

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

[potrà subire variazioni]

- **Lezione 1** - Logica, linguaggio e regole del Systems Thinking (secondo Senge)
 - **Appendice 1 A** – Le Cinque Discipline [47 dia - tempo di lettura 50 min]
 - **Appendice 1 B** – Costruire i Causal Loop Diagrams (CLD) [21 dia - tempo di lettura 15 min]
 - **Appendice 1 B** – Costruire i Causal Loop Diagrams (CLD) [34 dia - tempo di lettura 60 min]
- **Lezione 2** – Il sistema di controllo a una leva. Struttura, Prototipi e Tipologia minima
 - **Appendice 2** – Esempi di sistemi di controllo a una leva, con simulazioni
- **Lezione 3** – Sistemi multi-leva e multi-obiettivo. Strategie e Politiche di controllo
- **Lezione 4** – L'ubiqua presenza dei sistemi di controllo
 - **Appendice 4 A** – Il controllo in particolari «ambienti» osservativi
 - **Appendice 4 B** – Il controllo dei Sistemi Combinatori Sociali
- **Lezione 5** – Il controllo nelle/delle Organizzazioni
 - **Appendice 5 A** – Le organizzazioni quali Sistemi di Controllo



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)

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

Piero Mella

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

Aula Volta, Palazzo Centrale
Università di Pavia - Italy

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 RASSEGNAVI !



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.

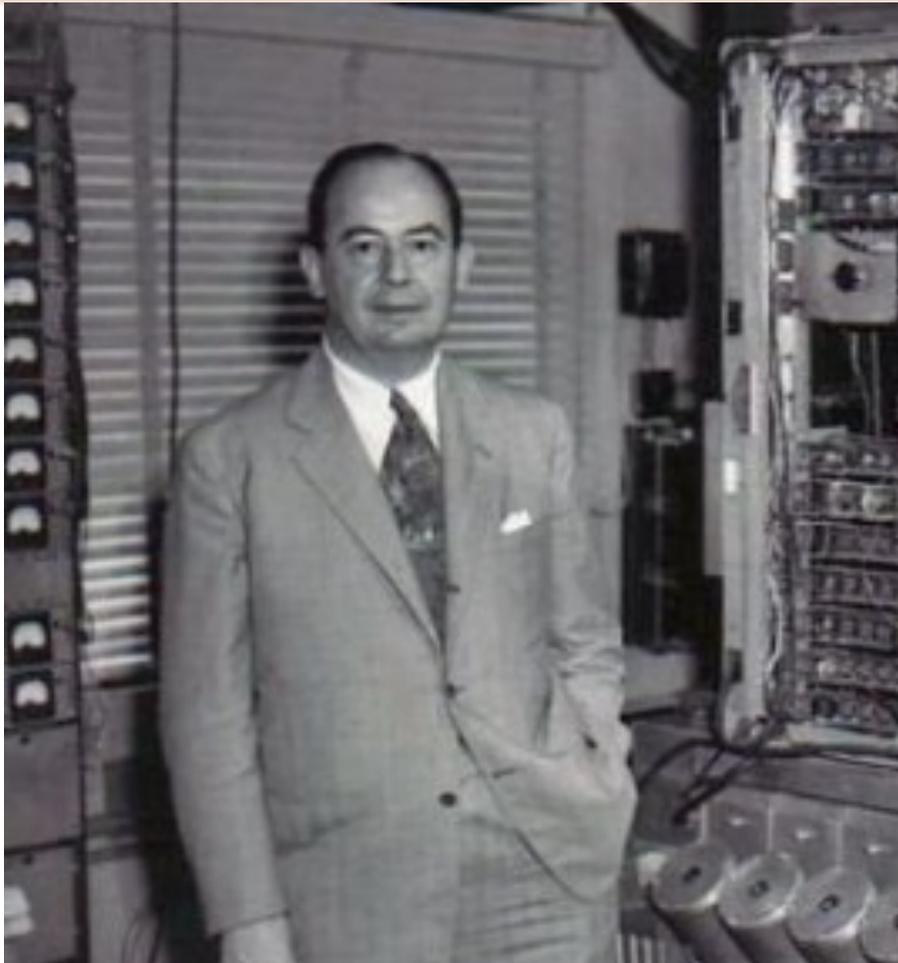
**All stable processes we shall predict.
All unstable processes we shall control.**

