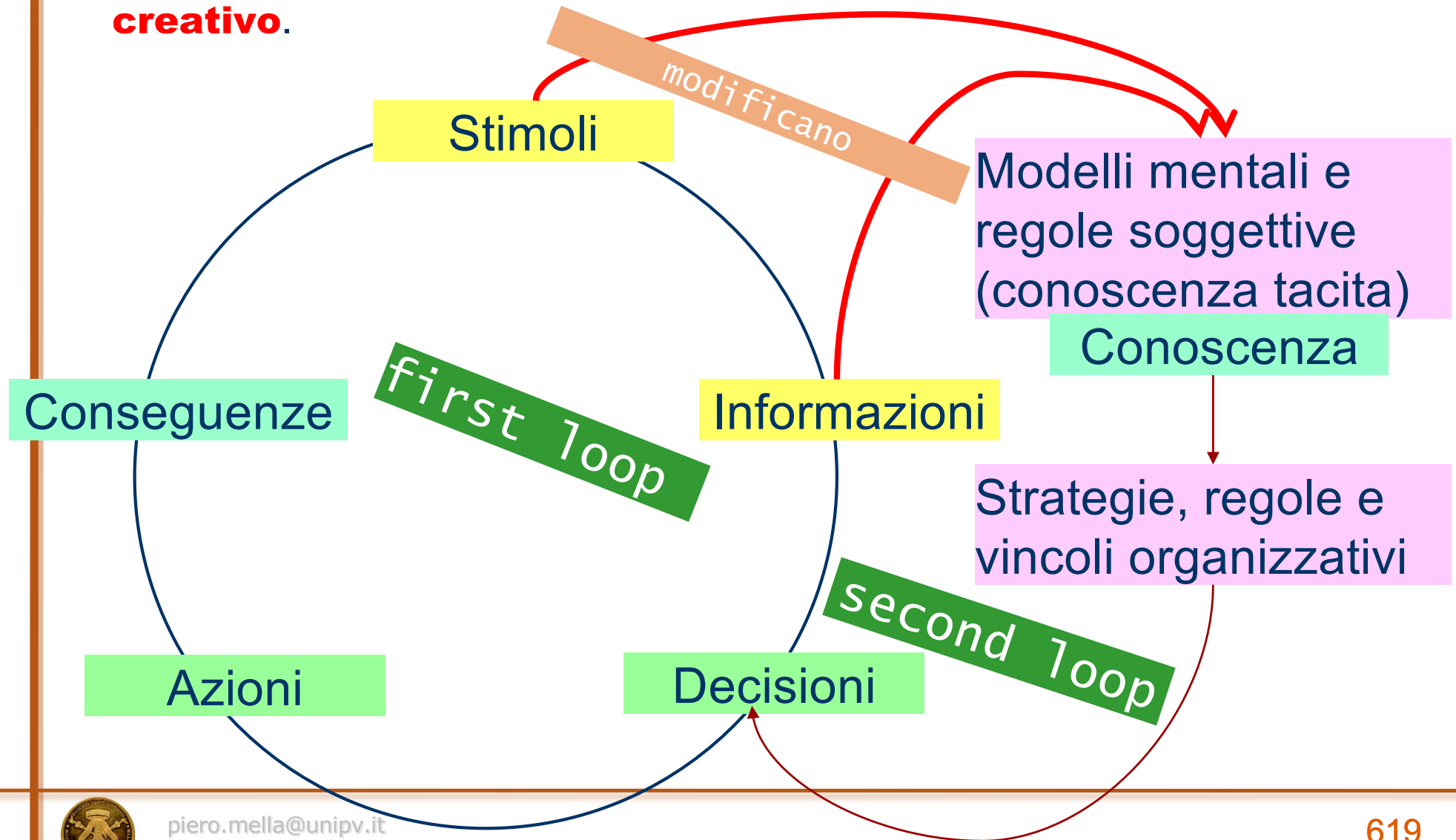
- Un livello di **apprendimento di qualità superiore** può essere raggiunto dal momento in cui, oltre a riconoscere l'esistenza dell'azione subconscia dei modelli mentali, **l'individuo è disposto a porli in discussione per sondarne la validità ed eventualmente modificarli.**
- In questa nuova prospettiva il **single-loop learning** si arricchisce di un secondo effetto che coinvolge i modelli mentali sottostanti che condizionano le decisioni (vedi diapositiva seguente).
- Quando il processo di apprendimento si svolge attraverso il funzionamento di entrambi i feedback si può parlare di **double-loop-learning** ovvero di **apprendimento a due vie** proposto da C. Argyris (Superare le difese organizzative, Milano, Raffaello Cortina Editore, 1993) (vedi diapositiva seguente).
- Il cambiamento o l'abbandono di modelli individuali radicati tocca necessariamente anche l'insieme dei modelli condivisi i quali costituiscono a loro volta naturali input alle azioni aziendali. Questa forma di apprendimento è denominato da **Senge apprendimento generativo o creativo.**





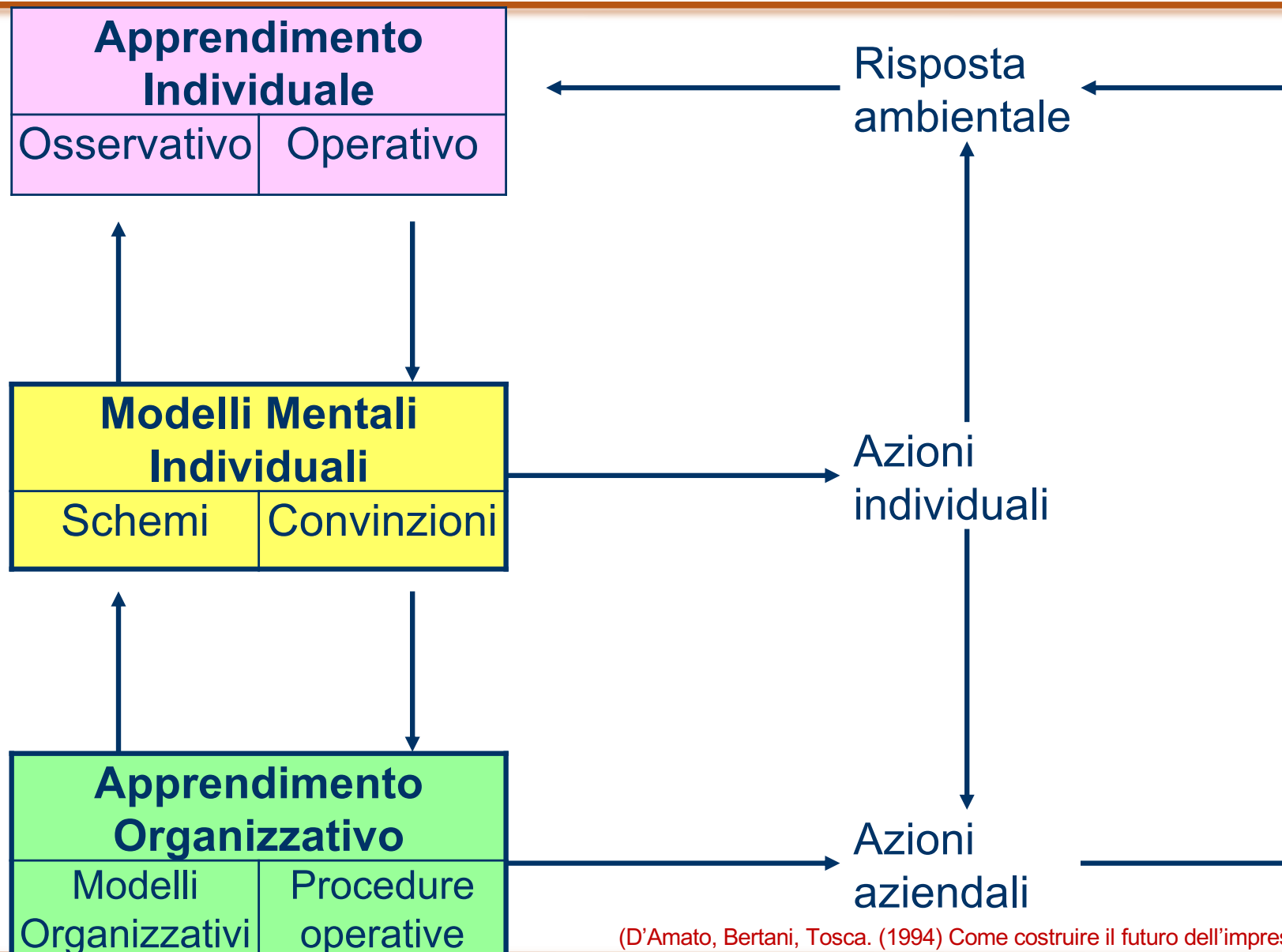
I modelli mentali come endogeni all'apprendimento - Modello Argyris

- Il **double loop learning** di Stermen-Argyris. Questa forma di apprendimento è denominato da **Senge apprendimento generativo o creativo**.





Modelli mentali - Apprendimento individuale ed organizzativo



(D'Amato, Bertani, Tosca. (1994) Come costruire il futuro dell'impresa, cit., pag. 59)





Modelli mentali e cultura sociale

- I modelli mentali, individuali e condivisi, sono sensibili alla **cultura sociale prevalente**.
- Quanto più essi risentono della cultura sociale tanto più sono difficili da cambiare.
- Presenterò, senza commenti, due modelli mentali condivisi che hanno influenzato, in forme alquanto diverse, la cultura sociale occidentale e quella orientale:
 - la funzione del lavoro per il lavoratore (modello individuale),
 - la funzione del controllo di qualità per l'impresa (modello organizzativo).





Modelli mentali.

La funzione del lavoro per l'individuo

OCCIDENTE	GIAPPONE
Il lavoro è necessario per vivere, perché ci offre una remunerazione indispensabile per soddisfare i nostri bisogni	Il lavoro è momento di miglioramento sociale e spirituale, perché soddisfa le nostre aspirazioni di esistenza
Il lavoro è un sacrificio, è spiacevole, è fatica	Il lavoro è un piacere e l'organizzazione deve fornirti i mezzi per realizzarti
Cerca sempre di fare ciò che ti piace	Fatti piacere ciò che fai
Ricerca sempre il massimo beneficio con il minimo sacrificio	Ricerca il "giusto mezzo" tra il beneficio individuale e quello dell'organizzazione
Lavora poco e chiedi tanto	Lavora tanto e chiedi quanto è possibile ottenere senza indebolire l'azienda
Impara ciò che puoi e cambia lavoro, per migliorare ulteriormente	Cerca di migliorarti sempre, perché non c'è limite alle tue possibilità
Il padrone mi sfrutta	L'impresa è la mia casa
Il capo mi comanda e mi controlla	Il capo m'insegna e mi corregge
Nessuno mi capisce	Devo riuscire a spiegarmi meglio
Ce l'hanno tutti con me	Devo modificare il mio comportamento
Fatti i fatti tuoi e non rompere	Collabora sempre e chiedi consiglio a tutti





Modelli mentali. La funzione del controllo di qualità

IMPRESE OCCIDENTALI	IMPRESE GIAPPONESI
L'impresa vive se ha profitto	L'impresa vive solo se il cliente è soddisfatto
Il profitto è l'obiettivo primario dell'impresa	La qualità è l'obiettivo primario; il profitto è il premio per il successo competitivo
La qualità incide sui ricavi	La qualità incide sulla soddisfazione del cliente
La qualità ha costi; se vuoi migliorarla usa il Benchmarking (Merrill, 1997) e "cerca di fare bene la seconda volta"	La qualità "non costa" se "nasce" fin dalla fase di progettazione. La regola è "fare bene e farlo la prima volta" (JIT e CWQC)
La qualità deve essere controllata da un apposito organo o centro	La qualità deve coinvolgere tutta l'organizzazione
I lavoratori devono essere controllati altrimenti si ha uno scadimento di qualità	I lavoratori sono i primi controllori della qualità
I fornitori devono essere controllati altrimenti le forniture degradano la qualità	I fornitori devono essere coinvolti nella ricerca di sempre maggiori livelli di qualità
Il prodotto deve essere controllato	Il prodotto deve nascere già con la massima qualità e deve essere migliorato con il suggerimento dei clienti
I clienti devono essere assistiti anche dopo la consegna	I clienti devono contribuire a migliorare il prodotto segnalando i difetti o suggerendo perfezionamenti





Modelli mentali dannosi

Gli stereotipi

- Ricordando che:
 - **I modelli mentali sono ipotesi, generalizzazioni profondamente radicate o persino immagini che influenzare il modo in cui comprendiamo il mondo e come agiamo, in quanto non ne siamo consapevoli e gli effetti che hanno sul nostro comportamento (Senge, 1990, p. 8).**
- appare evidente che i modelli mentali influenzano anche i nostri giudizi poiché sono "attivi" e modellano il modo in cui agiamo.
- **Tra i modelli mentali dannosi, ma persistenti e diffusi nella società, vi sono gli STEREOTIPI.**
- Gli stereotipi sono visioni **semplificate** e **ampiamente condivise**, nell'ambito di un **gruppo sociale**, che riguardano un luogo, un oggetto, un evento o un insieme di persone o animali tutti accomunati da determinate caratteristiche o qualità. Gli stereotipi **generalizzano acriticamente** una caratteristica osservata in una percentuale di individui alla totalità degli individui.
- Sono **"pericolosi"** perché subdoli, capaci di agire anche inconsciamente negli individui, gruppi e organizzazioni sociali **alterando** la razionalità delle valutazioni e delle scelte e producendo **discriminazioni** e **pregiudizi**.





Un elenco indicativo, ma non esaustivo

- Nei sistemi sociali e nelle organizzazioni operano numerosi stereotipi, che variano a seconda delle aree su cui sistemi sociali e organizzazioni si estendono e in relazione alla cultura storicamente formata.
- Presento un elenco di stereotipi, tra i più comuni, che tutti possiamo riconoscere e osservare (per prove ed esempi specifici, rinvio a SPEEXX online e a Canadian Human Rights Act, online).
 - (1) **Stereotipi di genere**: sono generalizzazioni sulle caratteristiche di femminilità e mascolinità e sulla loro influenza sul comportamento nel lavoro e nella vita sociale (Gendered Innovations, 2020, online).
 - (2) **Stereotipi razziali**: riflettono le convinzioni condivise che i membri di una stessa “razza” o ambiente presentano caratteristiche o comportamenti generalmente negativi (Green, 1998).
 - (3) **Stereotipi religiosi** (Bloomfield, 2016).
 - (4) **Stereotipi sull'età**: si tratta di credenze riguardanti particolari caratteristiche della popolazione anziana. (Chan et al., 2020 online).
 - (5) **Stereotipi sul sesso e sull'orientamento sessuale**: credenze che tali caratteristiche si riflettano sui ruoli sociali di uomini e donne.
 - (6) Stereotipi secondo i quali la **dipendenza da sostanze** genera comportamenti giudicati negativi (Movahedi, 1978).
 - (7) Stereotipi su **insegnanti e valutatori**.
- Nei sistemi sociali e nelle organizzazioni, gli stereotipi producono diverse **forme di discriminazione e pregiudizio**.

Rinvio gli interessati a Mella, P. (2022). In every organization, gender stereotypes reduce organizational efficiency and waste productive energy: a systems thinking perspective. *Kybernetes*, 51(13). 156-185. <https://doi.org/10.1108/K-04-2021-0283>



TERZA – Visione condivisa

Building Shared Vision

- Se c'è un'idea sulla leadership che ha ispirato le organizzazioni per migliaia di anni, questa è la capacità di mantenere una visione condivisa del futuro che cerchiamo di creare.
- [...] La pratica della visione condivisa implica la capacità di fare venire in superficie le 'immagini del futuro' condivise, che promuovono un impegno genuino e volontario, non l'acquiescenza (Senge, 2006, p. 9).
- È importante ricordare che le visioni dei capi, dei leader, sono ancora visioni **personali**. Per costruire visioni condivise, i capi e i leader devono avere la volontà di **condividere** le loro visioni personali con gli altri membri dell'organizzazione, finché questi non le facciano proprie e, a loro volta, le diffondano, dedicando impegno personale.
- Se questa visione è adottata da più persone, essa smette di essere un'astrazione e diviene condivisa e tangibile, creando un senso di **consonanza** e di **comunanza** che permea l'organizzazione e dà coerenza alle sue diverse attività **verso un obiettivo comune**.



QUARTA – Apprendimento di gruppo Team-learning

- L'apprendimento di gruppo è il processo volto a creare e sviluppare le capacità di gruppo di operare in modo coordinato, per ottenere i risultati che i suoi membri veramente desiderano, magari per conseguire una visione condivisa.
- L'apprendimento di gruppo è un'abilità di gruppo. I gruppi imparano come apprendere con la pratica.
 - [...] vi sono esempi sorprendenti di come l'intelligenza del gruppo superi l'intelligenza dei singoli membri e di come i gruppi sviluppino capacità straordinarie di azione coordinata (Senge, 2006, p. 12).
- La disciplina dell'apprendimento di gruppo cerca di produrre l'**allineamento** delle posizioni e degli atteggiamenti all'interno del gruppo tramite:
 - il **dialogo**, al fine di ascoltare i diversi punti di vista,
 - la **discussione**, al fine di ricercare il punto di vista migliore per sostenere le decisioni che devono essere assunte.



QUINTA – Il pensiero sistemico

Systems Thinking

- **La quinta disciplina funge da unificatrice e coordinatrice delle altre quattro; in ciò si giustifica la funzione del pensiero sistemico.**
 - **La quinta disciplina è il pensiero sistemico, la visione sistemica.** [...] È la disciplina che integra le [altre quattro] discipline, fondendole in un corpo coerente di teoria e di pratica. [...] Senza un **orientamento sistemico** non si è motivati a guardare all'interrelazione tra le discipline. Stimolando ciascuna delle altre discipline, l'apprendimento sistemico ci ricorda continuamente che il tutto può essere maggiore della somma delle sue parti (Senge, 2006, p. 12).
 - Denomino **Systems Thinking** la **quinta disciplina** perché rappresenta la pietra angolare che sostiene tutte le cinque discipline (Senge, 2006, p. 67).
 - Il pensiero sistemico è "contestuale", cioè l'opposto del pensiero analitico. Analisi significa smontare qualcosa per comprenderlo; pensiero sistemico significa porlo nel contesto di un insieme più ampio (Fritjof Capra).



Perché è una disciplina?

- Il Systems Thinking – come le altre quattro – è una **disciplina** nel senso che si richiede al **systems thinker** conoscenza approfondita e applicazione costante delle regole nonché volontà di migliorarsi costantemente.
 - Per **“discipline”** non intendo un **“ordine nei comportamenti”**, oppure **“sistemi punitivi”**, ma un corpo di teorie e di tecniche che per essere messo in pratica deve essere studiato e padroneggiato. Una disciplina è un percorso di sviluppo per acquisire certe abilità o competenze. Praticare una disciplina significa apprendere per tutta la vita. **“Non si arriva mai”; si passa l’intera vita a padroneggiarla** (Senge, 2006, p. 10).



Verso una SESTA disciplina?

- La logica dei Sistemi di Controllo rientra nell'ambito del Systems Thinking ma, per la sua «potenza» e «pervasività», ritengo che potrebbe diventare una vera e propria **“Disciplina del Controllo”**, o **Control Thinking**.
 - Le cinque discipline che ora convergono sembrano costituire una massa critica. Esse fanno della creazione dell'apprendimento nelle organizzazioni un'impresa sistemica, piuttosto che il prodotto del caso. Ma vi saranno altre innovazioni. [...] può darsi che vi siano sviluppi emersi in luoghi apparentemente improbabili a guidare **una nuova disciplina che oggi non possiamo nemmeno afferrare**. [...] Analogamente, il compito immediato è di padroneggiare le possibilità insite nelle presenti discipline dell'apprendimento, di creare le **fondamenta del futuro** (Senge, 1990, p. 363; 1992, p. 419).
 - **Leggendo le parole di Senge, viene spontaneo chiederci come sia possibile creare le fondamenta del futuro, se non riusciamo a controllare, giorno dopo giorno, anno dopo anno, secolo dopo secolo, i processi instabili che formano il nostro mondo.**



Il ruolo del Control Thinking

- Appare anche chiaro il ruolo della **Sesta Disciplina**, il **Control Thinking**, nell'osservazione delle organizzazioni.
- Tanto l'**individuo** quanto le **learning organizations** aumentano la loro capacità di sopravvivenza nella misura in cui sono in grado di controllare con successo le dinamiche interne – tecniche e organizzative – affrontando le perturbazioni ambientali.
- **È evidente che le organizzazioni apprendono nella misura in cui sono in grado di porsi obiettivi propri, di tradurli in obiettivi individuali coerenti e condivisi, di verificarne il conseguimento e di sviluppare tutte le azioni necessarie – a livello collettivo e individuale – per determinare ed eliminare gli scostamenti dal conseguimento degli obiettivi ...**
- **... a controllare, insomma.**

F I N E DELL'APPENDICE 1



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

Corso Breve di Teoria del Controllo

Lezione 1 Appendice 1B Costruire i Causal Loop Diagrams

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

Piero Mella

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

Aula Volta, Palazzo Centrale
Università di Pavia - Italy

Vol. 13-3/2022 - DOI: 10.13132/2038-5498/13.3.633-667

Cite as: Mella, P. (2022). Corso Breve di Teoria del Controllo. Lezione 1. APPENDICE 1B. Costruire i Causal Loop Diagrams. *Economia Aziendale online*, 13(3), 633-667.

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



APPENDICE 1B – I Causal Loop Diagrams – Integra la Lezione 1

- Il Systems Thinking rappresenta, prima di tutto, una **logica** per osservare il mondo, per costruire **modelli** che ci facciano comprendere le dinamiche.
- È anche un **linguaggio** per comunicare la conoscenza acquisita.
- Come costruire i **modelli**?

È questo il tema affrontato in questa

APPENDICE 1B

Costruire i modelli secondo la logica del Systems Thinking

Essa presenta, con gradualità, la tecnica per comporre i modelli sistemici.

Per una solida comprensione, consiglio Lettrici e Lettori a riprodurre manualmente, con carta e matita, i modelli presentati nel seguito.

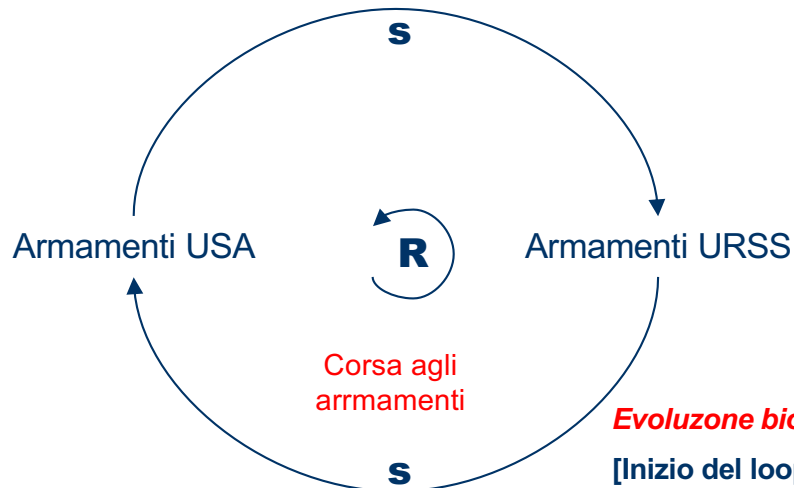
Per una migliore comprensione dei loop, in alcuni Causal Loop Diagrams ho anche suggerito semplici “percorsi di lettura”. **Consiglio di riscriverli cambiando il segno iniziale delle prima variabile ed estendendoli anche ad altri CLD.**



Loop elementari di rinforzo

Escalation

- Sono **loop elementari** quelli formati da **due sole variabili** interagenti.
- Questi loop rappresentano **sistemi di escalation**.



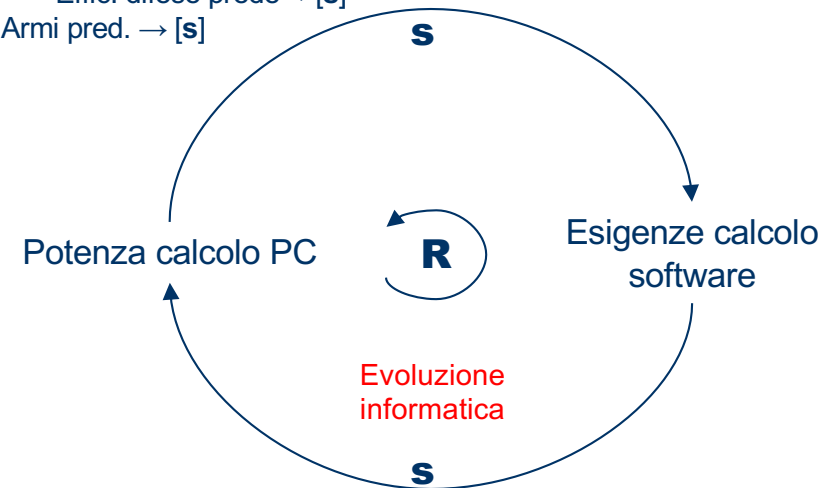
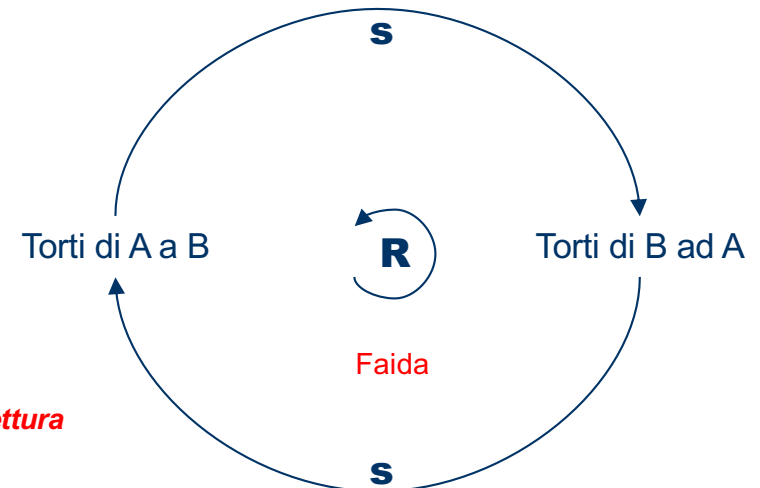
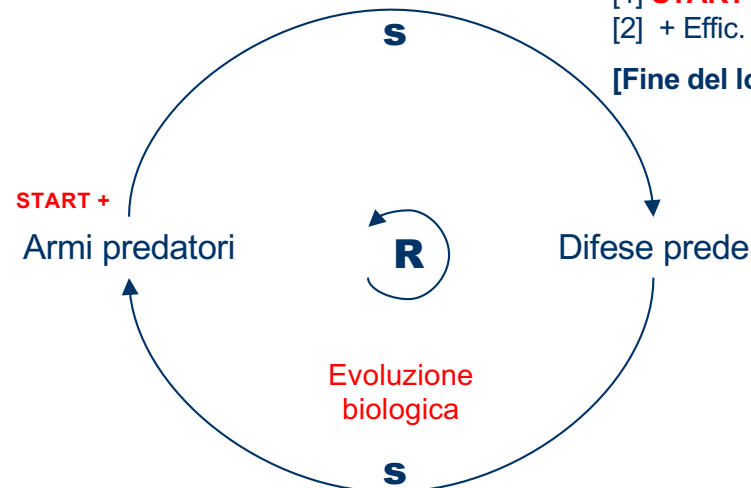
Evoluzione biologica – Esempio di lettura

[Inizio del loop]

[1] **START** + Potenza Armi predatori = + Effic. difese prede → [s]

[2] + Effic. difese prede = + Potenza Armi pred. → [s]

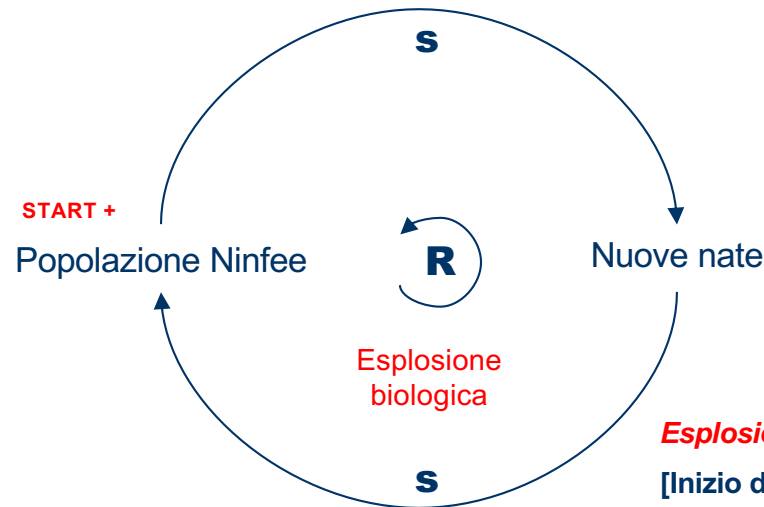
[Fine del loop. Ripetere N volte]



Loop elementari di rinforzo

Accumulazione/Diffusione

- Questi loop rappresentano sistemi di **accumulazione/diffusione**.



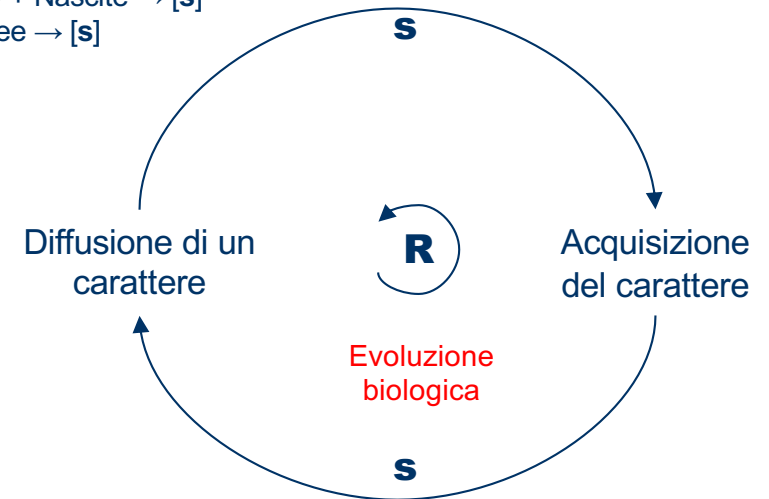
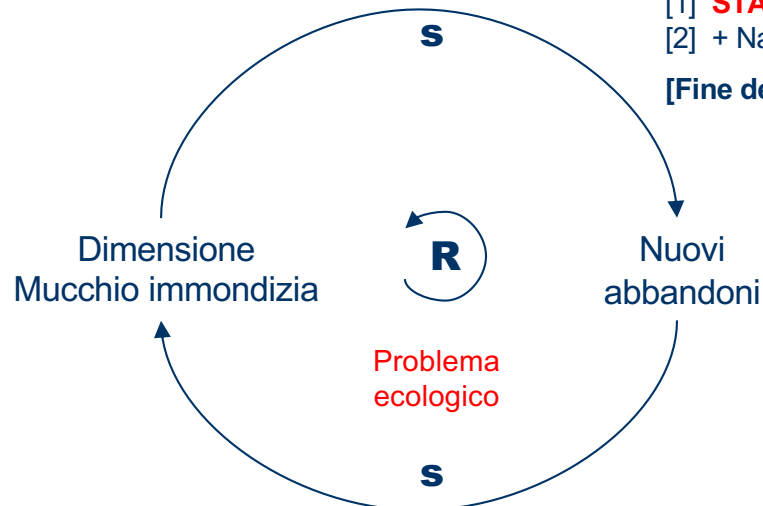
Eruzione biologica – Esempio di lettura

[Inizio del loop]

[1] **START** + Popolazione Ninfee = + Nascite → [s]

[2] + Nascite = + Popolazione Ninfee → [s]

[Fine del loop. Ripetere N volte]



Loop elementari di bilanciamento

- Questi loop rappresentano **sistemi di bilanciamento**.



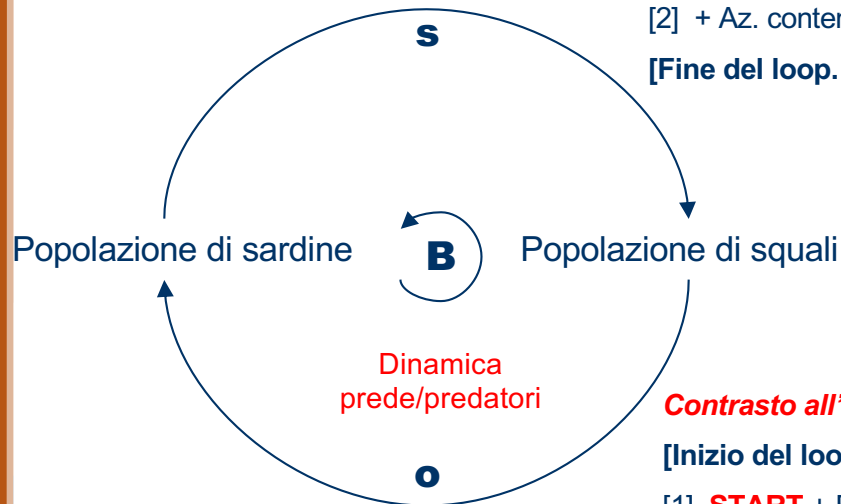
Contrasto alla pandemia – Esempio di lettura

[Inizio del loop]

[1] **START** + Diffus. virus = + Azione contenimento contagi → [s]

[2] + Az. contenim. contagi = - Diffusione virus virus → [o]

[Fine del loop. Ripetere N volte]



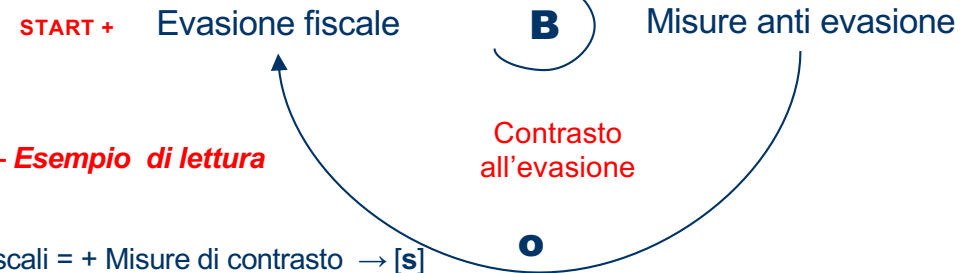
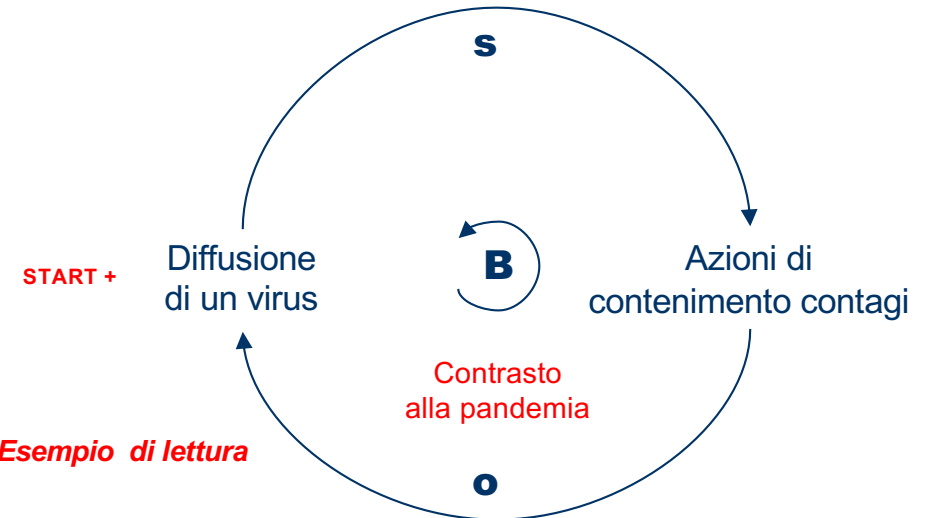
Contrasto all'evasione – Esempio di lettura

[Inizio del loop]

[1] **START** + Evasione fiscali = + Misure di contrasto → [s]

[2] + Misure di contrasto = - Entità evasione → [o]

[Fine del loop. Ripetere N volte]



Loop di diverse variabili «Vedere gli alberi e la foresta»



Efficacia campagne pubblicitarie – Esempio di lettura

[Inizio del loop]

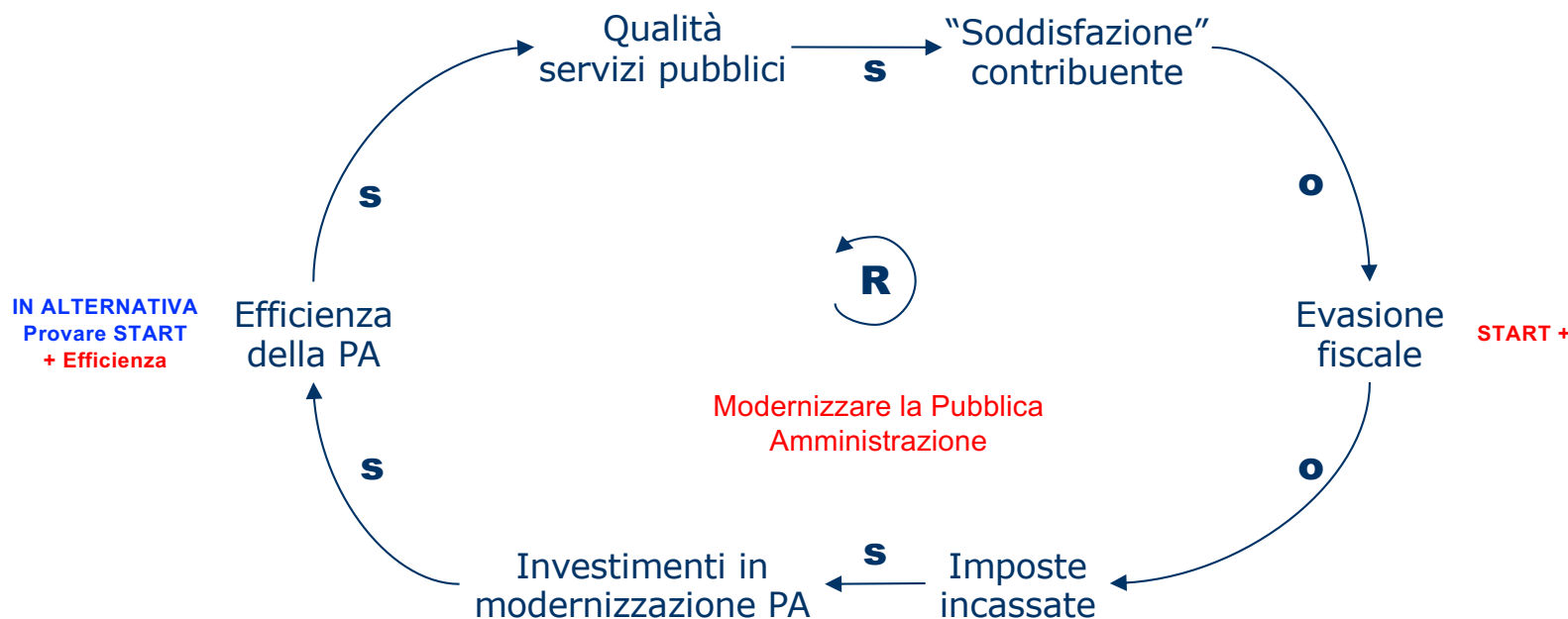
- [1] **START** + Efficacia pubblicità = + Vendite → [s]
- [2] + Vendite = + Profitto e cash flow → [s]
- [3] + Profitto e cash flow = + Investim. Pubblicitari → [s]
- [4] + Investim. Pubblicitari = + Efficacia pubblicità → [s]

[Fine del loop. Ripetere N volte]



Loop di diverse variabili «Vedere gli alberi e la foresta»

- In un loop con diverse variabili è bene indicare lo **START di lettura**.



Modernizzazione pubblica amministraz. – Esempio di lettura

[Inizio del loop]

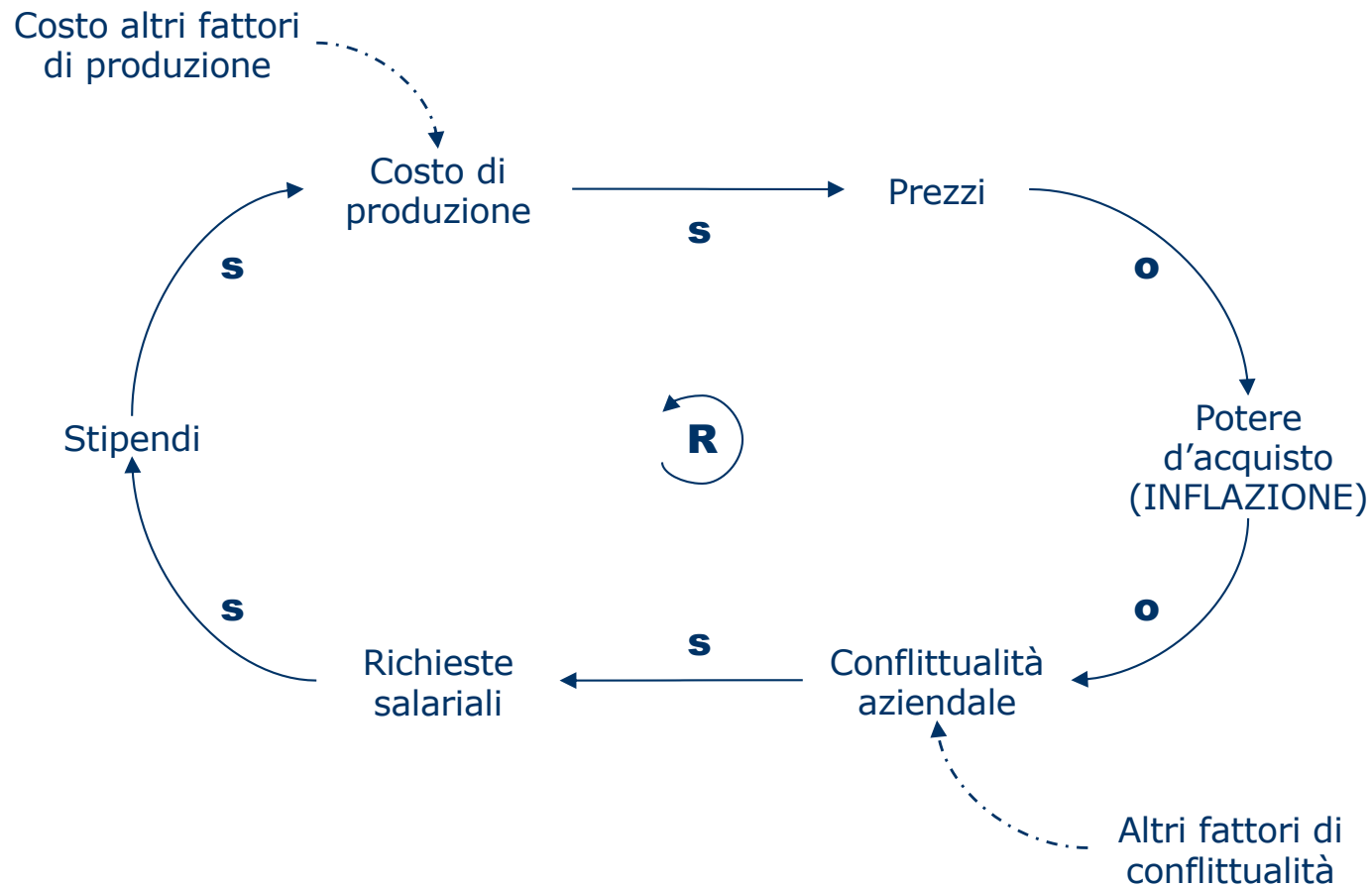
- [1] **START** + Evasione fiscale = - Imposte incassate → [o]
- [2] - Imposte incassate = - Invest. per modernizzare la PA → [s]
- [3] - Invest. per modernizzare la PA = - Efficienza PA → [s]
- [4] - Efficienza PA = - Qualità serv. Pubblici → [s]
- [5] - Qualità serv. Pubblici = - Soddisfazione del contribuente → [s]
- [6] - Soddisfazione del contribuente = + Evasione fiscale → [o]

[Fine del loop. Ripetere N volte]



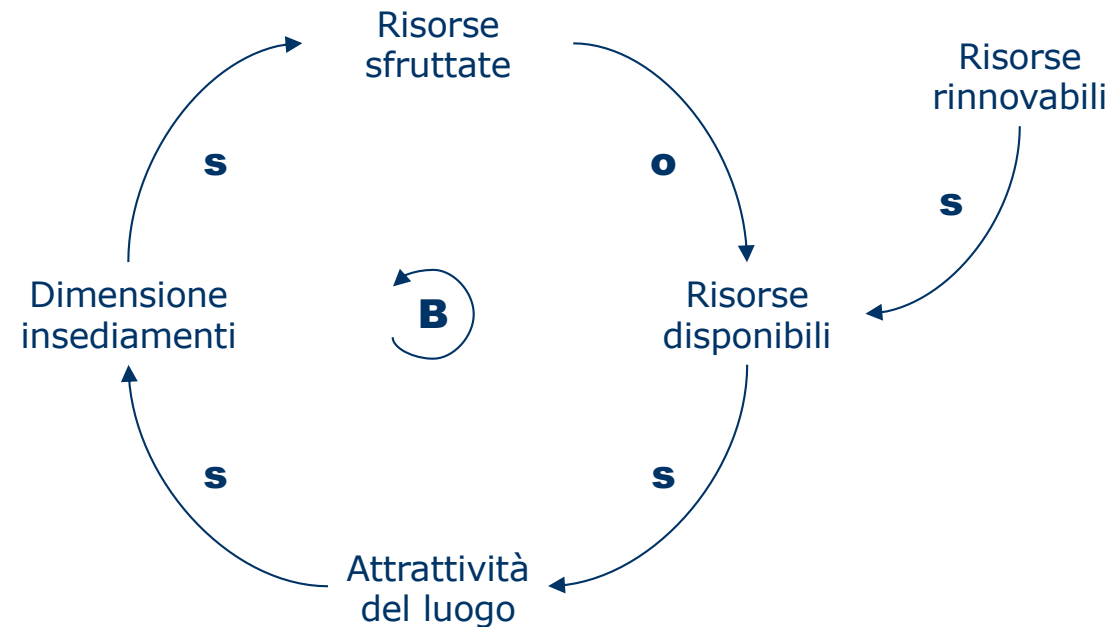
Loop di diverse variabili

Inflazione da costo del lavoro (modello parziale)



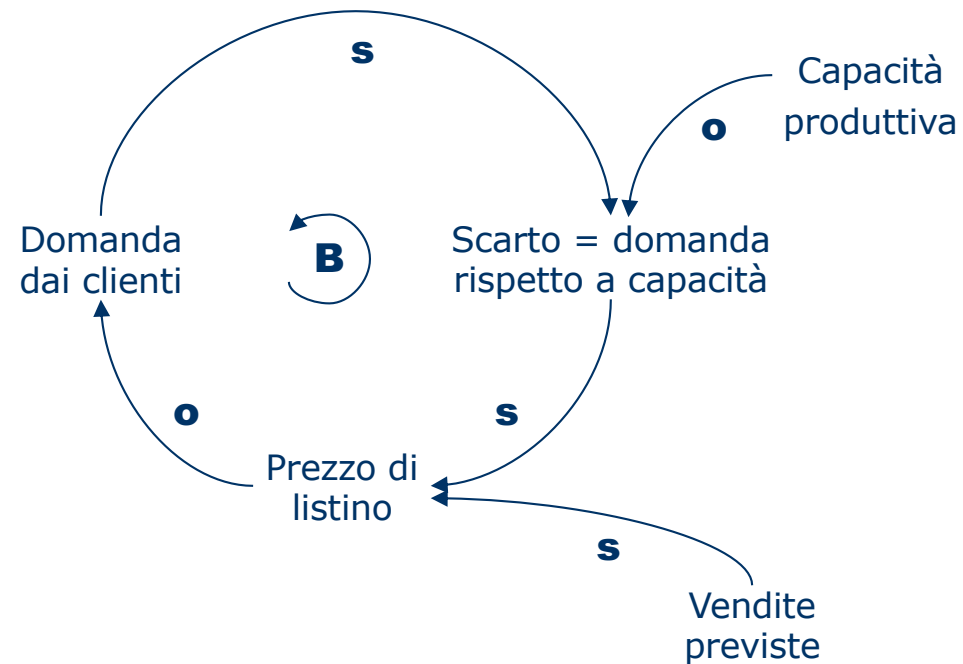
Loop di diverse variabili

Rapporto tra ampiezza degli insediamenti e risorse



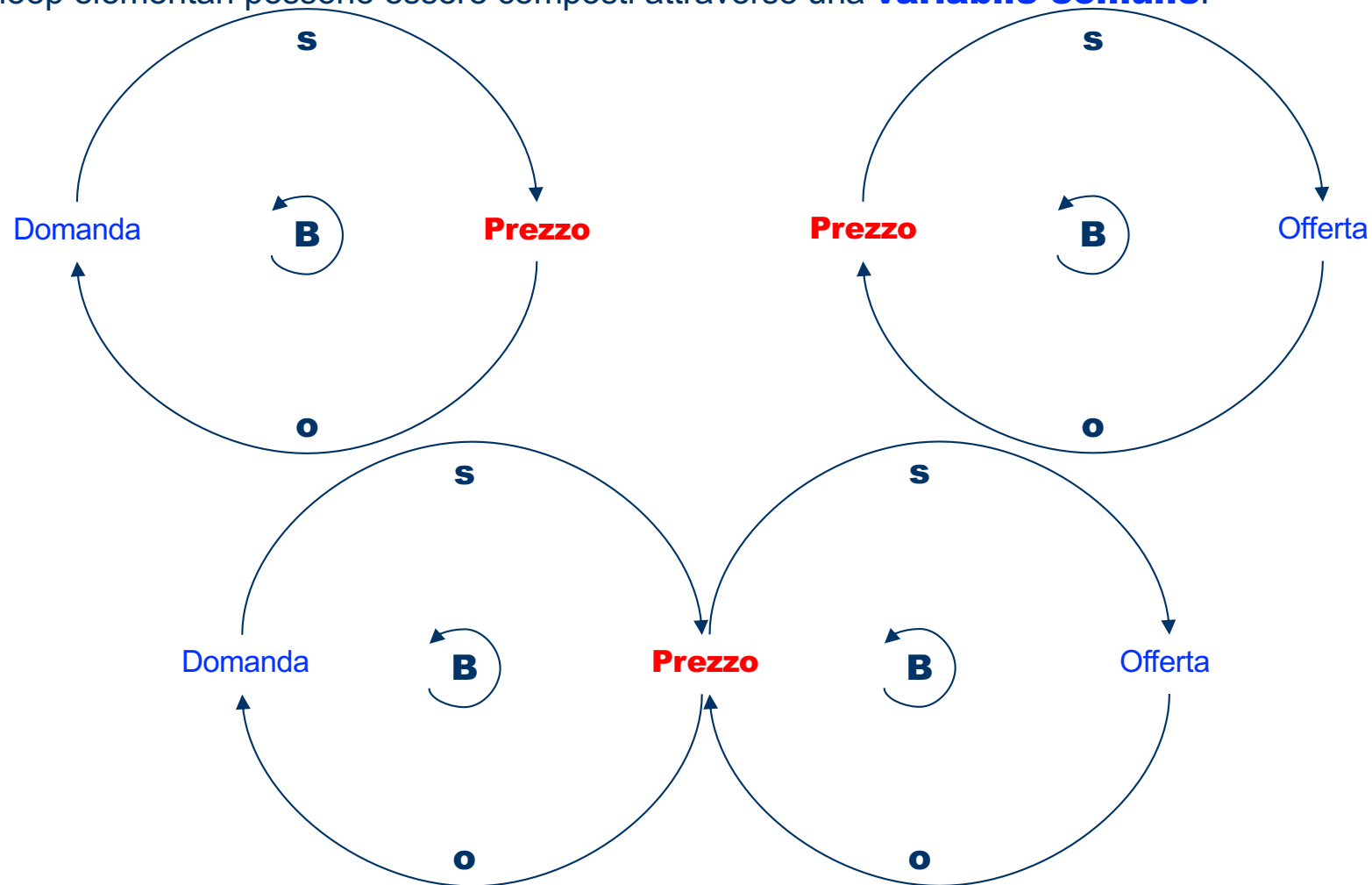
Loop di diverse variabili

Rapporto tra Domanda, capacità produttiva e prezzi



Componiamo i loop elementari Prezzo/Domanda/Offerta

- I loop elementari possono essere composti attraverso una **variabile comune**.