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





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



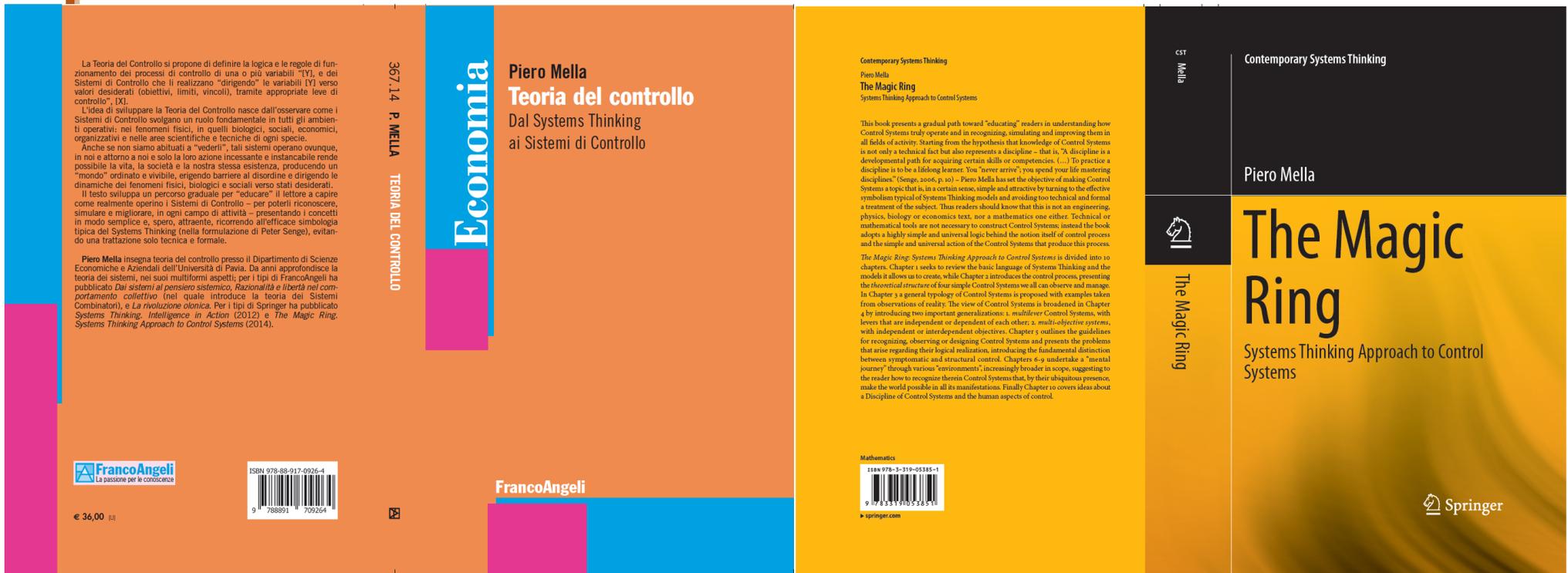
John von Neumann il «padre» del moderno computer, ideatore della “architettura di von Neumann”