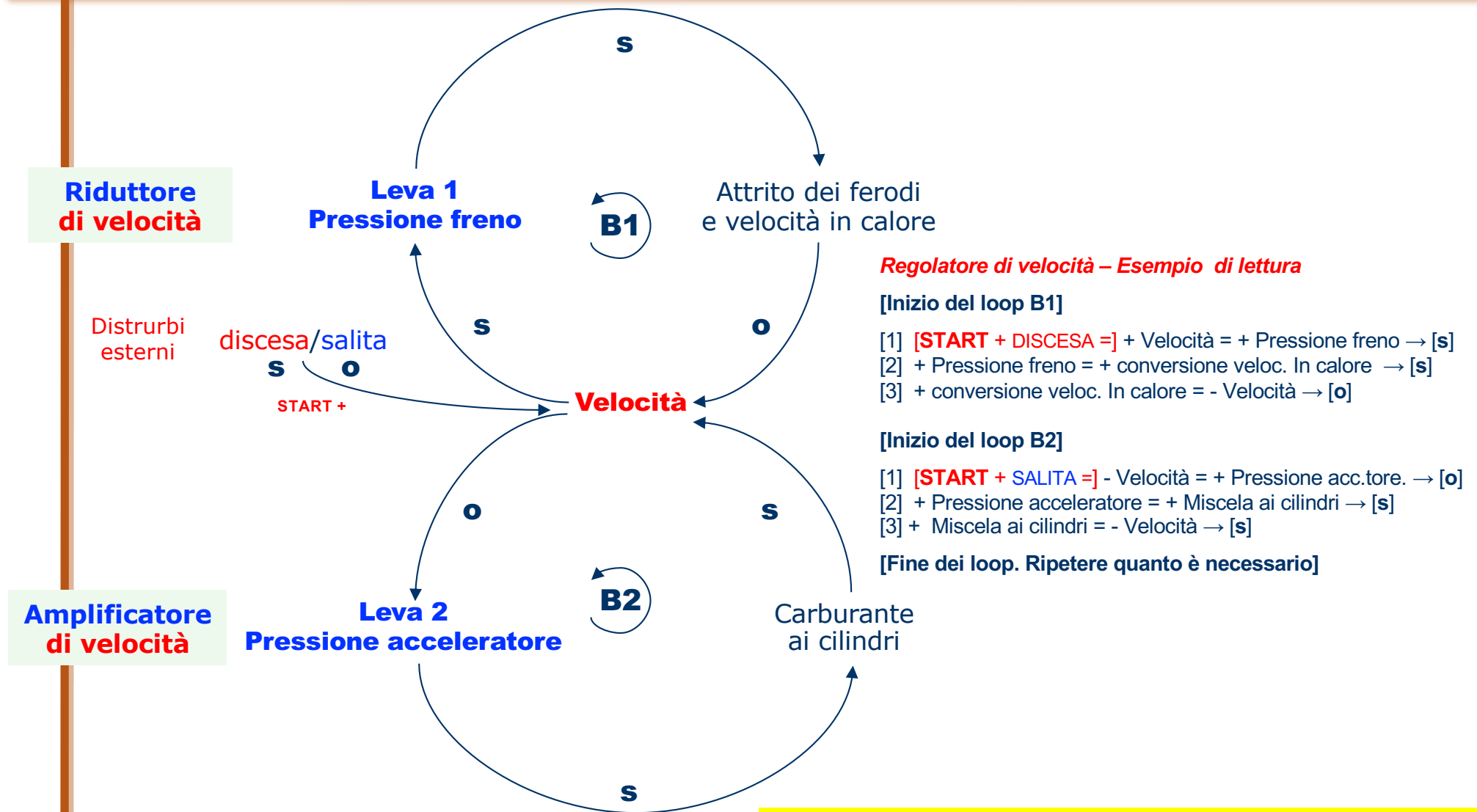


Sistema a doppio loop conosciuto come Legge della Domanda e dell'Offerta, o REGOLATORE DEL PREZZO



Componiamo i loop elementari

Regolatore di velocità

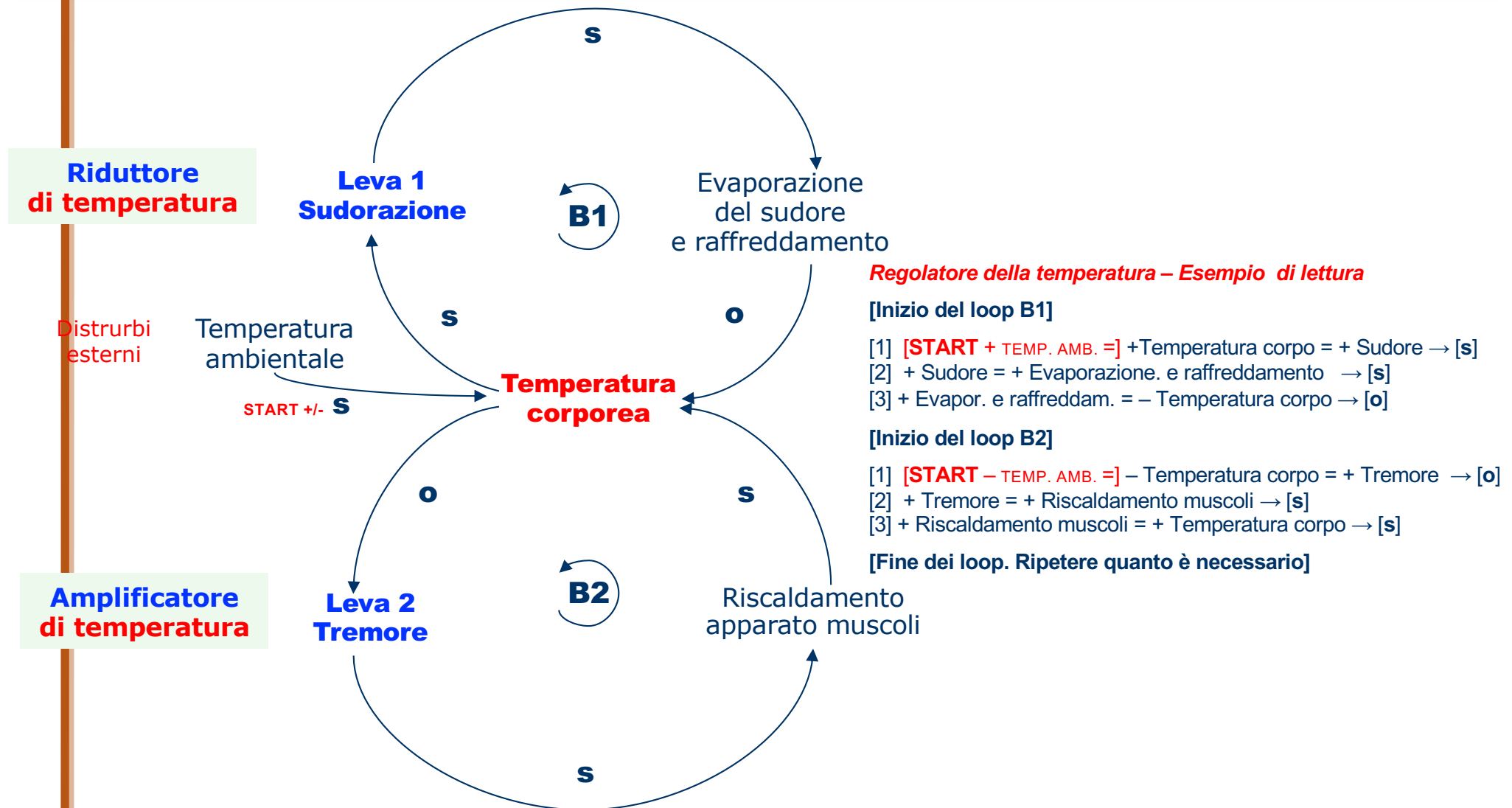


**Sistema a doppio loop conosciuto come
REGOLATORE DELLA VELOCITÀ A DUE LEVE**



Componiamo i loop elementari

Regolatore della temperatura corporea



Regolatore della temperatura – Esempio di lettura

[Inizio del loop B1]

[1] **[START + TEMP. AMB. =]** + Temperatura corpo = + Sudore → [s]

[2] + Sudore = + Evaporazione. e raffreddamento → [s]

[3] + Evapor. e raffreddam. = – Temperatura corpo → [o]

[Inizio del loop B2]

[1] **[START – TEMP. AMB. =]** – Temperatura corpo = + Tremore → [o]

[2] + Tremore = + Riscaldamento muscoli → [s]

[3] + Riscaldamento muscoli = + Temperatura corpo → [s]

[Fine dei loop. Ripetere quanto è necessario]

Sistema a doppio loop conosciuto come
REGOLATORE NATURALE DELLA TEMPERATURA CORPOREA



CLD con loop di «senso» diverso

«Sistema» della «conflittualità per le risorse»

- Partiamo (**Start**) dalla Popolazione e supponiamo un **Incremento elevato** della **popolazione**

Loop B

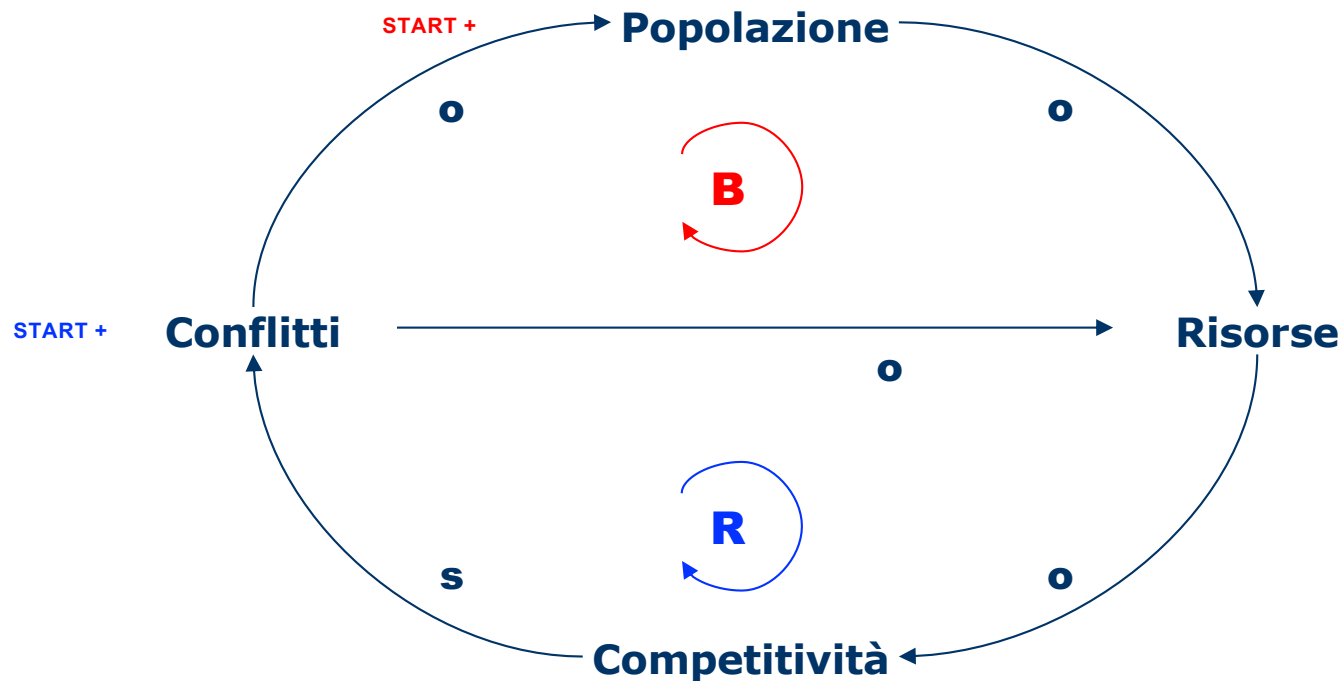
[1] **START + Popolazione** = - Risorse → [o]
[2] - Risorse = + Competitività → [o]
[3] + Competitività = + Conflitti → [s]
[4] + Conflitti = - **Popolazione** → [o]

[Fine dei loop. Ripetere]

Loop R

[1] **START + Conflitti** = - Risorse → [o]
[2] - Risorse = + Competitività → [o]
[3] + Competitività = + **Conflitti** → [s]

[Fine dei loop. Ripetere]



CLD con loop di senso diverso

Sistema della «conflittualità per le risorse» con i processi

- Per meglio comprendere le **dinamiche** delle **variabili** del sistema indichiamo anche i **processi** che le producono.

Loop B

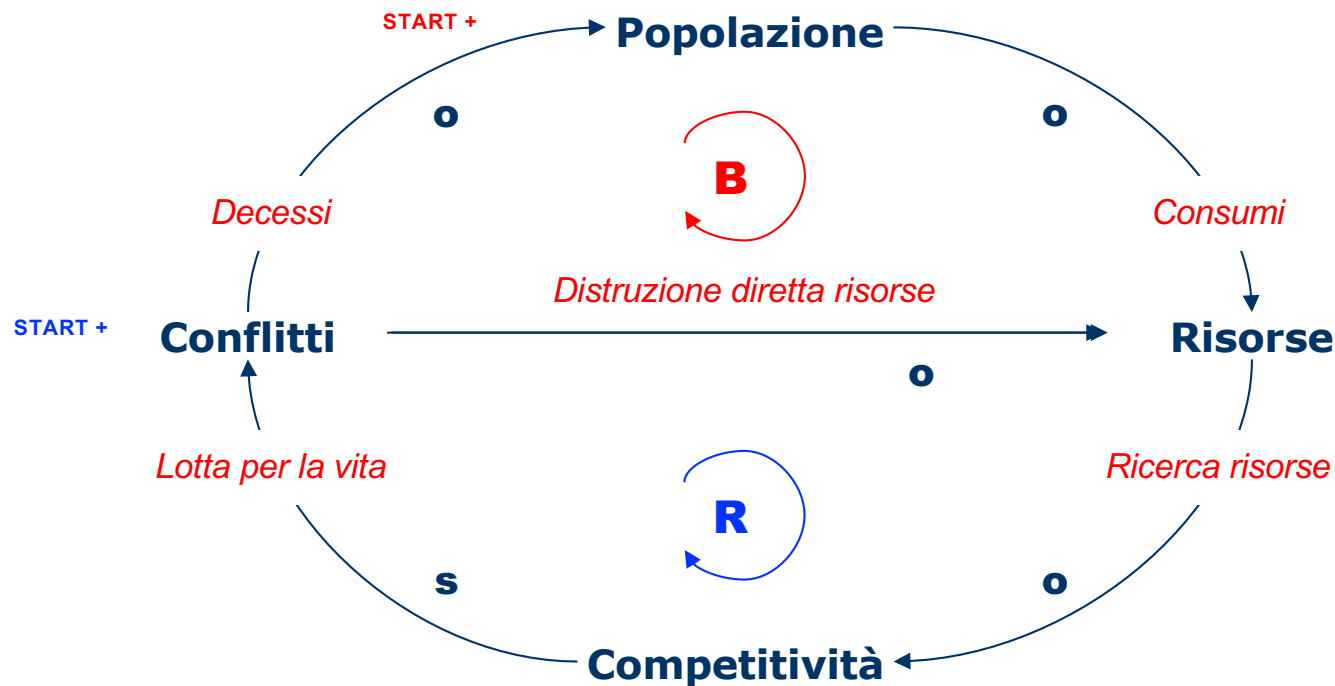
- [1] **START + Popolazione** = - Risorse → [o]
- [2] - Risorse = + Competitività → [o]
- [3] + Competitività = + Conflitti → [s]
- [4] + Conflitti = - **Popolazione** → [o]

[Fine dei loop. Ripetere]

Loop R

- [1] **START + Conflitti** = - Risorse → [o]
- [2] - Risorse = + Competitività → [o]
- [3] + Competitività = + **Conflitti** → [s]

[Fine dei loop. Ripetere]



CLD con loop di «senso» diverso

Domanda, capacità produttiva e livelli di qualità

Loop B

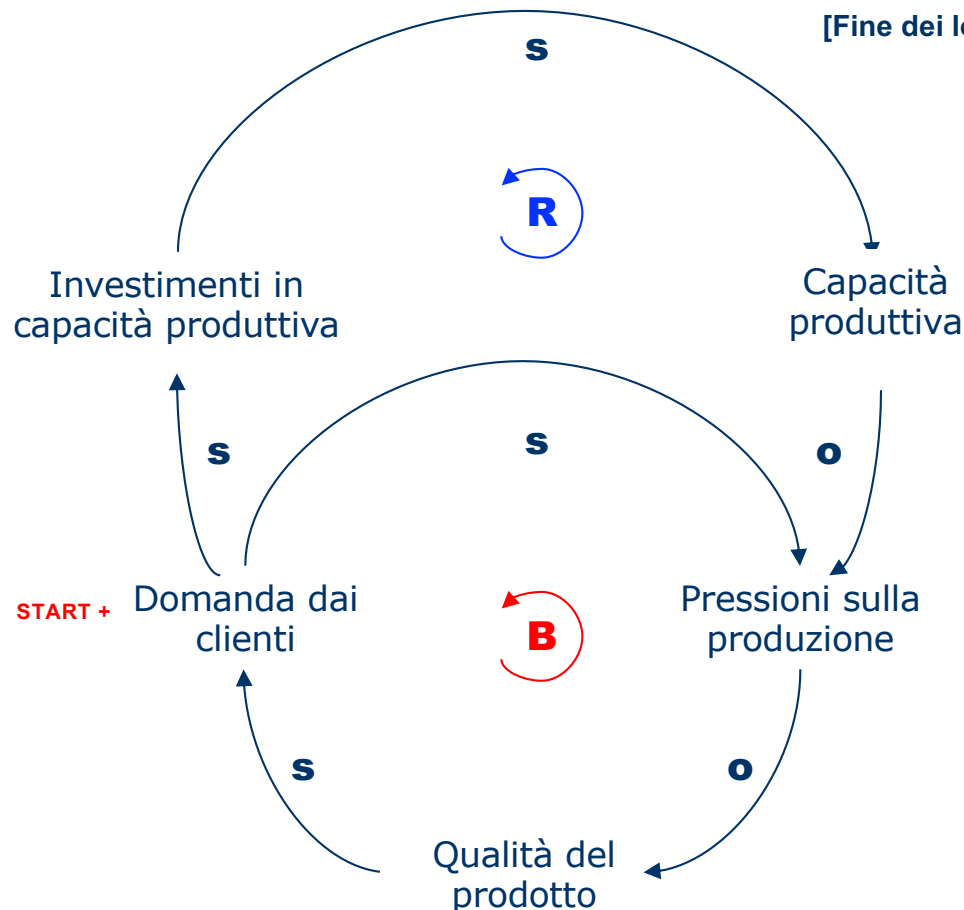
- [1] **START + Domanda clienti** = + Pressioni produzione → [s]
- [2] + Pressioni produzione = – Qualità del prodotto → [o]
- [3] – Qualità del prodotto = – **Domanda clienti** → [s]

[Fine dei loop. Ripetere]

Loop R

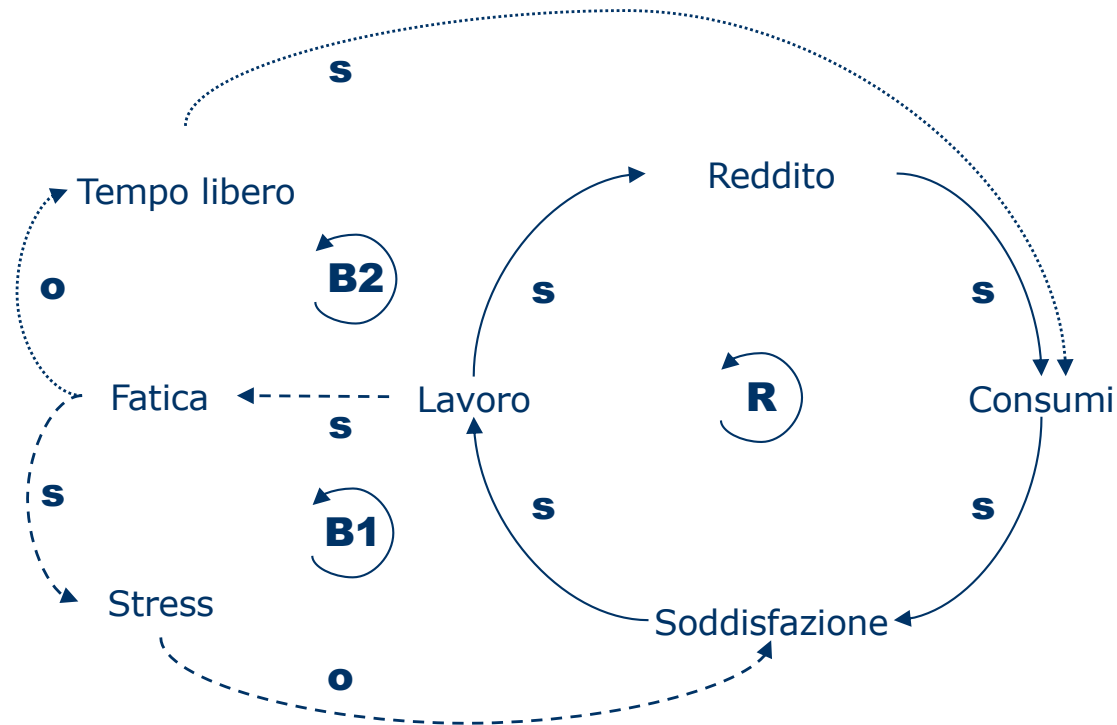
- [1] **START + Domanda clienti** = + Investimenti in Capacità → [s]
- [2] + Investimenti in Capacità = + Capacità produttiva → [s]
- [3] + Capacità produttiva = – Pressioni sulla produzione → [o]
- [4] – Pressioni produzione = + Qualità del prodotto → [o]
- [5] + Qualità del prodotto = + **Domanda clienti** → [s]

[Fine dei loop. Ripetere]



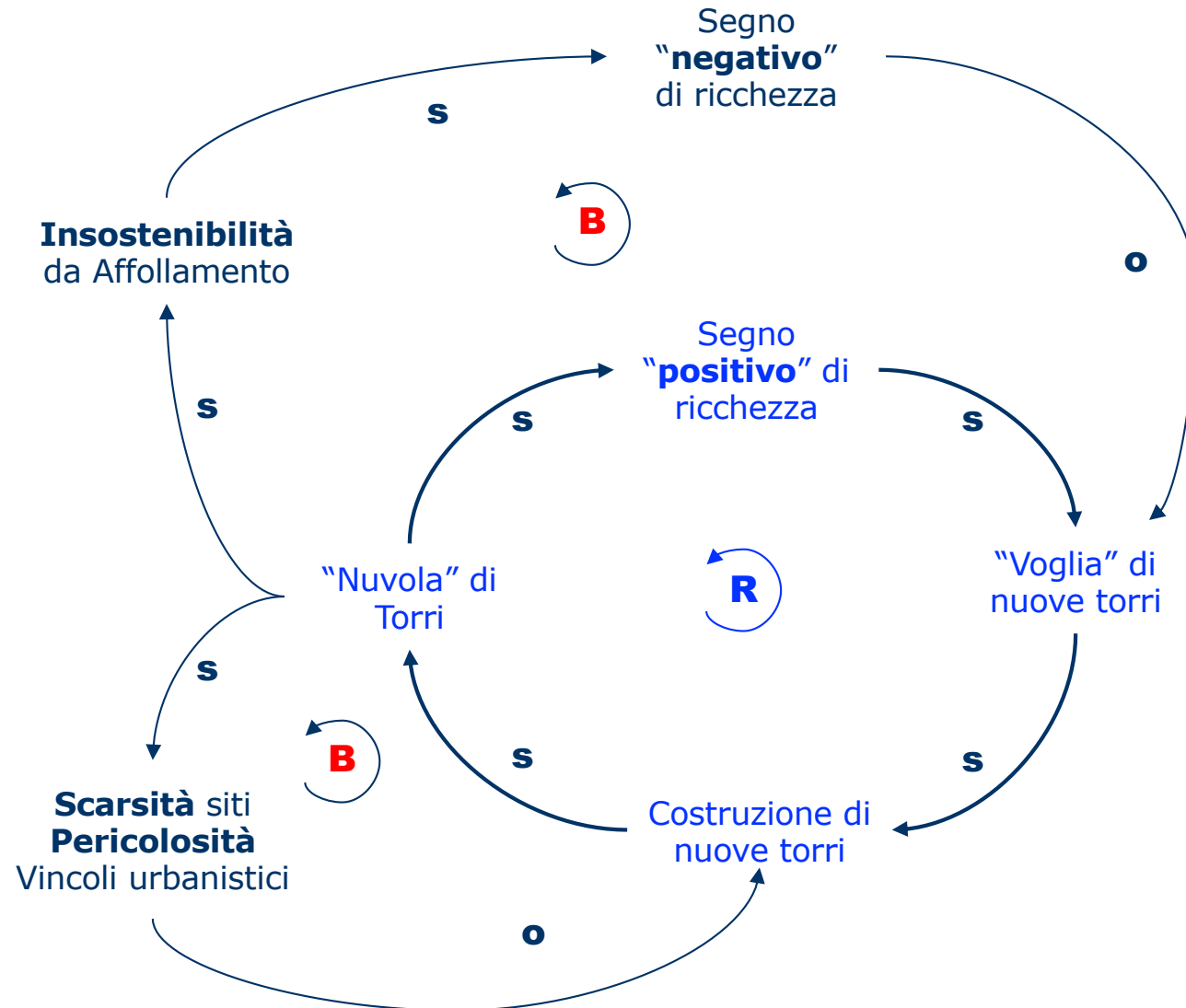
CLD con loop di senso diverso

Il Sistema che esamina il Rapporto tra Lavoro e Stress



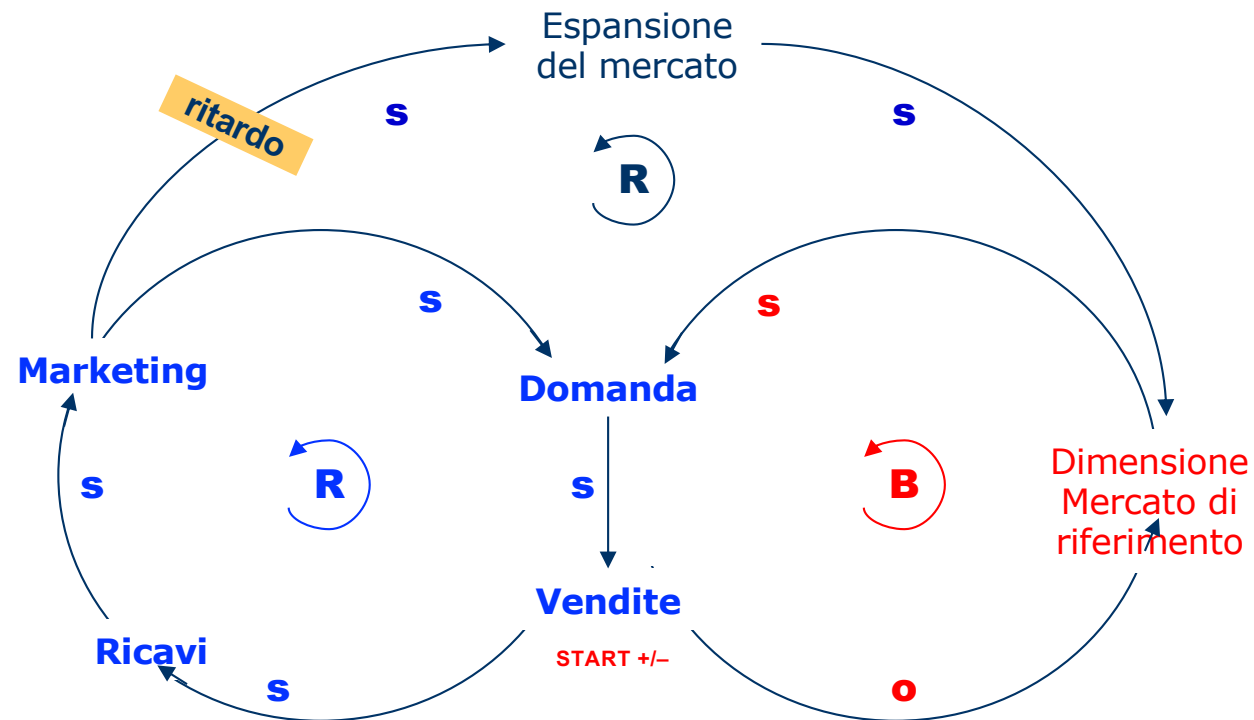
CLD con loop di senso diverso

Le 100 torri di Pavia nel medioevo



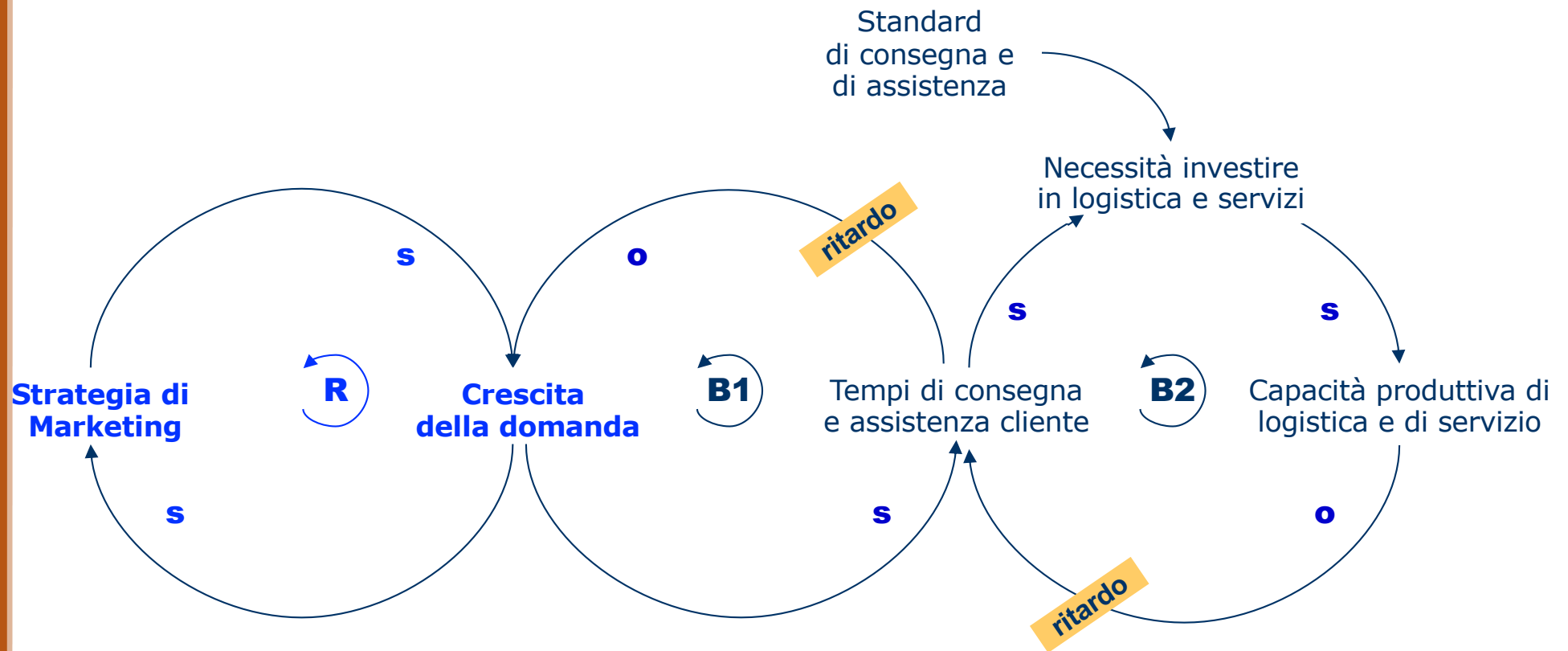
Limite alla crescita

Saturazione del mercato



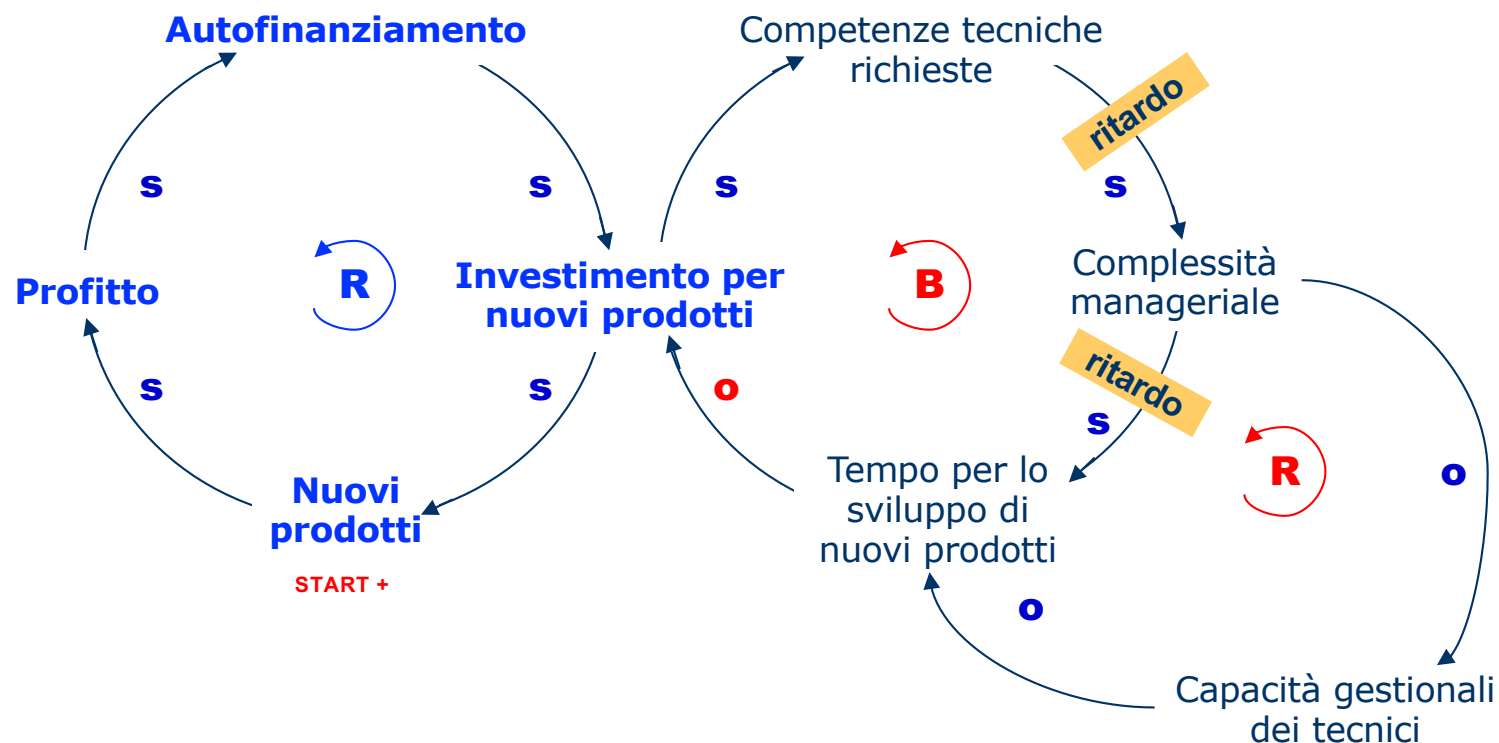
Limite alla crescita

Insufficienza di investimenti



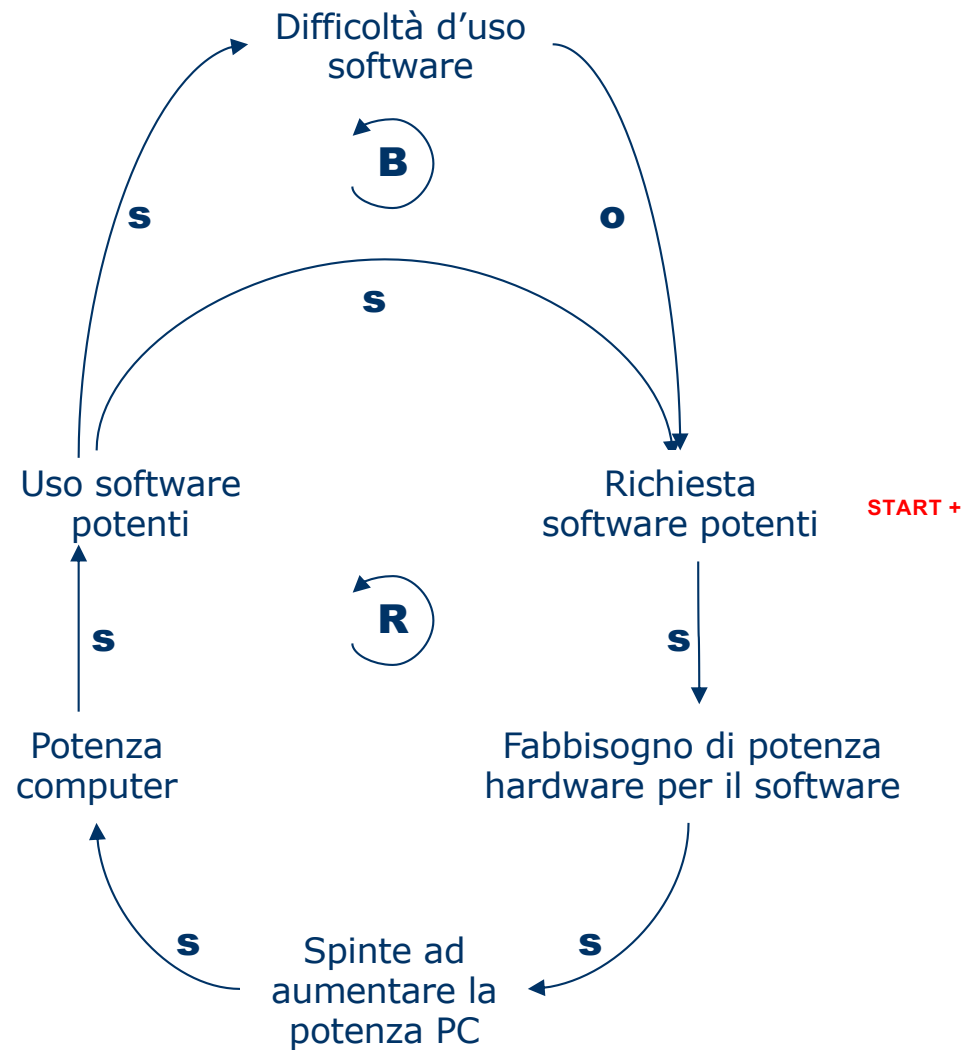
Limite alla crescita

Insufficienza di competenze



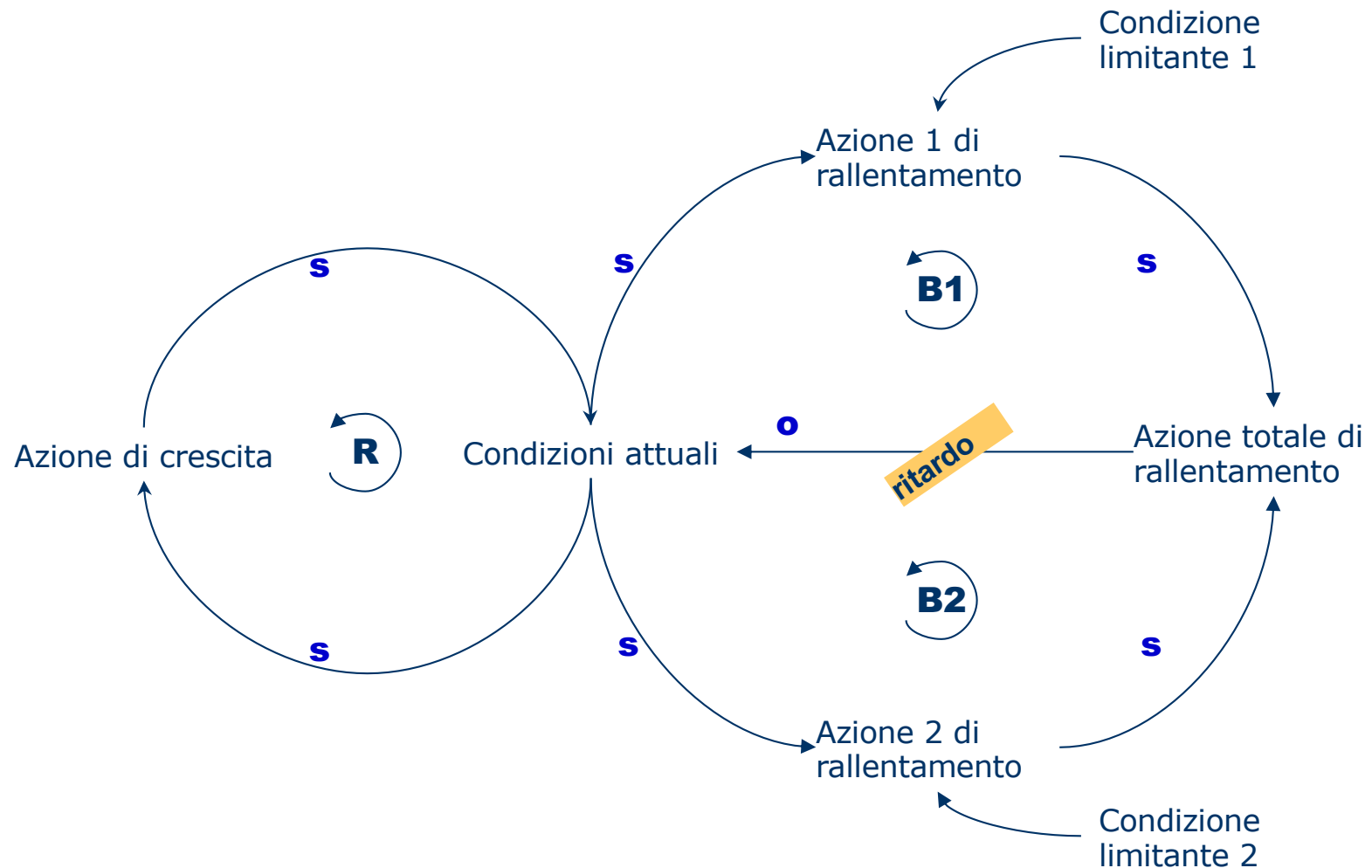
Limite alla crescita

Limiti di utilizzo



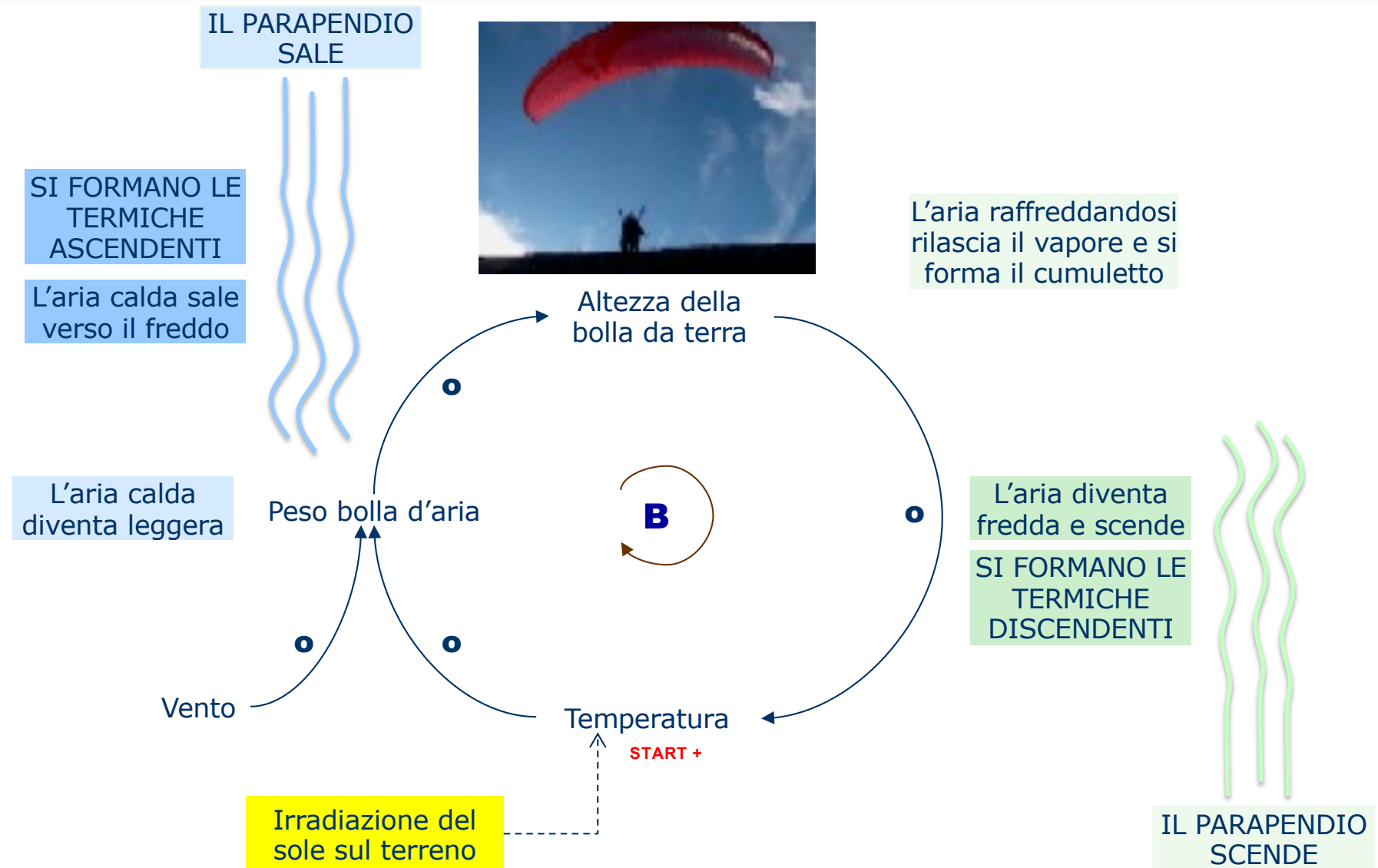
Limite alla crescita

Modello generale espandibile



Sistemi che non si vedono.

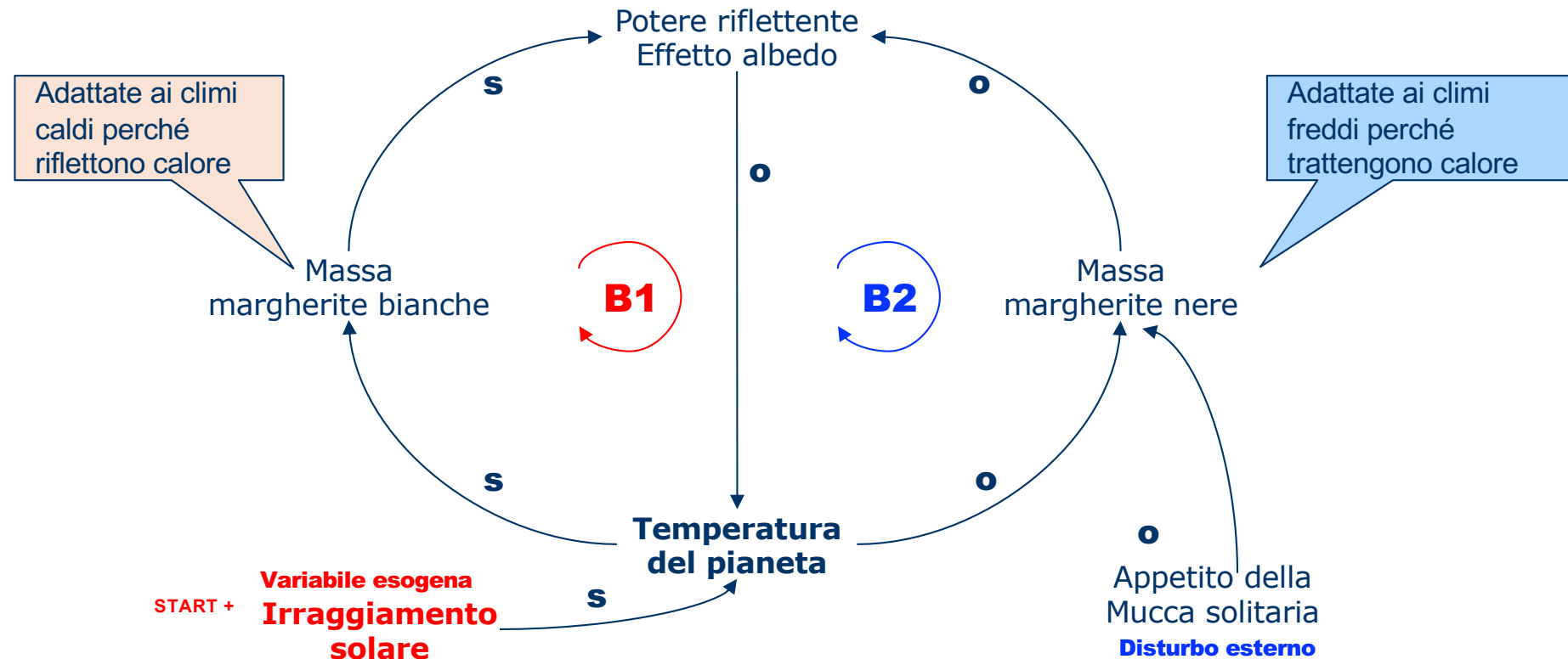
Le «termiche» e i «cumuletti del bel tempo»



Sistemi che non si vedono.

Daisylandia. Il mondo delle margherite, in GAIA di James Lovelock

James Ephraim Lovelock (1919-2022) è un biologo ambientalista britannico che ha inteso la Terra, con tutte le sue funzioni, come un unico superorganismo. Ha introdotto Daisylandia, un mondo-ecosistema con due sole popolazioni – **margherite bianche** e **margherite nere** – che, autoregolando la propria dimensione, regolano anche la temperatura del loro ambiente, resistendo indefinitamente a limitate **variazioni casuali** del calore emesso dalla stella (equivalente del sole).



Loop B1

- [1] **START + Irraggiamento solare** = + Temperatura pianeta → [s]
- [2] + Temperatura pianeta = + Massa margherite bianche → [s]
- [3] + Massa margherite bianche = + Effetto albedo → [s]
- [4] + Effetto albedo = – Temperatura pianeta → [o]

[Fine dei loop. Ripetere]

Loop B2

- [1] **START + Irraggiamento solare** = + Temperatura pianeta → [s]
- [2] + Temperatura pianeta = – Massa margherite nere → [o]
- [3] – Massa margherite nere = + Effetto albedo → [o]
- [4] + Effetto albedo = – Temperatura pianeta → [o]

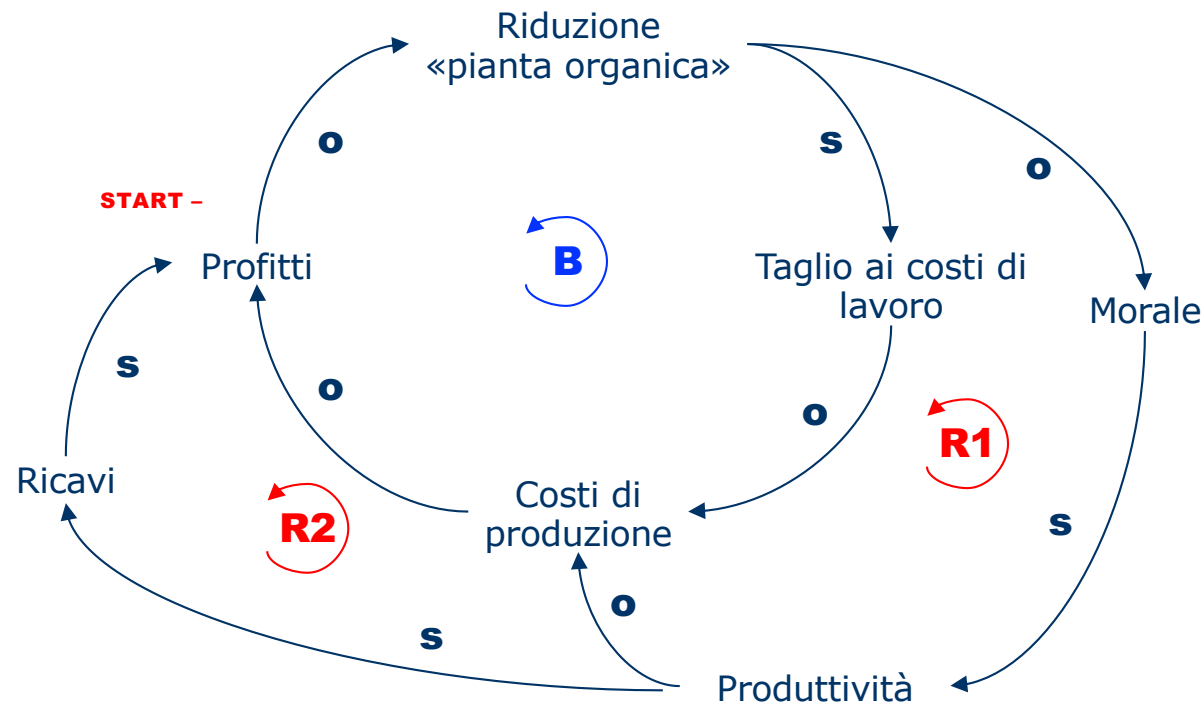
[Fine dei loop. Ripetere]



Capire i sistemi sempre più complessi

Il taglio dei posti di lavoro non sempre aumenta i profitti

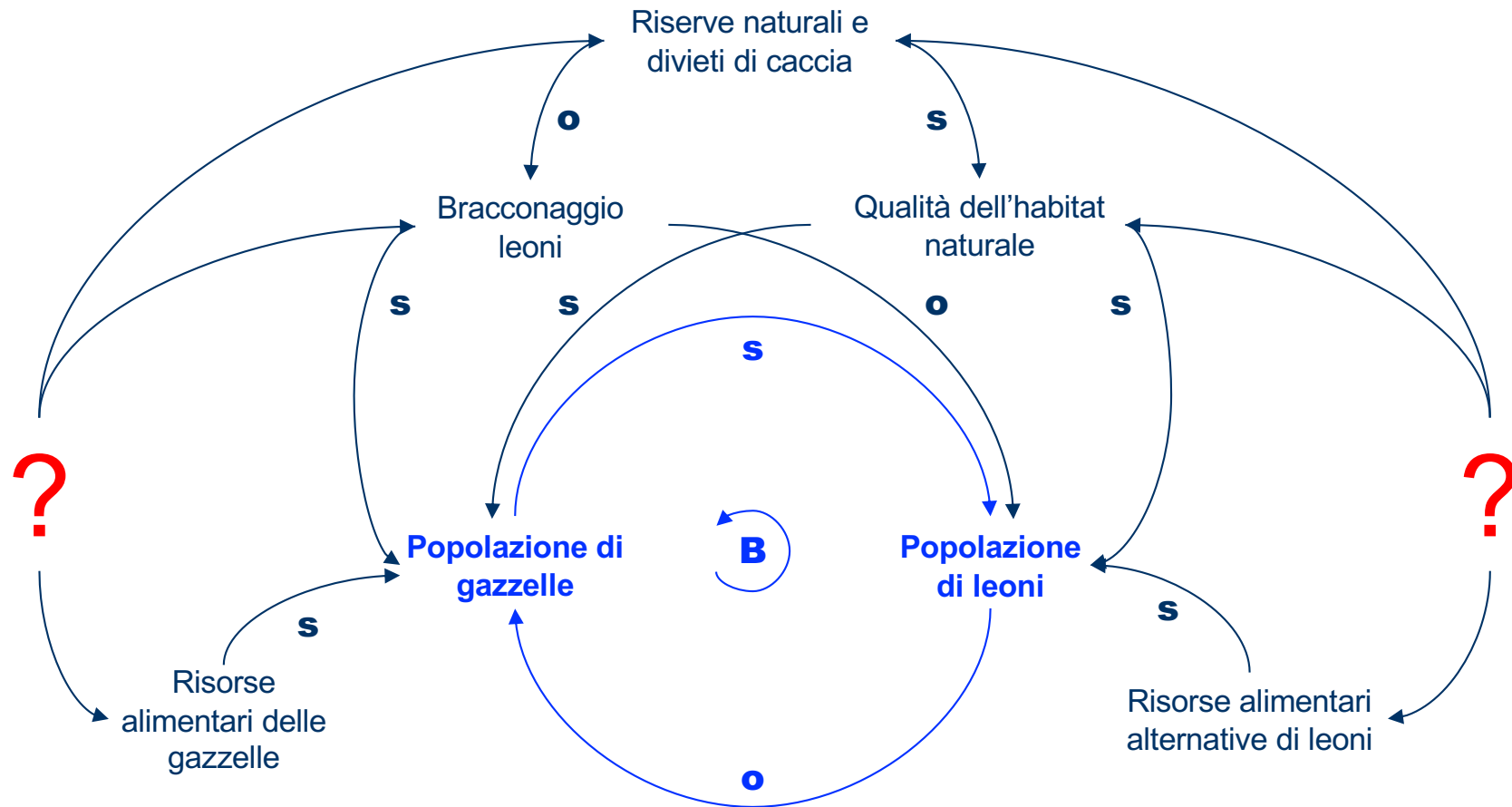
- Molto spesso, quando i **Profitti** diminuiscono (**Start -**), il primo provvedimento adottato dalle imprese è quello di **Riduzione della «pianta organica»**, contraendo l'occupazione, per ridurre i **Costi di produzione** e bilanciare la contrazione dei Profitti (**Loop. B**). Ciò, tuttavia, incide sul **Morale** degli altri lavoratori e la **Produttività** si può ridurre, con effetto negativo sui **Costi di produzione (Loop. R1)** e sui **Ricavi (Loop. R2)**, con ulteriore contrazione dei **Profitti**.



Capire i sistemi sempre più complessi

Convivenza tra Gazzelle e Leoni. Non solo prede/predatori

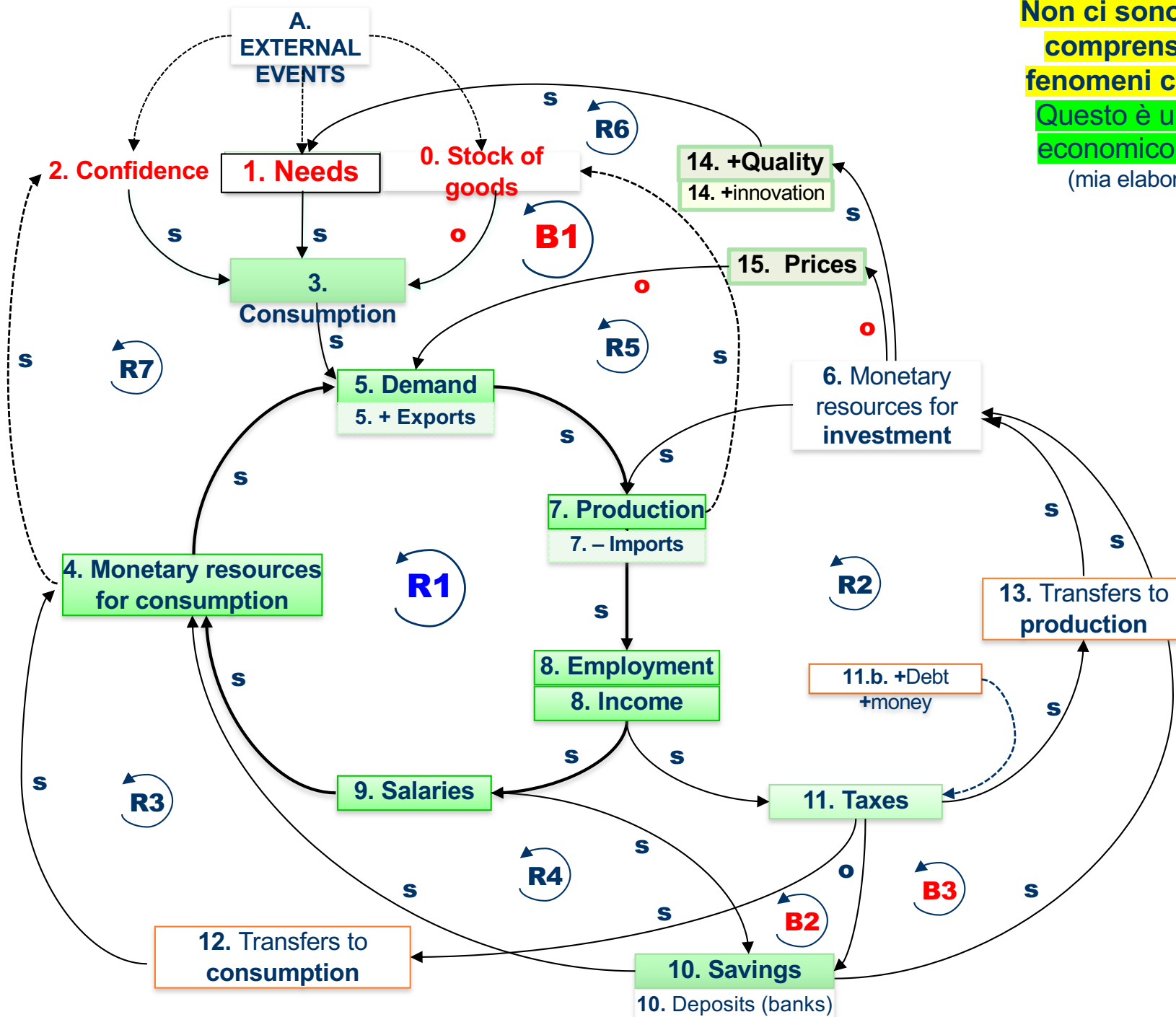
- Questa è una rappresentazione meno approssimativa di come si sviluppi la convivenza tra gazzelle e leoni, superando il semplice rapporto prede/predatori. Il modello considera, infatti, l'intervento dell'uomo e la presenza di risorse alimentari alternative. I punti interrogativi indicano la difficoltà di individuare le variabili causanti e il problema di individuare i confini del sistema.



Non ci sono limiti alla
comprensione dei
fenomeni complessi.

Questo è un sistema
economico moderno

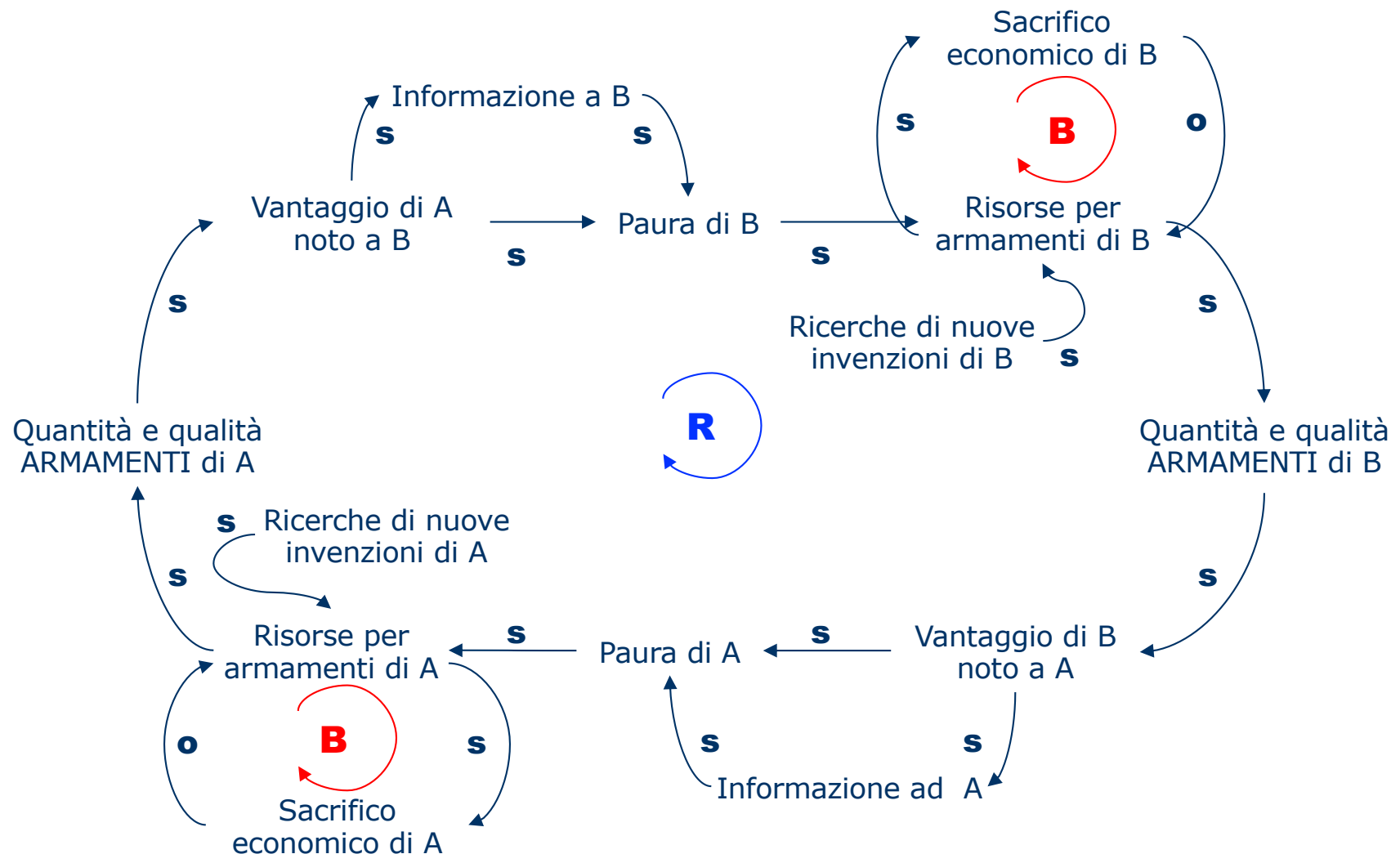
(mia elaborazione)



Zoomare per ampliare i CLD.

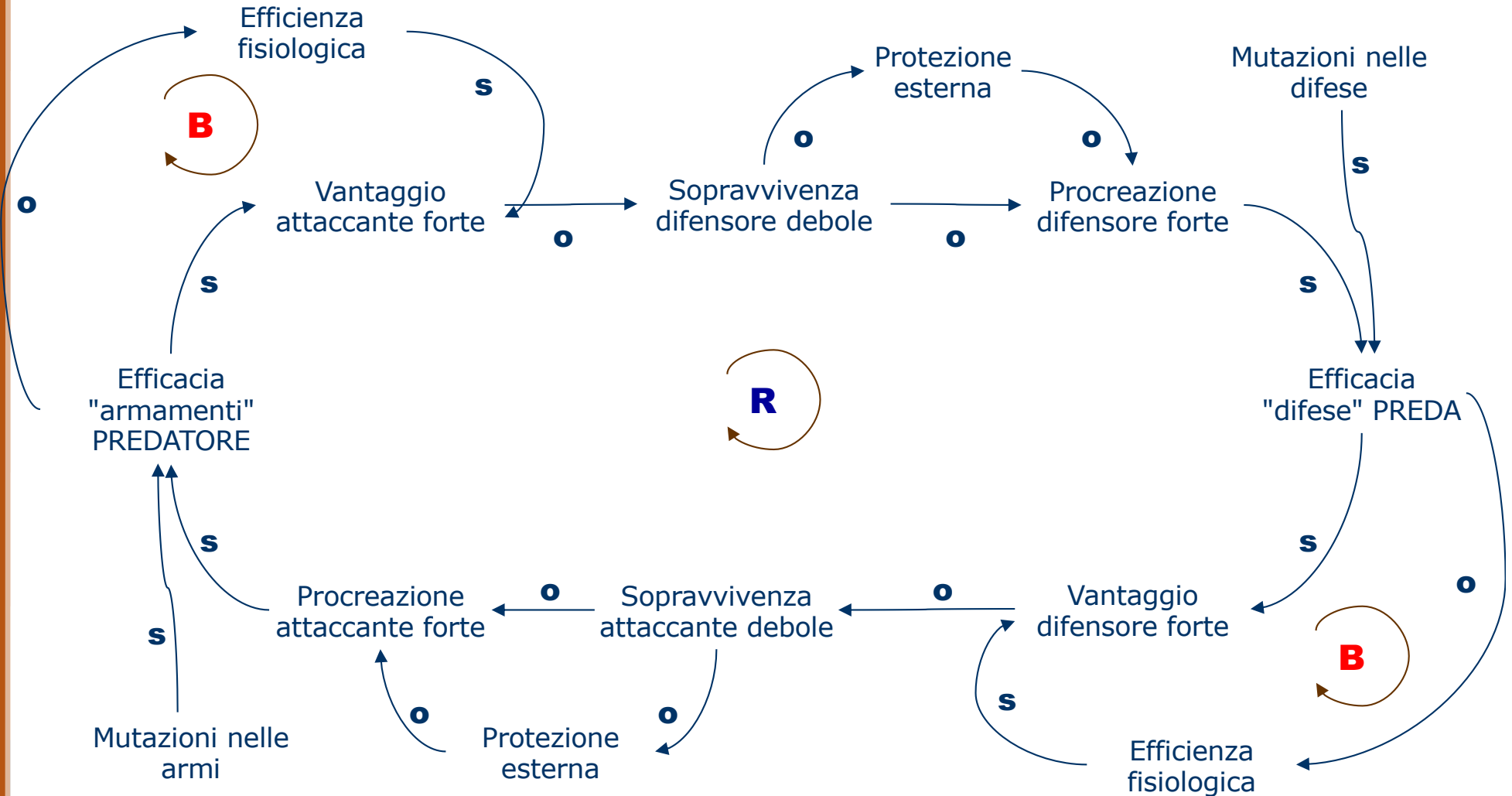
Corsa agli armamenti. Modello Richardson

Il loop semplice dell'**Escalation degli armamenti** diventa più comprensibile inserendo altre variabili, anche economiche.



Zoomare per ampliare i CLD. Evoluzione delle forme biologiche

Il loop precedente dell'Escalation degli armamenti si adatta anche per le forme biologiche che sono predatori e prede.



Come costruire i CLD?

- **Non ci sono regole standard ma solo suggerimenti.**
- **Si impara con l'esperienza!**
- **NOTA BENE!**
 - Per ogni situazione, sistema, problema, ecc., da descrivere e da interpretare, si possono costruire CLD diversi, a seconda dei punti di vista del *system thinker*, dei suoi obiettivi di indagine, della sua cultura, dell'ampiezza dei confini, ecc.
 - **Non c'è un modello «giusto» cui confrontare quello da noi costruito.**
 - L'unica condizione è la **coerenza** del modello con le **conoscenze possedute** e la sua **adeguatezza** a fornire una conoscenza significativa non desumibile dalla sola osservazione.
- Suggerisco tre tecniche:
 - **Progressiva espansione: zoom** (preferito): individuare una o poche variabili fondamentali – quelle, per. es. che evidenziano una situazione problematica – ed aggiungere progressivamente i collegamenti con altre variabili, espandendo gradualmente la mappa.
 - **Dall'organo al processo**: rappresentare la mappa della struttura fisica di un sistema organizzato e associare agli organi le variabili di input e di output relative ai processi svolti dagli organi stessi; collegare poi le variabili individuate e cercare i loop.
 - **Circolarizzazione delle relazioni lineari**: fare un elenco di fattori che influiscono su una variabile e associare ad essi un'autonoma variabile; trovare, poi, i collegamenti tra queste.
- **ATTENZIONE! Un CLD deve contenere solo variabili con un nome appropriato. Evitare i «falsi loop».**



Falso Loop 1

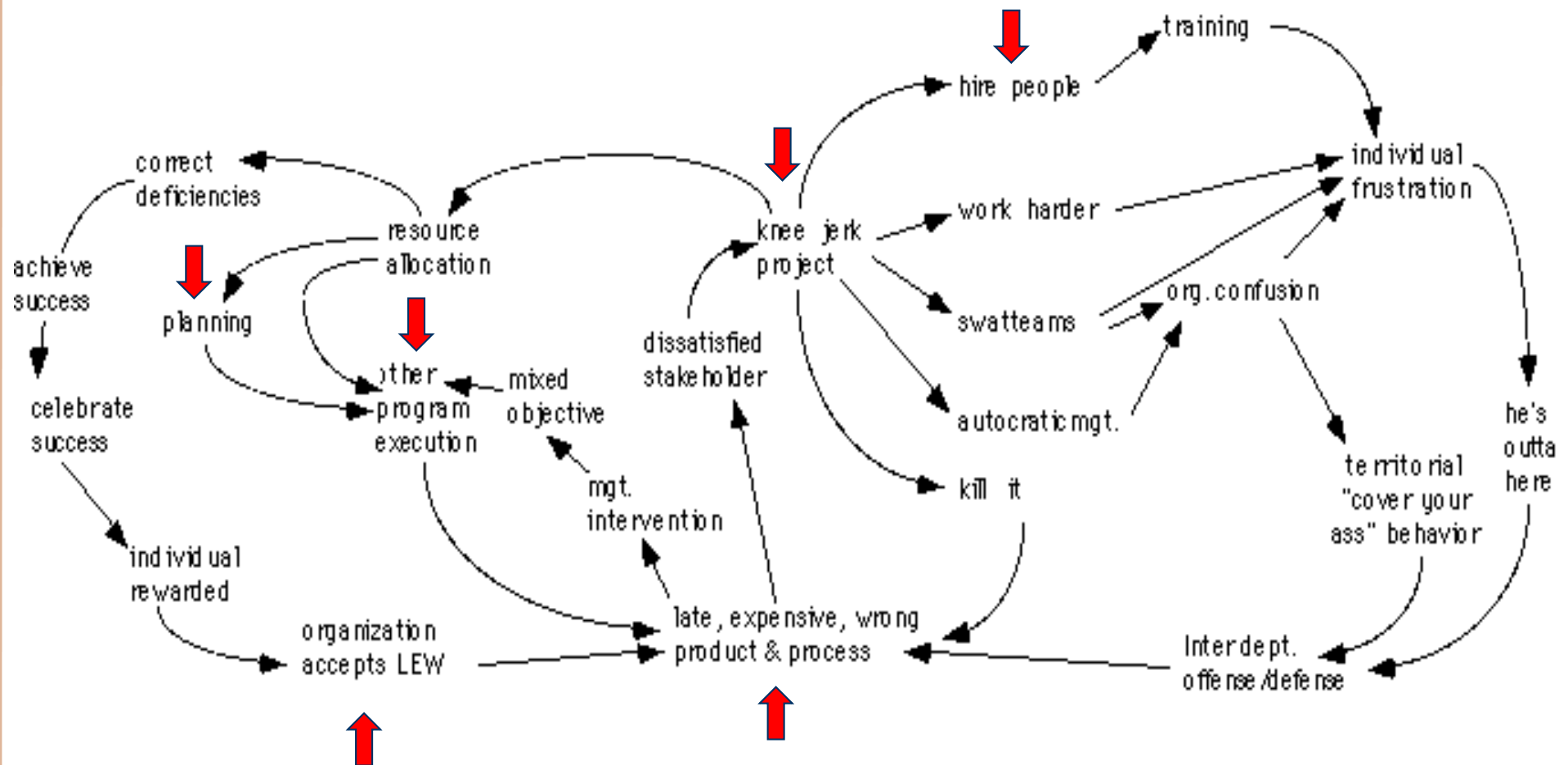
Manca la relazione circolare



Falso Loop 2

È un «mappa strutturale».

Non rappresenta solo variabili e non si individuano solo loop

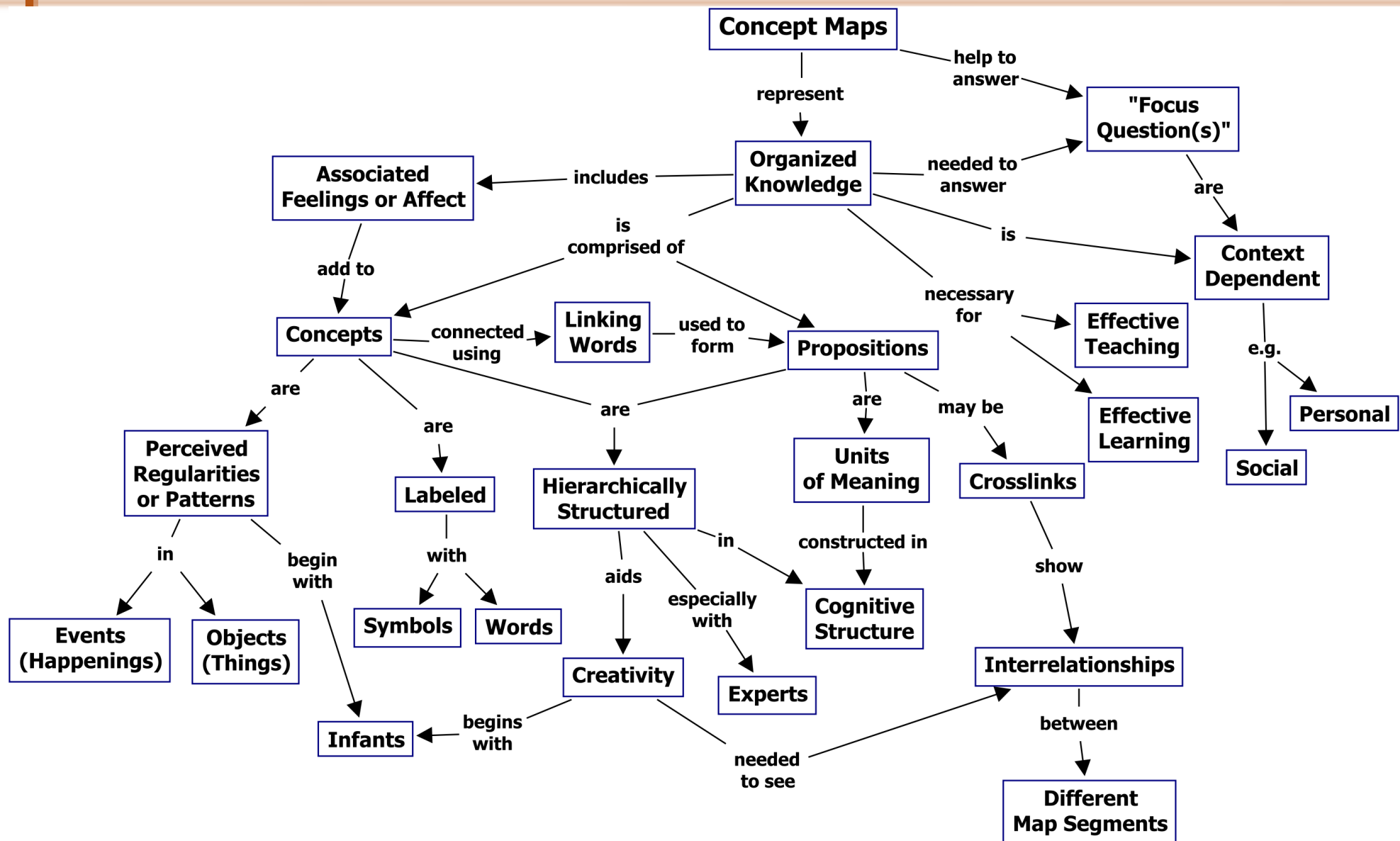


Le frecce rosse indicano voci che non sono "variabili"



Falso Loop 3

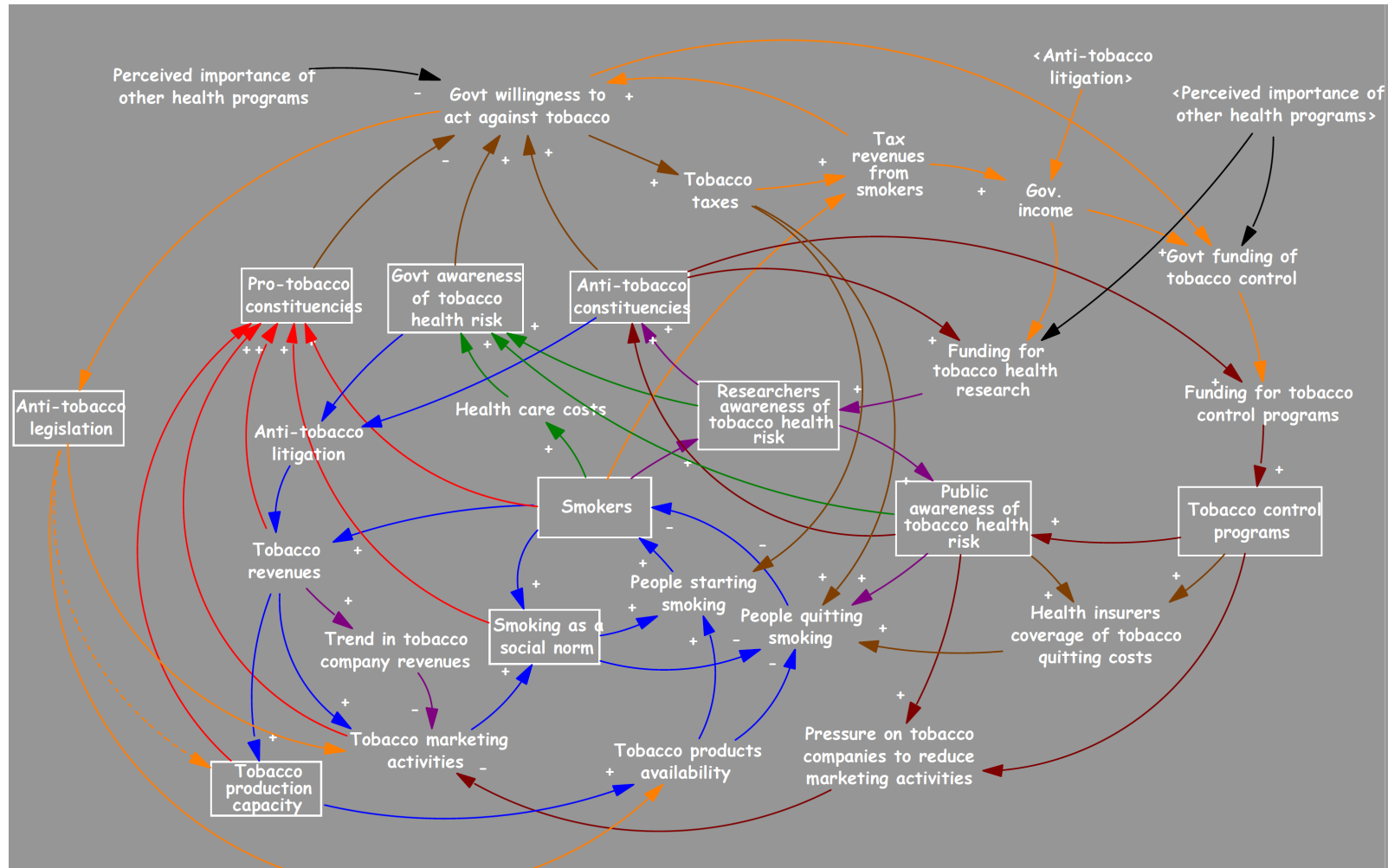
È un «mappa concettuale».
Non rappresenta nè variabili né loop



Loop da non imitare

FINE DELL'APPENDICE 1B

- Il CLD si propone di connettere le variabili che incidono sull'uso del **tabacco** (Richardson for Initiative on the Study and Implementation of Systems). Il modello appare difficilmente comprensibile in quanto, da un lato, mancano le **indicazione dei loop** tra le variabili e, dall'altro, si sono posti **confini troppo ampi**. L'elevato numero di variabili rende difficile percepire quelle veramente rilevanti.



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

Corso Breve di Teoria del Controllo

Lezione 2 Il sistema di controllo. Struttura, Prototipi e Tipologia minima

Piero Mella

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

Aula Foscolo, Palazzo Centrale
Università di Pavia - Italy

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

Vol. 13-4/2022 - DOI: 10.13132/2038-5498/13.4. 851-895

Cite as: Mella, P. (2022). Corso Breve di Teoria del Controllo. Lezione 2: Il sistema di controllo. Struttura, Prototipi e Tipologia minima. *Economia Aziendale Online*, 13(4), 851-895.

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



Lezione 2

Abstract e Keywords

Abstract

Nel precedente Modulo 1 ho ricordato le nozioni fondamentali del Systems Thinking per fornire un linguaggio semplice ed efficace per la descrizione dei sistemi di controllo.

In questo Modulo 2 costruirò, dapprima, il **Modello generale di Sistema di Controllo in forma logica (simbolica)**.

- ... a physical symbol system is any system in which suitably manipulable tokens can be assigned arbitrary meanings and, by means of careful programming, can be relied on to behave in ways consistent (to some specified degree) with this projected semantic content (Clark 1989, pp. 4-5).

Il modello generale viene riferito ai sistemi **mono leva e mono obiettivo**.

Per la costruzione del modello generale ritengo utile introdurre alcuni **semplici esempi** che metteranno in luce tutti gli aspetti essenziali dei sistemi di controllo.

Successivamente presenterò un **modello completo**, illustrandone le componenti.

In the previous Module 1 I recalled the fundamental notions of Systems Thinking to provide a simple and effective language for the description of control systems.

In this Module 2 I will first build the general Model of Control System in logical (symbolic) form.

- ... a physical symbol system is any system in which suitably manipulable tokens can be assigned arbitrary meanings and, by means of careful programming, can be relied on to behave in ways consistent (to some specified degree) with this projected semantic content (Clark 1989, pp. 4-5).

The general model refers to single lever and single objective systems.

For the construction of the general model, I think it is useful to introduce some simple examples that will highlight all the essential aspects of the control systems.

I will conclude by presenting a complete model, illustrating its components.

Keywords: Sistema di Controllo, forma canonica, modello generale completo, leva di controllo, variabile passiva, errore, catena di controllo, memorizzatore, rilevatore, effettore, regolatore, management, governance, progettista/costruttore, disturbi, ritardi, soft control



Dalla Lezione 1

Il problema del controllo

- **Controllare** una variabile Y_t [**output** o **effetto**] significa “fare in modo” che essa:
 - tramite una “**successione di aggiustamenti**” nel tempo,
 - arrivi ad assumere un valore Y^* , che rappresenta un **obiettivo** da **conseguire**, oppure un **vincolo** o un **limite** o uno **standard** da **mantenere**,
 - pur in presenza di **disturbi esterni** non controllabili: D_t .
- Ciò è perfettamente in linea con la nozione matematico-ingegneristica di **problema del controllo** così descritto da Michael Arbib:
 - In termini generali, perciò, il problema del controllo è di scegliere l’input $[X_t]$ di qualche sistema in modo tale da costringere il suo output $[Y_t]$ a comportarsi in qualche modo desiderato, sia per rimanere vicino a un insieme di valori di riferimento $[Y^*]$ (problema della regolazione o regulator problem), sia per seguire strettamente una traiettoria desiderata $[Y_t^*]$ (problema dell’inseguimento o tracking problem) (Arbib, 1987, online).
- Il controllo si attua tramite un **Sistema di Controllo** cioè:
 - un **sistema logico** (modello, calcoli, simulazioni) che descrive:
 - un **sistema fisico- tecnico** (complesso di apparati, progettazione e realizzazione),
 - tramite i quali cerchiamo di controllare la Y_t .

La costruzione del Modello Generale del sistema di controllo costituisce l’oggetto di questa Lezione 2.



Esempio 1 - Afferrare un oggetto fermo

- Cercate di afferrare con la mano destra un oggetto piccolo – matita, gomma, graffetta, statuina, vasetto, ecc. – posato su un mobile lontano da voi. Cercate di afferrarla.
- **Facile!** Dobbiamo camminare verso il mobile e allungare la mano fino a raggiungere l'oggetto.
- **Bene: avete attivato il più semplice sistema di controllo.**
- **Riflettiamo.** Avete afferrato l'oggetto perchè avete, "semplicemente", annullato la distanza tra la vostra mano e l'oggetto.
- Per essere più formali e precisi e ricorriamo a un minimo di **astrazione**.
 - L'**oggetto** che vogliamo afferrare può essere considerato **un punto nello spazio, che vogliamo raggiungere**; lo indichiamo con pO^* , cioè "punto Oggetto". L'asterisco, $*$, indica che pO^* è l'**obiettivo** da raggiungere muovendo corpo, braccio e mano.
 - La **mano** è, a sua volta, **un punto nello spazio che dobbiamo spostare** per raggiungere pO^* . Indichiamolo con pM_t . Ho indicato la variabile «t=tempo» scrivendo «t» al piede di M .
 - In partenza (all'istante "t=0"), tra pM e pO^* vi è una **distanza**; indichiamo con $\Delta_{t_0}(O^*) > 0$, distanza Δ tra l'obiettivo da raggiungere e la mano distante da esso.
 - $\Delta_{t_0}(O^*) > 0$ si può anche rappresentare con $E_{t_0}(O^*) > 0$, ove E è un termine tecnico che indica l'"errore" (il gap, la differenza, lo scostamento). Useremo questo simbolo, più avanti.
- **Quindi?** Afferrare l'oggetto significa sostanzialmente, imprimere a pM_t una **traiettoria** che gradualmente riduca $\Delta_t(O^*)$.

Il **controllo si conclude** (ha successo) quando (se e solo se) l'errore si annulla cioè quando $\Delta_{t^*}(O^*) = 0$. L'istante " t^* " è il tempo finale del controllo.



Continua - Afferrare un oggetto fermo

La Velocità d'azione = "g" (o «Tasso d'azione»)

- Il **sistema logico di controllo** che realizza l'afferrare un oggetto lontano deve fissare la velocità di spostamento di pM_t . La indichiamo con "g" («tasso di azione»), o con g_t se variabile nel tempo.
- Il sistema di controllo può essere descritto con un semplice programma (traducibile in qualunque linguaggio di programmazione):
 - > Inizio
 - > Individua pO^* e decidi la velocità "g"
 - > Avvicina pM_t a pO^* di "g" metri in un secondo (o altra misura di tempo)
 - > Rileva (determina) la distanza dall'obiettivo $\Delta_t(O^*)$
 - > Se $\Delta_t(O^*) = 0$, «Fine» e puoi rilevare t^* = durata del processo di controllo
 - > Altrimenti: Torna a Inizio
- Il programma, anche se elementare, descrive i passi per simulare numericamente il **sistema logico di controllo** con Excel. Presento tre simulazioni con diversi "g"; nella terza, g_t varia nel tempo.

Simulazione 1 del controllo per afferrare un oggetto fisso, lontano

Dati: distanza di pO* = 12 metri				
g = velocità per secondo = 2 metri/secondo				
"t"(secondi)	"g" m/sec	pMt	pO*	$\Delta_t(O^*)=$ $=pO^*-pM$
0	0	0	12	12
1	2	2	12	10
2	2	4	12	8
3	2	6	12	6
4	2	8	12	4
5	2	10	12	2
6	2	12	12	0
CONTROLLO RAGGIUNTO				
...	0	12	12	0

Simulazione 2 del controllo per afferrare un oggetto fisso, lontano

Dati: distanza di pO* = 12 metri				
g = velocità per secondo = 2.5 metri/secondo				
"t"(secondi)	"g" m/sec	pMt	pO*	$\Delta_t(O^*)=$ $=pO^*-pM$
0	0	0	12	12
1	2.5	2.5	12	9.5
2	2.5	5	12	7
3	2.5	7.5	12	4.5
4	2.5	10	12	2
4.8	2.5	12	12	0
CONTROLLO RAGGIUNTO				
> 4.8	0	12	12	0
...	0	12	12	0

Simulazione 3 del controllo per afferrare un oggetto fisso, lontano

Dati: distanza di $pO^* = 12$ metri					
g = velocità metri per sec. = 0.5 m/s fino a t=4					
g = 1 m/s fino a t=8 - 2 m/s in seguito					
"t"(secondi)	"g" m/sec	pMt	pO*	$\Delta_t(O^*) = pO^* - pM$	
0	0.5	0	12	12	
1	0.5	0.5	12	11.5	
2	0.5	1	12	11	
3	0.5	1.5	12	10.5	
4	0.5	2	12	10	
5	1	3	12	9	
6	1	4	12	8	
7	1	5	12	7	
8	1	6	12	6	
9	2	8	12	4	
10	2	10	12	2	
11	2	12	12	0	
CONTROLLO RAGGIUNTO					



Continua - Afferrare un oggetto fermo

Gli apparati necessari

- Avevamo concluso che afferrare con una mano un oggetto immobile pO^* significa semplicemente, imprimere a pM_t una **traiettoria** che gradualmente riduca $\Delta_t(O^*)$.
- **Domanda**: quali apparati (organi, machine, sistemi, strutture, ecc.) consentono di produrre la dinamica della mano verso l'obiettivo?
- **Quattro** sono gli **apparati necessari** per il funzionamento di tutti i concreti sistemi di controllo:
 - 1 – Memorizzatore** dell'**obiettivo**; dobbiamo individuare e memorizzare la **posizione** dell'obiettivo; possiamo farlo semplicemente guardandola, oppure seguendo una guida esperta, oppure cercarla usando una mappa, o fissandola sul display di un navigatore.
 - 2 – Rilevatore** dell'**errore**; è l'apparato che, con una cadenza stabilita, o anche nel continuo, (a) rileva la posizione di pM_t (b) la confronta con l'obiettivo pO^* o (c) determina lo scostamento, il gap, l'errore tra le due posizioni, $\Delta_{t0}(O^*)$. È quindi, fondamentale per attuare il controllo. Nei casi semplici, il rilevatore è l'apparato visivo (un radar, un sonar, un laser), oppure un apparato olfattivo o gustativo (in casi particolari), un percettore di vibrazioni, ecc.
 - 3 – Effettore** (o **motore** o traslatore); è l'apparato (meccanico, biologico, economico, sociale, ecc.) che produce il graduale spostamento del pM_t ; nell'esempio dell'afferrare un oggetto, l'effettore è il complesso osseo-muscolare del busto, della spalla e del braccio; per uno squalo, è la bocca con i numerosi denti; per un uccello è il becco e/o gli artigli; per i crostacei, le chele; ecc.
 - 4 – Regolatore** (o **decisore**); è l'apparato che (a) valuta l'entità dell'errore **Effettore** (b) decide in quale misura deve intervenire l'effettore (imprimendo la dinamica di pM_t). Negli animali, in generale, corrisponde al cervello e alle strutture neurali.