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



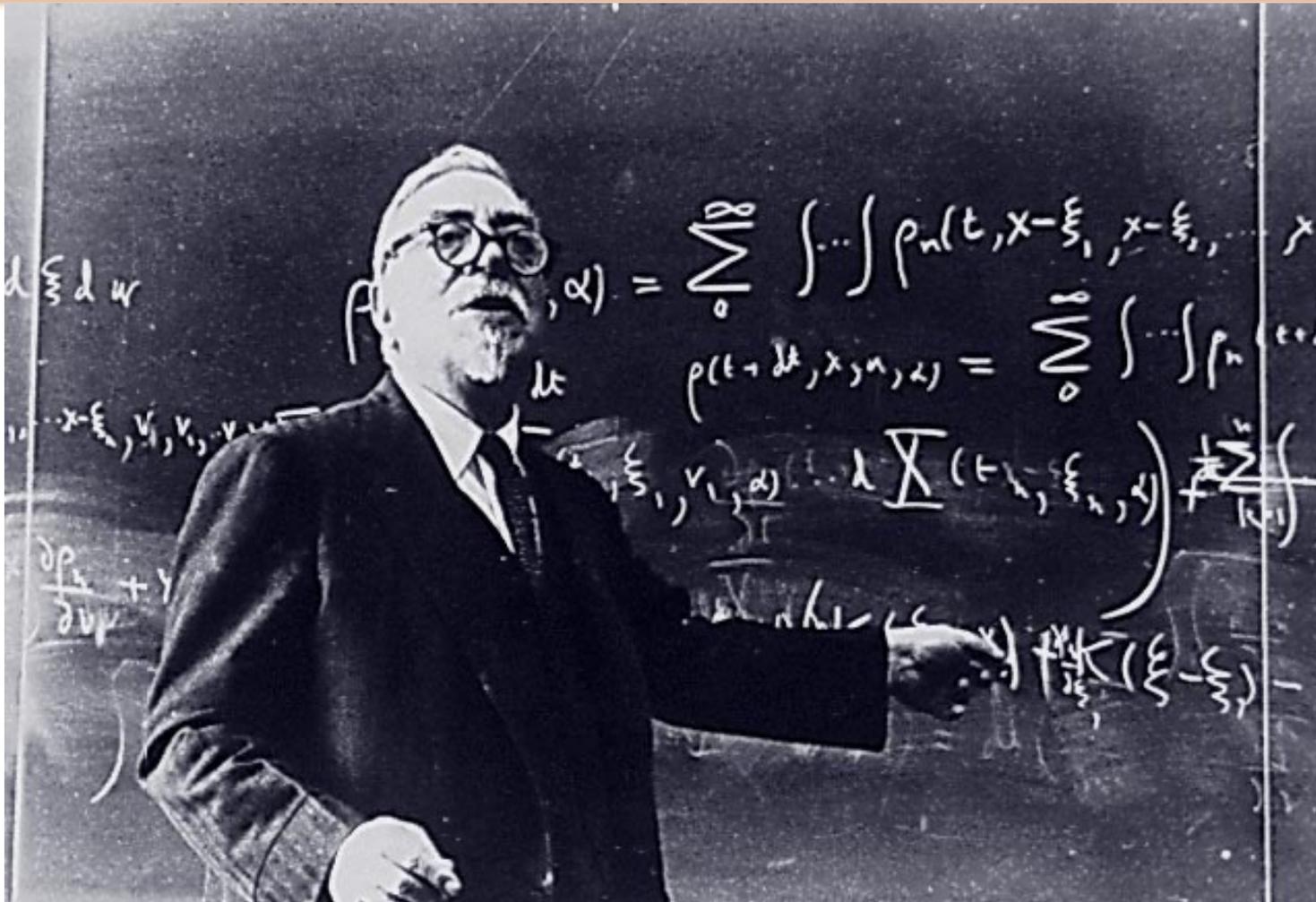
Cibernetica

- 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 tradotto 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).



facoltativo

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

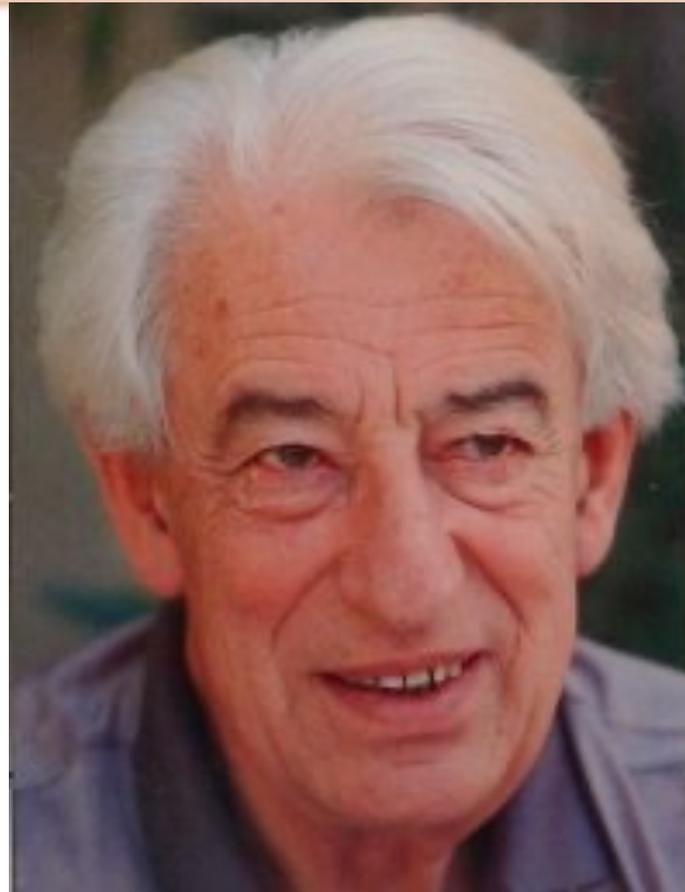


Norbert Wiener, il padre fondatore della **cibernetica** con l'opera *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine* (1961, Cambridge, MA, MIT Press.).





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.**



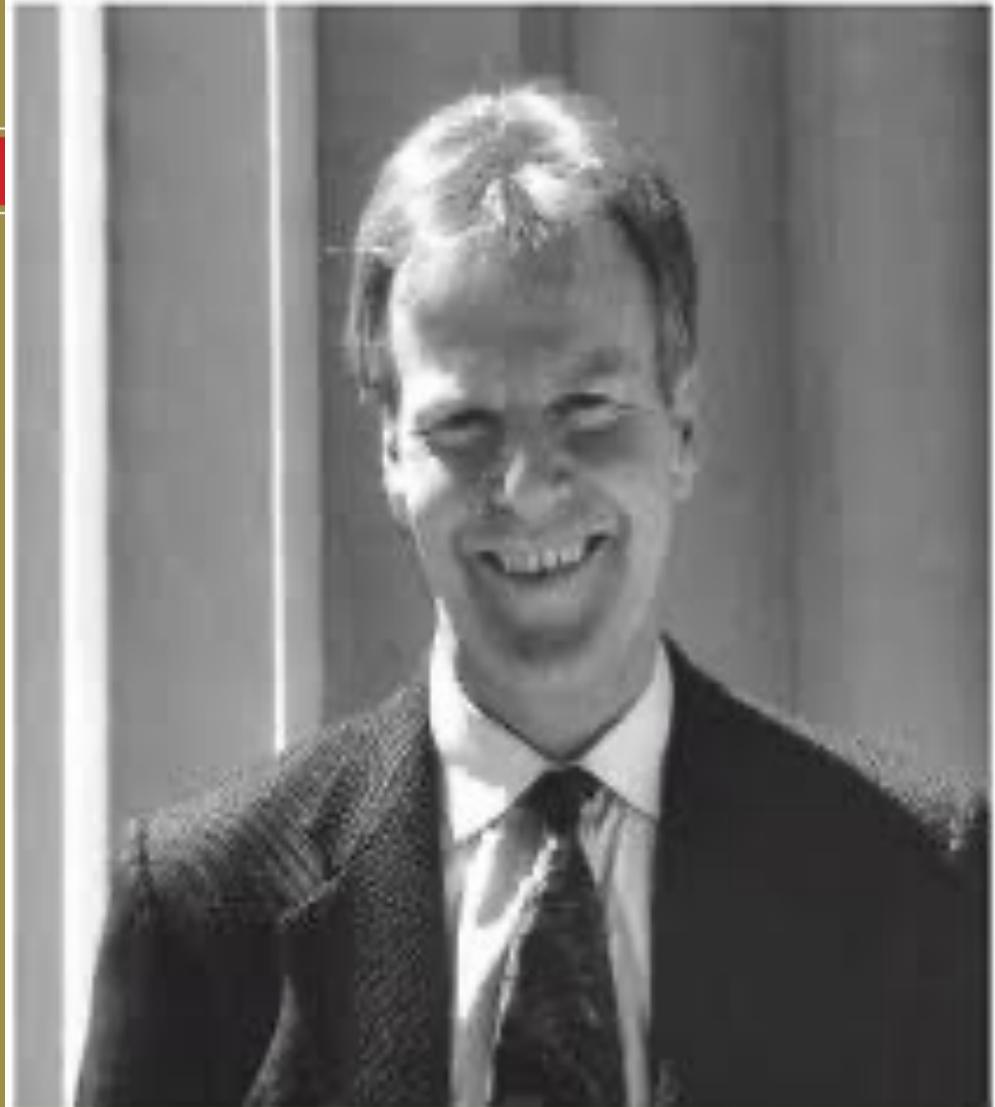
MORE THAN 1 MILLION COPIES IN PRINT

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!**



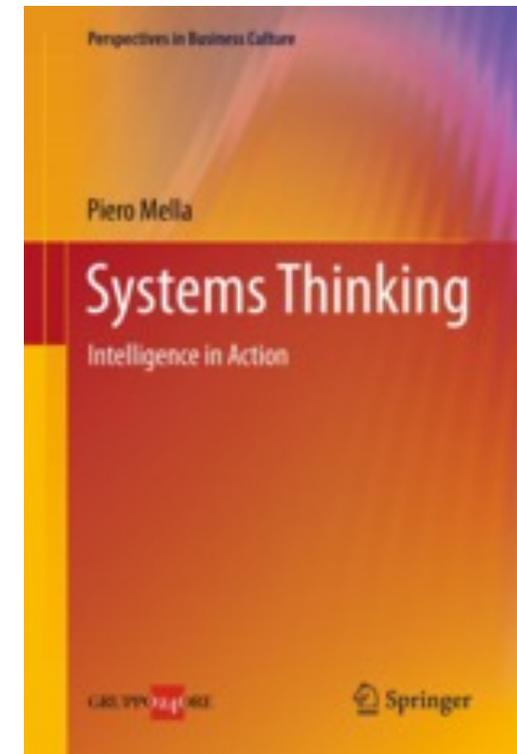
Contenuti della disciplina

- 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**