Il controllo secondo Norber Wiener.

La «distanza» come variabile fondamentale

- Ecco come Wiener (Lezione 1, p. 568) descrive il controllo ed evidenzia la funzione fondamentale della “**distanza**” cioè dello **scostamento**, o **errore**:
 - Supponiamo che io debba prendere una matita. Per fare questo devo muovere certi muscoli. Nessuno di noi, eccetto qualche esperto anatomista, sa tuttavia quali siano questi muscoli [...]
Ciò che noi vogliamo consapevolmente fare è solo prendere la matita. Una volta presa questa decisione, il movimento procede in modo tale che – per così dire – “**quanto manca alla presa della matita**” decresca progressivamente. Questa parte dell’azione non si svolge a livello di piena consapevolezza [...]. Vediamo dunque che per un’azione efficace sul mondo esterno, non solo è essenziale possedere buoni **organi motori**, ma occorre che l’attività di tali organi sia adeguatamente **segnalata** a scopo di controllo al sistema nervoso centrale, e che i rilevamenti degli organi di controllo si combinino appropriatamente con le altre informazioni in arrivo dagli **organi sensoriali** per determinare un’uscita motoria regolata (Wiener, 1968, p. 30).

Il controllo che, tramite l’**Effettore** “corregge” la **pM_t** modificandone gradualmente i valori proporzionandoli alla distanza, $\Delta_t(O^*)$ oppure **E_t(O*)** si definisce
controllo a feedback o per retroazione.

I Sistemi di Controllo che lo realizzano sono sistemi a **feedback**, o **a catena chiusa**, o **closed loop control systems.**



Definizione di sistema di controllo

Generalizzazione: la Catena di controllo

- Gli apparati, o “**macchine**”, o sistemi reali, che, con i loro processi, producono il controllo – **effettore**, **rilevatore** e **regolatore** (e **memorizzatore**) – qualunque sia la loro natura (fisica o biologica o sociale), formano, nelle loro interconnessioni, la **struttura tecnica** (o **sistema reale**), dalla quale si realizza la **struttura logica** (o **sistema formale**) del Sistema di Controllo (se il comportamento degli “apparati” (processi) non è osservabile, le “macchine” vengono, allora, considerate quali **black box** e non rappresentate nei loop).
- Per costruire un modello della struttura tecnica di un sistema di controllo reale, è utile semplificare e generalizzare la simbologia, indicando con:
 - Y_t la variabile la cui dinamica deve raggiungere l’obiettivo anche in presenza di disturbi (equivale a pM_t dell’esempio dell’afferrare un oggetto);
 - Y^* l’obiettivo da raggiungere (equivale a pO^*);
 - D_t i disturbi esterni che modificano Y_t (non indicati nell’esempio);
 - X_t la variabile che regola l’attività dell’effettore, i cui valori sono decisi dall’apparato regolatore; è definita «**leva di controllo**» (non indicata nell’esempio).

Definizione generale

Un **sistema di controllo** è un **sistema reale** (una catena di controllo) che realizza un **sistema logico** (loop **[s-o-s]**) per **forzare** Y_t a raggiungere Y^* malgrado possibili disturbi esterni, D_t , utilizzando una **leva di controllo**, X_t .



Esempio 2 – Controllo con obiettivo dinamico

- Nella precedente definizione, l'obiettivo è stato indicato con Y^* in quanto si faceva riferimento a un obiettivo fisso da raggiungere.
- Supponiamo ora che, anziché volere afferrare un oggetto, si voglia afferrare un vivace cagnolino che corre incessantemente per tutta la casa.
- Il cagnolino è un punto che si sposta nel tempo; ora è vicino, poi corre lontano; se ci avviciniamo corre da sinistra a destra, poi al contrario. Non si può semplicemente afferrarlo; occorre «inseguirlo».
- Per questo, quando l'obiettivo non è un punto fisso, con una posizione, ma un punto con una sua **dinamica temporale** (oltre che spaziale), occorre indicare l'obiettivo con Y_t^* per evidenziare che esso si presenta, di fatto, come una variabile temporale.
- La colonna ΔY_t^* indica le variazioni dello obiettivo che si leggono nella colonna Y_t^* .

Simulazione 4 del controllo per afferrare un oggetto dinamico					
Dati: distanza di Y_t^* = variabile, non prevedibile					
g = velocità metri per sec. = 1 m/s fino a $t=4$					
$g > 1$ m/s, variabile, fino a quando necessario					
"t"(secondi)	"g" m/sec	Y_t	Y_t^*	ΔY_t^*	$\Delta_t(Y^*) = Y^* - Y_t$
0	1	0	12		12
1	1	1	12		11
2	1	2	12		10
3	1	3	14	2	11
4	1	4	17	3	13
5	1	5	21	4	16
6	2	7	21		14
7	2	9	21		12
8	2	11	15	-6	4
9	2	13	15		2
10	2	15	39	24	24
11	3	18	39		21
12	3	21	39		18
13	3	24	39		15
14	3	27	39		12
15	3	30	39		9
16	3	33	39		6
17	3	36	39		3
18	3	39	39		0
CONTROLLO RAGGIUNTO					
...	0	0	0		0

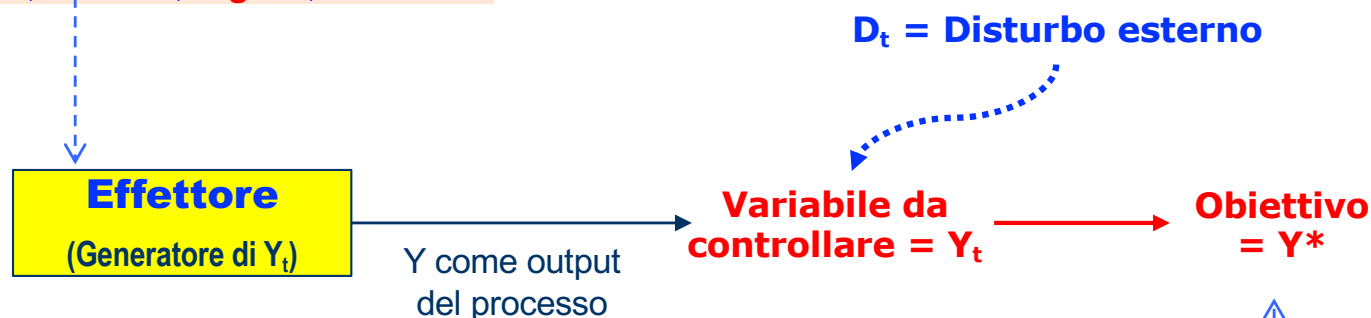


Sistema di controllo - Costruiamo il modello

L'effettore

- Per costruire gradualmente il modello di sistema di controllo, iniziamo con il collegare i seguenti elementi:
 - Y_t = variabile da controllare (passiva)
 - Y^* = Obiettivo fisso, cui Y_t deve tendere
 - D_t = Disturbi esterni non controllabili
 - **Effettore** = Apparato generatore della dinamica di Y_t
- Si forma questo primo sistema parziale.

Ho scritto **Effettore** ma avrei potuto scrivere **Macchina, Sistema, Organo**, ecc.



Ho scritto **Obiettivo** ma avrei potuto scrivere **Limite** o **Vincolo**, o **Standard**, o **Norma**, ecc.

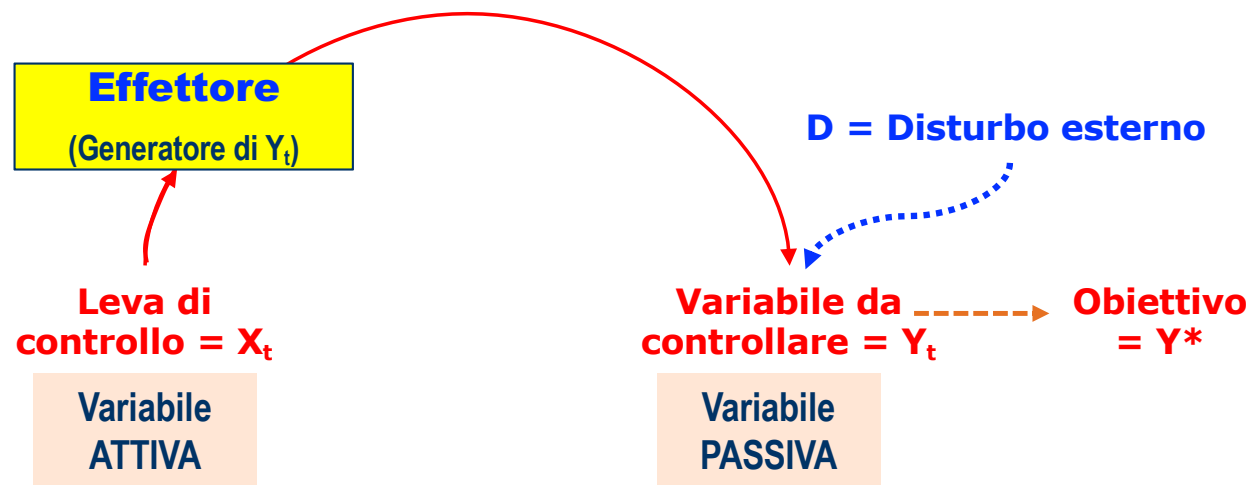
La distinzione tra **obiettivi**, **vincoli** e **limiti** e non sempre è netta; per questo, salvo che non sia specificato chiaramente, il segno "*", apposto a una variabile Y_t , assumerà, d'ora in avanti, il significato di **obiettivo del controllo di quella variabile, goal o traiettoria**.



Costruiamo il Modello

Seconda variabile: X = “leva” di controllo

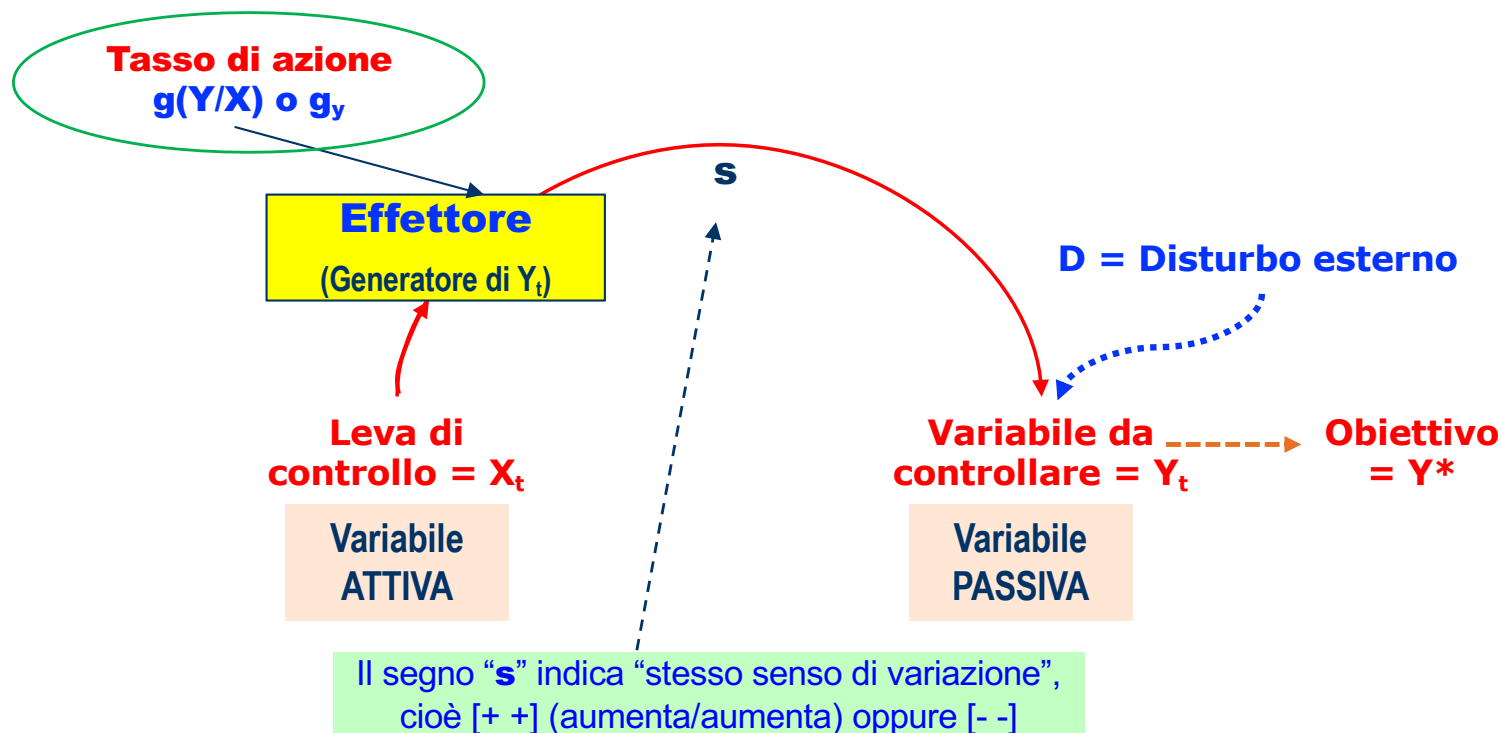
- Sappiamo, dalla Lezione 1, che, in un sistema dinamico, la dinamica di una variabile Y è sempre effetto di qualche variabile X che la causa.
- Pertanto, per “**forzare**” i valori della Y_t , verso l’obiettivo Y^* , occorre agire sull’**effettore** – che genera la dinamica della Y_t – tramite un’altra variabile, X_t , che denominiamo **variabile d’azione** o **attiva** [input o causa], o, in generale, **leva di controllo**.
- Il modello può essere ampliato e disegnato in forma arcuata.



Costruiamo il Modello

Il «tasso d'azione» "g"

- Pertanto, per “**forzare**” i valori della Y_t , verso l’obiettivo Y^* , occorre agire sull’**effettore** – che genera la dinamica della Y_t – tramite la **leva di controllo** X_t .
- Quali valori attribuire a X_t ? Per calcolarli è necessario conoscere un **tasso di azione** g_y o anche $g(Y/X)$ che indica di quanto varia Y_t per ogni unità di variazione di X_t .
- Il modello può essere ancora ampliato.



Costruiamo il Modello

E = distanza, gap o Errore. Il «tasso di reazione» "h"

- Come sappiamo dagli esempi presentati, il controllo richiede il calcolo di una **terza variabile**: è l'**errore** da eliminare.
 - L'**errore** misura la **distanza dall'obiettivo** (scarto, gap, differenza, scostamento, deviazione, delta, ecc.), cioè:
$$E_t(Y) = \Delta_t(Y) = Y^* - Y_t \quad [\text{oppure: } E_t(Y^*) = Y_t - Y^*].$$
- $E_t(Y)$ calcola la **distanza** come differenza tra l'obiettivo (base) e la variabile che deve raggiungerlo. $E_t(Y^*)$, pertanto, calcola la distanza tra la variabile e l'obiettivo. Le due formulazioni possono essere considerate equivalenti; tuttavia, la prima risponde alla domanda: «quanto ancora è lontano il punto che deve raggiungermi?». La seconda, «quanto ancora è lontano l'obiettivo che devo raggiungere?».
- La logica del controllo è semplice: attribuire a X_t un valore, o una successione di valori, che portino Y_t ad annullare l'Errore, Quali valori? Per calcolarli facilmente è utile conoscere un **tasso di reazione** h_x o anche **$h(X/Y)$** .
 - Esso che indica la **misura** secondo la quale la dimensione di $E_t(Y)$ agisce sulla leva X_t , per ottenere il nuovo valore X_{t+1} , tale che:
$$X_{t+1} = X_t + [(Y^* - Y_t) \times h_x]$$

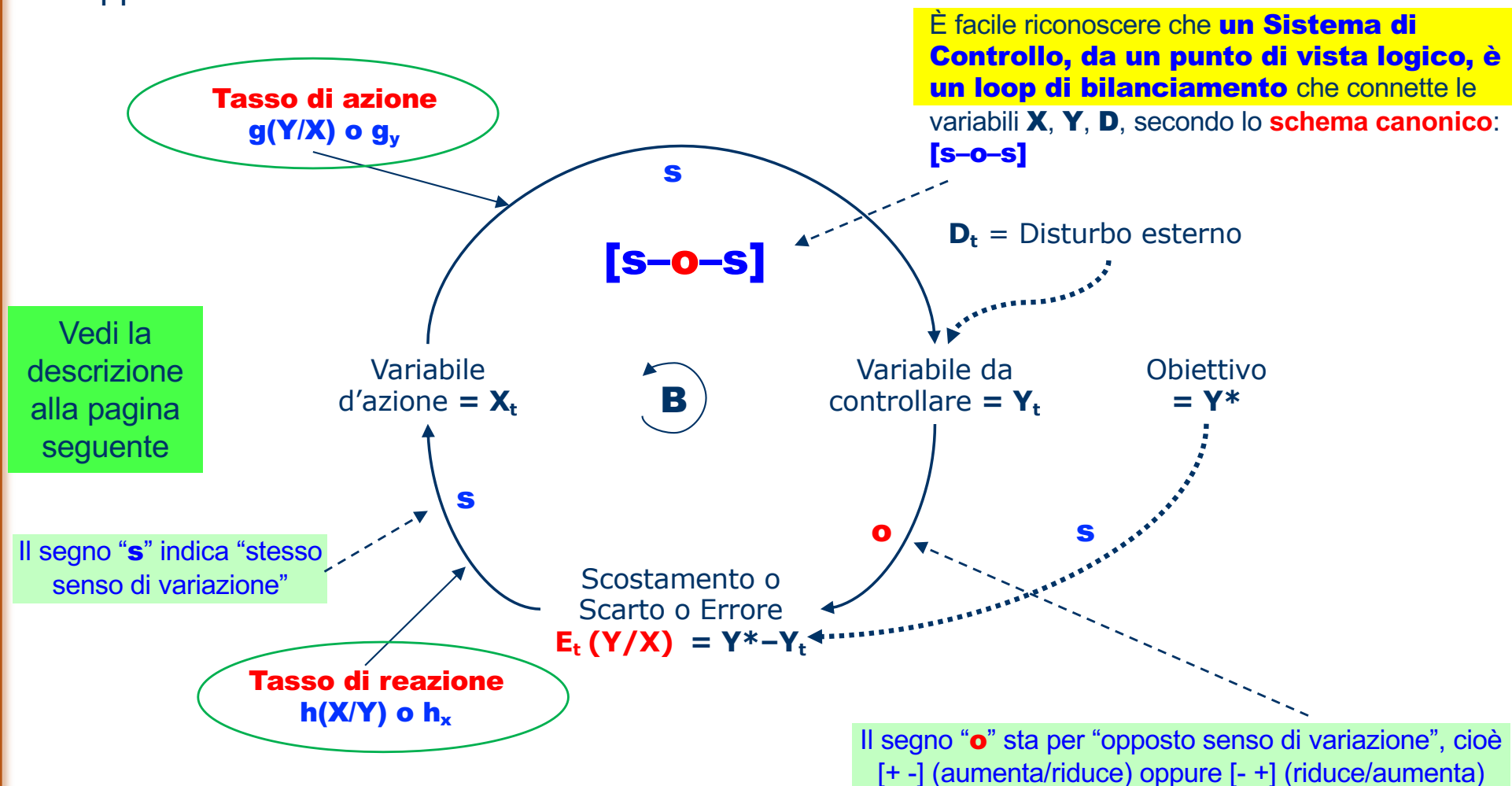
o, anche, in forma differenziale:
$$X_{t+1} - X_t = [E_t(Y) \times h_x]$$
- Per un **controllo simmetrico**, si pone: **$h_x = 1 / g_x$** .



Modello canonico semplificato

di Sistema di Controllo a una leva senza gli «apparati»

- Possiamo ora collegare tutti gli elementi che abbiamo fin qui esaminato. Si forma il **modello canonico semplificato** di sistema di controllo a una leva, nel quale i 4 apparati fondamentali non sono evidenziati.



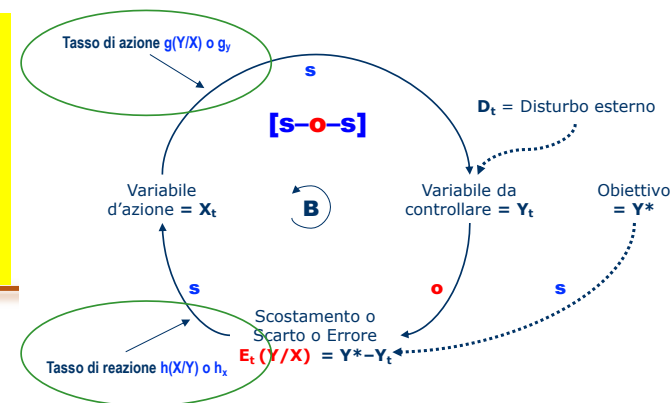
Interpretazione del modello

- Le tre variabili fondamentali, $\mathbf{X}_t$, $\mathbf{Y}_t$, $\mathbf{E}_t$, sono interconnesse e formano un loop di bilanciamento in quanto:
 - Tra $\mathbf{X}_t$ e $\mathbf{Y}_t$, vi è una relazione causale di senso "**s**"; più aumentiamo i valori assegnati alla leva di controllo $\mathbf{X}_t$ più incrementiamo il valore della variabile $\mathbf{Y}_t$.
 - Tenendo conto dell'obiettivo $\mathbf{Y}^*$, è possibile calcolare l'errore $\mathbf{E}_t = \mathbf{Y}^* - \mathbf{Y}_t$ e possiamo osservare immediatamente che $\mathbf{E}_t$ aumenta se innalziamo $\mathbf{Y}^*$, e si riduce se aumentiamo $\mathbf{Y}_t$. Pertanto $\mathbf{Y}_t$ ed $\mathbf{E}_t$ sono uniti da una relazione causale di senso "**o**".
 - La riduzione/aumento di $\mathbf{E}_t$ implica una riduzione/aumento di $\mathbf{X}_t$; tra le due variabili vi è, pertanto, una relazione di senso "**s**".
- Tenendo conto delle precedenti relazioni, oltre che dell'obiettivo, $\mathbf{Y}^*$, le tre variabili fondamentali, $\mathbf{X}_t$, $\mathbf{Y}_t$, $\mathbf{E}_t$, risultano, pertanto, interconnesse e formano un **loop di bilanciamento** che rappresenta il **sistema di controllo in forma logica**, avente struttura [**s-o-s**] (seguire il loop partendo dalla relazione in alto) che definiamo **struttura canonica** per distinguerla da altre strutture meno generali (vedi *postea*).

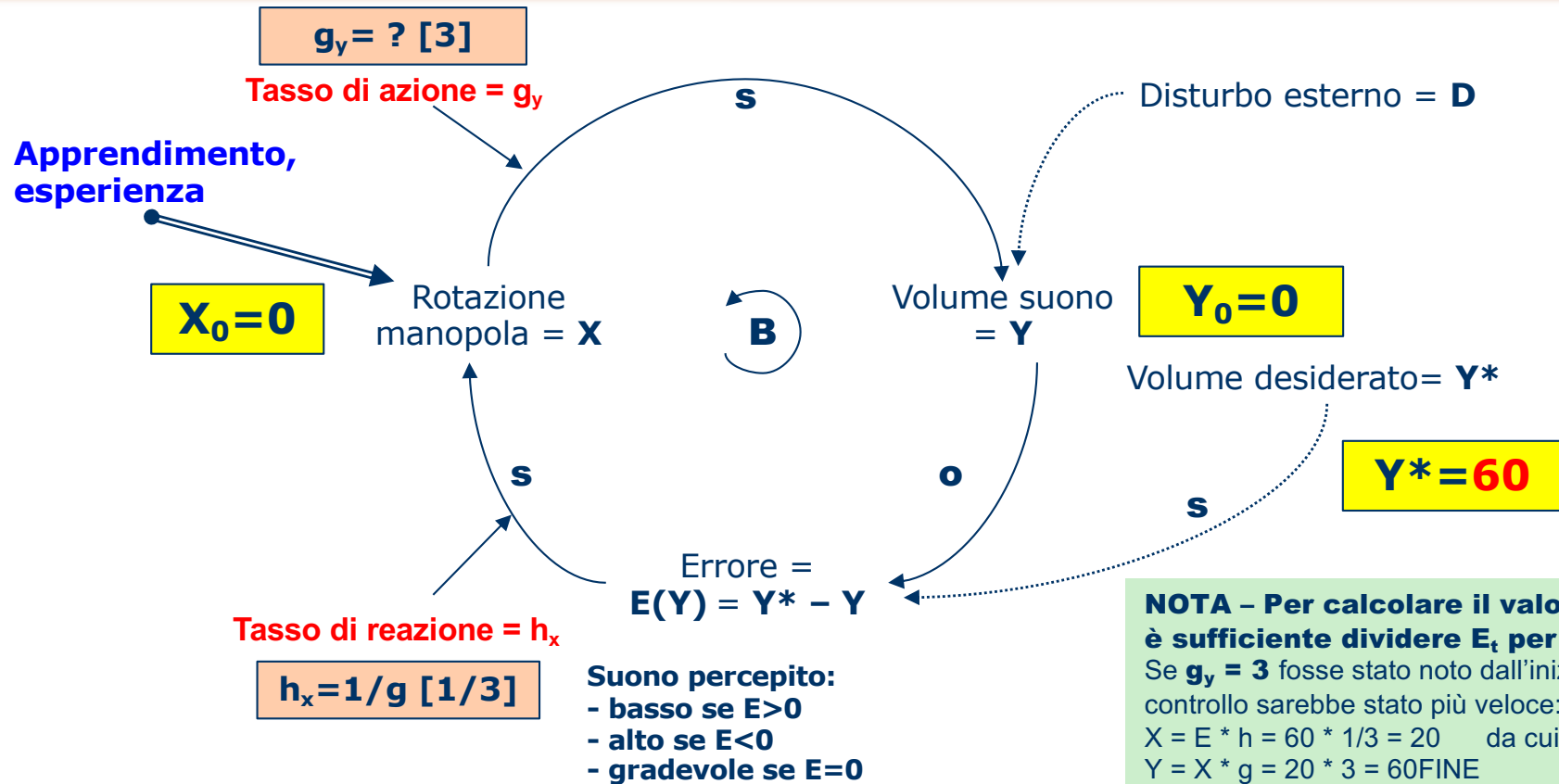
La logica di funzionamento del modello proposto sarà chiarita con due semplici esempi, procedendo per tentativi, nell'ipotesi di " q_v " incognito.

Esempio 3 – Il sistema di controllo regola $\mathbf{X}_t = \text{audio}$ dello stereo tramite la leva $\mathbf{X}_t = \text{manopola di regolazione del volume}$.

Esempio 4 – Il sistema di controllo regola $\mathbf{X}_t$ = temperatura della doccia tramite la leva di controllo $\mathbf{X}_*$ = miscelatore dell'acqua calda e fredda.



Esempio 3 - Sistema ad una leva senza ritardo

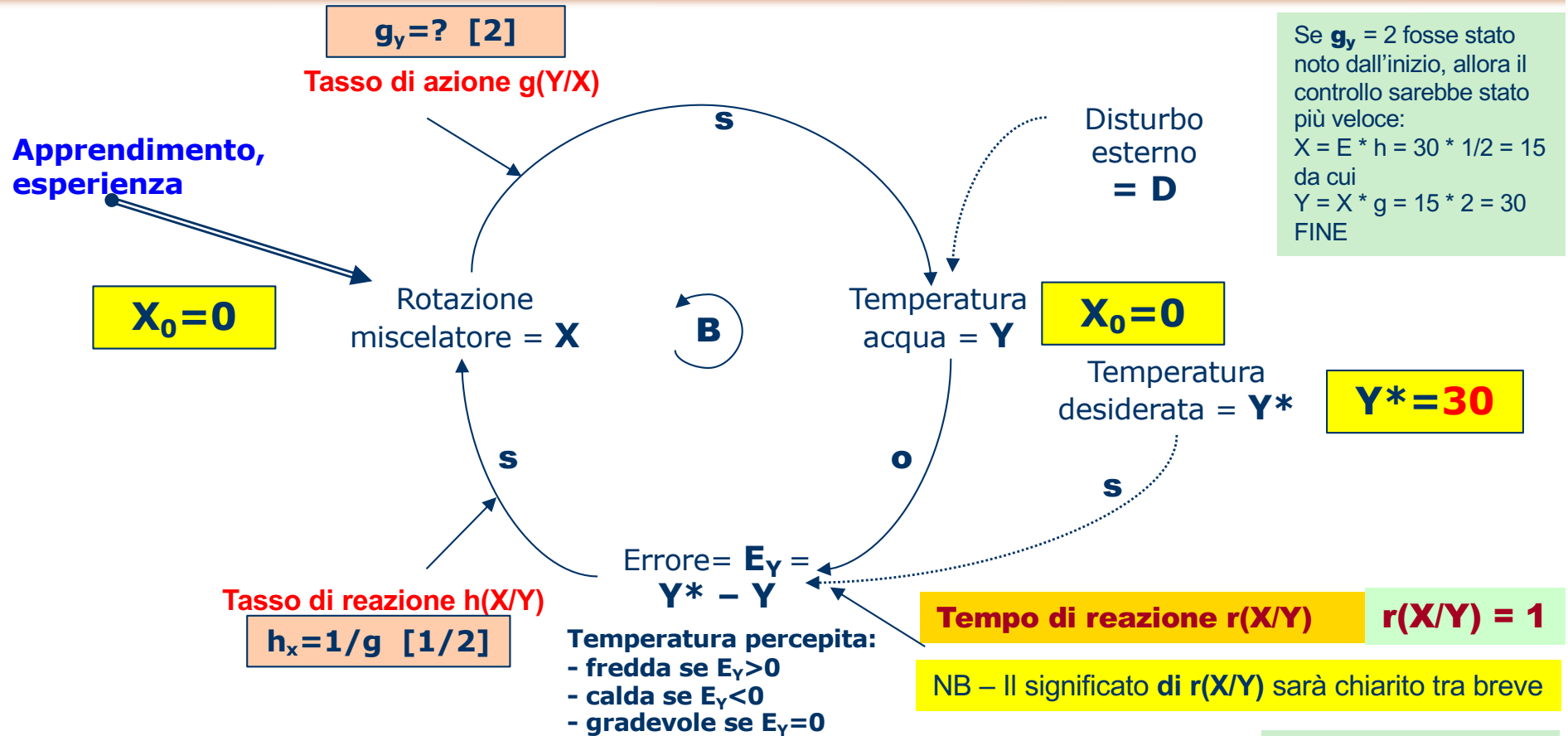


		X = manopola	$G_y ?$	Y = volume suono	E = errore
decisione		15	$\times ?$	$= 45$	$60 - 45 = 15$
decisione	+3	$15+3=18$	$\times ?$	$= 54$	$60 - 54 = 6$
decisione	+4	$18+4=22$	$\times ?$	$= 66$	$60 - 66 = -6$
decisione	-2	$22-2=20$	$\times ?$	$= 60$	$60 - 60 = 0$

FINE

Esempio 4 - Sistema ad una leva senza ritardo

Temperatura acqua con miscelatore, "per tentativi"



decisione
decisione
decisione

	X		Y	E
	12		24	$30 - 24 = 6$
+5	$12 + 5 = 17$	$\times g$	34	$30 - 34 = -4$
-2	$17 - 2 = 15$		30	$30 - 30 = 0$

NOTA – Per calcolare il valore della X_{t+1} è sufficiente dividere E_t per h_x .

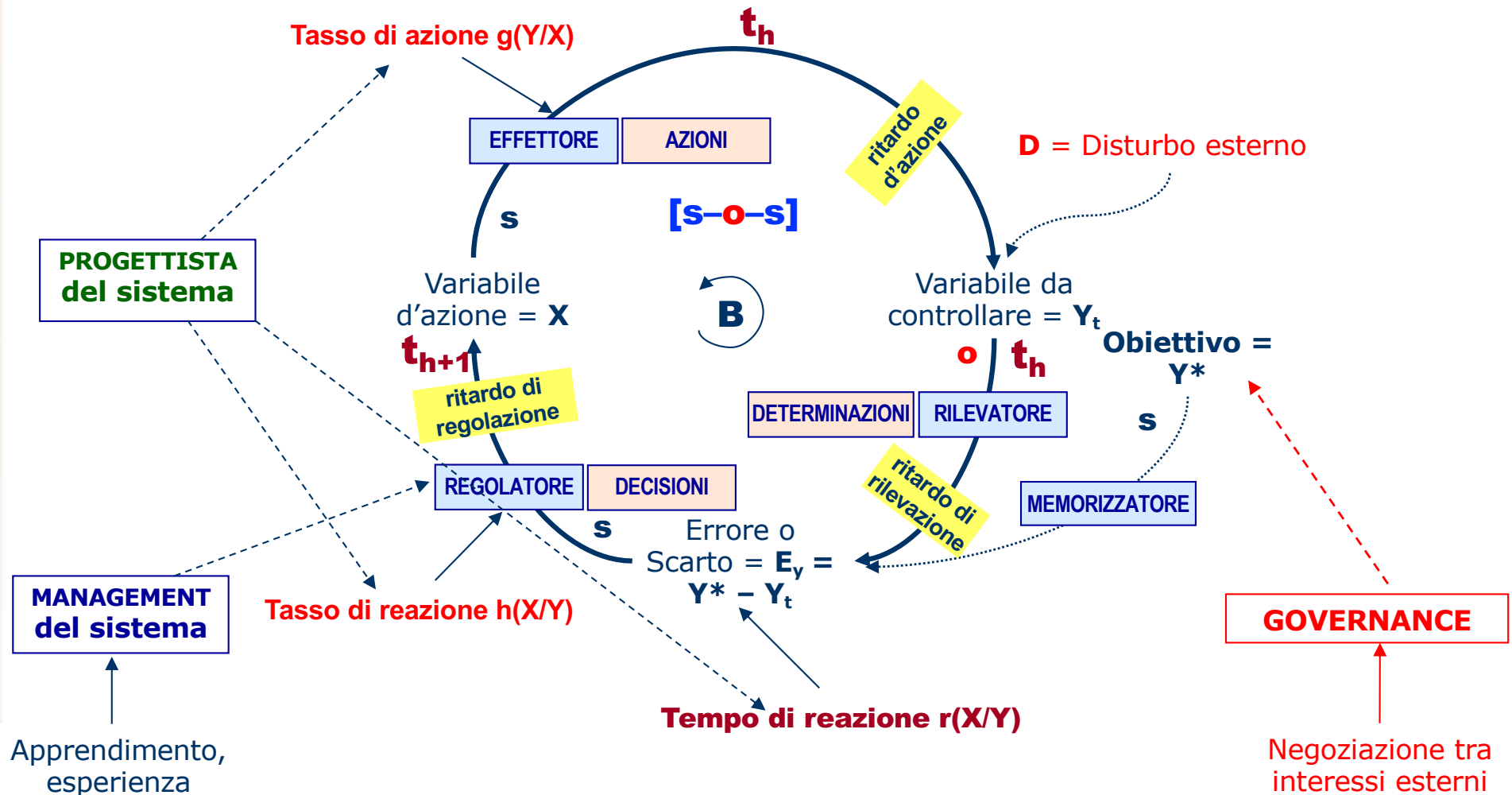
Se **$g_y = 2$** fosse stato noto dall'inizio, allora il controllo sarebbe stato più veloce:

$X = E * h = 30 * 1/2 = 15$
da cui
 $Y = X * g = 15 * 2 = 30$
FINE



Modello generale completo di sistema di controllo con apparati e processi

- Dobbiamo rendere generale il **modello canonico** evidenziando gli **organi** (macchine, apparati, sistemi fisici, biologici, sociali, ecc.) che **realizzano concretamente** il controllo.



Sistema di controllo in forma completa

Note [1] e [2]

- **[1]** – Accanto ai 4 **apparati principali**, sono state indicate le rispettive **funzioni**.
 - Il **Memorizzatore** svolge la funzione di consentire di «immettere» il valore Y^* , di memorizzarlo nel tempo, insieme con le eventuali variazioni, conservando i dati fino al completamento del controllo.
 - L'**Effettore** compie le azioni e **sviluppa i processi** per modificare la Y_t producendone la dinamica. Le azioni e i processi dell'Effettore sono «dimensionate» ai valori della **leva di controllo**.
 - Il **Rilevatore** effettua **determinazioni** che possono essere **quantitative** (distanza spaziale, dimensione di forme e oggetti) o **qualitative** (differenza tra colori, sapori, forme).
 - Il **Regolatore** assume le **decisioni** che stabiliscono la dimensione di X_{t+1} .
- **[2]** – Agli **archi** che connettono le tre variabili fondamentali – formando il **modello logico** – sono state aggiunti i **riferimenti temporali**: t_h , t_h , e t_{h+1} , per indicare che le variabili Y_t e E_Y , normalmente, si modificano nello stesso istante (o segmento temporale), mentre X_{t+1} si aggiorna t_{h+1} .
 - La lunghezza dell'intervallo ($t_h - t_{h+1}$) dipende dalle esigenze di accuratezza della misurazione dell'errore e soprattutto dalle esigenze di precisione.
 - Anche se la **dinamica temporale** delle variabili può essere **continua**, per la costruzione di modelli di simulazione è, spesso, comodo supporre che essa sia scansionata per **intervalli discreti**.



Sistema di controllo in forma completa

Note [3] e [4]

- **[3]** – Nel modello completo sono indicati **3 soggetti** fondamentali per l'esistenza e il funzionamento del sistema di controllo (collegati tramite frecce tratteggiate).
 - Il **Manager** (in senso stretto) del Sistema di Controllo; è il soggetto (individuo o gruppo, organo o organizzazione) che, con una successione di **decisioni**, «opera» sul **regolatore** (Management) per variare la X_t , al fine di modificare la Y_t (supponendo che il funzionamento di tale apparato sia costante nel tempo).
 - Quasi sempre il Manager deve agire direttamente anche sull'effettore e sull'apparato di rilevazione. Proprio per questo, l'attività del manager – il **management** – si fonda su appropriate **conoscenze** dell'intera **catena di controllo**, unite a sufficiente **esperienza** che continuamente migliora l'efficienza.
- **[4]** – **La Governance** è il processo attraverso il quale un soggetto, il **Governor** (per il conseguimento di proprie finalità individuali), pone al Sistema di Controllo l'obiettivo, Y^* , che il **Manager** deve conseguire sviluppando il Controllo.
 - Il **Governor** non è parte del Sistema di Controllo. È un soggetto esterno (individuo o gruppo, organo o organizzazione) che considera il Sistema di Controllo come strumentale per conseguire l'obiettivo.
 - Se il governor è formato da un **gruppo di individui**, l'obiettivo del sistema viene definito tramite una **«negoziazione politica»** tra i soggetti, secondo il loro potere relativo.



Sistema di controllo in forma completa

Note [5] e [6]

- **[5] – Progettista e costruttore** sono i soggetti, intesi nel più ampio senso (organizzazioni, fabbriche, reparti, unità operative, ecc.), che, di fatto, **costruiscono** il Sistema di Controllo per conseguire l'obiettivo posto dalla governance, mediante i processi di management.
- Sono soggetti, esterni al sistema. Il progettista e il costruttore, valutati gli obiettivi, sono in grado di progettare e realizzare la **struttura della catena di controllo** e dimensionare i **parametri** “g”, “h” e “r”.
- **I Sistemi di Controllo nei quali non si individua né un progettista né un costruttore si definiscono «naturali».** Sono naturali i sistemi fisiologici di tutti i viventi e molti sistemi sociali, economici e quelli che si formano in processi di auto-organizzazione.
- **[6] – L'obiettivo Y^*** è un **valore** da raggiungere o una **traiettoria** da seguire. Due sono i tipi di obiettivi:
 - Obiettivo **esplicito** è quello solitamente definito dalla **governance**.
 - Obiettivo **implicito** è connaturato a qualche sistema la cui dinamica si vuole controllare. È stabilito dalla “**natura delle cose**”.
 - Gli obiettivi impliciti non sono determinati dalla Governance ma dalla Natura e si possono spesso identificare con i **vincoli** o con **limiti**.



Sistema di controllo in forma completa

Nota [7]

- Formalmente, l' E_Y ha il significato della «**distanza**» di Y^* rispetto a Y_t , per ogni istante di rilevamento dei valori.
 - La «**distanza**» è un concetto generale – meglio reso con Δ – che si riferisce a variabili di qualsivoglia specie:
 - Δ di volume di suono, di colore,
 - Δ di profumo, di sapore, ecc.
 - Δ di temperatura, di sensazioni tattili, ecc.
 - Δ di flusso, di livello, di stock, ecc.
 - In molti casi, nei **controlli fisiologici umani**, il manager identifica E_Y come **sintomo**, associato a una sensazione fisiologica (sensazione di fame, sete, caldo, stanchezza, ...).
 - Dobbiamo abituarci a riflettere sul fatto che quasi tutte le nostre sensazioni di bisogno o di appagamento, di insoddisfazione o di sazietà, di dolore o di piacere, possono essere interpretate come **sintomi** di un **disequilibrio** (errore, scostamento, ...) tra uno stato fisiologico o mentale normale, Y^* (obiettivo o limite), e uno stato effettivo, Y_t .
 - I sintomi non sono l'**Errore**, ma **segnali** che rendono esplicita l'**esistenza dell'Errore**.