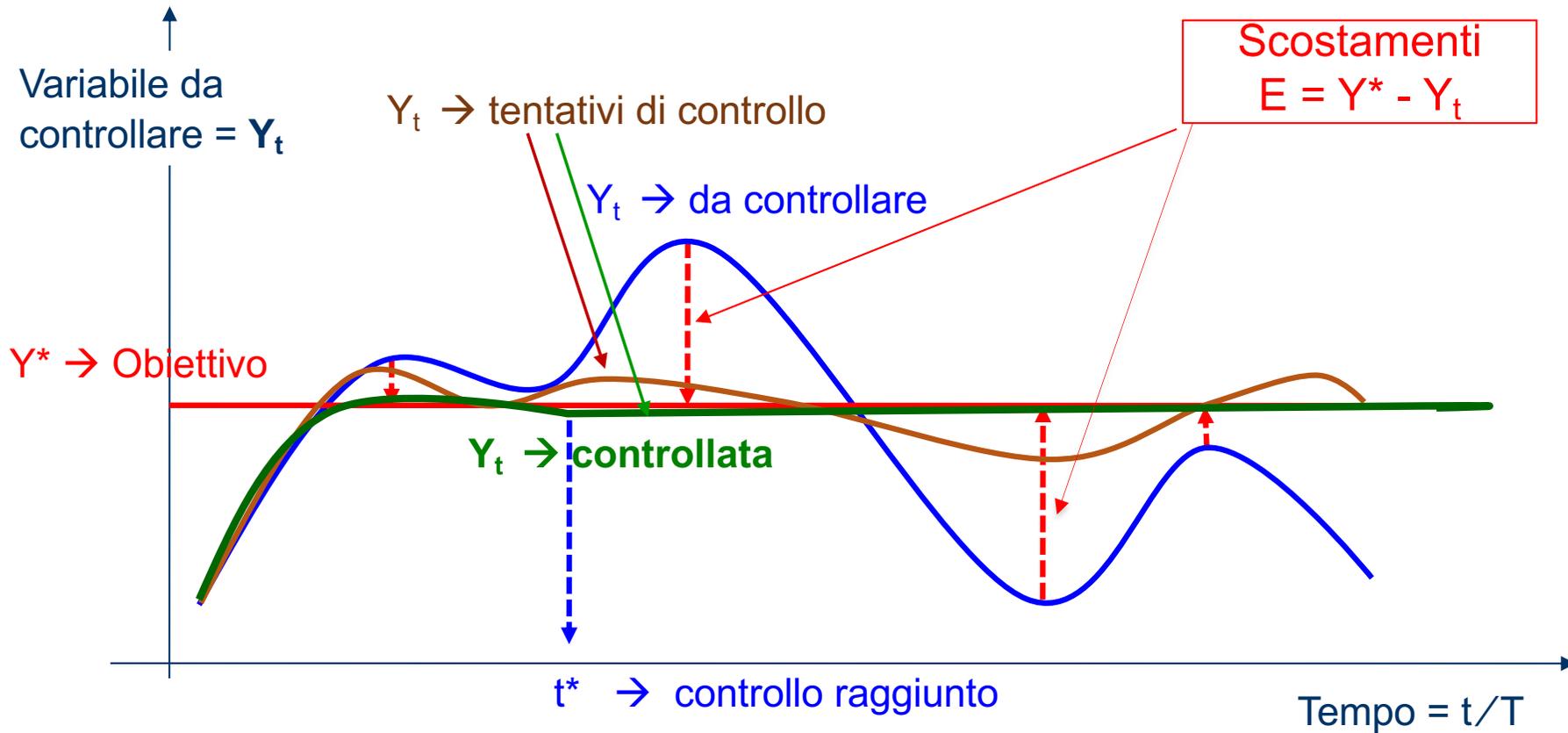
It's time to start. Primiissime definizioni «Controllare»

- **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 parlo 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).



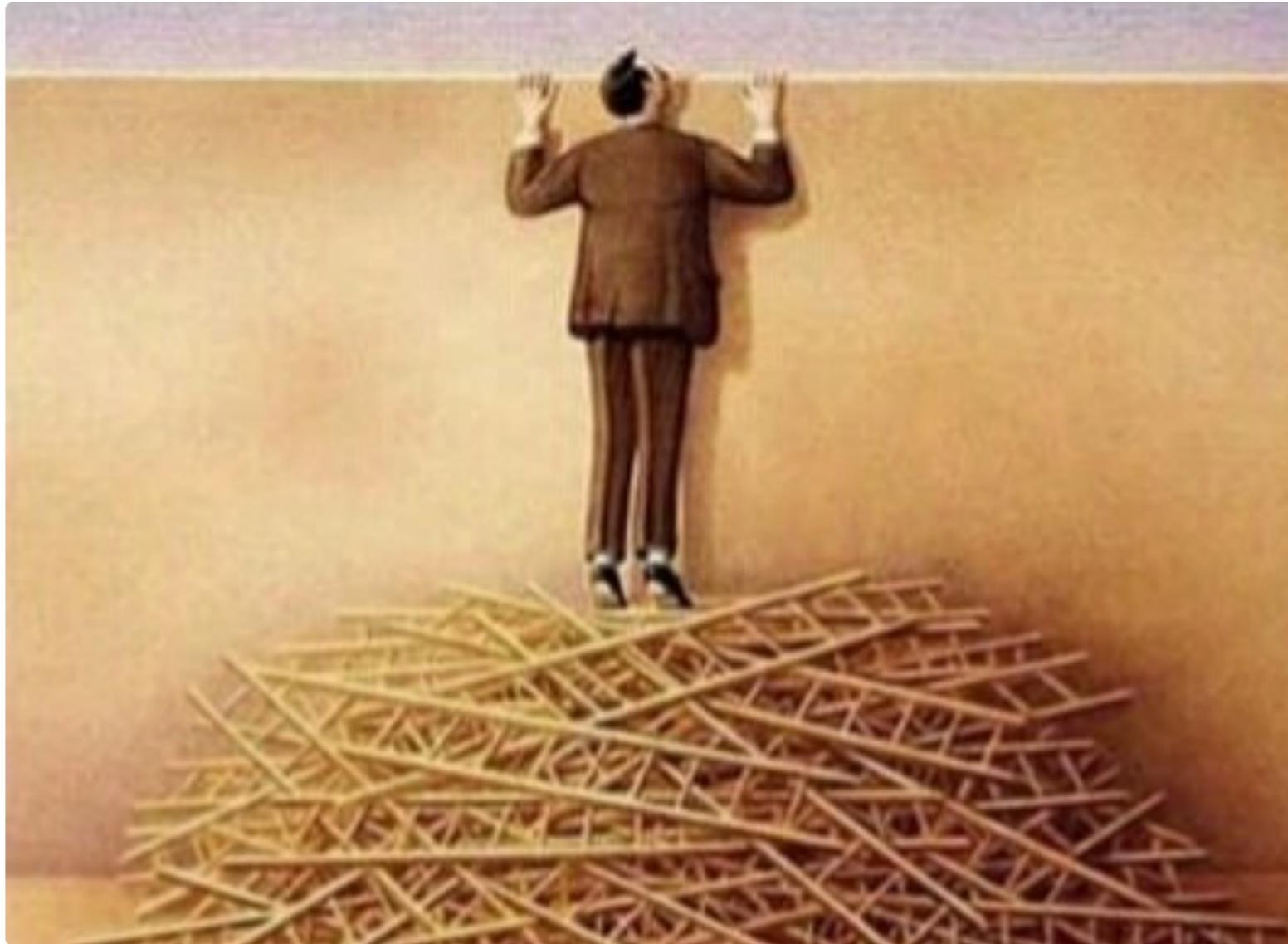
Perché è una «disciplina»?

- 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» (Arthur 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.**



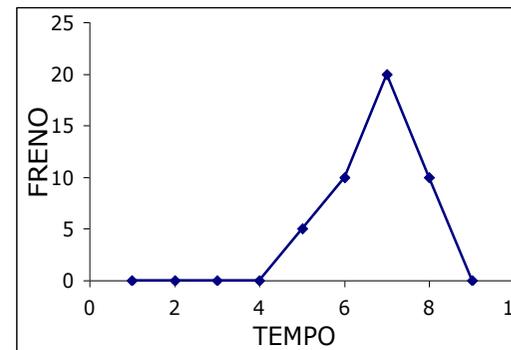
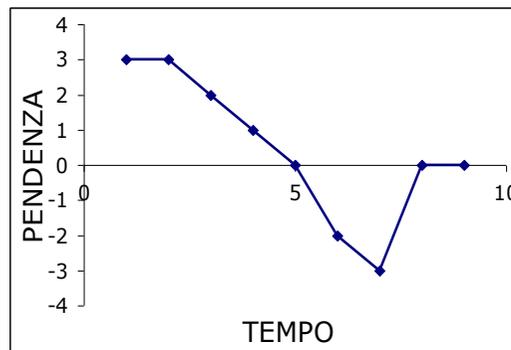
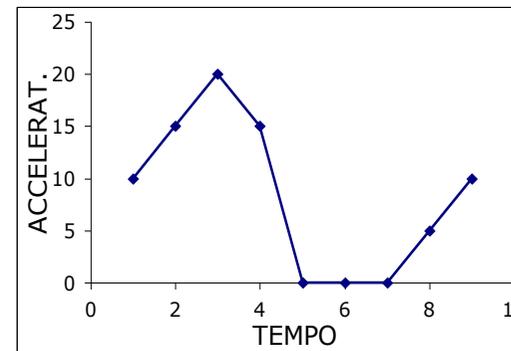
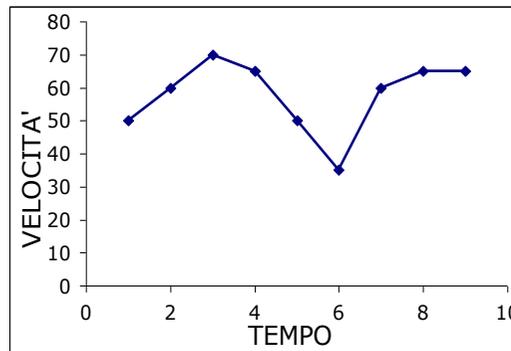
Seconda regola

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».

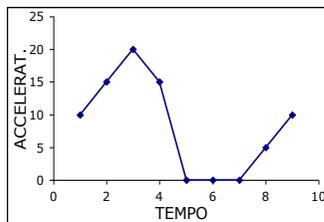
- Non un'automobile, ma le variabili ad essa associabili:** per es.