Sistema di controllo in forma completa

Nota [8]

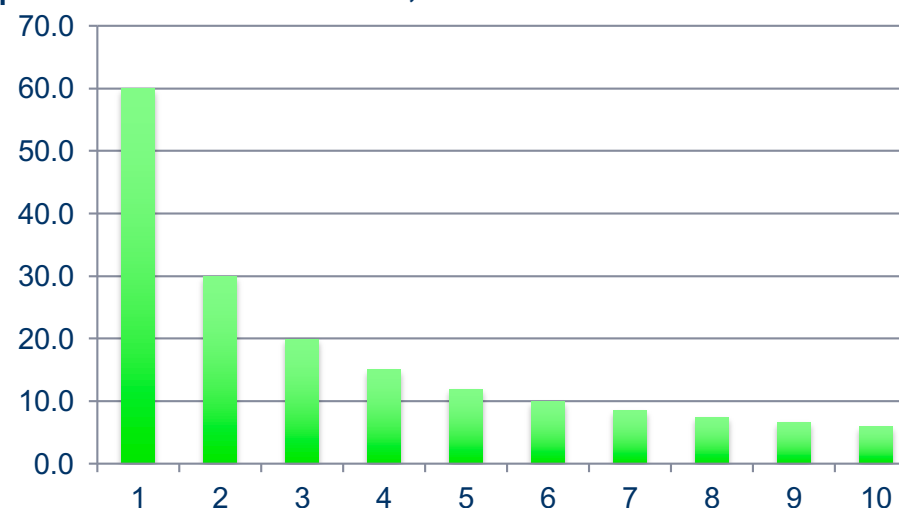
- Nel modello generale sono esplicitati i «**ritardi**». Quando non è dichiarato esplicitamente,
 - si suppone che lo **stimolo** ΔX e la **risposta** ΔY siano concatenati **istantaneamente**;
 - Se, tuttavia, tra lo **stimolo** ΔX e la **risposta** ΔY intercorre un periodo «troppo» (relativamente) lungo, allora si dice che la **risposta** ΔY si produce con un **ritardo** rispetto allo **stimolo** ΔY .
- **Regola**: vi è un **ritardo** nella risposta se è possibile fare **variare almeno due volte** la **X** prima che si produca la prima variazione della **Y**.
- I ritardi si possono manifestare nell'ambito della struttura tecnica (catena di controllo) e possono essere di tre tipi:
 - **ritardo d'azione** – o anche **ritardo di risposta** – che dipende dall'effettore che agisce rallentando la risposta della Y_t a variazioni di X_t .
 - **ritardo di rilevazione** – o anche **ritardo informativo** – che dipende dal rilevatore e rallenta la percezione e la misurazione dell'errore $E(Y)$.
 - **ritardo di regolazione** – o anche **ritardo di decisione** – che dipende dal regolatore e rallenta l'intervento sulla X_t .
 - Il ritardo si rappresenta nel modello scrivendo **[ritardo (o delay)]** o sulla freccia i cui processi presentano il ritardo, oppure barrandola con due trattini.
- **I ritardi non sempre si possono eliminare ma i loro effetti si possono mitigare con l'esperienza e l'apprendimento, ponendo un tempo di reazione elevato: $r_x > 1$.**



Sistema di controllo in forma completa

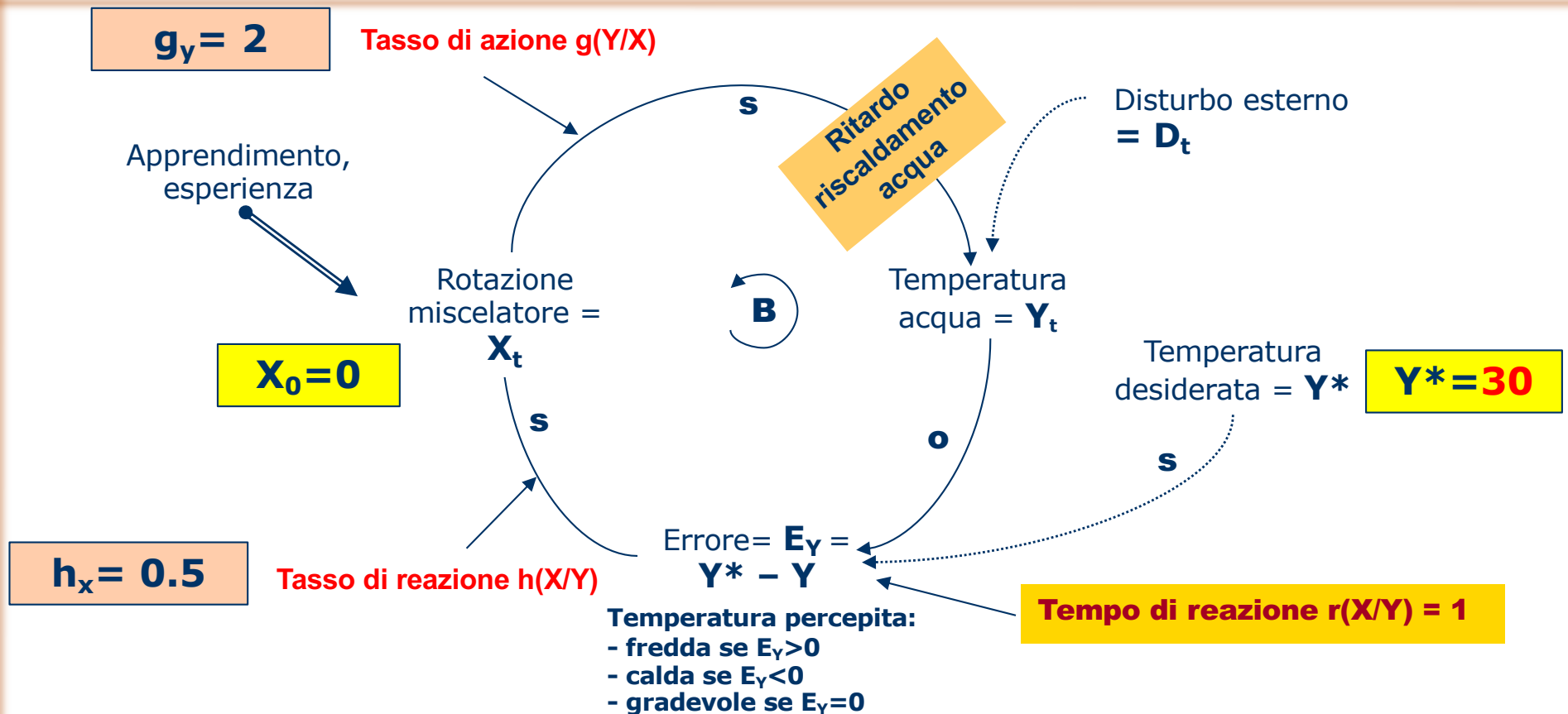
Nota [9]

- Il **tempo di reazione** è una variabile fondamentale che rende lento ma sicuro il processo di controllo.
- Nel modello generale, il tempo di reazione, $r(X/Y)$ o, semplicemente, r_x è una variabile decisionale che stabilisce **di quando decade l'errore**, per unità di tempo, per ogni azione sulla X .
- È più facile – ma del tutto equivalente – definire **tempo di reazione** r_x come la variazione di X e, di conseguenza, di E_x per unità di tempo. In pratica, r_x , divide X per «diluire nel tempo» il processo di controllo, rallentando la riduzione dell'errore e producendo effetti «benefici» in presenza di **ritardi**.
- Se, per $E(Y) = 60$ la X deve variare, complessivamente di **60**, allora:
 - con $r_x = 1$, X varia di 60,
 - con $r_x = 2$, X varia di 30,
 - con $r_x = 3$, X varia di 20,
 - ecc.
 - Quanto più elevato è r_x , tanto più lentamente si annulla l'errore, come si osserva del grafico a fianco.
- Un esempio chiarirà l'importanza di r_x ,



Sistema ad una leva con 1 ritardo

Temperatura acqua con miscelatore, «per tentativi»



decisione
decisione
decisione
decisione

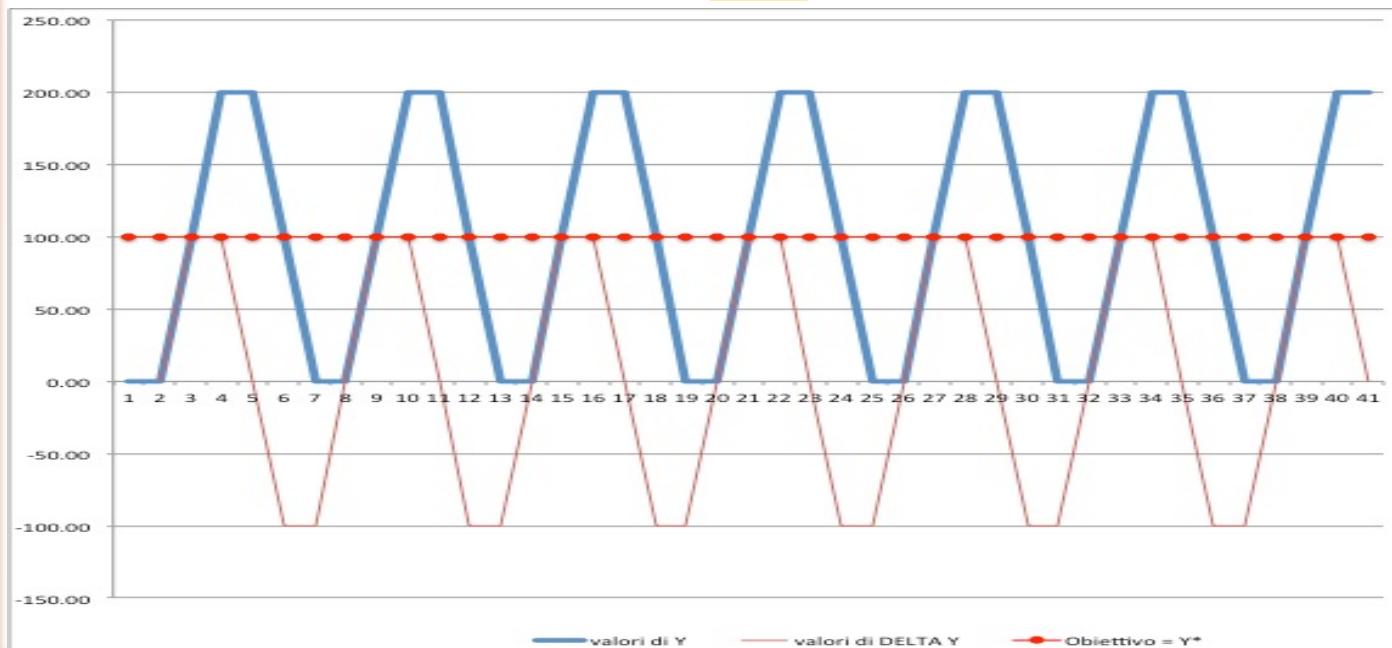
	X	$g=2$	Y	E
	12		= 0	30-0=30
+8	20=12+8		= 24	30-24=6
+3	23=20+3		= 40	30-40=-10
-13	10=23-13		= 46	30-46=-16

NOTA – Per percepire l'effetto del ritardo, osservare la corrispondenza tra i colori degli X e degli Y

Sistema ad una leva con 1 ritardo

Simulazione. Miscelatore con Tempo di reazione $r_x = 1$

t	[1] X_t	[2] g_t Azione	[3] ΔY_t	[4] Y_t	[5] Y^*	[6] $E = Y^* - Y_t$	[7] h_t Reazione	[8] $r(t)$ Tempo Reazione
0	0.00	5	0.00	0.00	100	100	0.20	1
1	20.00	5.0	0.0	0.00	100.0	100.0	0.20	1.0
2	20.00	5.0	100.0	100.00	100.0	0.0	0.20	1.0
3	0.00	5.0	100.0	200.00	100.0	-100.0	0.20	1.0
4	-20.00	5.0	0.0	200.00	100.0	-100.0	0.20	1.0
5	-20.00	5.0	-100.0	100.00	100.0	0.0	0.20	1.0
6	0.00	5.0	-100.0	0.00	100.0	100.0	0.20	1.0
7	20.00	5.0	0.0	0.00	100.0	100.0	0.20	1.0
8	20.00	5.0	100.0	100.00	100.0	0.0	0.20	1.0
9	0.00	5.0	100.0	200.00	100.0	-100.0	0.20	1.0
10	-20.00	5.0	0.0	200.00	100.0	-100.0	0.20	1.0
11	-20.00	5.0	-100.0	100.00	100.0	0.0	0.20	1.0
12	0.00	5.0	-100.0	0.00	100.0	100.0	0.20	1.0
13	20.00	5.0	0.0	0.00	100.0	100.0	0.20	1.0



L'acqua fredda e calda si miscelano in un certo tempo: Chi è sotto la doccia e varia il miscelatore percepisce il cambiamento di temperatura con un certo ritardo, che dipende dall'impianto idraulico. La doccia rappresenta, quindi, un tipico **sistema di controllo con ritardo**.

Nella **simulazione** si suppone che i valori di X_t siano correlati a quelli di Y_t con un ritardo di **1t** e **si è adottato $r_x = 1$** . Le dinamiche dovute al ritardo sono evidenziati, nella **tabella**, dai valori incorniciati con colori differenti. Il **grafico** rappresenta in blu i valori di Y_t che, come si osserva, **oscillano in modo ciclico regolare**, all'infinito,

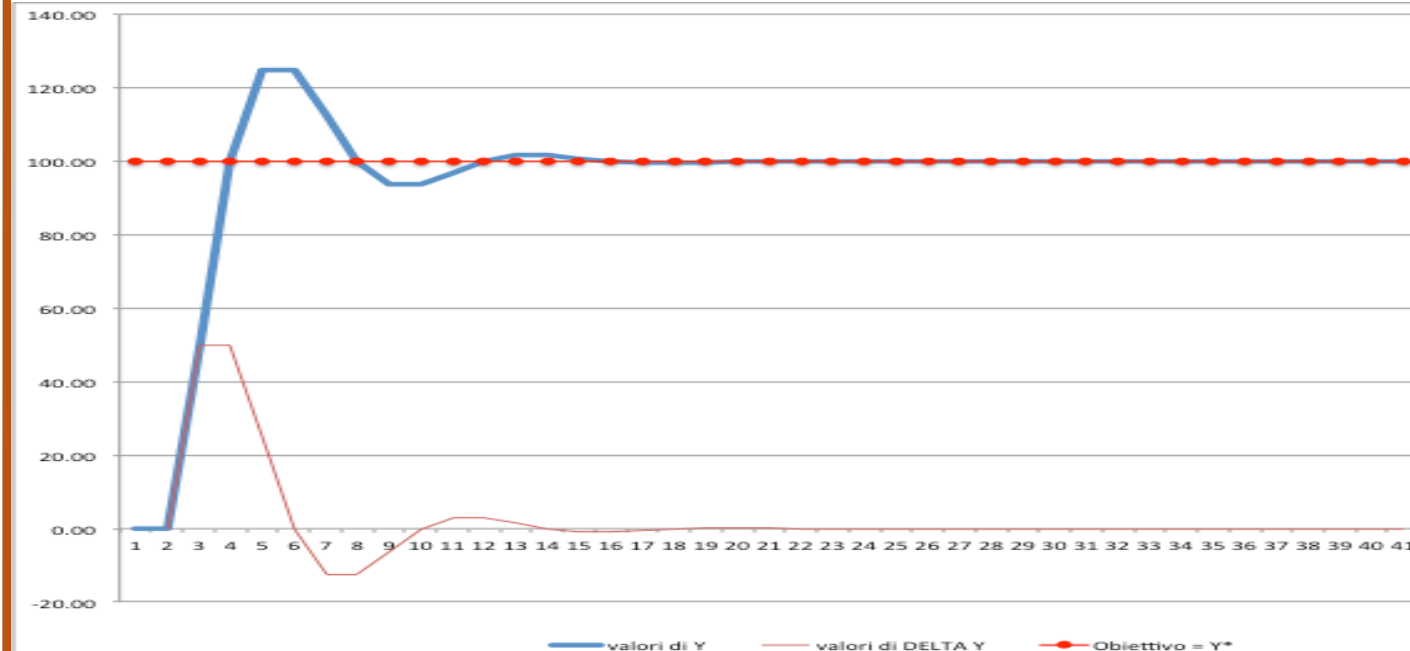
NOTA: Si è posto l'obiettivo irrealistico di $Y^* = 100$ solo per rendere facilmente leggibile le dinamiche dei valori.



Sistema ad una leva con 1 ritardo

Simulazione. Miscelatore con Tempo di reazione $r_x = 2$

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
X_t	g_t	ΔY_t	Y_t	Y^*	$E = Y^* - Y_t$	h_t	$r(t)$
0.00	5		0.00	100	100	0.20	2
10.00	5.0	0.0	0.00	100.0	100.0	0.20	2.0
10.00	5.0	50.0	50.00	100.0	50.0	0.20	2.0
5.00	5.0	50.0	100.00	100.0	0.0	0.20	2.0
0.00	5.0	25.0	125.00	100.0	-25.0	0.20	2.0
-2.50	5.0	0.0	125.00	100.0	-25.0	0.20	2.0
-2.50	5.0	-12.5	112.50	100.0	-12.5	0.20	2.0
-1.25	5.0	-12.5	100.00	100.0	0.0	0.20	2.0
0.00	5.0	-6.3	93.75	100.0	6.3	0.20	2.0
0.63	5.0	0.0	93.75	100.0	6.3	0.20	2.0
0.63	5.0	3.1	96.88	100.0	3.1	0.20	2.0
0.31	5.0	3.1	100.00	100.0	0.0	0.20	2.0
0.00	5.0	1.6	101.56	100.0	-1.6	0.20	2.0
-0.16	5.0	0.0	101.56	100.0	-1.6	0.20	2.0



La doccia rappresenta un tipico **sistema di controllo con ritardo** che produce oscillazioni nel livello di temperatura dell'acqua. Nella **simulazione** si suppone che i valori di X_t siano correlati a quelli di Y_t con un ritardo di **1t**. Un modo di «smorzare» le oscillazioni è quello di aumentare il **Tempo di reazione**.

Nel nostro esempio, si è innalzato tale Tempo da **$r_x = 1$** a **$r_x = 2$** .

Dopo questa decisione, si osserva come la linea blu del grafico, che rappresenta i valori di Y_t , arrivi a un massimo di 125, per poi raggiungere l'obiettivo dopo **$t = 20$** .

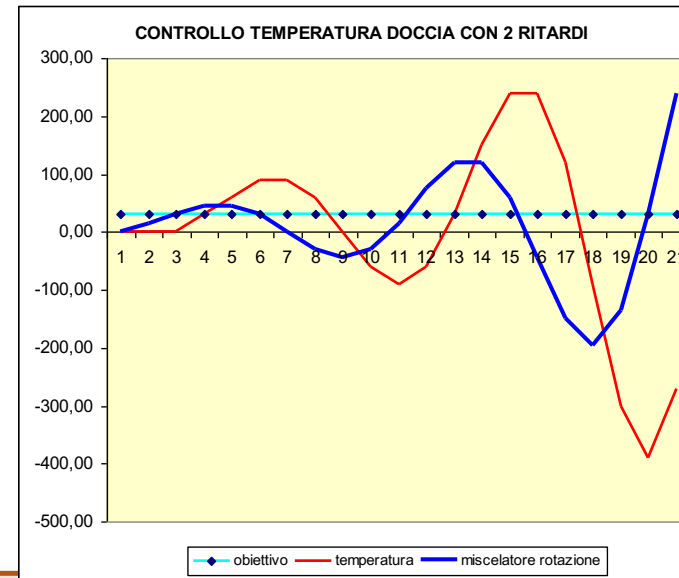
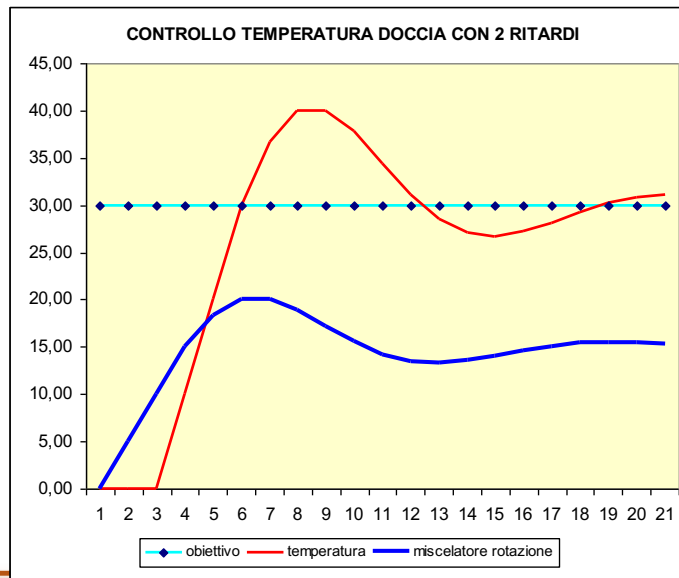
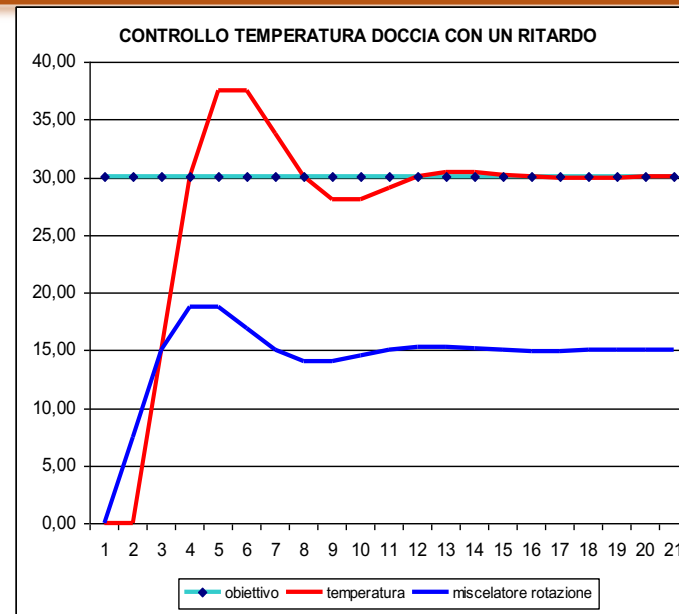
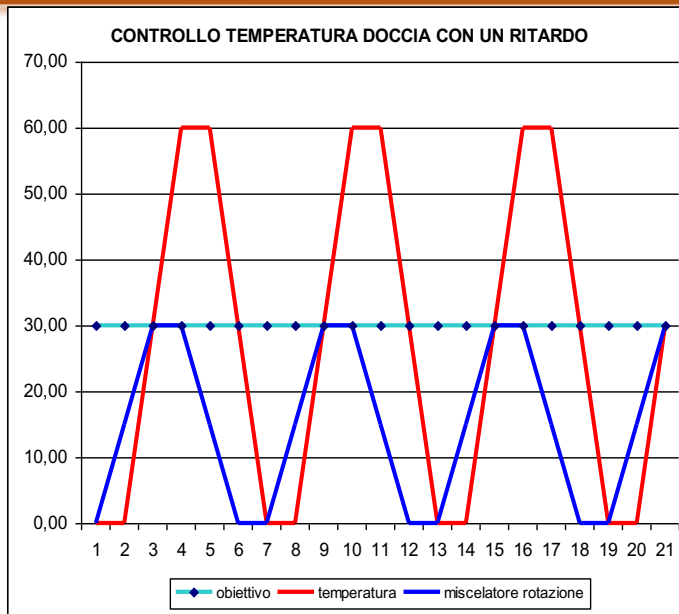
NOTA: Il tempo di reazione è pari a **$r_x = 2$** .





Sistema ad una leva con 1 ritardo

Simulazione. Miscelatore con valori diversi di r_x



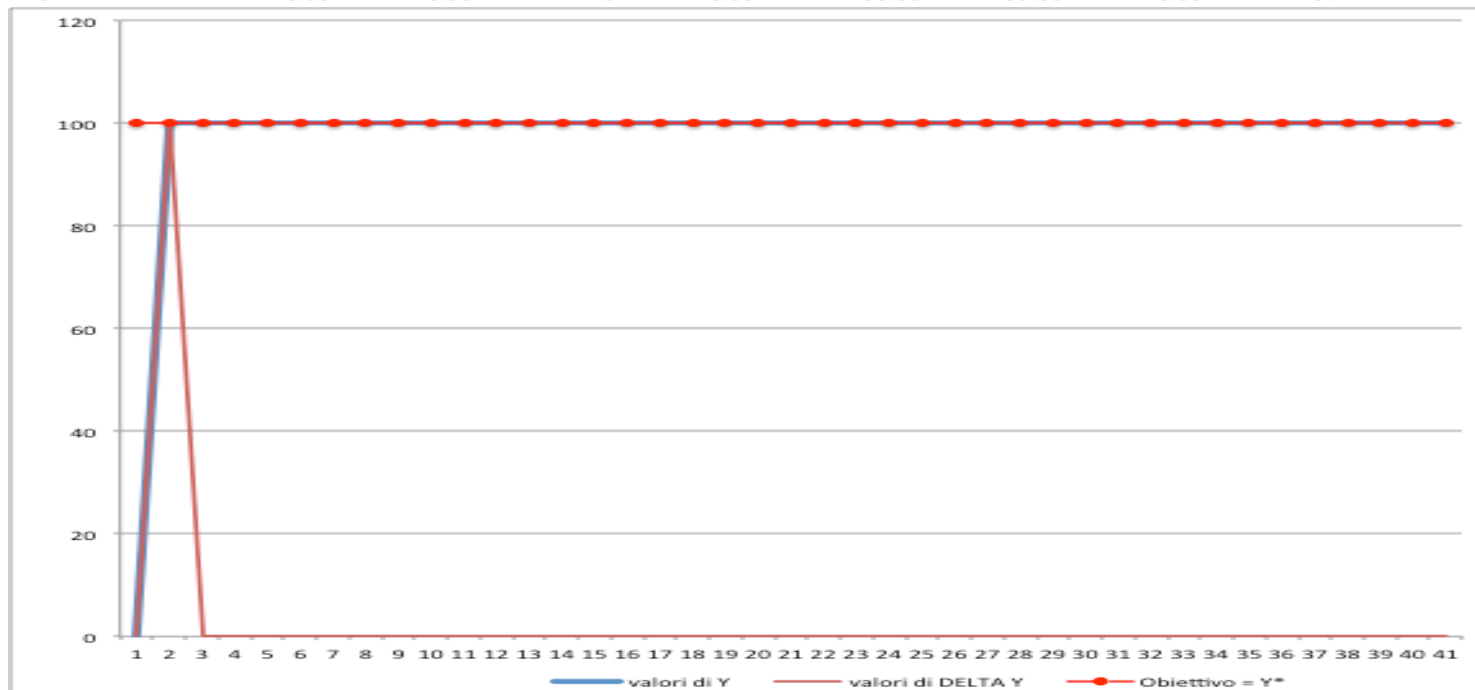
NOTA: Le dinamiche della temperatura sono indicate dalle curve in rosso.



Prototipo del Sistema di Controllo integrale

Sistema a Variazione unica di X

t	[1] ΔX_t	[2] X_t	[3] g_t	[4] ΔY_t	[5] Y_t	[6] Y^*	[7] $E = Y^* - Y_t$	[8] h_t	[9] $r(t)$
0	0.00	0	5	0.00	0	100	100.00	0.2	1
1	20.00	20.00	5	100.00	100.00	100.00	0.00	0.2	1
2	0.00	20.00	5	0.00	100.00	100.00	0.00	0.2	1
3	0.00	20.00	5	0.00	100.00	100.00	0.00	0.2	1
4	0.00	20.00	5	0.00	100.00	100.00	0.00	0.2	1
5	0.00	20.00	5	0.00	100.00	100.00	0.00	0.2	1



Il manager, noto $g_Y = 5$ (costante), calcola $h_x = 0,2$ (costante).

Con i dati di $Y^* = 100$ e $Y_0 = 0$, l'errore risulta $E_0 = 100$.

Il valore da assegnare a X_1 per annullare l'errore complessivo si ottiene dal prodotto:

$$E_0 \times h_x = 100 \times 0.2 = 20 = X_1$$

Impiegando il valore di X_1 così determinato, otteniamo immediatamente:

$$X_1 \times g_x = 20 \times 5 = 100$$

che annulla l'errore.

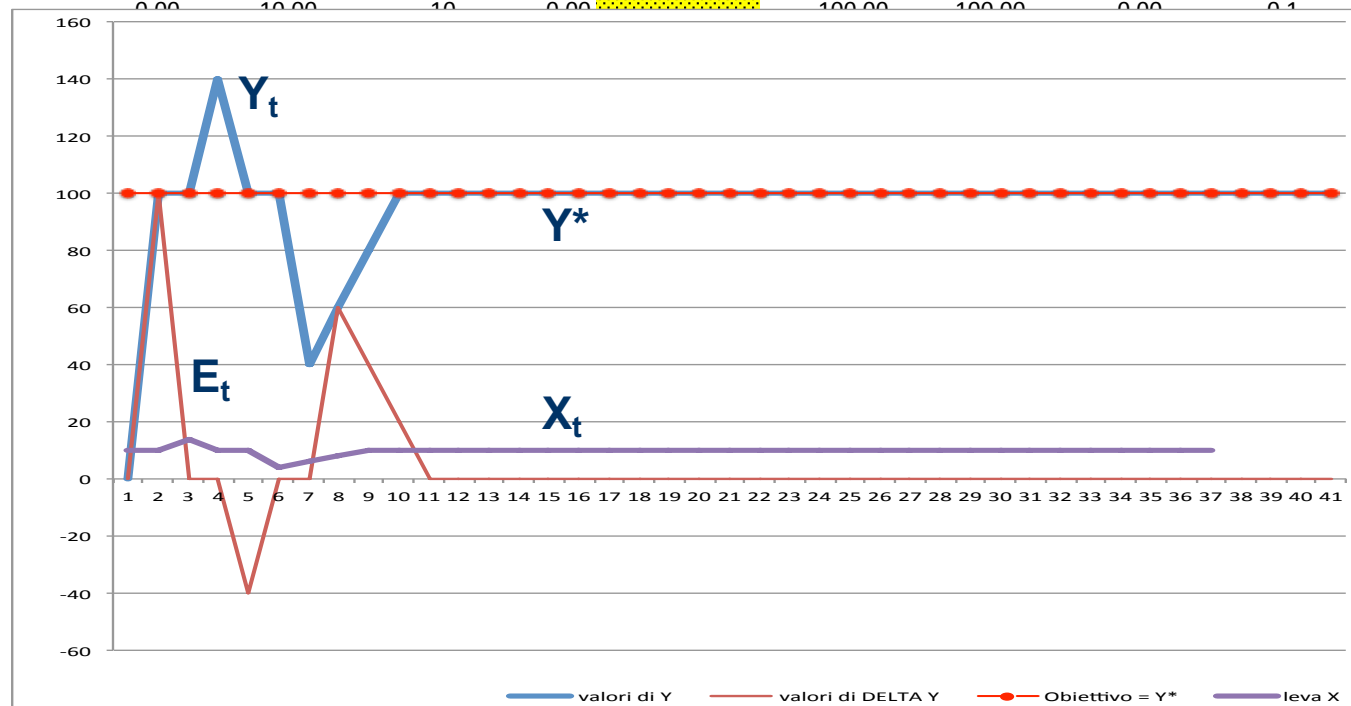
NOTA: Il tempo di reazione è pari a $r_x = 1$.

Definisco **Sistema di Controllo Integrale** quello nel quale il manager può **computare e applicare** il valore di **X** in grado di **eliminare l'intero errore** (l'errore integrale) **in una sola volta, cioè in un unico "t"**. Presuppone la conoscenza del tasso d'azione $g(Y/X)$ e del tasso di reazione $h(X/Y)$.



Prototipo del Sistema di Controllo integrale in presenza di Disturbi

t	[1] ΔX_t	[2] X_t	[3] g_t	[4] ΔY_t	[5] DISTURBI	[6] Y_t	[7] Y^*	[8] $E = Y^* - Y_t$	[9] h_t	[10] $r(t)$
0	0.00	0	10	0.00		0	100	100.00	0.1	1
1	10.00	10.00	10	100.00		100.00	100.00	0.00	0.1	1
2	0.00	10.00	10	0.00		100.00	100.00	0.00	0.1	1
3	0.00	14.00	10	0.00	40	140.00	100.00	-40.00	0.1	1
4	-4.00	10.00	10	-40.00		100.00	100.00	0.00	0.1	1
5	0.00	10.00	10	0.00		100.00	100.00	0.00	0.1	1
6	0.00	4.00	10	0.00	60	40.00	100.00	60.00	0.1	1
7	6.00	6.00	10	60.00	40	60.00	100.00	40.00	0.1	1
8	4.00	8.00	10	40.00	20	80.00	100.00	20.00	0.1	1
9	2.00	10.00	10	20.00		100.00	100.00	0.00	0.1	1
10	0.00	10.00	10	0.00		100.00	100.00	0.00	0.1	1
11	0.00	10.00	10	0.00		100.00	100.00	0.00	0.1	1



Il manager, noto $g_Y = 10$ (costante), calcola $h_x = 0,1$ (costante).

Con i dati di $Y^* = 100$ (costante) e $Y_0 = 0$, l'errore risulta

$E_0 = 100$.

Il valore da assegnare a X_1 per annullare l'errore complessivo (con $r_x = 1$) si ottiene dal prodotto:

$E_0 \times h_x = 100 \times 0,1$ cioè $X_1 = 10$

e

$X_1 \times g_x = 10 \times 10 = 100$, così che $E_1 = 0$.

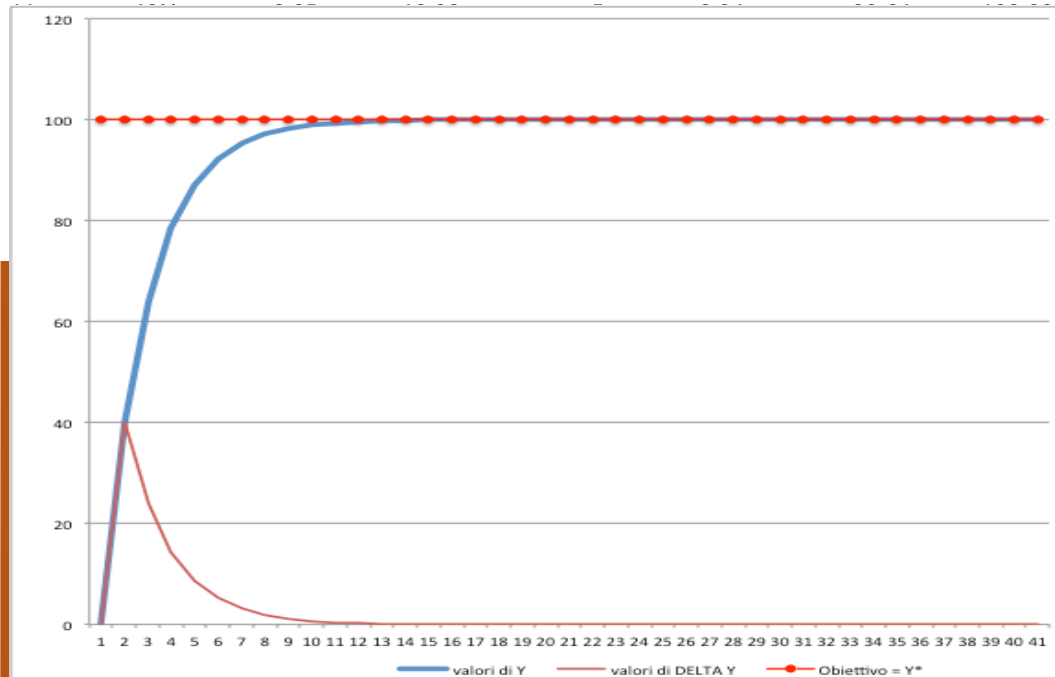
I **Disturbi** successivi, D_t , si sommano ai valori precedenti i X_{t-1} .

Ad ogni disturbo, il sistema, infaticabile, ripete i suo ciclo di controllo, annullando sempre l'errore.



Prototipo di Sistema di Controllo proporzionale a percentuale costante di **abbattimento dell'errore**

t	[0] % errore	[1] ΔX_t	[2] X_t	[3] g_t	[4] ΔY_t	[5] Y_t	[6] Y^*	[7] $E = Y^* - Y_t$	[8] h_t	[9] $r(t)$
0	40%	0.00	0	5	0.00	0	100	100.00	0.2	1
1	40%	8.00	8.00	5	40.00	40.00	100.00	60.00	0.2	1
2	40%	4.80	12.80	5	24.00	64.00	100.00	36.00	0.2	1
3	40%	2.88	15.68	5	14.40	78.40	100.00	21.60	0.2	1
4	40%	1.73	17.41	5	8.64	87.04	100.00	12.96	0.2	1
5	40%	1.04	18.44	5	5.18	92.22	100.00	7.78	0.2	1
6	40%	0.62	19.07	5	3.11	95.33	100.00	4.67	0.2	1
7	40%	0.37	19.44	5	1.87	97.20	100.00	2.80	0.2	1
8	40%	0.22	19.66	5	1.12	98.32	100.00	1.68	0.2	1
9	40%	0.13	19.80	5	0.67	98.99	100.00	1.01	0.2	1
10	40%	0.08	19.88	5	0.40	99.40	100.00	0.60	0.2	1
								0.36	0.2	1
								0.22	0.2	1
								0.13	0.2	1
								0.08	0.2	1
								0.05	0.2	1
								0.03	0.2	1
								0.02	0.2	1
								0.01	0.2	1



Sono i Sistemi di Controllo nei quali si **realizza un controllo proporzionale** in quanto il sistema **computa i valori di X_t** per **ridurre l'errore di una percentuale fissa** per i successivi istanti discreti: t_0 , t_1 , ecc., producendo variazioni in Y_t che tendono gradualmente a Y_t^* , realizzando un **“abbattimento progressivo”** dell'errore (senza mai annullarlo).

La percentuale di abbattimento dell'errore è stabilita dalla **governance** del sistema e può variare nel tempo.

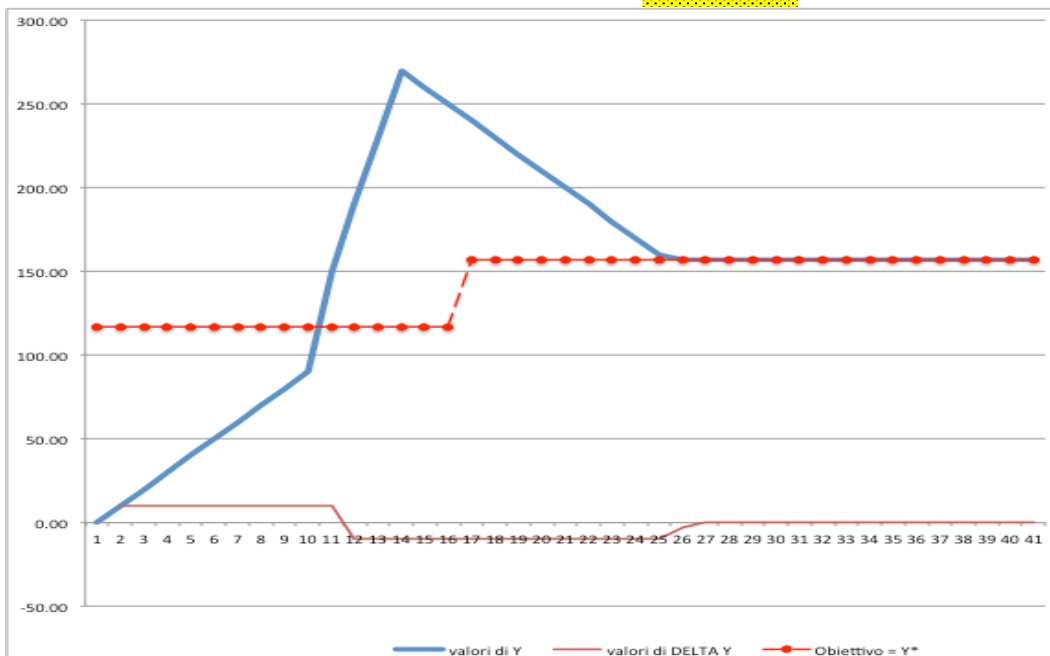


Prototipo di Sistema di controllo a variazione a passo discreto di X_t

t	[1] $\Delta X_t = \text{passo}$	[2] X_t	[3] g_t	[4] ΔY_t	[5] DISTURBI	[6] Y_t	[7] Y^*	[8] $E = Y^* - Y_t$	[9] h_t	[10] $r(t)$
0	2.00	0.00	5			0.00	117	117	0.00	1
1 frazionario	2.00	2.00	5.0	10.0		10.00	117.0	107.0	0.00	1.0
2	2.00	4.00	5.0	10.0		20.00	117.0	97.0	0.00	1.0
3	2.00	6.00	5.0	10.0		30.00	117.0	87.0	0.00	1.0
4	2.00	8.00	5.0	10.0		40.00	117.0	77.0	0.00	1.0
5	2.00	10.00	5.0	10.0		50.00	117.0	67.0	0.00	1.0
6	2.00	12.00	5.0	10.0		60.00	117.0	57.0	0.00	1.0
7	2.00	14.00	5.0	10.0		70.00	117.0	47.0	0.00	1.0
8	2.00	16.00	5.0	10.0		80.00	117.0	37.0	0.00	1.0
9	2.00	18.00	5.0	10.0		90.00	117.0	27.0	0.00	1.0
10	2.00	20.00	5.0	10.0	50	150.00	117.0	-33.0	0.00	1.0
11	-2.00	18.00	5.0	-10.0	50	190.00	117.0	-73.0	0.00	1.0
12	-2.00	16.00	5.0	-10.0	50	230.00	117.0	-113.0	0.00	1.0
13	-2.00	14.00	5.0	-10.0	50	270.00	117.0	-153.0	0.00	1.0

Sono i Sistemi di Controllo nei quali il **manager** attribuisce a X_t un **incremento discreto**, – fisso o variabile – denominato «**passo**» della leva: ΔX_t , che si ripete nel tempo producendo una variazione discreta in Y_t fino a quando non raggiunga Y^* .

NOTA: Il Sistema di Controllo si definisce **Controllo a passo discreto proprio** in quanto gli X_t assumono, nel tempo, valori che dipendono da un «**passo fisso**» e **riducono progressivamente E_t** .



Nell'esempio, agli istanti da 10 a 13 si sono stati inseriti Disturbi. All'istante 15 l'Obiettivo è stato incrementato di 40.



Controllo immediato e graduale

- Il controllo si definisce **immediato** se il sistema porta $\mathbf{Y}_t$ a $\mathbf{Y}^*$ in un solo istante (con un **tempo di reazione** pari a $r_x = 1$).
 - Sono sistemi ad aggiustamento veloce della $\mathbf{Y}_t$ ma sono pericolosi e difficili da realizzare in quanto producono uno shock nella struttura fisica del sistema. Il controllo appare “ruvido” (**rough control**).
 - Tale forma di controllo può essere **necessaria** per es. nel controllo del diametro della pupilla, per evitare l’abbagliamento, nella frenata brusca, per evitare uno scontro, nello sferrare un pugno veloce, per arrestare un avversario, nello schivare un ostacolo improvviso, nel togliere una padella dal fuoco quando il cibo brucia, ecc.
- Il controllo si definisce **graduale** se opera in modo da raggiungere gradualmente l’obiettivo, in un arco temporale adeguato. Il sistema produce una dinamica di $\mathbf{Y}$ verso $\mathbf{Y}^*$ più lenta ma più morbida (**soft control**), così che la struttura fisica possa assorbire le variazioni di $\mathbf{X}$ e di $\mathbf{Y}$.
 - Tale forma di controllo è utile nei sistemi con ritardo, ponendo $r_x > 1$; occorr, pertanto, individuare il $r_x > 1$ che porti ad un bilanciamento tra rapidità e gradualità.
- Sono a controllo **graduale** i sistemi a **variazione proporzionale** o **discreta** per i quali si pone sempre $r_x = 1$.

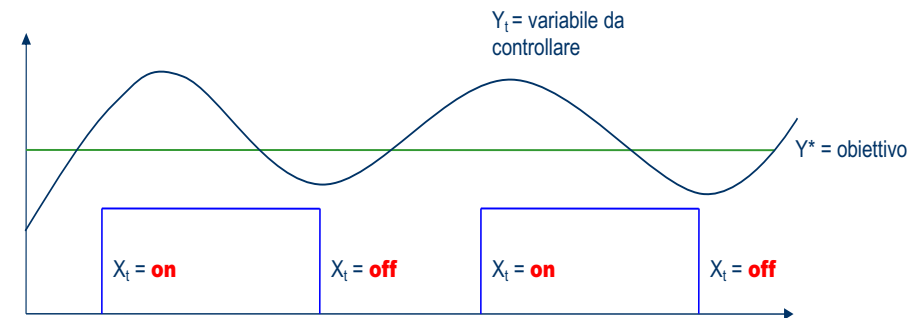


Due ulteriori Prototipi di Sistema di Controllo

Sistemi di «on/off» e «I/O»

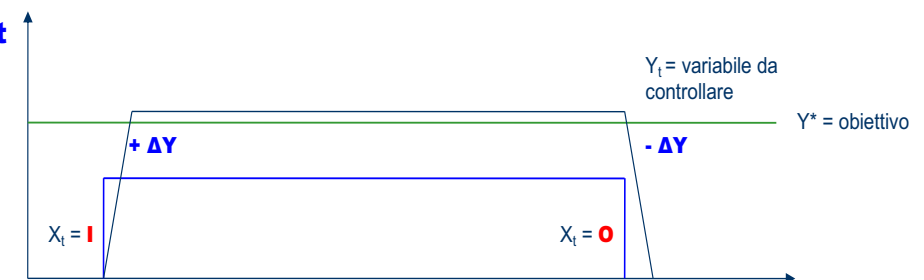
■ Sistemi on/off (acceso-spento).

- Sono particolari **sistemi** che raggiungono l'obiettivo Y^* attivando **[on]** la leva X_t per un dato **tempo preimpostato dal management**, T^* , fino a quando la disattivano **[off]** per poi riprendere quando D produce nuovamente un errore di **ampiezza prefissata**, ΔE^* , anch'essa decisa dal **management**, presentando una dinamica ciclica di Y_t .
- Questa forma di controllo è tipica dei sistemi con **rilevatore automatico**, nei quali si può impostare una durata di funzionamento prefissata, così che il controllo diventi automatico, come avviene, per es., per i condizionatori, le caldaie termiche, gli impianti di irrigazione, ecc.



■ Sistemi I/O (input-output)

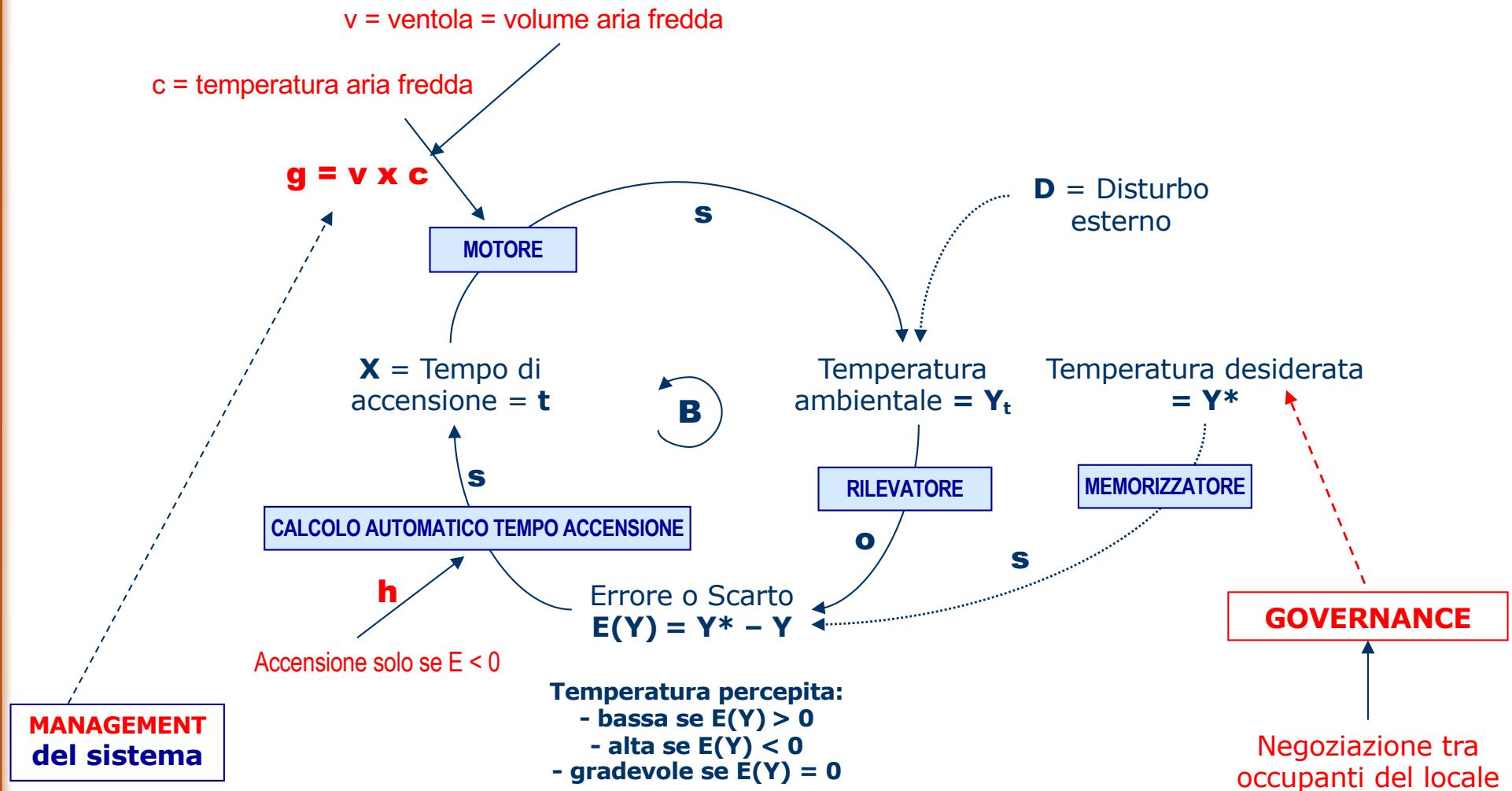
- Sono particolari **sistemi** che tentano di raggiungere l'obiettivo deciso dal **management**, Y^* , «accendendo» – **[I]** – la leva X , una o più volte, per un dato **tempo, deciso ad hoc**, per ottenere un valore Y_t^* , raggiunto il quale «spengono» la leva – **[O]** – per poi riaccenderla quando D_t
- È una forma di controllo molto diffusa per i sistemi che offrono un servizio agli utenti o al manager stesso, come avviene per es. con il nostro caminetto, con l'ascensore, con il trasporto con l'automobile, per l'autobus che si arresta alle fermate, ecc.



v = ventola = volume aria fredda

c = temperatura aria fredda

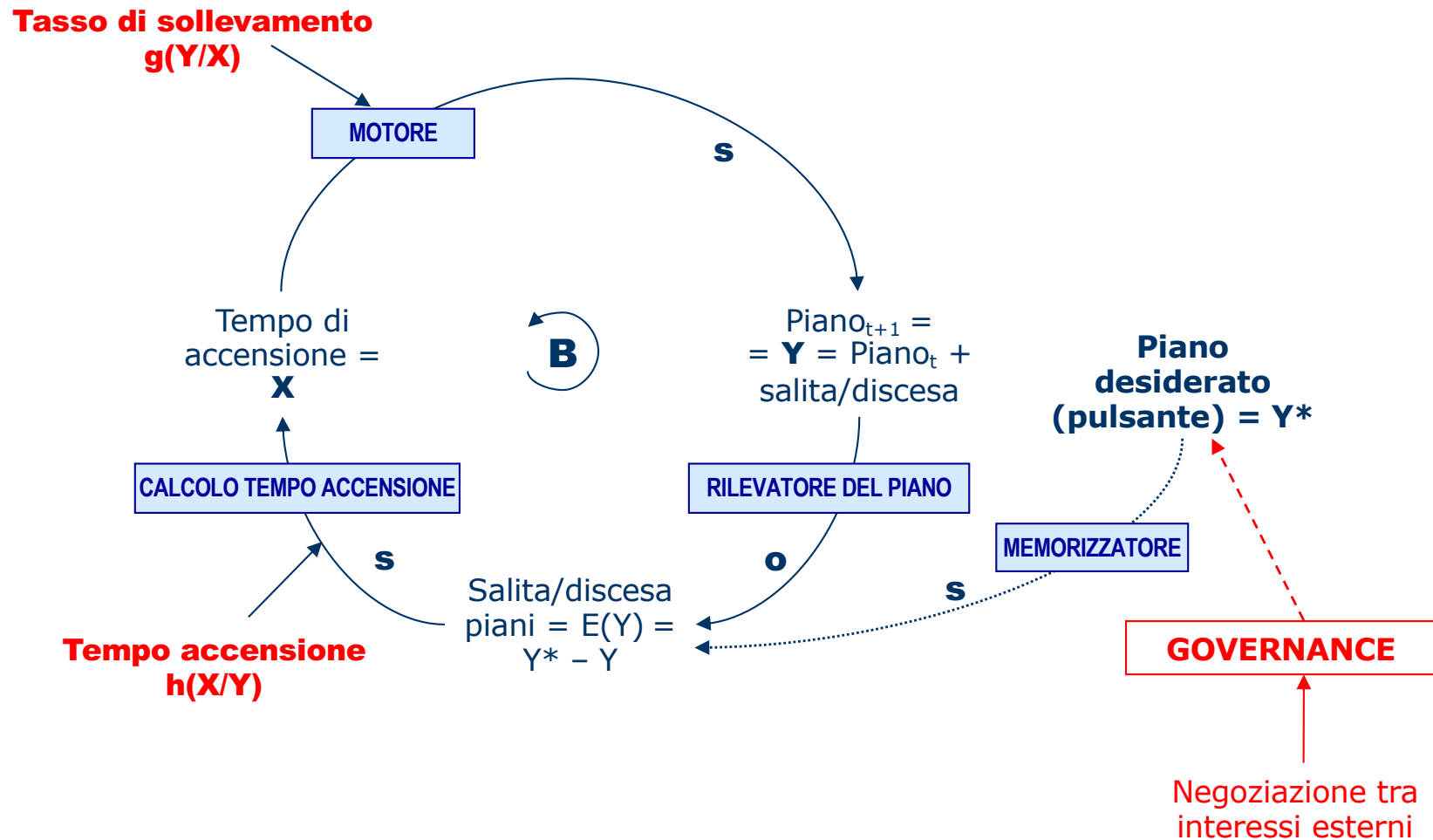
$g = v \times c$



Sistema di controllo «I/O» a variazione discreta

Ascensore quale sistema di controllo

È un sistema semi-automatico nel quale l'intervento umano si limita a decidere il piano di destinazione. Si avvia e si ferma quando si rileva e si annulla lo scostamento.