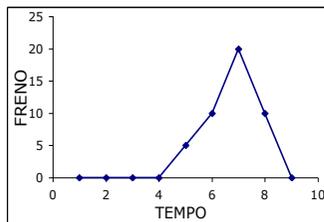
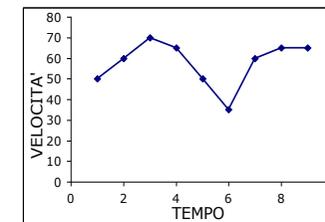
Terza regola

Ricerca le relazioni causali

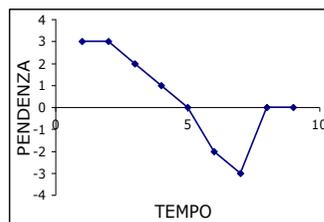
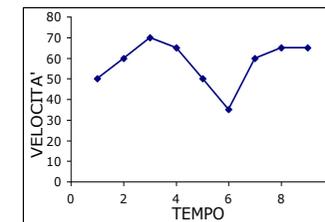
- [Regola 3]** «Se vuoi comprendere veramente il mondo, cerca di capire la causa delle variazioni nelle variabili che osservi» nonché la direzione di collegamento e il senso di variazione.



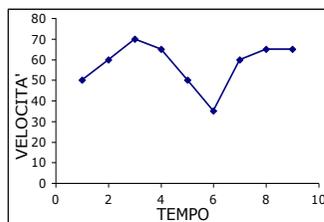
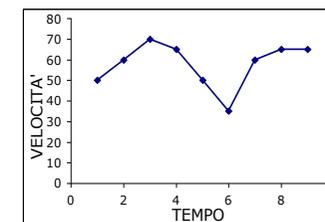
Pressione
acceleratore
causa → Velocità



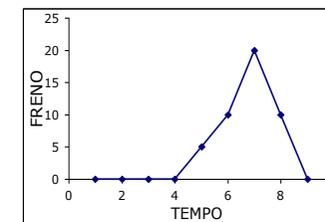
Pressione
freno
causa → Velocità



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.

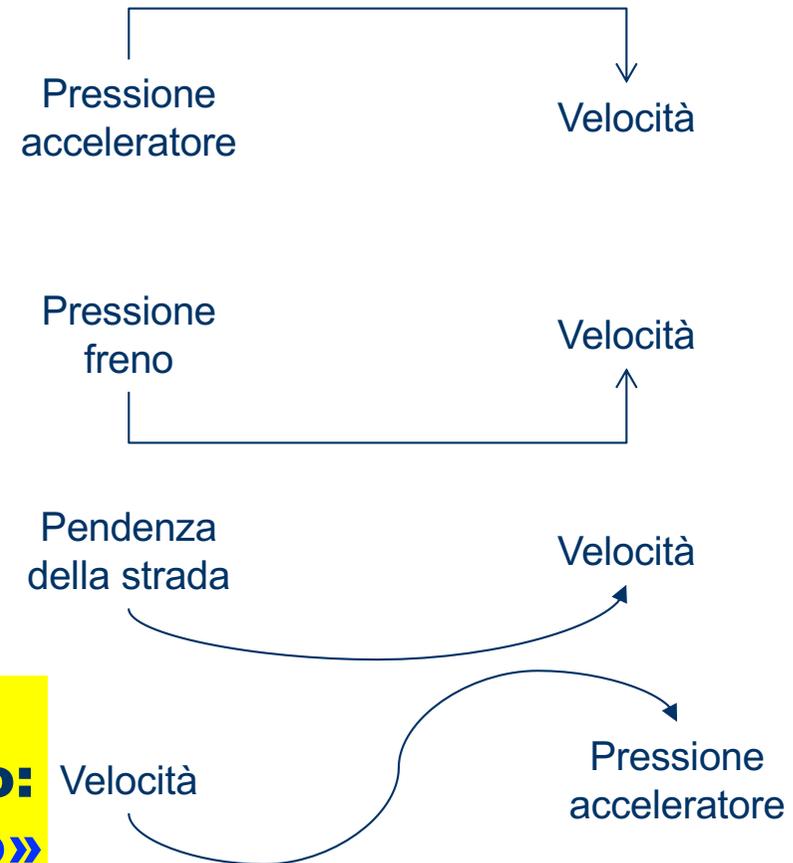
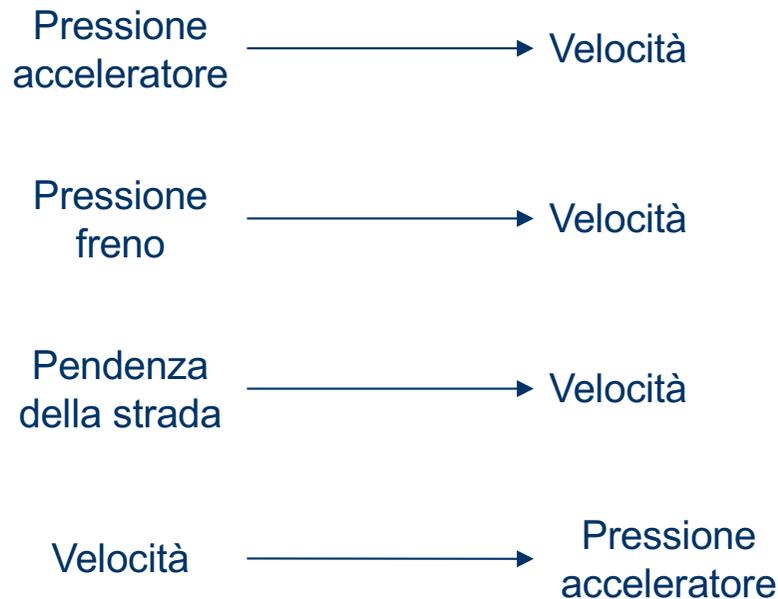