Problem Solving [Nickols, 2011; Proctor, 1999]



D = Disturbo esterno

Variable
d'azione = **X**

Malfunzionamento
presente = **Y**

Stato ottimale
= $\mathbf{Y}^*$

Funzione di reazione $h(X/Y)$

Malfunzionamento

Sintomo o Problema
percepito

$$E = Y^* - Y$$

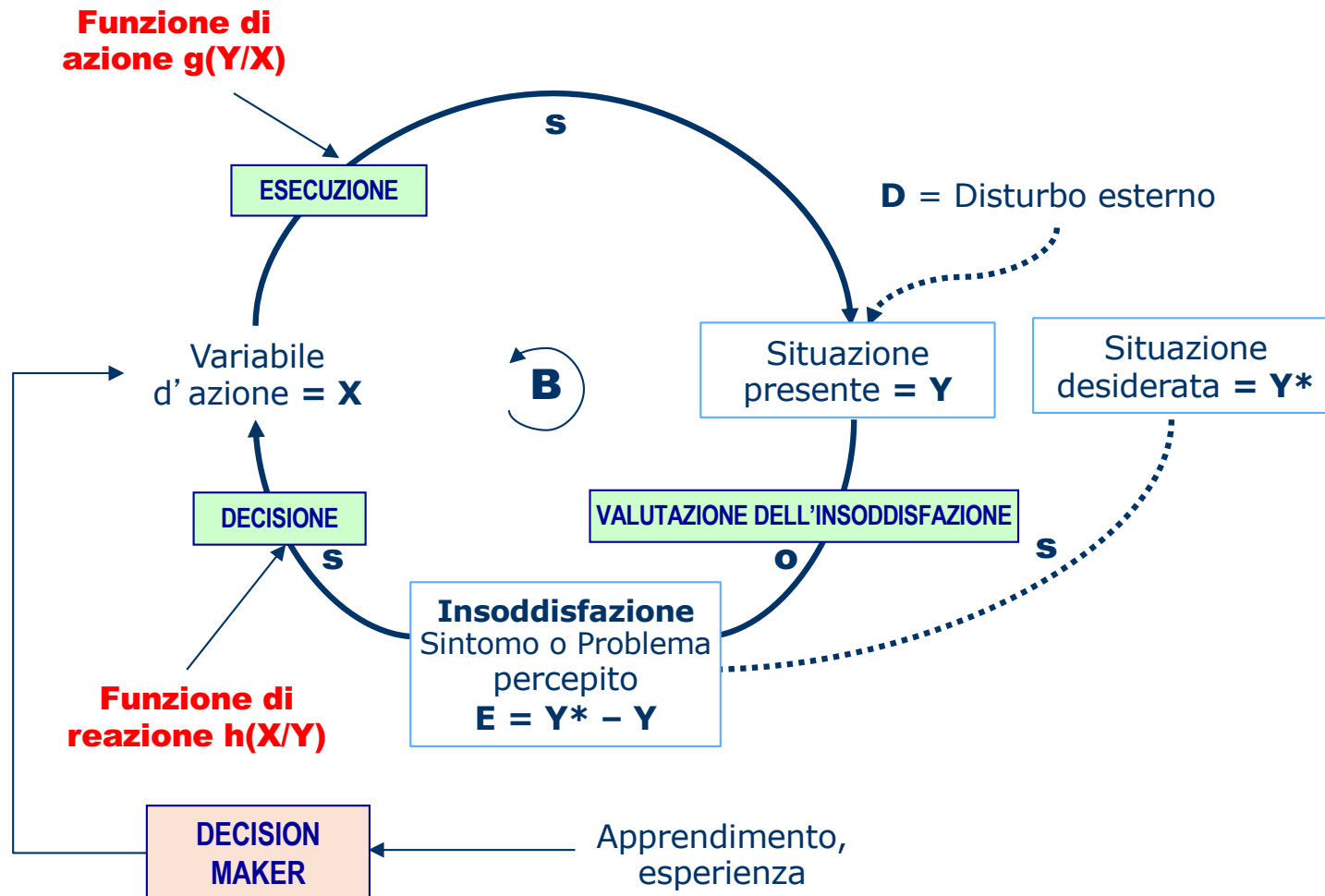
PROBLEM SOLVER

Apprendimento, esperienza



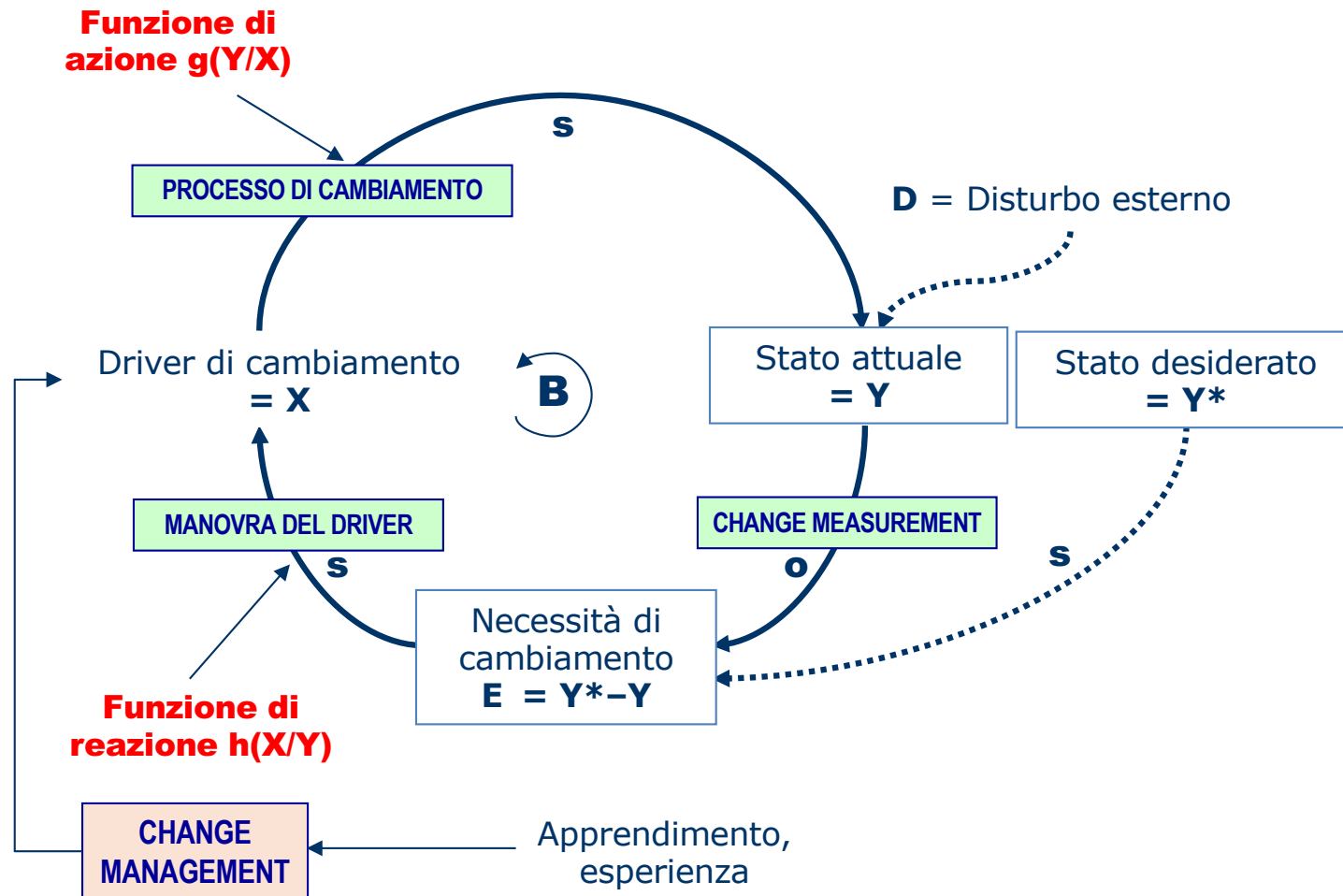
Sistemi di controllo nelle «aree» aziendali

Decision making [Simon & Associates, 1986; Kabir et al., 2014]



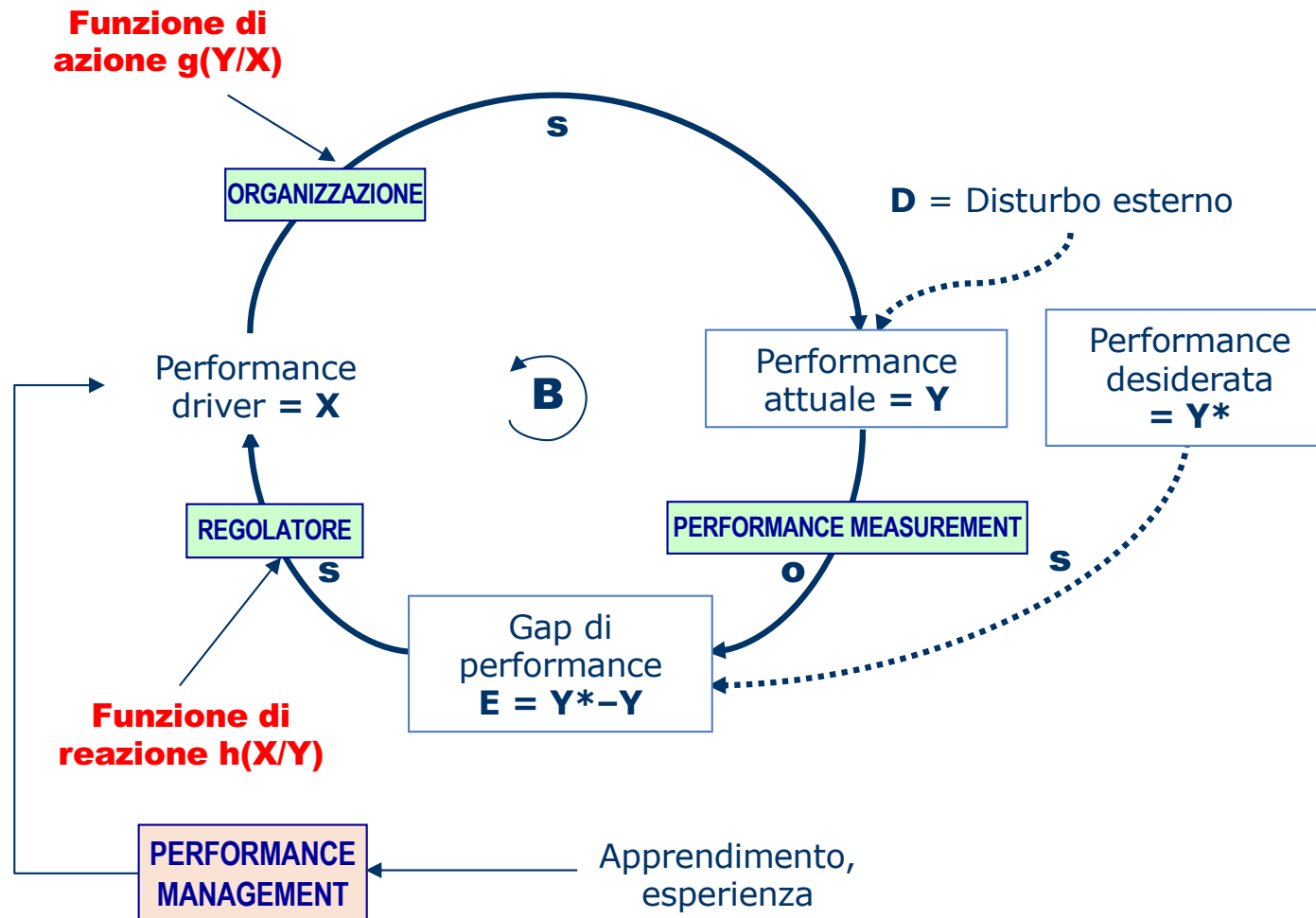
Sistemi di controllo nelle «aree» aziendali

Change management [Lauer, 2010]



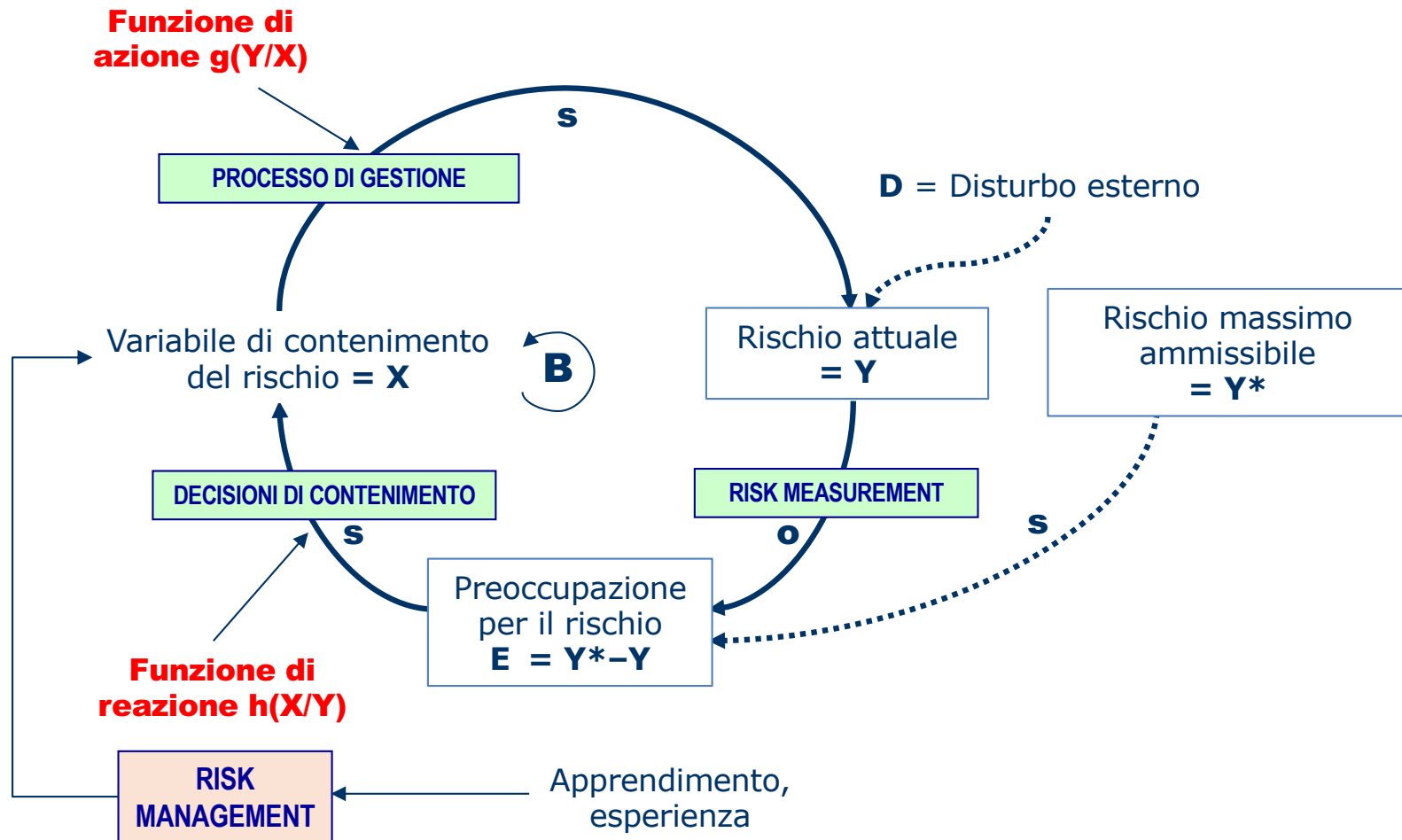
Sistemi di controllo nelle «aree» aziendali

Controllo delle Performance [Simons, 1995; Otley, 1999; Demartini, 2014]



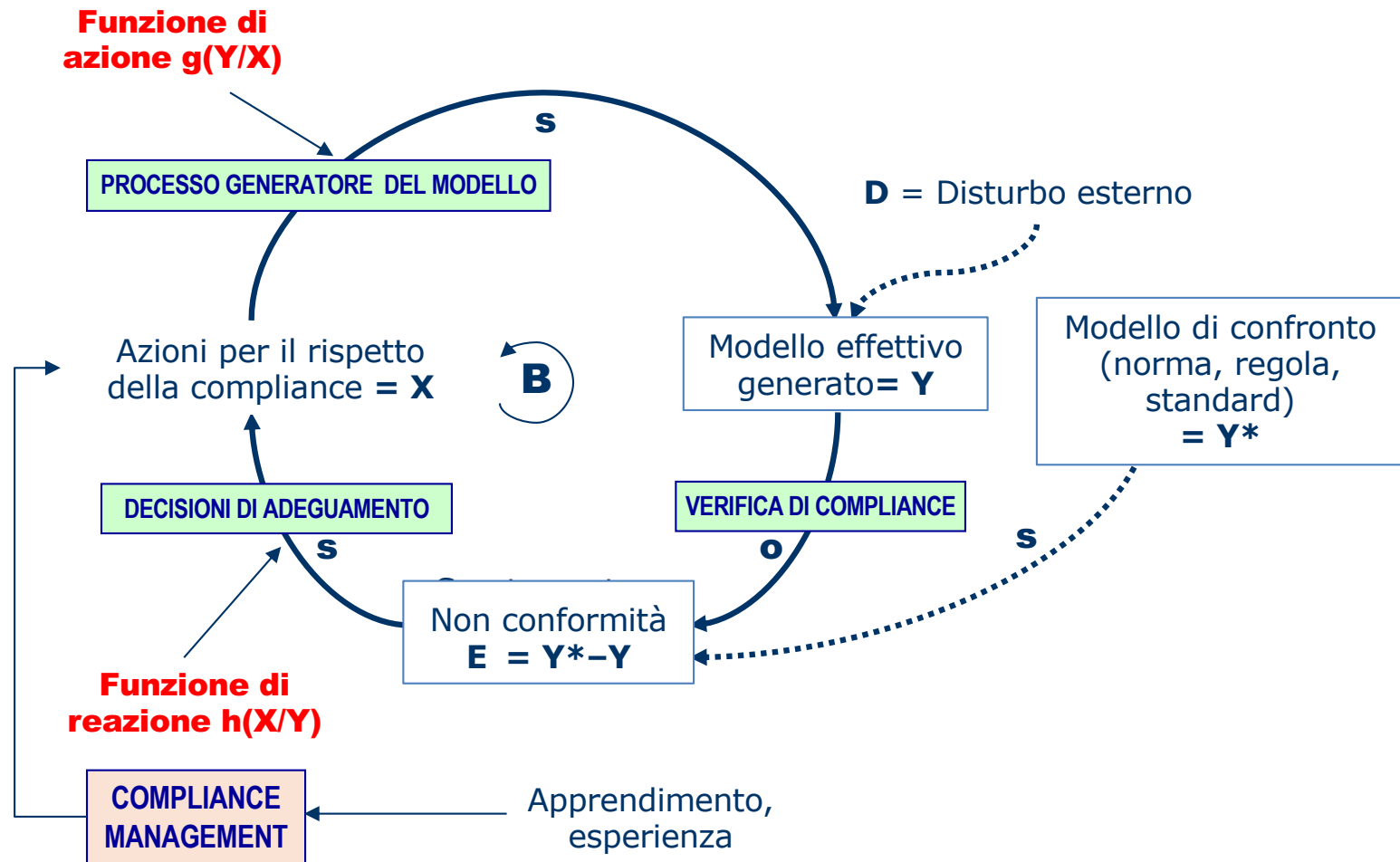
Sistemi di controllo nelle «aree» aziendali

Controllo dei rischi [Hopkin, (2018)]



Sistemi di controllo nelle «aree» aziendali

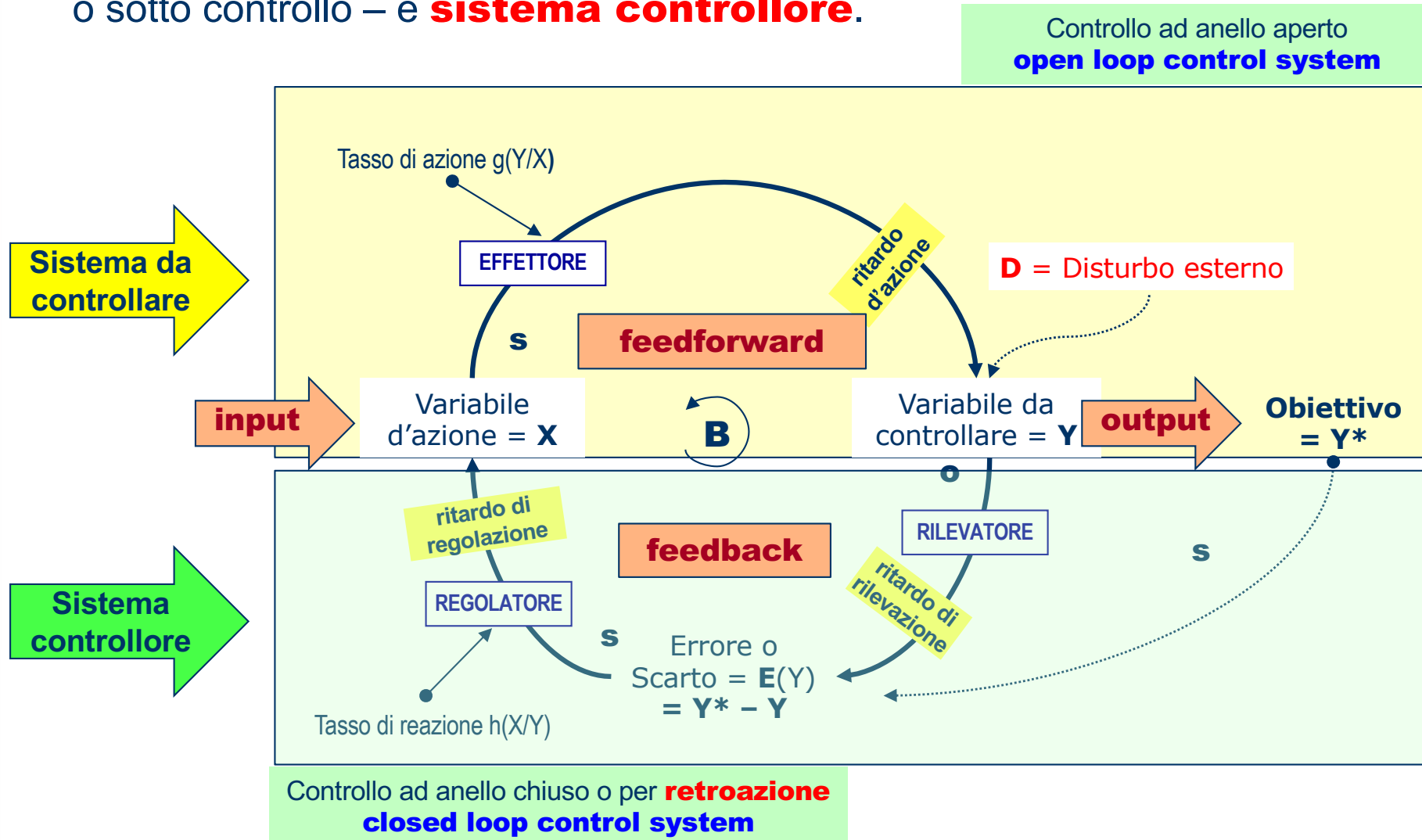
Controllo della compliance [Green and Welsh 1988]





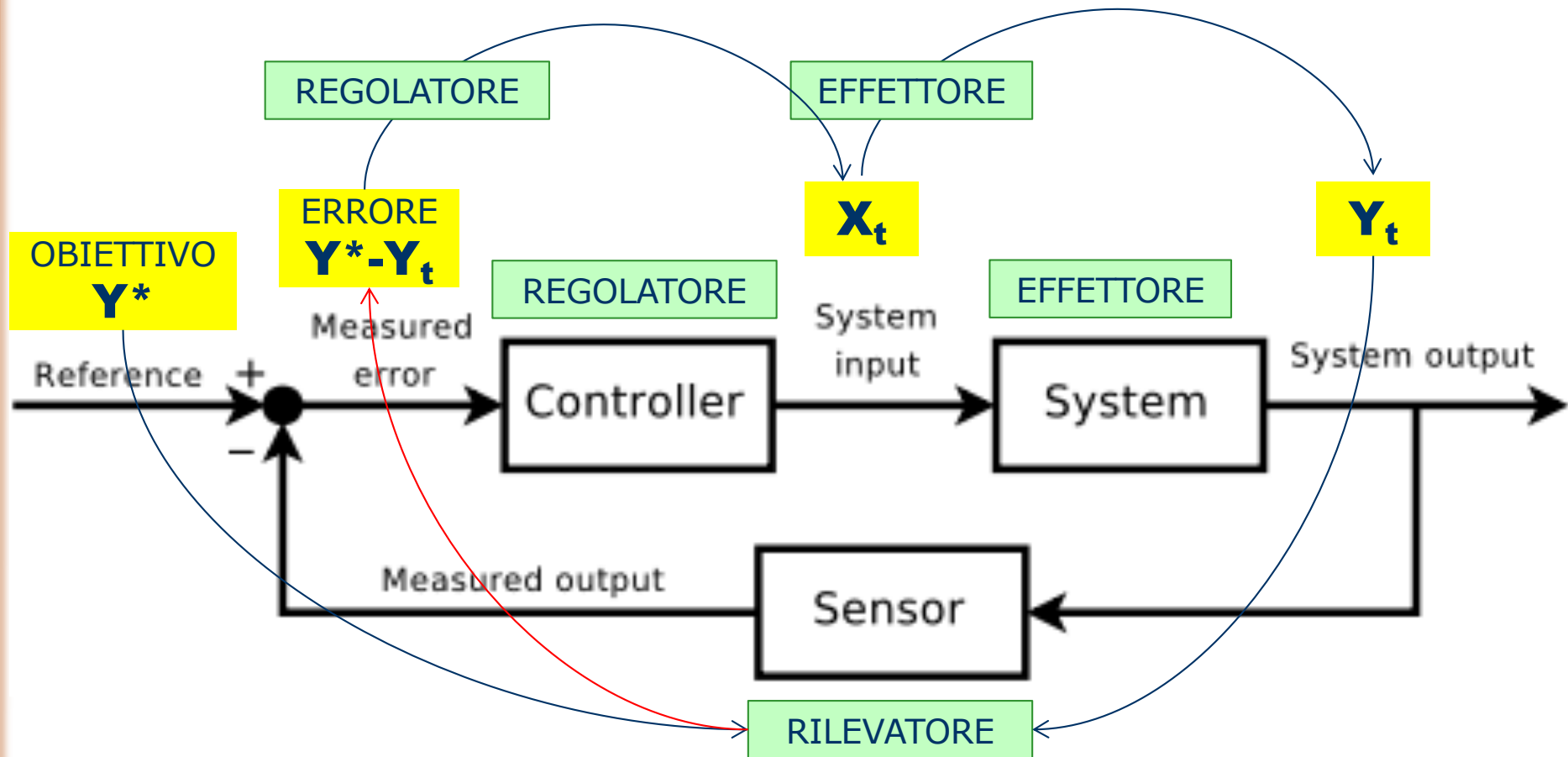
Interpretazione ingegneristica Sistemi da Controllare e Controllori Controllo ad anello aperto o chiuso

- Nella **visione ingegneristica** si distingue tra **sistema da controllare** – o sotto controllo – e **sistema controllore**.





Equivalenza tra il modello «Ring» e il Modello ingegneristico



Testi citati in questa “Lezione 2”

- Arbib, M. A. (1987). Feedback and feedforward. <http://www.answers.com/topic/feedback-and-feedforward>
- Clark, A. (1989). *Microcognition: Philosophy, Cognitive Science, and Parallel Distributed processes*. Bradford Book, The MIT Press, Cambridge, London.
- Demartini, C. (2014). *Performance management systems. Design, diagnosis and use*. New York: Springer.
- Green, S. G., & Welsh, M. A. (1988). Cybernetics and dependence: Reframing the control concept. *Academy of management review*, 13(2), 287-301.
- Hopkin, P. (2018). *Fundamentals of risk management: understanding, evaluating and implementing effective risk management*. Kogan Page Publishers.
- Kabir, G., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2014). A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 10(9), 1176–1210.
- Lauer, T. (2010). *Change management*. Springer Berlin Heidelberg.
- Nickols, F. (2011). Change management as problem finding and problem solving. www.odnetwork.org/publications/seasonings/samples/article_nickols.php
- Otley, D. (1999). Performance management: A framework for management control systems research. *Management Accounting Research*, 10(4), 363–382.
- Proctor, T. (1999). *Creative problem solving for managers*. New York: Taylor & Francis.
- Simon, H. A., & Associates. (1986). *Decision making and problem solving*. Washington, DC: National Academy of Sciences, National Academy Press. <http://dieoff.org/page163.htm>
- Simons, R. (1995). *Levers of control: How managers use innovative control systems to drive strategic renewal*. Boston: Harvard Business School Press.
- Wiener N. (1968), *La cibernetica*. Il Saggiatore, Milano (ed. originale, Wiener, 1948).

FINE della LEZIONE 2



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

Corso Breve di Teoria del Controllo

Lezione 2

Appendice 2

Tipologia ed Esempi di sistemi di controllo a una leva, con simulazioni

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

Piero Mella

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

Aula Foscolo, Palazzo Centrale
Università di Pavia - Italy

Vol. 13-4/2022 - DOI: 10.13132/2038-5498/13.4.897-935

Cite as: Mella, P. (2022). Corso Breve di Teoria del Controllo. Lezione 1. - APPENDICE 2. Tipologia ed Esempi di sistemi di controllo a una leva, con simulazioni. *Economia Aziendale online*, 13(4), 897-935.

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

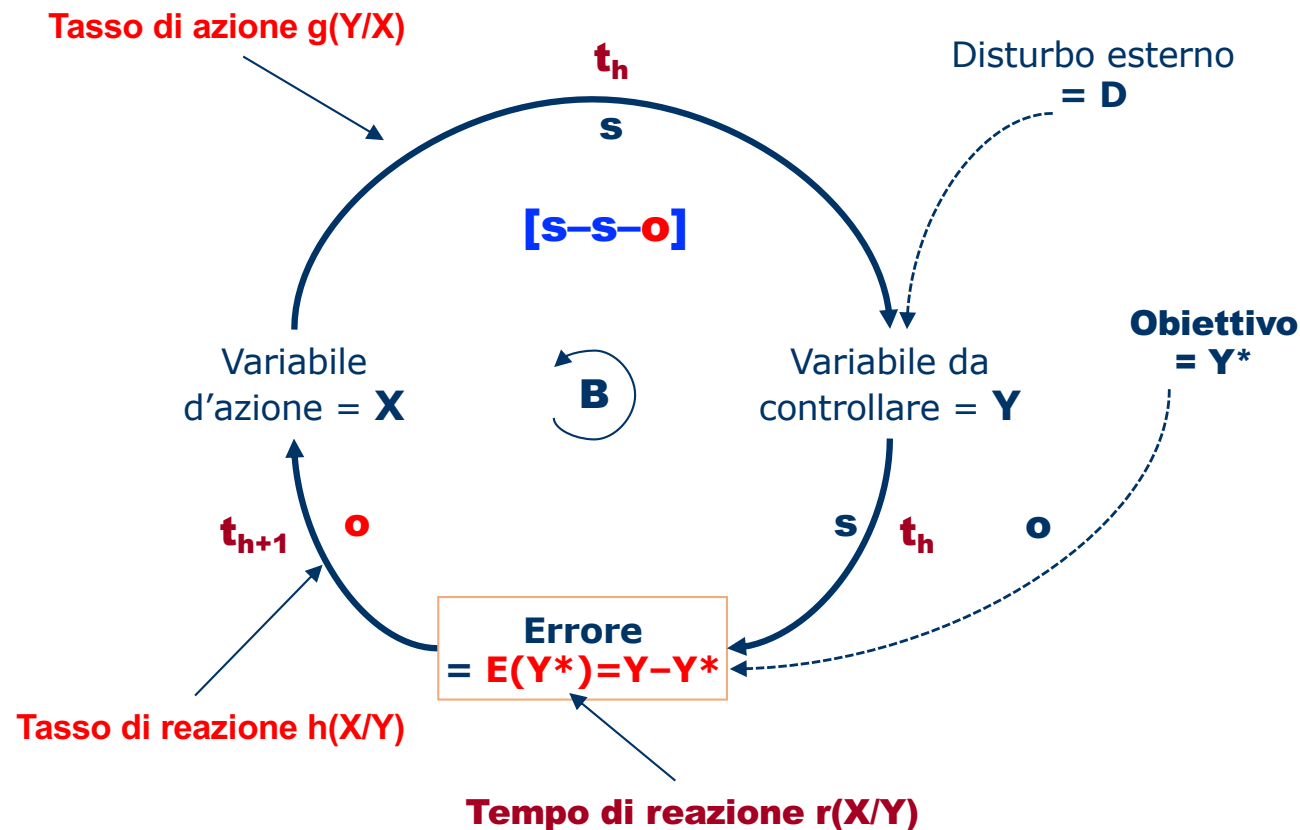


Prima variante dal modello generale

Sistemi [s-s-o]



- Il modello della pagina precedente è del tipo [s-o-s], in quanto l'Errore è calcolato assumendo come minuendo l'obiettivo: $E(Y) = Y^* - Y_t$.
- Come indicato nella Lezione 2, a Pagina 863, lo scostamento può essere calcolato anche invertendo gli addendi: $E(Y^*) = Y_t - Y^*$. In questo caso, il modello diventa [s-s-o].



Se X aumenta allora Y aumenta [senso «s»].
 Se Y aumenta, allora E aumenta [senso «s»].
 Se E aumenta allora X diminuisce [senso «o»].
 Il loop di bilanciamento risulta del tipo [s-s-o]

A parte il modo di calcolare l'Errore, il sistema di controllo presenta dinamiche del tutto analoghe a quelle della forma canonica

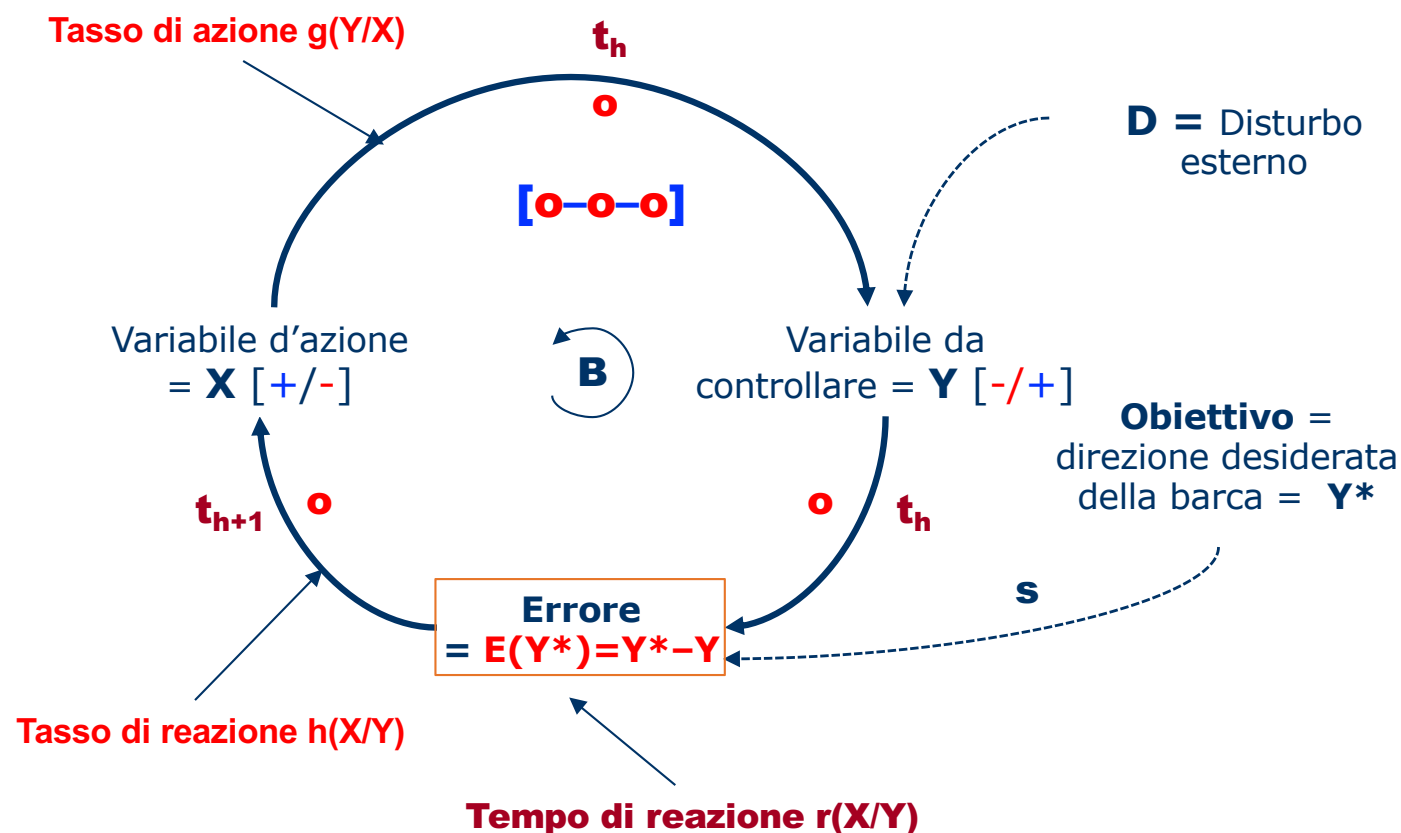


Seconda variante dal modello generale

Controllo inverso e Sistemi [o-o-o]

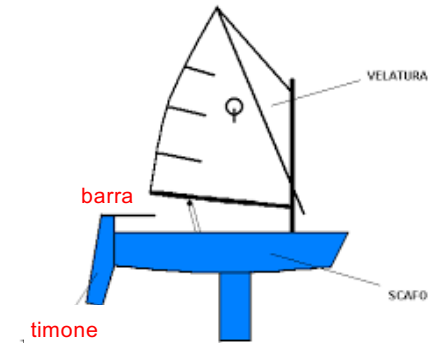


- Una notevole variante è quella del **sistema di controllo inverso** nel quale tra **X** e **Y** vi è un legame causale di senso «o». Ciò implica che **sia** tra **Y** ed **E** **sia** tra **E** ed **X** debba necessariamente esservi un legame causale di senso «o».
- Il **sistema di controllo inverso** appare, pertanto, come un loop di tipo [o-o-o].



Se **X** aumenta allora **Y** diminuisce [senso «o»].
 Se **Y** diminuisce, allora **E** aumenta [senso «o»].
 Se **E** aumenta allora **X** diminuisce [senso «o»].
 Il loop di bilanciamento risulta del tipo [o-o-o].





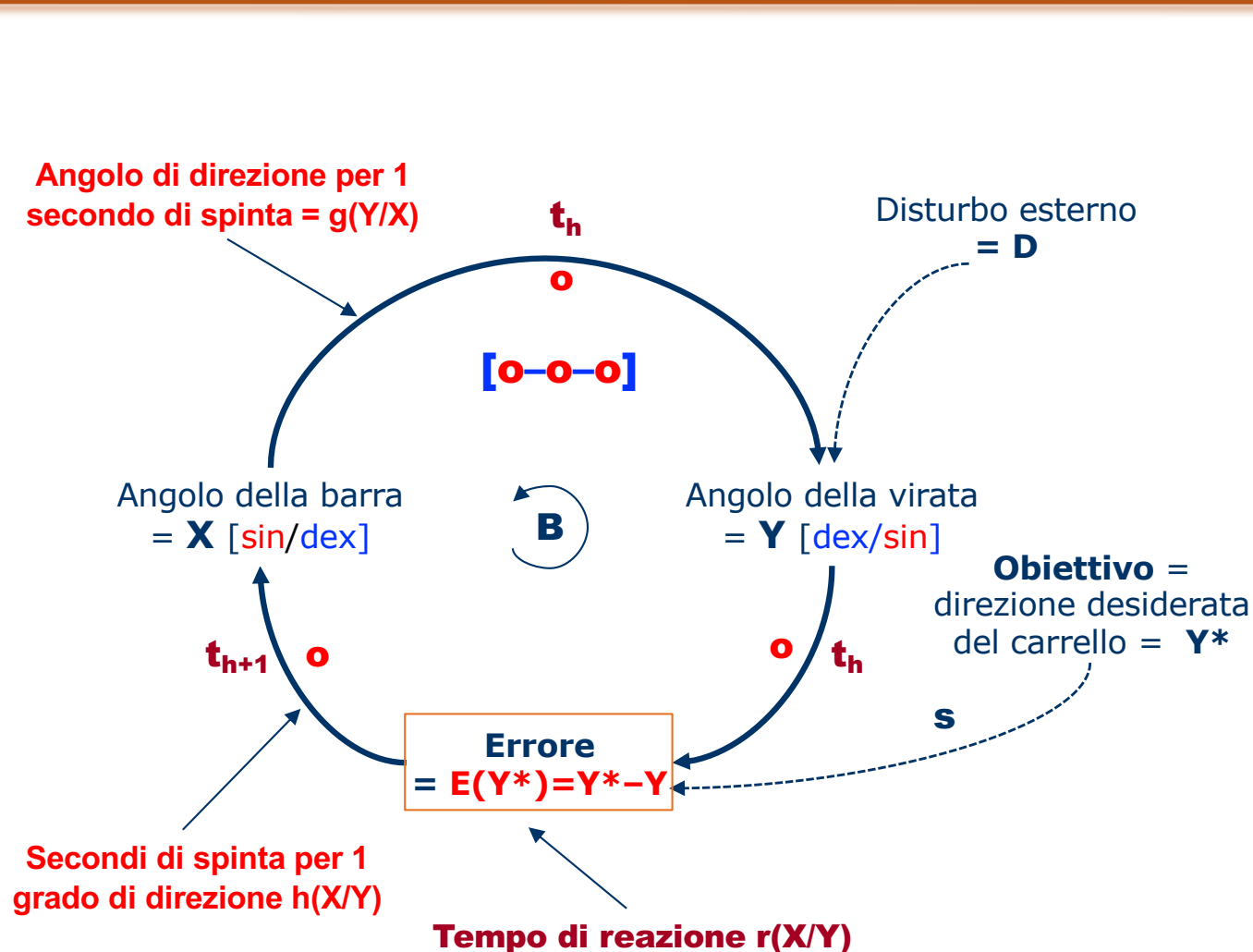
Il **controllo inverso** si osserva nella guida delle barche con **timone a barra**. Se la barca deve navigare in linea retta, allora la barra del timone è posizionata «al centro». Per la virata a **sinistra**, la barra del timone deve ruotare a **destra** e viceversa se la virata deve essere a destra.

L'ampiezza della rotazione della barra dipende da quella della virata. Attuata la virata per l'angolo desiderato, la barra del timone è riposizionata «al centro».



Esempio 1 - Sistema di Controllo inverso

Carrello del supermercato



Se dobbiamo orientare a **destra** il **carrello al supermercato**, spingiamo con le mani sul lato **sinistro** della **barra**. Spingiamo con le mani la **barra a destra** se vogliamo che il carrello si orienti **a sinistra**. Se anziché spingere, **tirassimo** i lati della barra, otterremo lo stesso risultato: tirare la barra da un lato equivale a spingerla dall'altro. L'**angolo di direzione** cambia in proporzione al **tempo di spinta** esercitato sulla barra



Tipologia dei sistemi di controllo

Sistemi manuali e cibernetici



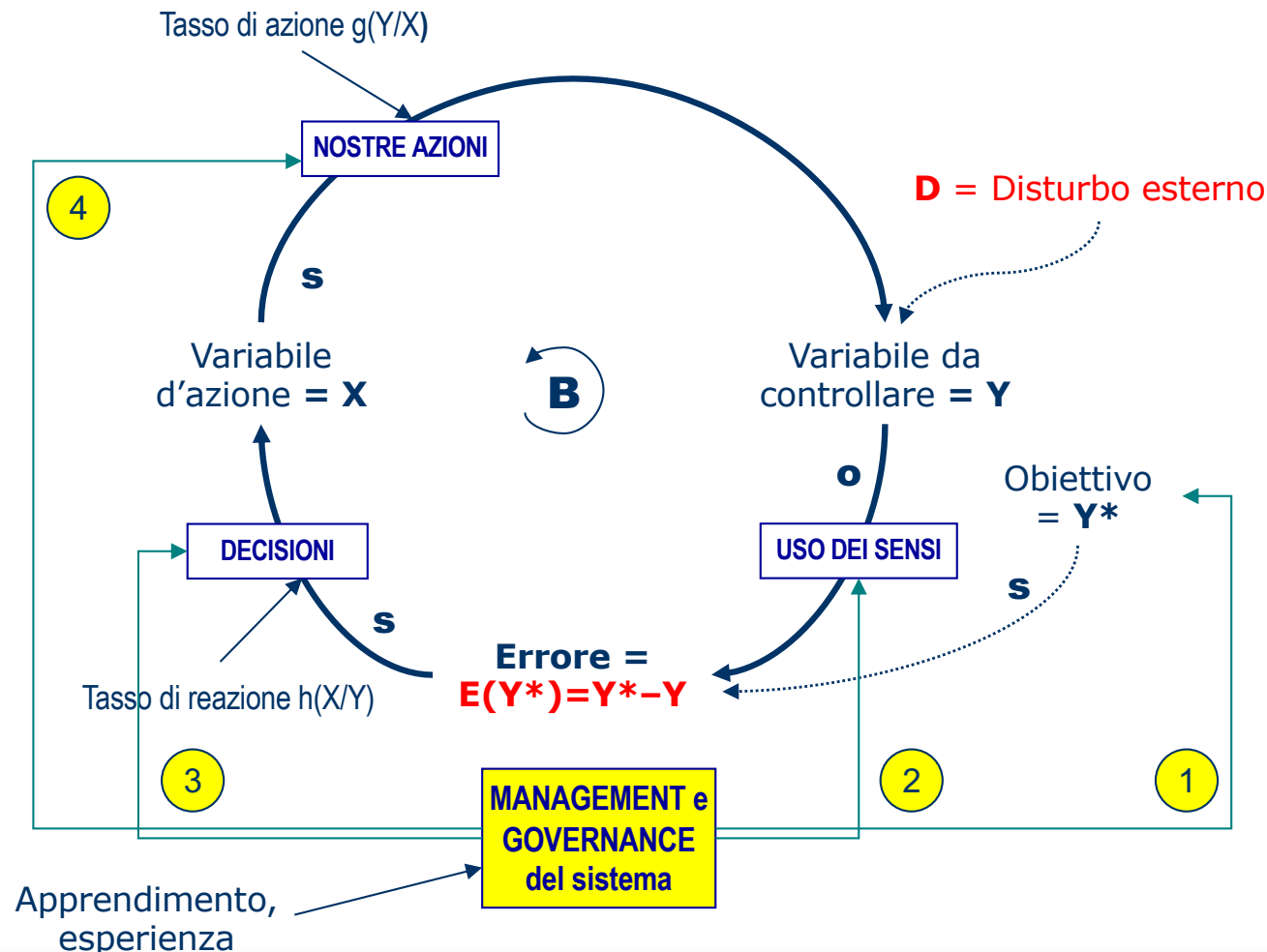
- **Nell'ambito del modello generale, si possono individuare due grandi classi di sistemi:**
 - **Sistemi a Controllo manuale – Per un osservatore esterno**, si definisce **manuale** o **non automatico** un **sistema di controllo** che operi **per tentativi**, in una successione di calcoli, decisioni, azioni e rilevazioni condotti **con interventi umani**, cioè dal **manager**. **Sono solitamente artificiali**, costruiti, in tutto o in parte, dall'uomo.
 - **Sistemi a Controllo automatico** o «**cibernetici**» – **Per un osservatore esterno**, si definisce **automatico** un Sistema di Controllo capace **di auto-funzionamento**, tramite una catena di controllo formata da **apparati meccanici, biologici o sociali** che si avviano e funzionano senza l'intervento di un **manager**. Sono in gran parte **automatici** i sistemi **naturali** e molti **sistemi artificiali**.
 - In effetti una gran varietà di sistemi, sia in tecnologia che nella natura vivente, segue lo schema retroattivo, ed è ben noto che, appunto per poter trattare questi fenomeni, Norbert Wiener ha introdotto la nuova disciplina della cibernetica. La teoria tenta di dimostrare che i meccanismi di natura retroattiva costituiscono la base del comportamento teleologico, ovvero dotato di fini, sia nella macchine costruite dall'uomo che negli organismi viventi e nei sistemi sociali (von Bertalanffy, 1971, p. 81).
 - Abbiamo deciso di chiamare l'intero campo della teoria del controllo e della comunicazione sia nella macchina che negli animali con il nome di cibernetica che deriva dal greco κυβερνήτης [kubernētēs] [così nell'originale] ovvero timoniere (Wiener, 1968, p. 35).



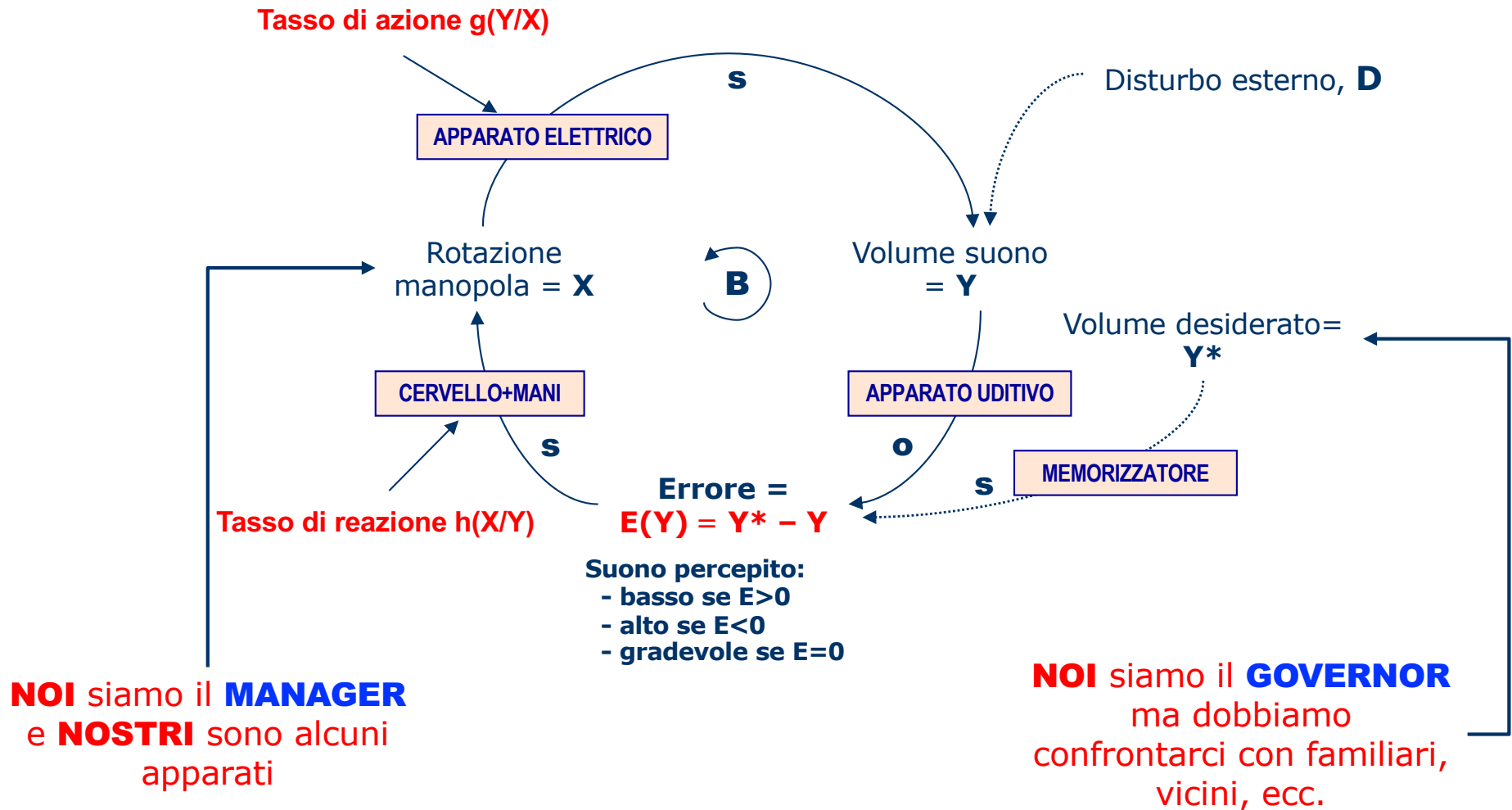
Forme di intervento umano nei Sistemi di Controllo



- La distinzione tra sistemi **manuali** o **automatici** non è semplice, perché l'intervento umano nei Sistemi di Controllo **artificiali** può assumere forme e intensità alquanto differenti come rappresentato dal modello seguente.

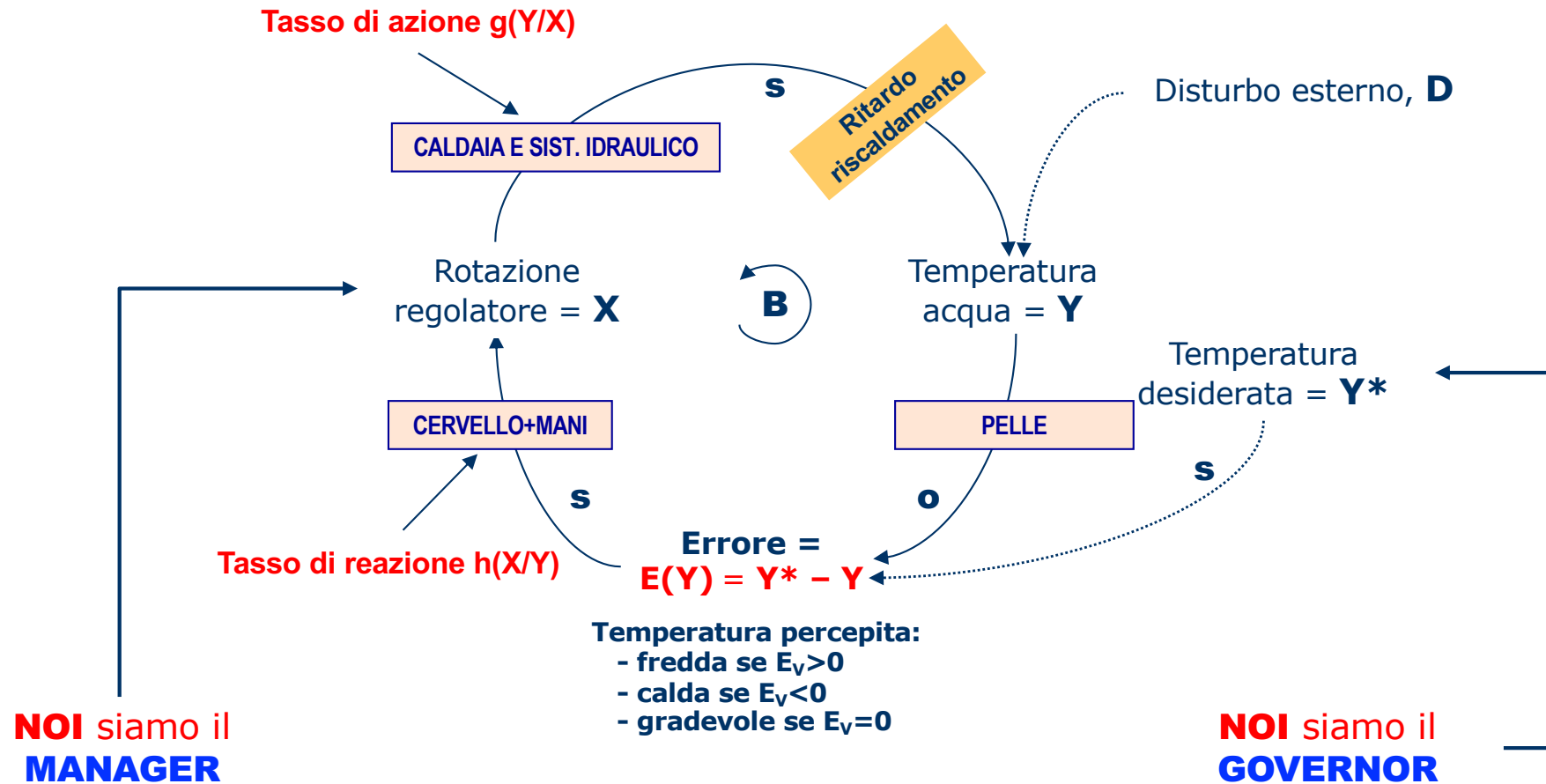


Sistema di controllo manuale Audio



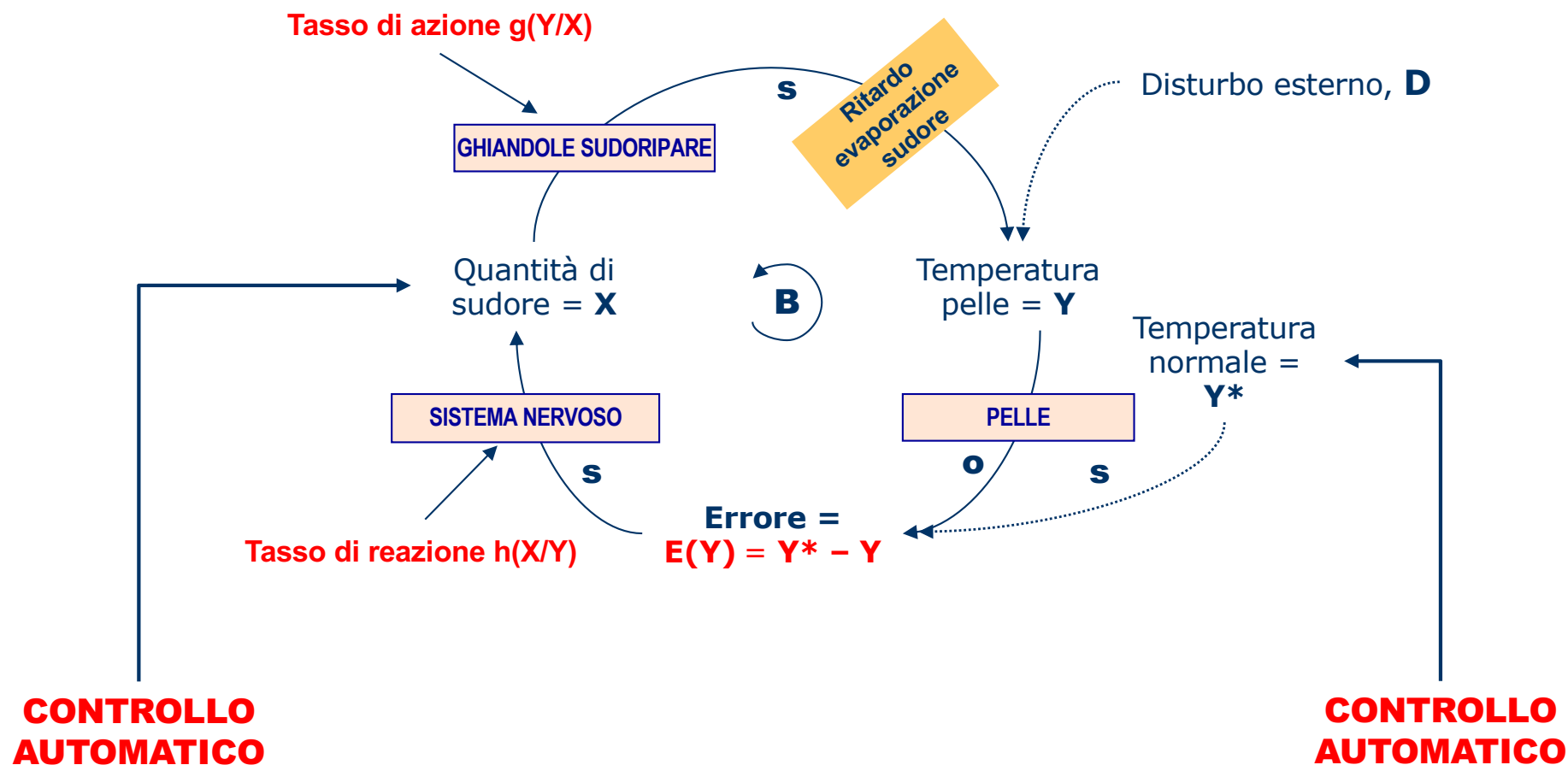
Sistema di controllo manuale

Doccia



Sistema di controllo cibernetico

Temperatura fisiologica con calore esterno



È un esempio di sistema «cibernetico» naturale.
Sudiamo anche senza volerlo.



Tipologia di controllo per natura e tipo di obiettivo

Goal seeking (obiettivo) e Constraint keeping (vincolo, limite)

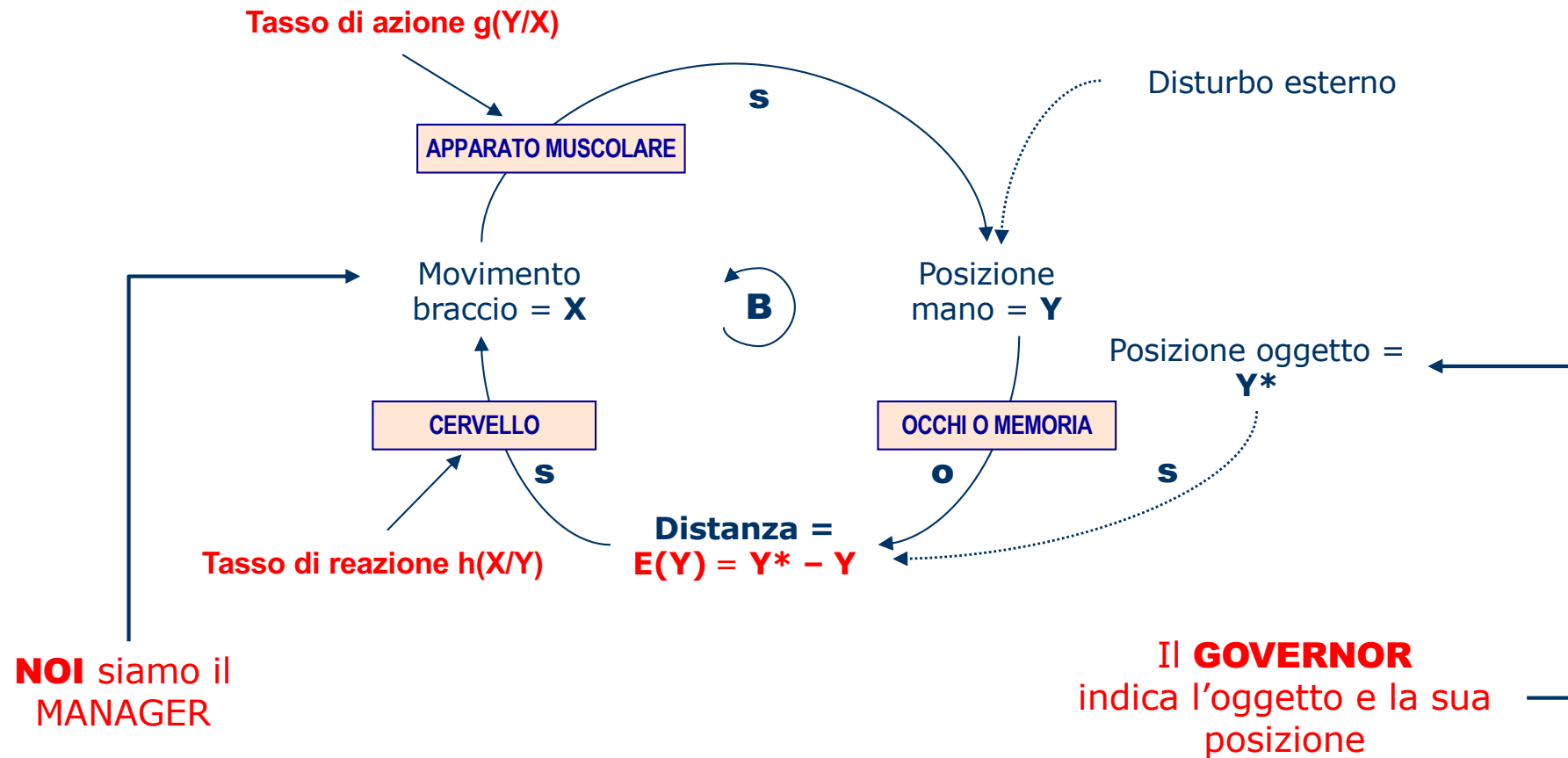


- Nell'ambito del modello generale, a seconda della **natura dell'obiettivo** si possono individuare **due grandi classi** di sistemi di controllo:
 - **Sistemi di Controllo quantitativi** nei quali **Y** è una **quantità misurabile**. Tra essi prevalgono i **Sistemi di raggiungimento** o **“Attainment CSs”**
 - **Sistemi di Controllo qualitativi** (**Y** è una qualità osservabile) tra cui prevalgono i **Sistemi di riconoscimento/identificazione** o **“Recognizing CSs”**
- A seconda del **tipo di obiettivo** si possono individuare **importanti grandi classi** di sistemi di controllo:
 - **Goal seeking** systems, o **sistemi di raggiungimento**, quelli nei quali **Y*** rappresenta un **obiettivo** voluto dalla governance del sistema per esempio conseguire o un **risultato** o raggiungere o mantenere standard di **funzionamento**; in questa classe si possono includere i:
 - **Regulatory systems**, o **sistemi di regolazione**, quelli nei quali **Y*** è un **valore** da mantenere nel tempo.
 - **Tracking Systems** o **Path Systems**, o **sistemi di tracciamento**, o **di percorso**, quelli nei quali **Y*** è una **successione** o **traiettoria di valori**, comunque formata, cui la **Y_t** deve conformarsi.
 - **Constraint keeping** systems quelli nei quali **Y*** rappresenta un **vincolo** o un **limite** da rispettare. Possono anch'essi essere **Regulatory** o **Path Systems**.



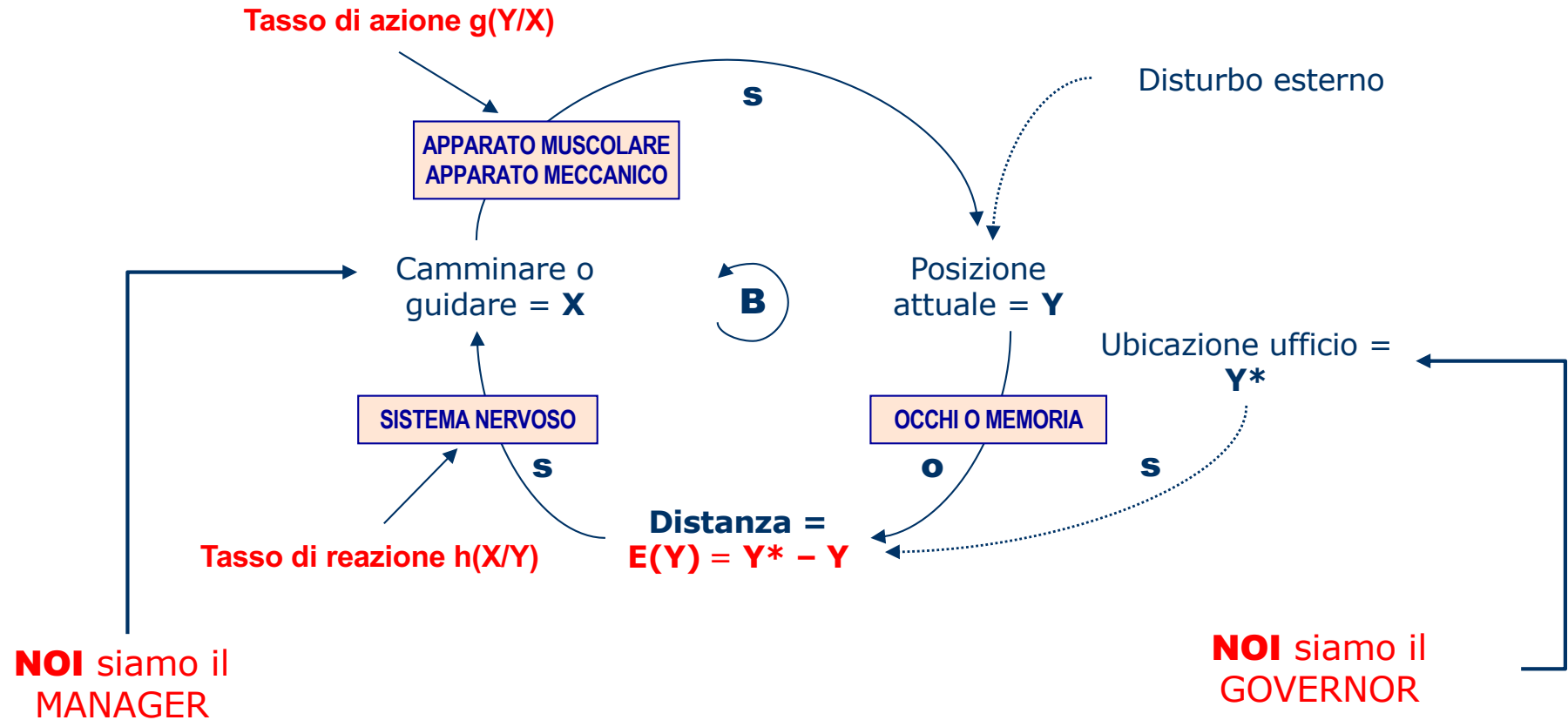
Sistema di Raggiungimento

Afferrare un oggetto

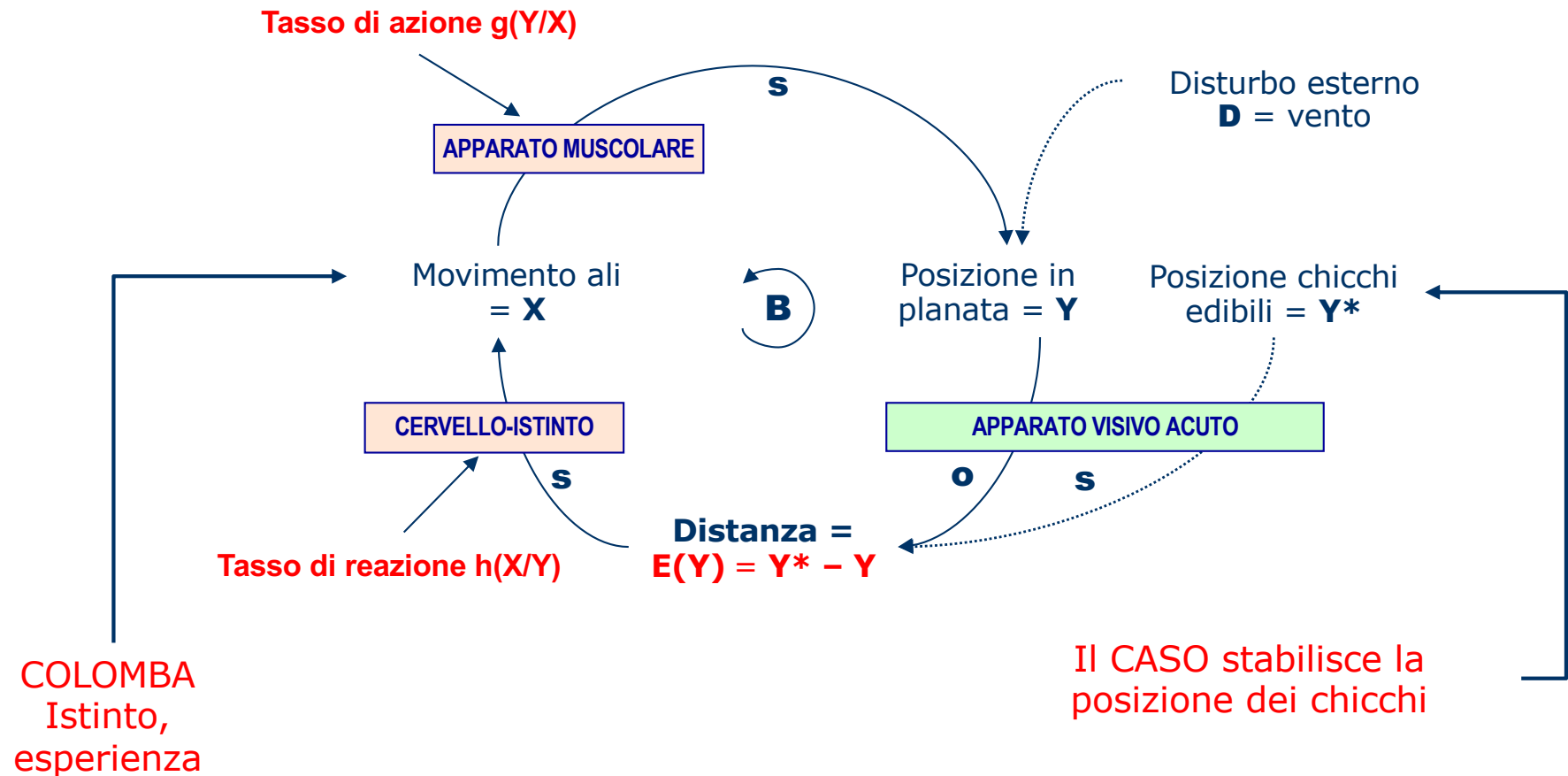


Sistema di Raggiungimento

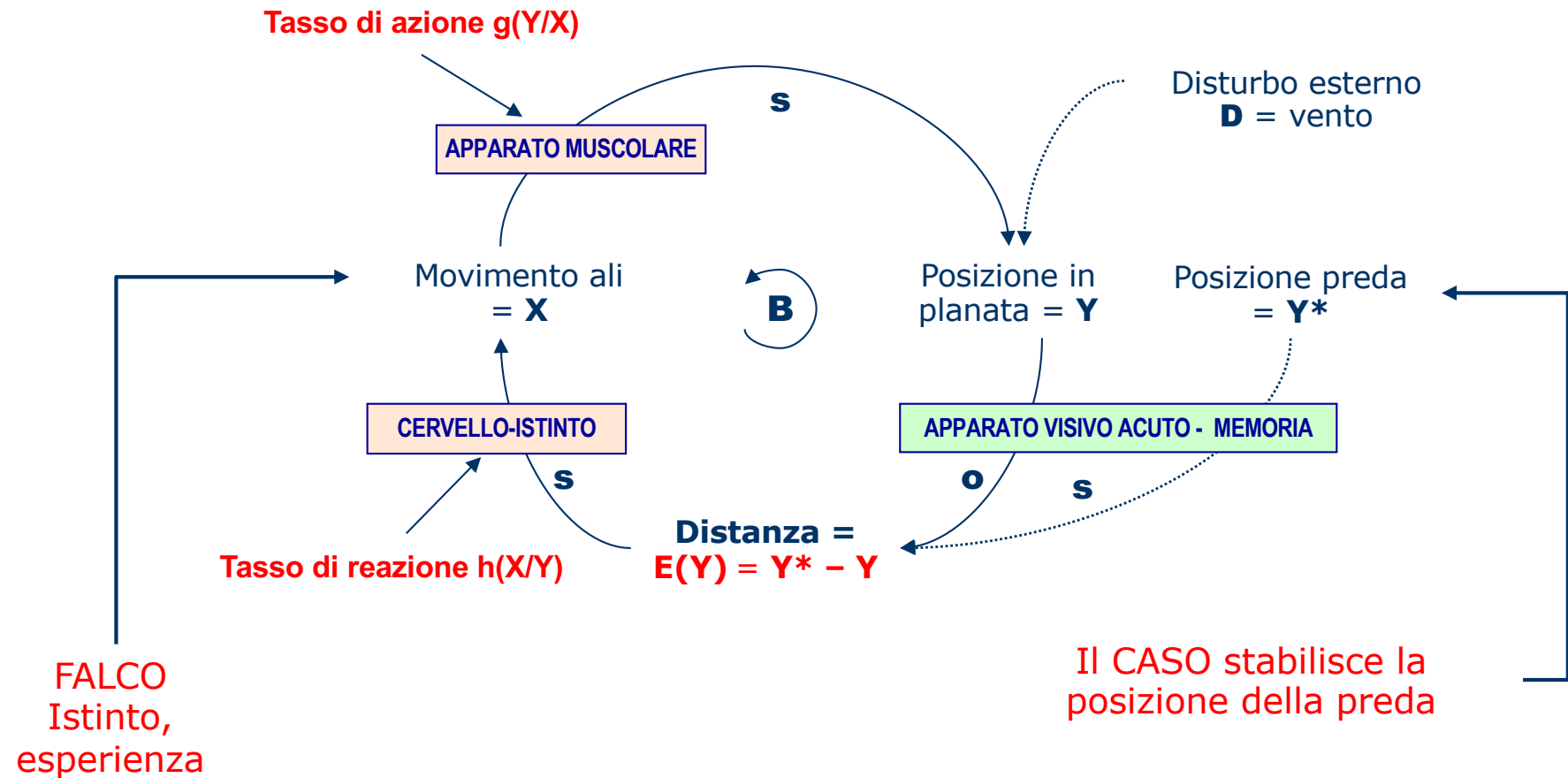
Raggiungere l'ufficio



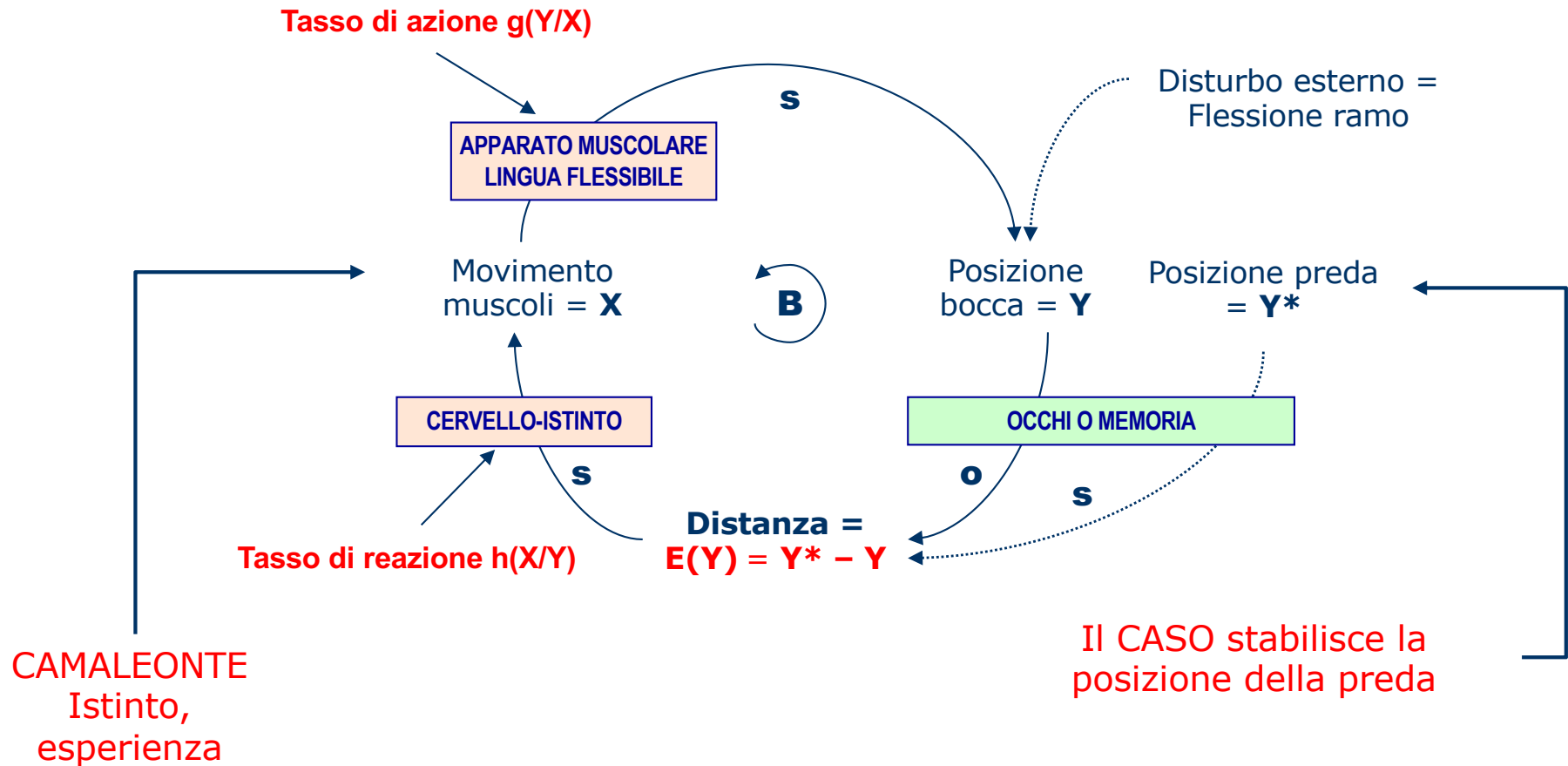
Sistema di Raggiungimento Colomba



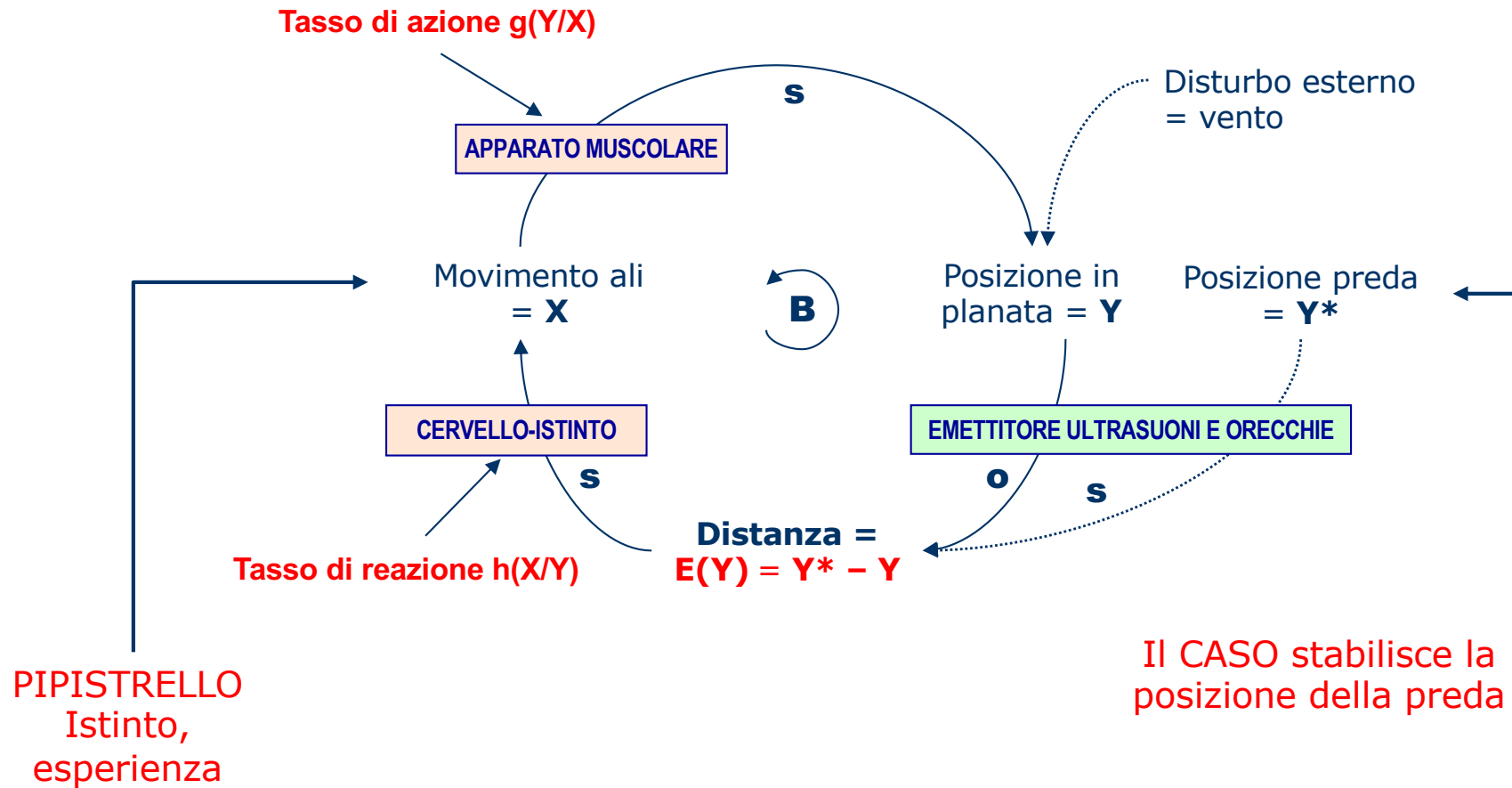
Sistema di raggiungimento Falco



Sistema di raggiungimento Camaleonte

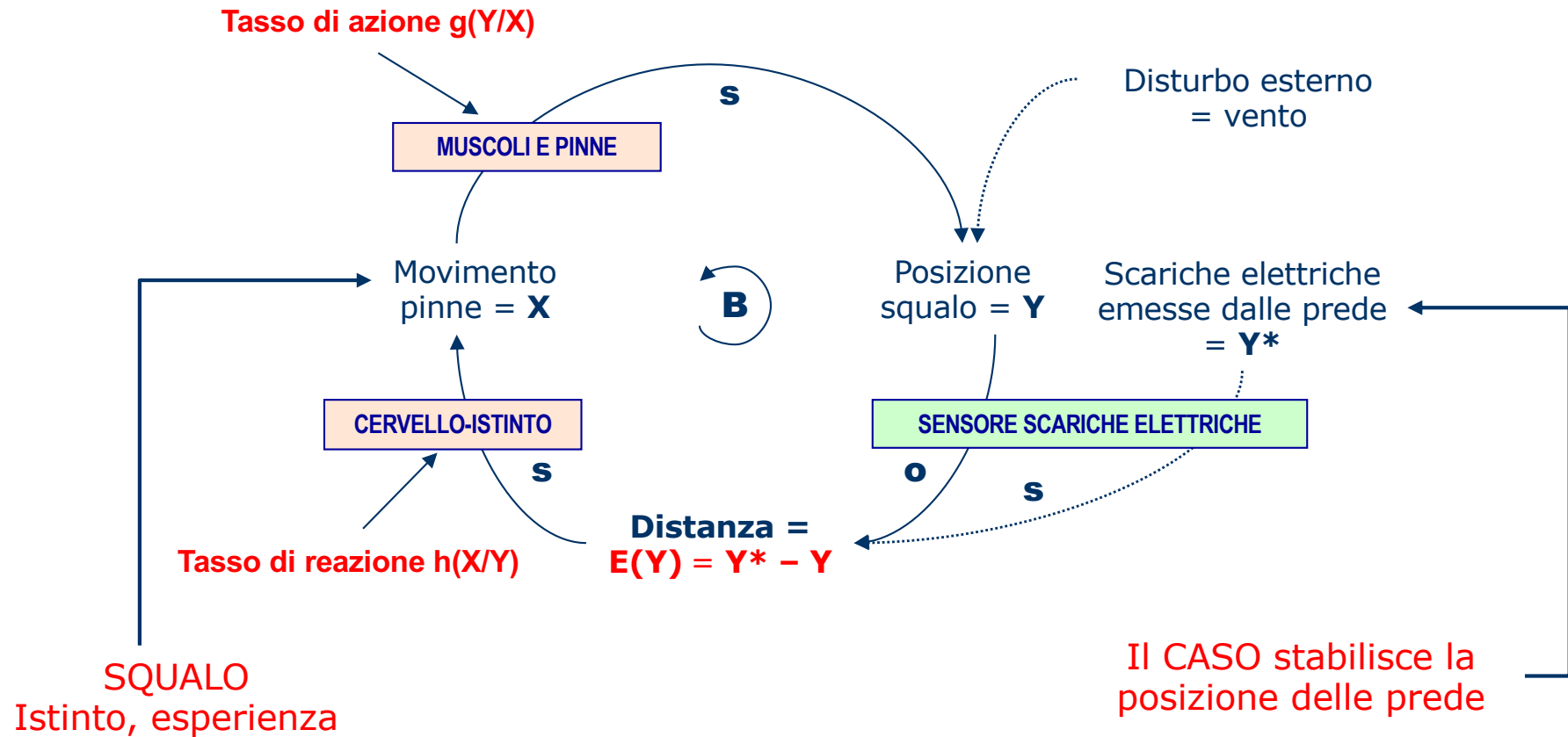


Sistema di raggiungimento Pipistrello



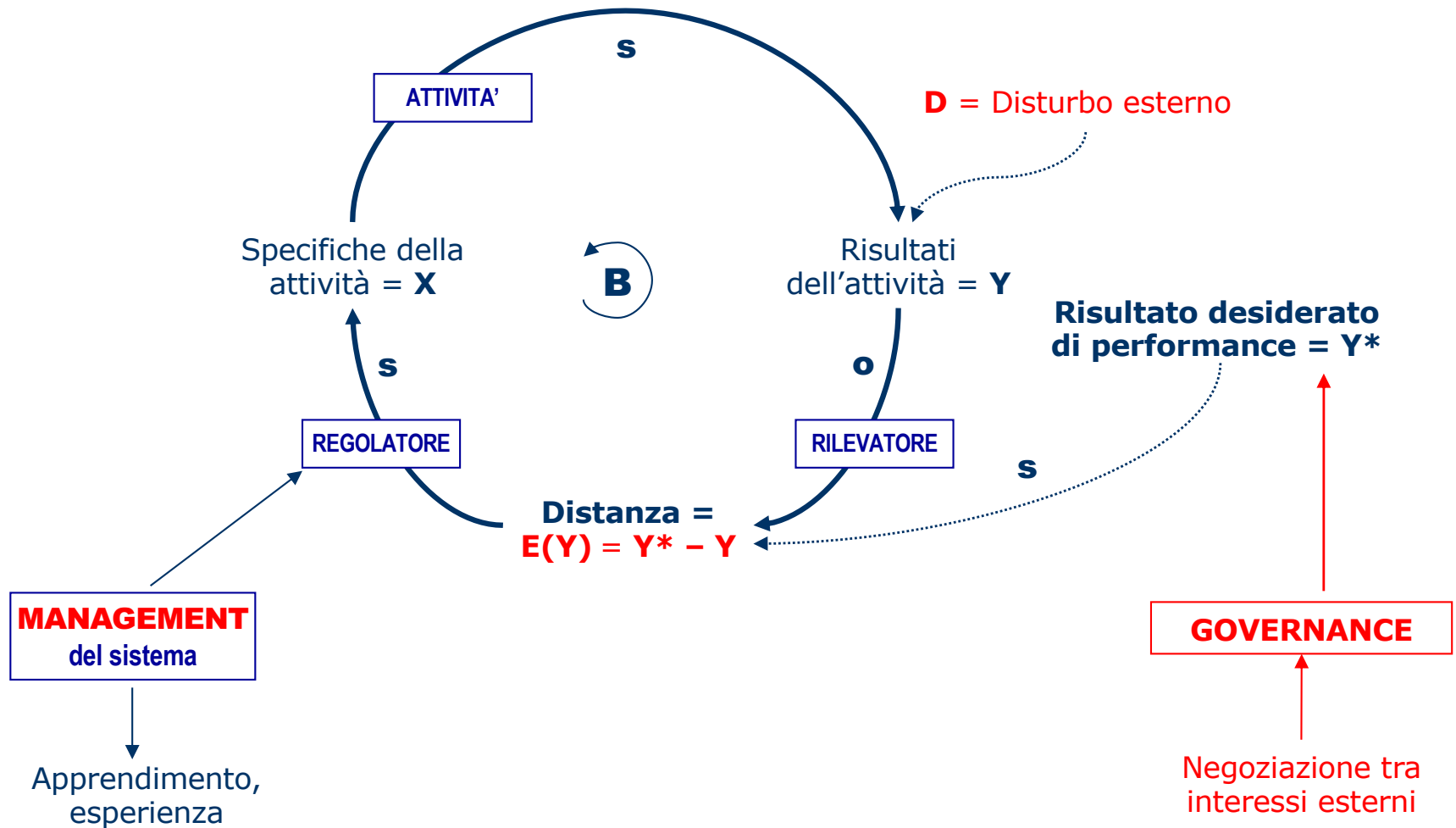
Sistema di raggiungimento

Squalo bianco



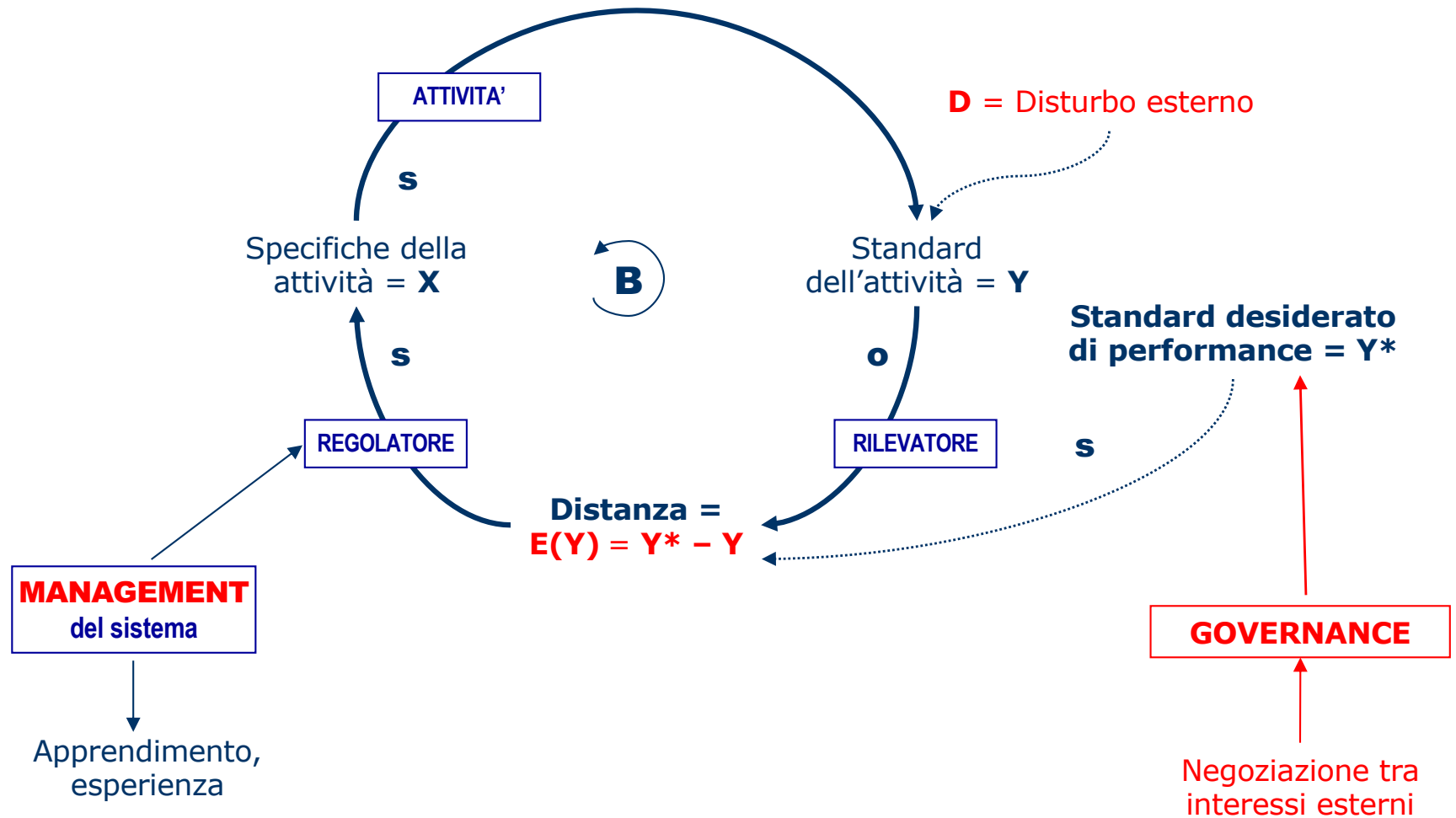
Sistema di Raggiungimento

Risultati di un'attività



Sistema di Raggiungimento

Standard di un'attività



Uno sguardo all'evoluzione biologica dei Sistemi di Controllo



- L'evoluzione biologica ha portato al progressivo miglioramento dei Sistemi di Controllo della vita mediante un progressivo miglioramento degli **apparati biologici** della catena di controllo degli esseri viventi.
 - Evoluzione degli **effettori** e, in particolare di:
 - Apparati di movimento (arti, pinne, ecc.)
 - Apparati per afferrare (denti, becco, mani, chele, ecc.)
 - Evoluzione dei **rilevatori** e, in particolare di:
 - Apparati sensori tattili, olfattivi, uditivi, visivi, e molti altri ancora
 - Apparati di memorizzazione (evoluzione del cervello)
 - Evoluzione dei **regolatori** e, in particolare dei regolatori coscienti (cervello, da reattivo a capacità decisionali attive).
- **Tutti gli esseri viventi devono nutrirsi ma raggiungono il cibo in forme diverse:**
 - Viventi il cui nutrimento è un **obiettivo fisso** (viventi che si nutrono di vegetali o di animali che non si muovono)
 - Viventi il cui nutrimento è un **obiettivo dinamico** (viventi che si nutrono di prede animali che si muovono per sfuggire al predatore)
 - Viventi il cui cibo è un **flusso casuale** (che non si spostano e attendono che il cibo arrivi a loro: vegetali, molti animali acquatici)
- L'uomo si è evoluto: da **cacciatore** (cibo come obiettivo dinamico, faticoso da raggiungere) è diventato **coltivatore** e **allevatore** (cibo come obiettivo fisso).





“Recognizing CSs”

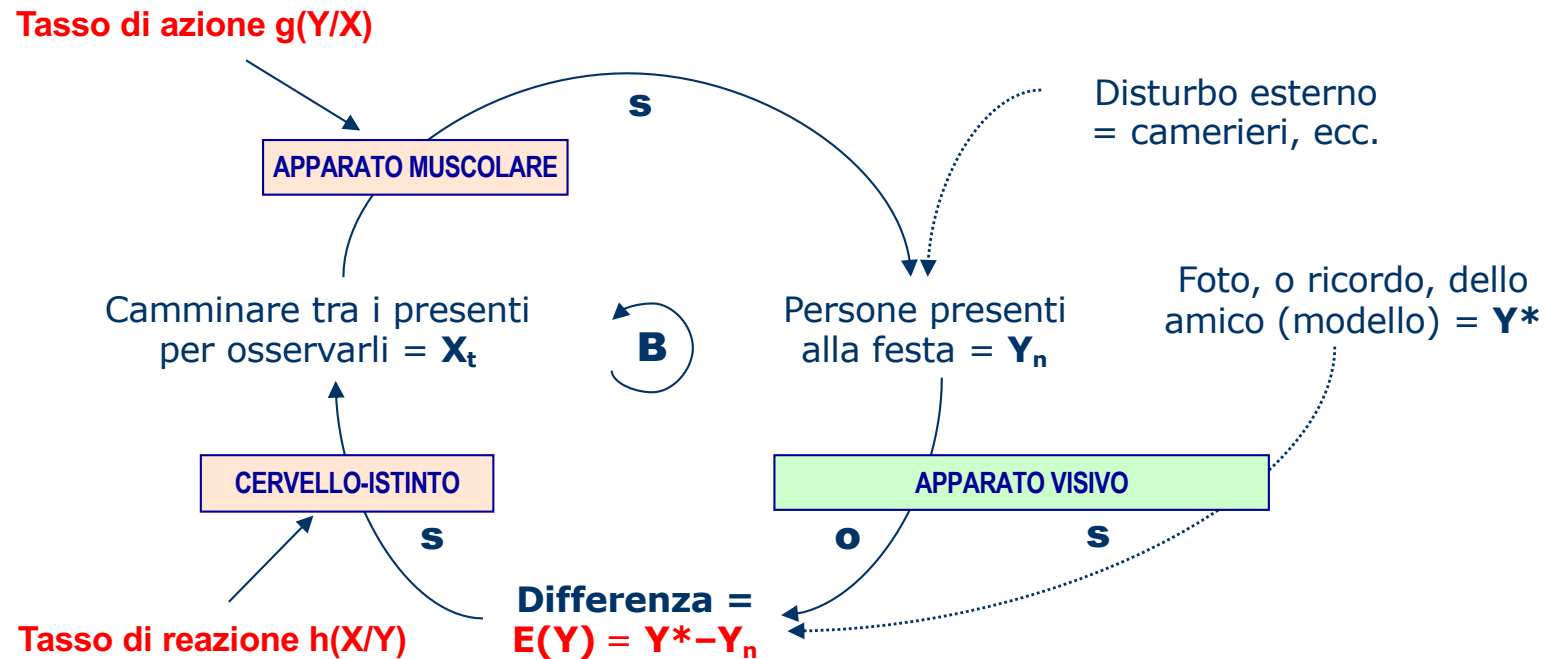
Sistemi di Individuazione: Riconoscimento e Identificazione

- Definisco **di individuazione** un Sistema di Controllo qualitativo che consente di **riconoscere** o di **identificare** un oggetto.
 - Di norma **il riconoscimento** risponde alla domanda **“DOV’È?”** l’oggetto che si vuole riconoscere?
 - Di norma **l’identificazione** risponde alla domanda **“COS’E’?”** l’oggetto che si vuole riconoscere?
- **Riconoscimento:**
 - Y^* = «un **modello**» del quale dobbiamo individuare **l’oggetto da riconoscere**
 - Y_t = «un insieme di **oggetti**» che si possono osservare per **riconoscere** quello corrispondente al modello. **«DOV’E? l’oggetto?»**
- **Identificazione:**
 - Y^* = «un **oggetto** da identificare»
 - Y_t = «un insieme di **modelli**» tra i quali vi è quello corrispondente all’oggetto da identificare. **«CHE oggetto È?»**
- La distinzione non sempre è netta. Preferisco il termine generale:
Individuazione = Riconoscimento o Identificazione



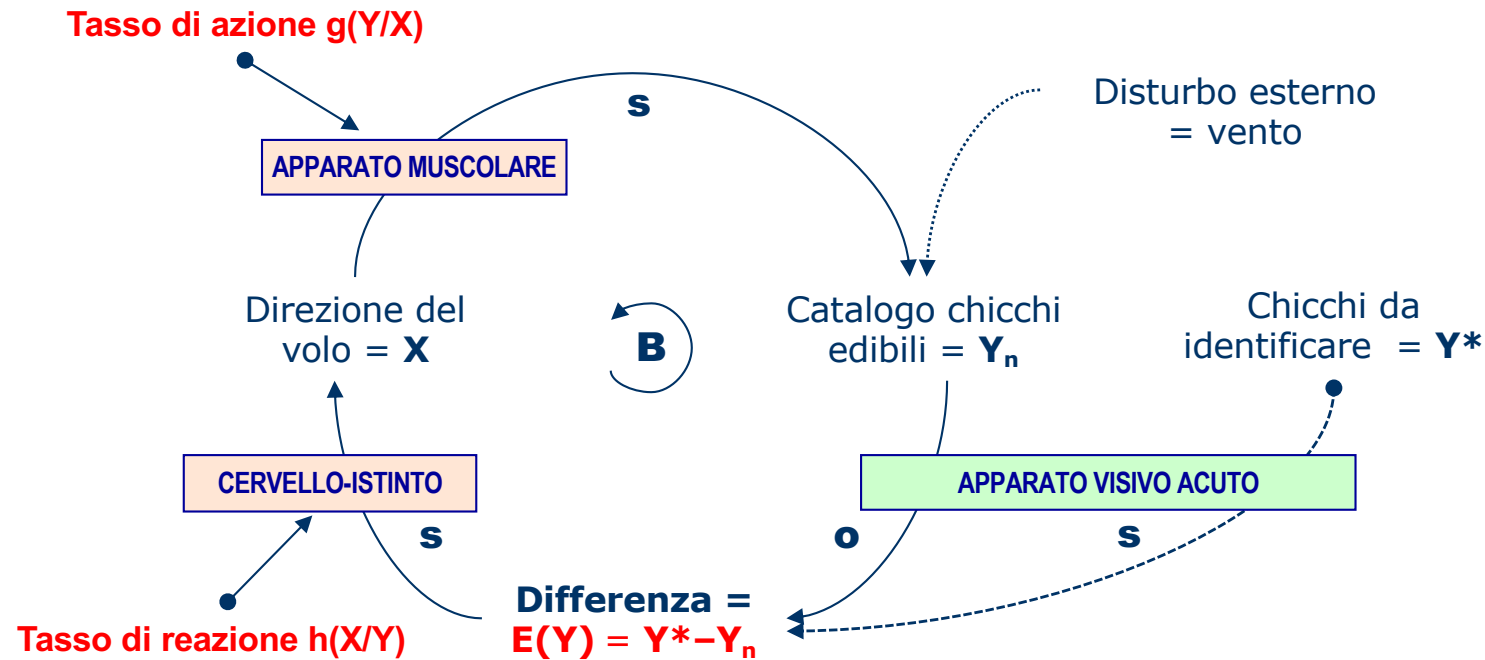
Sistema di Riconoscimento

Riconoscere un Amico alla festa



Sistema di Identificazione

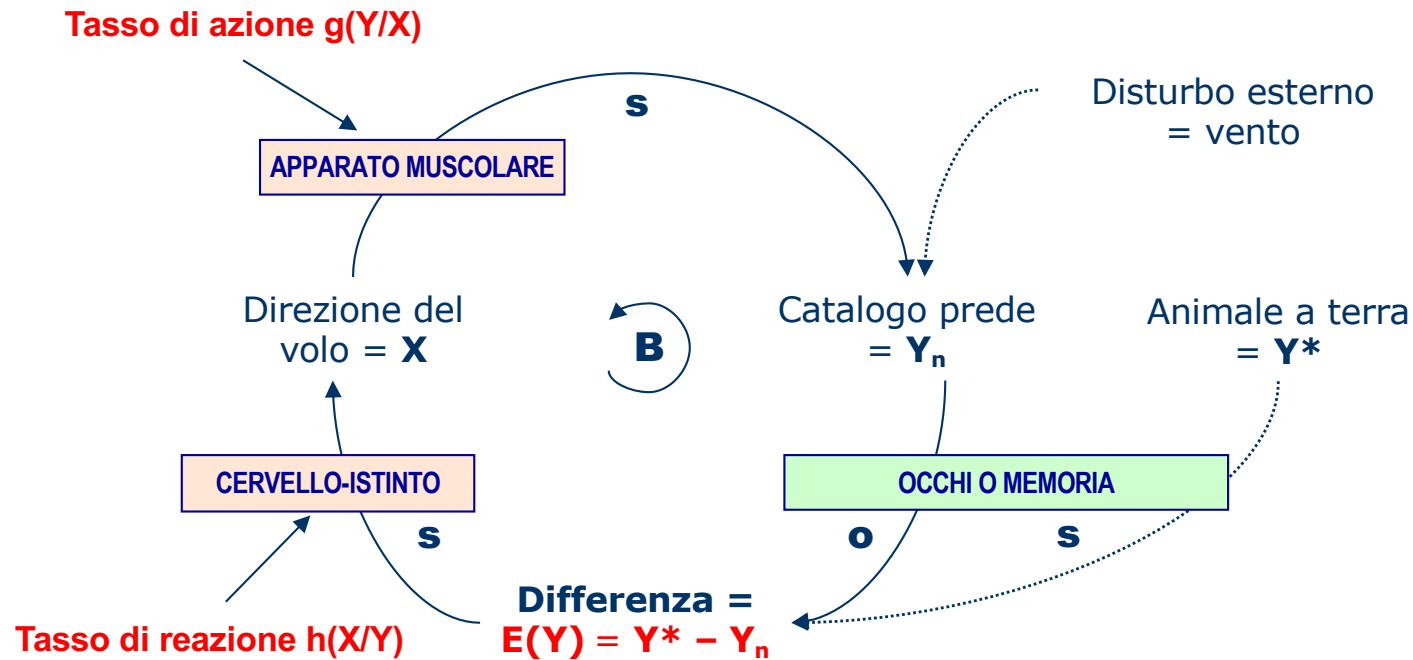
Colomba in cerca di cibo



Normalmente quando si cerca il cibo, alla Identificazione segue il Raggiungimento. Il sistema della **Colomba** è a **obiettivo fisso**.

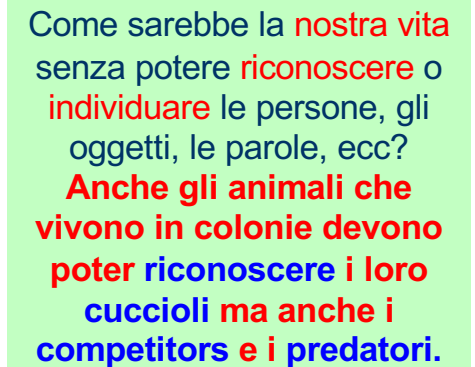


Sistema di Identificazione Falco



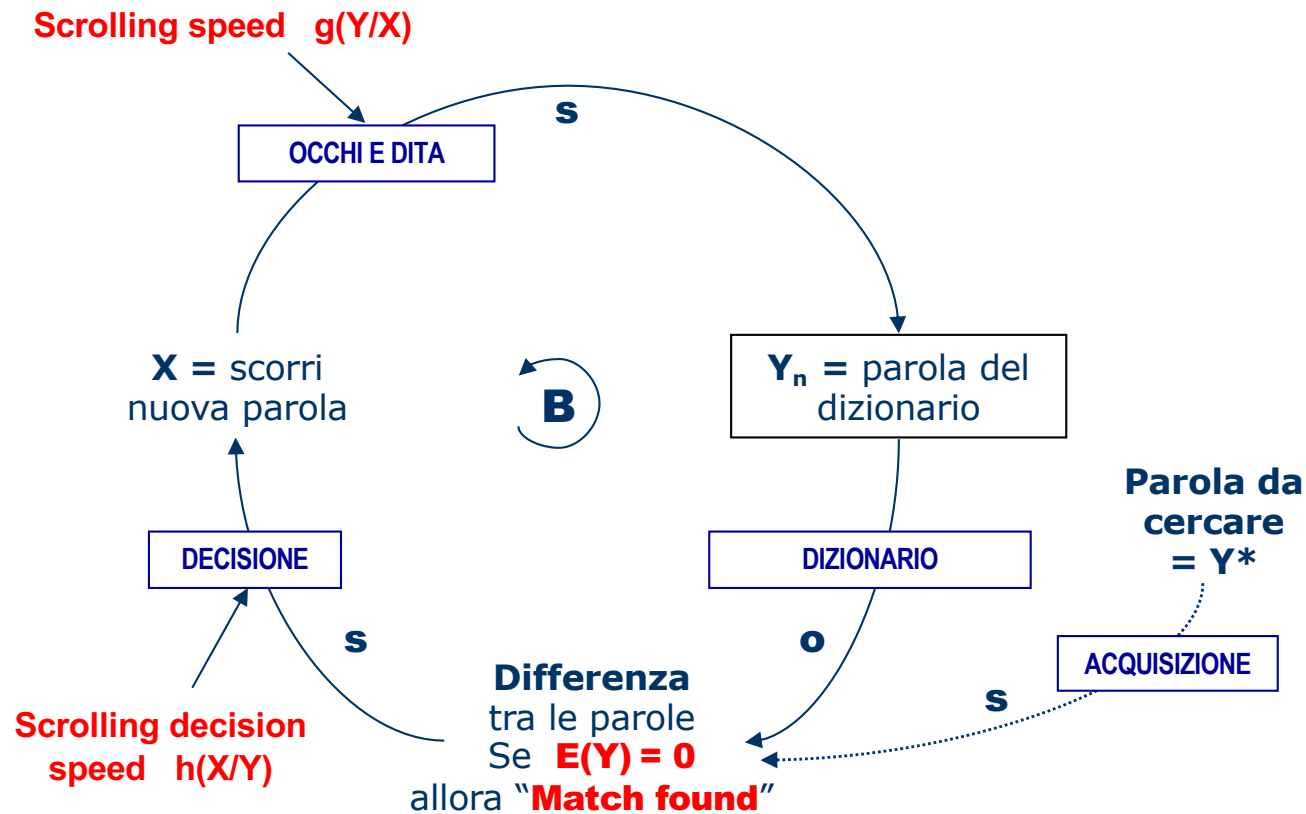
Normalmente quando si cerca il cibo, alla Identificazione segue il Raggiungimento. Il sistema del **Falco** è a **obiettivo dinamico**.





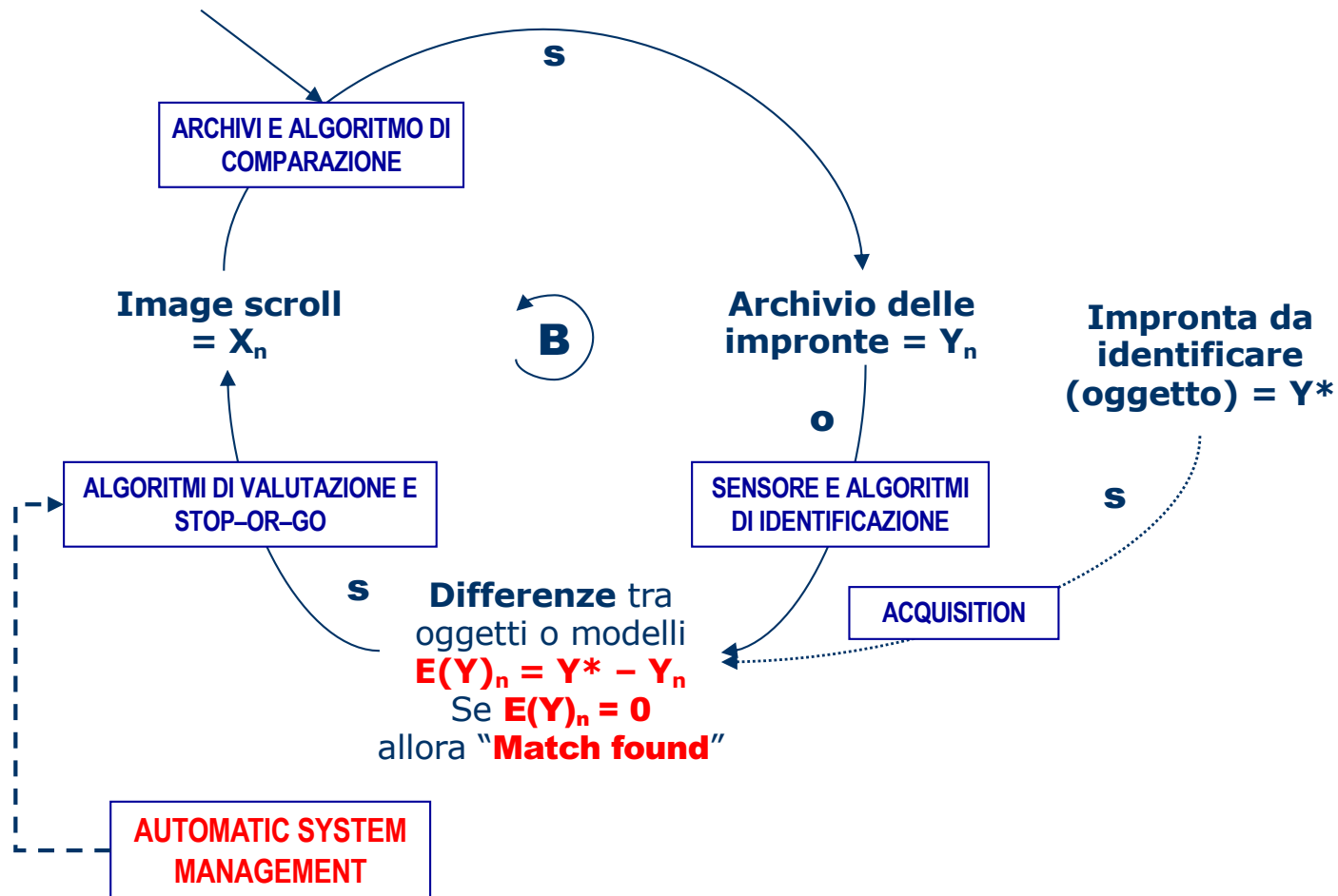
Sistema di riconoscimento

Parole nel dizionario



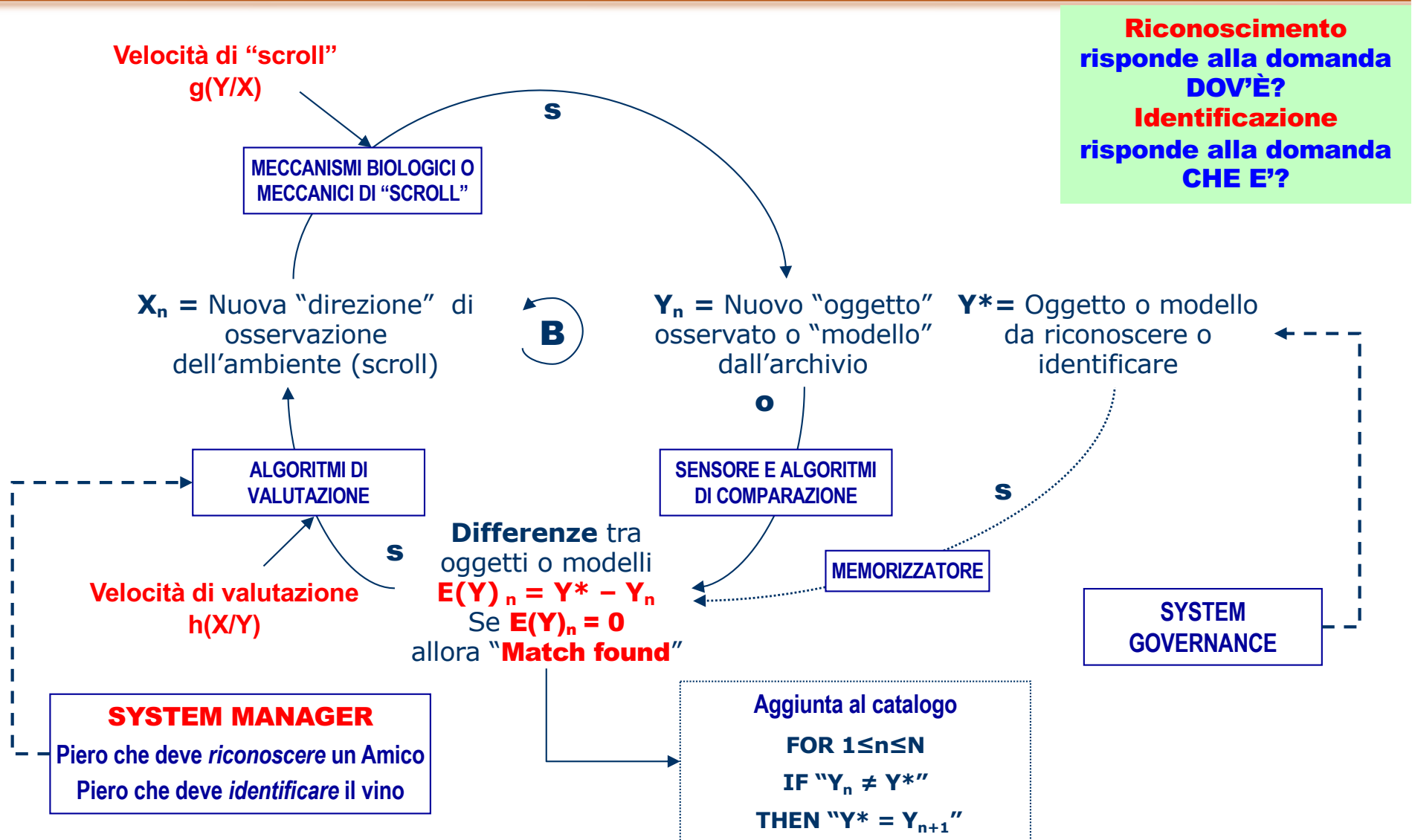
Sistema di identificazione Impronte digitali

Precisione and velocità $g(Y/X)$



Modello generale

Sistemi di Individuazione Riconoscimento e Identificazione



La nostra vita è resa possibile da un potente Sistema di identificazione naturale: il sistema immunitario



- Il **sistema immunitario** ha la funzione di proteggere l'organismo dall'aggressione degli agenti patogeni.
- Tenta di **identificare** e di **neutralizzare** tutte le sostanze estranee all'organismo, gli **antigeni**, virus o batteri.
 - Riesce a identificare in modo **altamente specifico** milioni di **antigeni diversi** anche solo per minime variazioni della loro composizione.
 - La difesa è basata sull'azione dei **linfociti** che producono gli **anticorpi**, proteine a forma di Y, che **identificano** gli **antigeni** e si legano ad essi facilitando il lavoro dei **macrofagi** che procedono alla loro distruzione.
 - Quando la identificazione fallisce, l'organismo subisce l'aggressione degli antigeni e spesso muore.
 - Quando la capacità di **identificazione** viene meno, possono derivarne le cosiddette malattie autoimmuni(tarie).
 - **Per saperne di più:**
 - <https://www.marionegri.it/magazine/sistema-immunitario>
 - <https://www.my-personaltrainer.it/fisiologia/sistema-immunitario.html>



Tipologia dei sistemi controllo

Sistemi di guida e di arresto

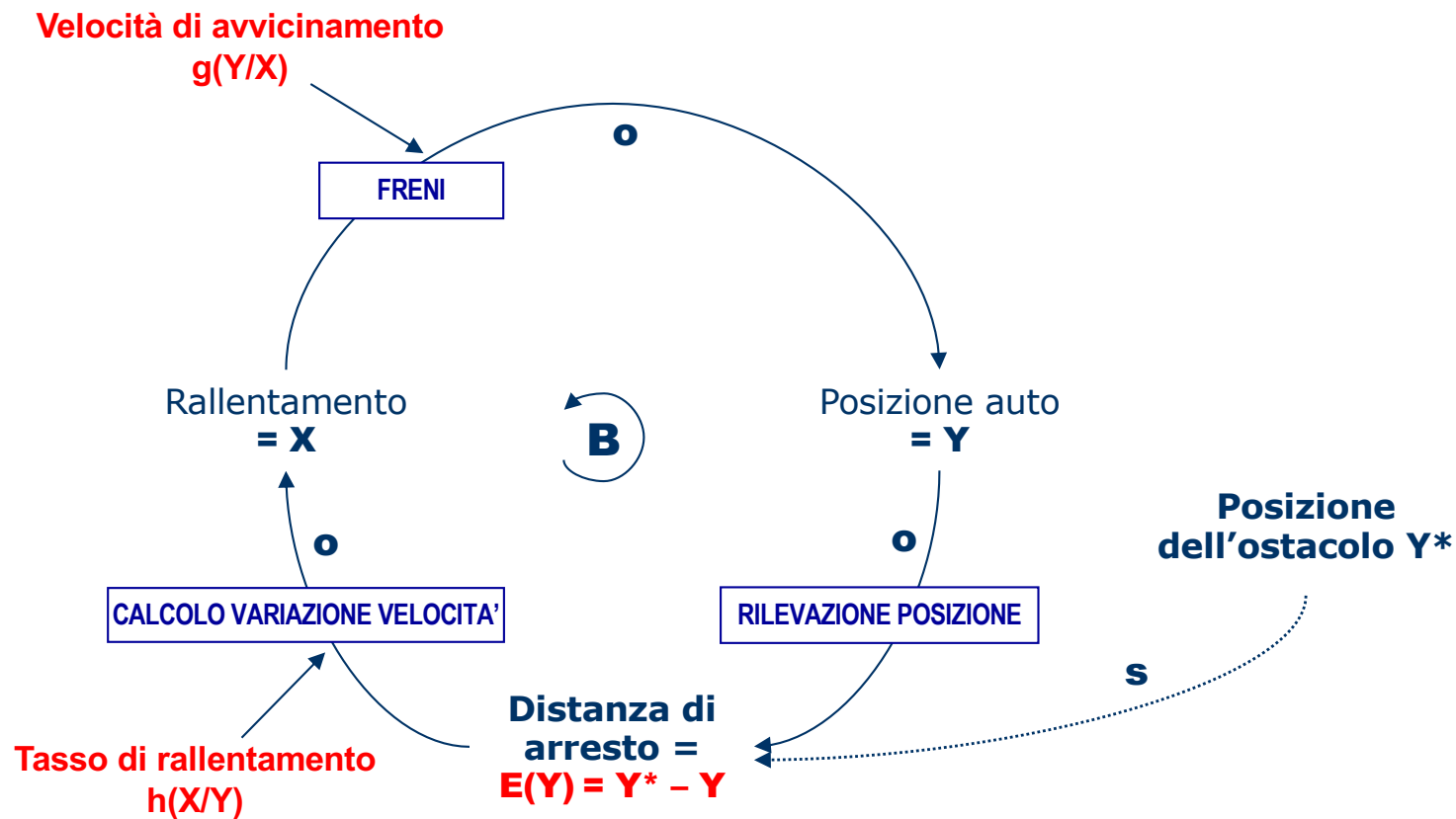


- **Sistemi di guida**: sono quelli «normali», nei quali la Y_t può «oscillare» attorno a Y^* , o per errore del manager nel determinare la Y_t o per il sopraggiungere di disturbi, Y_t .
- Lo **scarto** può cambiare di segno.
 - Sono anche denominati “**sistemi di andata e ritorno**” («**steering control systems**»).
- **Sistemi di arresto**, o «di sola andata»: l'obiettivo può essere raggiunto «da un solo lato» e la Y_t non può superarlo.
 - L'Errore non può cambiare di segno; si può solo azzerare.



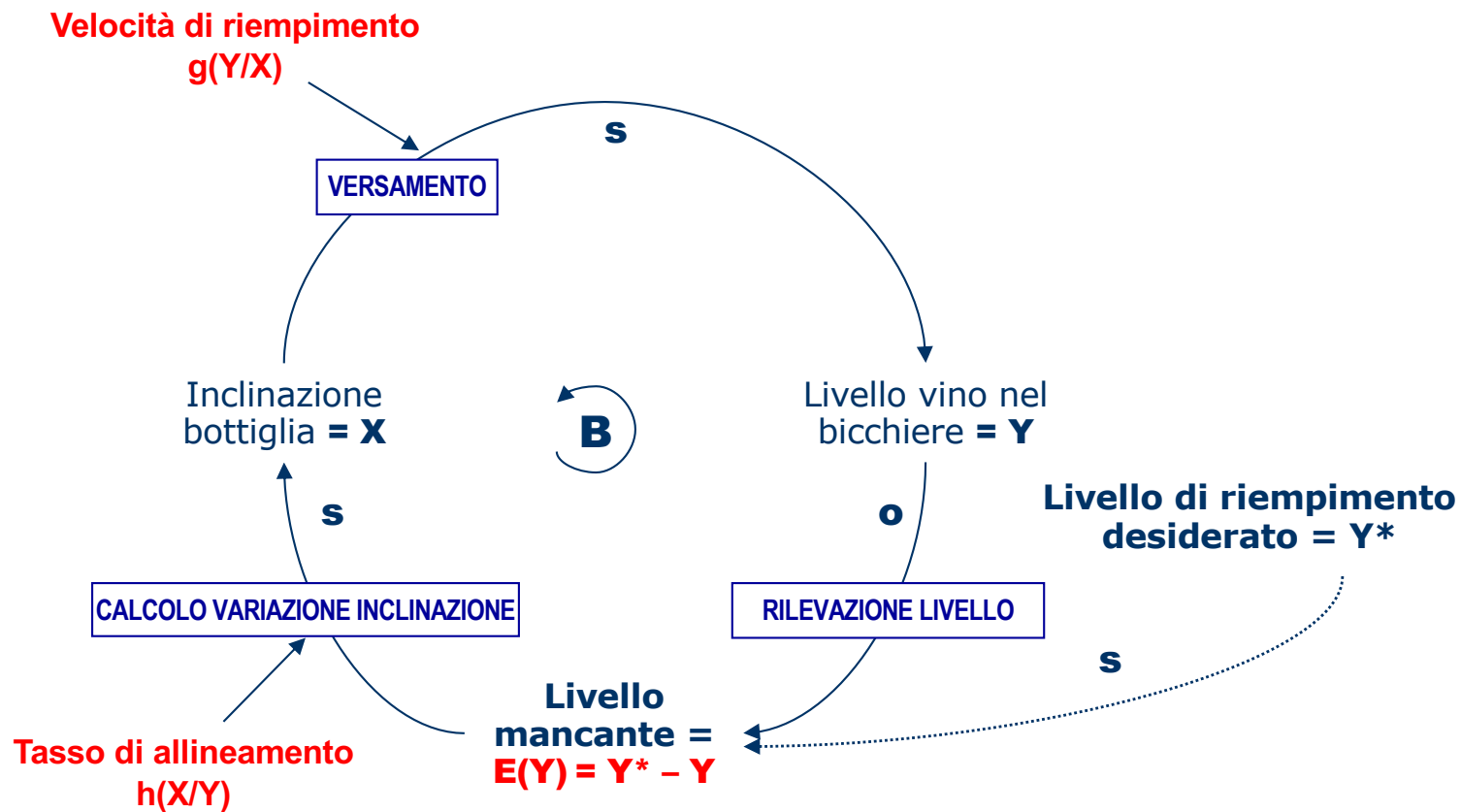
Sistema di arresto

Arrestare l'automobile



Sistema di arresto

Versare il vino



Sistemi ad obiettivo dinamico

Sistemi «evolutivi» e «di fuga»



- Sono **Tracking Systems** con **obiettivi dinamici**.
- L'obiettivo $\mathbf{Y}^*$ varia nel tempo, così che diventa una variabile $\mathbf{Y}_t^*$.
- Se $\mathbf{Y}_{t+1}^* = \mathbf{F}(\mathbf{Y}_t^*)$ allora il sistema è **evolutivo** e **di miglioramento**.
 - L'obiettivo varia **indipendentemente** da $\mathbf{Y}_t$.
 - Il sistema mantiene il controllo di $\mathbf{Y}_t^*$ anche se questo evolve nel tempo.
 - È **tipico dei sistemi viventi e sociali nella fase di sviluppo**.
- Se $\mathbf{Y}_{t+1}^* = \mathbf{F}(\mathbf{Y}_t^*, \mathbf{Y}_t)$ allora il sistema è di **fuga e inseguimento**.
 - In effetti, se $\mathbf{Y}_t$ cerca di annullare la distanza da $\mathbf{Y}_t^*$, l'obiettivo cambia nel tempo, allora, per un osservatore esterno sembra che la $\mathbf{Y}_t$ cerchi di inseguire $\mathbf{Y}_t^*$ e che questo, a sua volta, “analizzi” la dinamica di $\mathbf{Y}_t$ e adegui i propri valori ai valori di questa, cercando di “fuggire” dal tentativo di essere raggiunto.
 - **Caratterizza i sistemi prede-predatori e di escalation**.



Sistemi interferenti

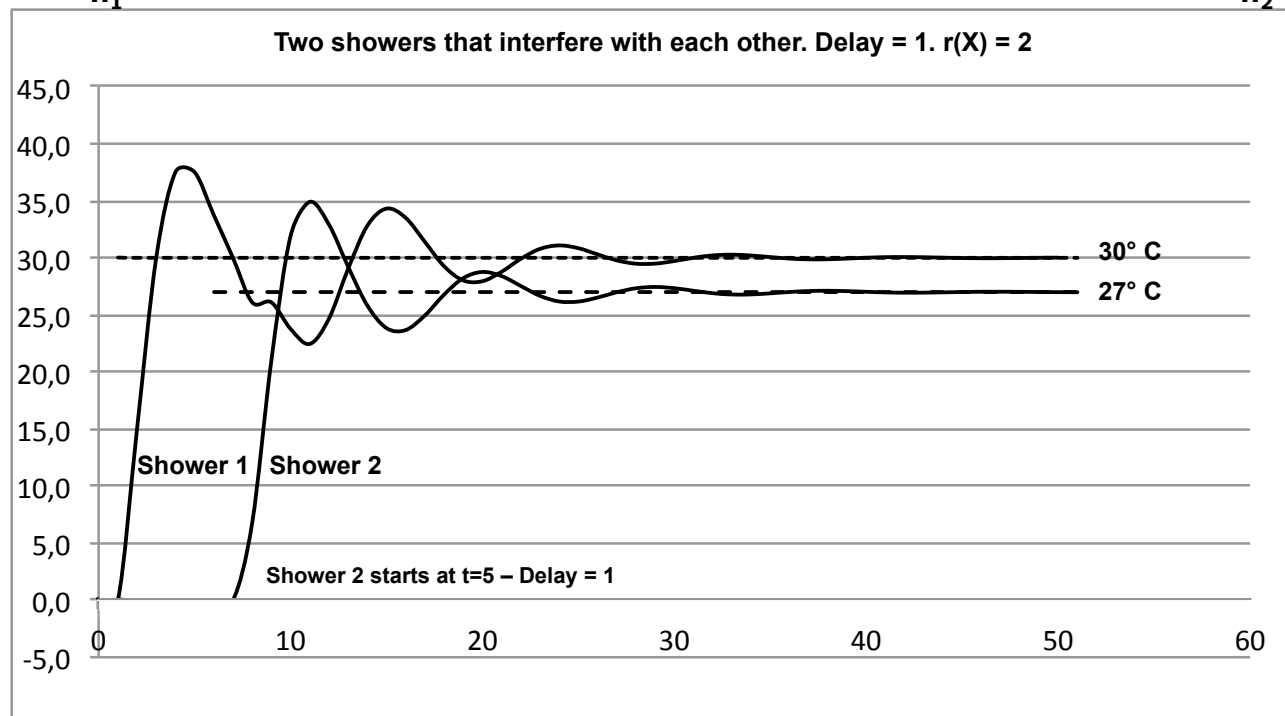
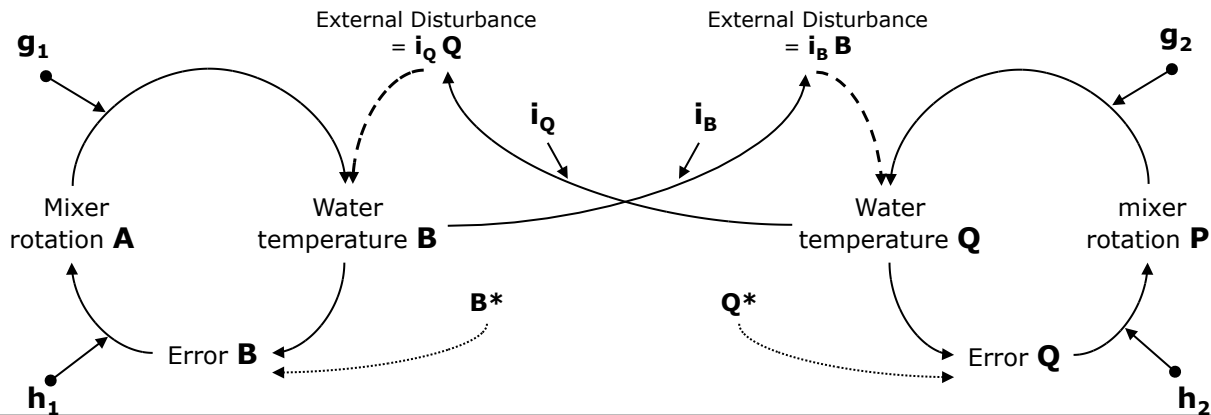


- **Due** (o più) Sistemi di Controllo, **A** e **B**, sono **collegati** se la dinamica di $Y_t(A)$ di un sistema dipende non solo dai valori di $X_t(A)$ ma anche da $Y_t(B)$ [specificando opportunamente t].
- Due sistemi **collegati** sono anche **interferenti** se il collegamento è **reciproco**.
- Il modo più semplice di pensare ai collegamenti e alle interferenze è quello di considerare i valori di un Sistema (opportunamente pesati) come i **disturbi** dell'altro sistema, e viceversa.
 - Se vi sono **ritardi**, i due sistemi interferenti possono presentare **dinamiche oscillatorie**, anche impressionanti, **sia** nelle $Y_t(A)$ **sia** nelle $Y_t(B)$.
 - La presenza di un **Tempo di reazione** $r_x > 1$ tende a facilitare il conseguimento di Y_t^* in entrambi i sistemi.
- La prima delle figure seguenti, espone le dinamiche delle temperature di due docce con obiettivi di temperatura differenti; la dinamica oscillatoria, che si produce per un **ritardo = 1** si attenua avendo posto un tempo di reazione, $r_x = 2$.
- La seconda figura evidenzia le dinamiche delle temperature di tre docce, anch'esse con un **ritardo = 1** e un tempo di reazione $r_x = 2$.
- I fenomeni di interferenza e le dinamiche oscillatorie sono frequenti nelle reti dei gasdotti, negli effetti della somministrazione contemporanea di diversi farmaci, nelle reti stradali, ecc.



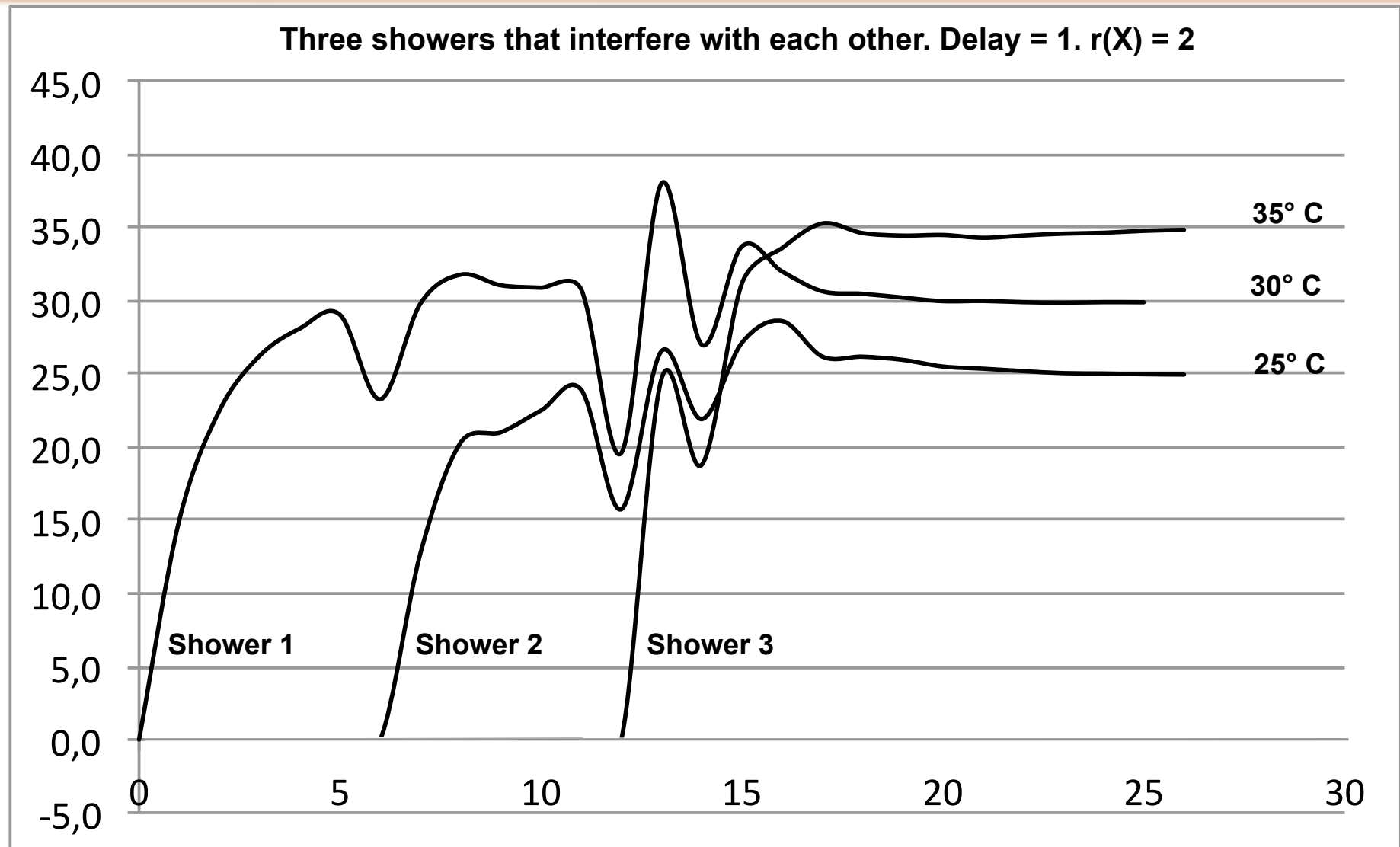
Sistemi interferenti

Due docce interferenti



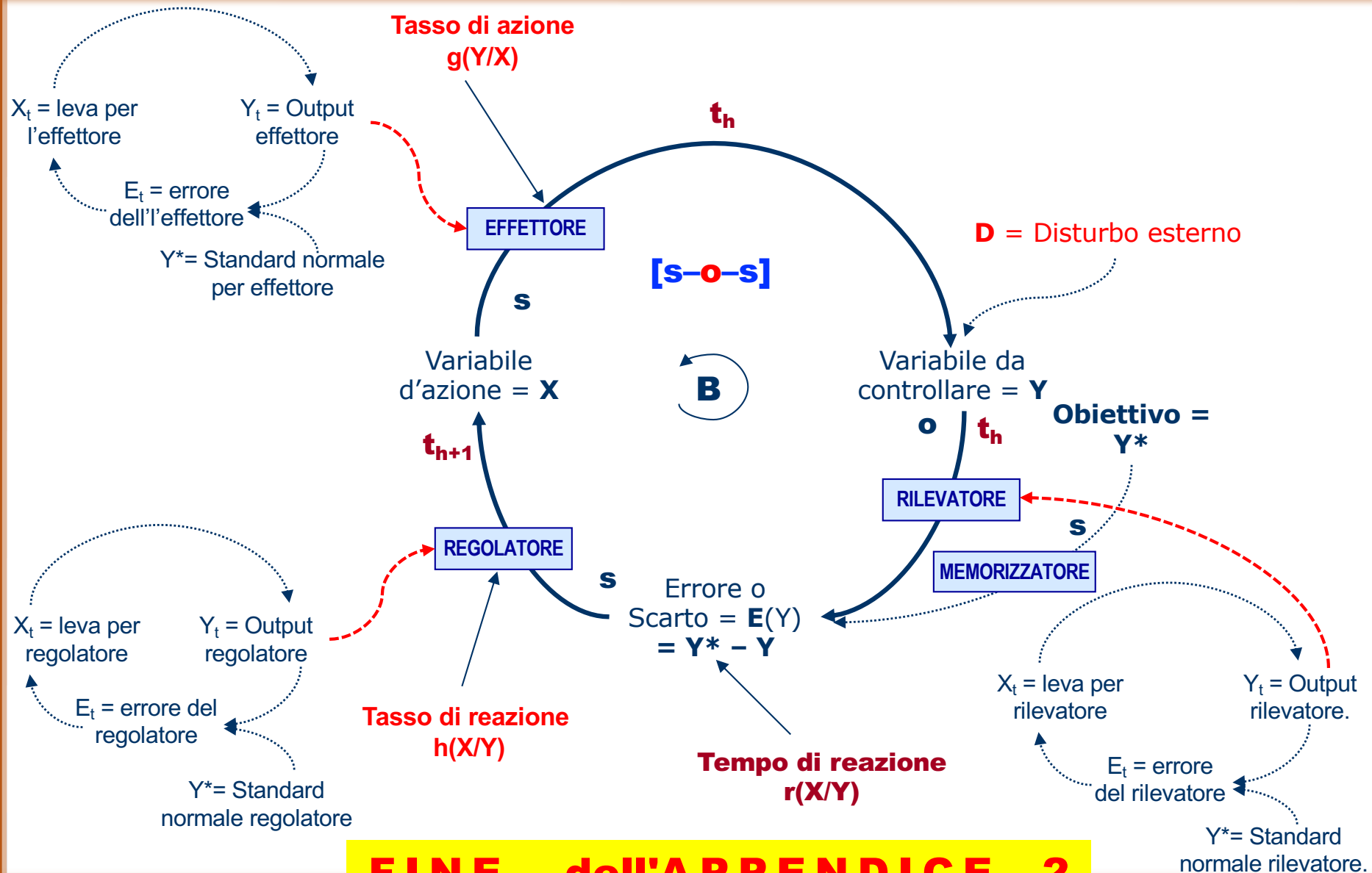
Sistemi interferenti

Tre docce interferenti



Sistema di Controllo a diversi livelli

Sistema con controlli interni sul funzionamento degli apparati



FINE dell'APPENDICE 2