I termini "scatola nera" e "scatola bianca" sono espressioni di comodo e metaforiche dall'uso non molto ben definito. Per **scatola nera** io intendo qui un elemento di apparato [...] che esegue una determinata operazione in dipendenza del potenziale di ingresso, senza che si abbiano però informazioni 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

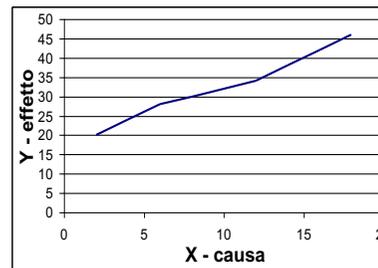
Pendenza
della strada ← Velocità



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 (**+Δx**) o diminuzione (**-Δx**), produce la variazione in aumento (**+Δy**) o diminuzione (**-Δy**) dell'**effetto** o variazioni invertite di segno.

“**S**”



X = Pressione acceleratore

Y = Velocità

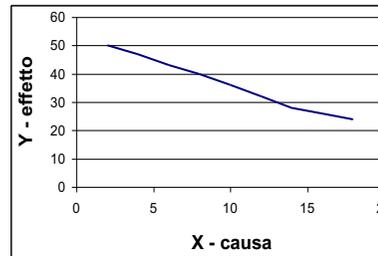
S

Variazioni
stesso senso

+Δx
-Δx

+Δy
-Δy

“**O**”



X = Pressione freno

Y = Velocità

O

Variazioni
opposto senso

+Δx
-Δx

-Δy
+Δy



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).

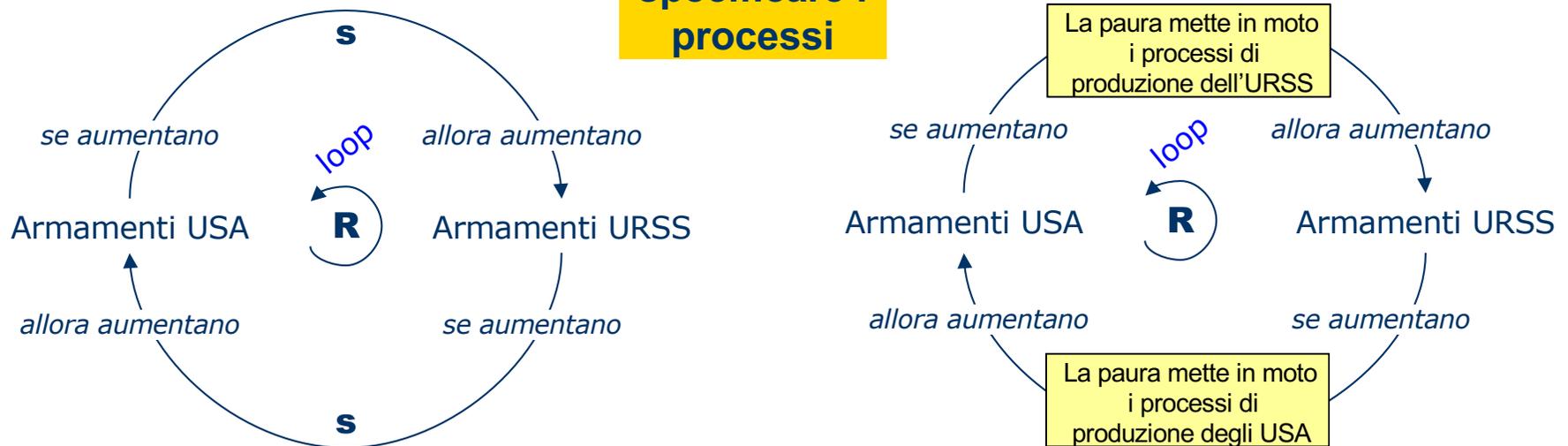
**Attenzione! Ci sono solo due tipi di «loop elementari»:
Loop di «rinforzo» e loop di «bilanciamento»**



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**.



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

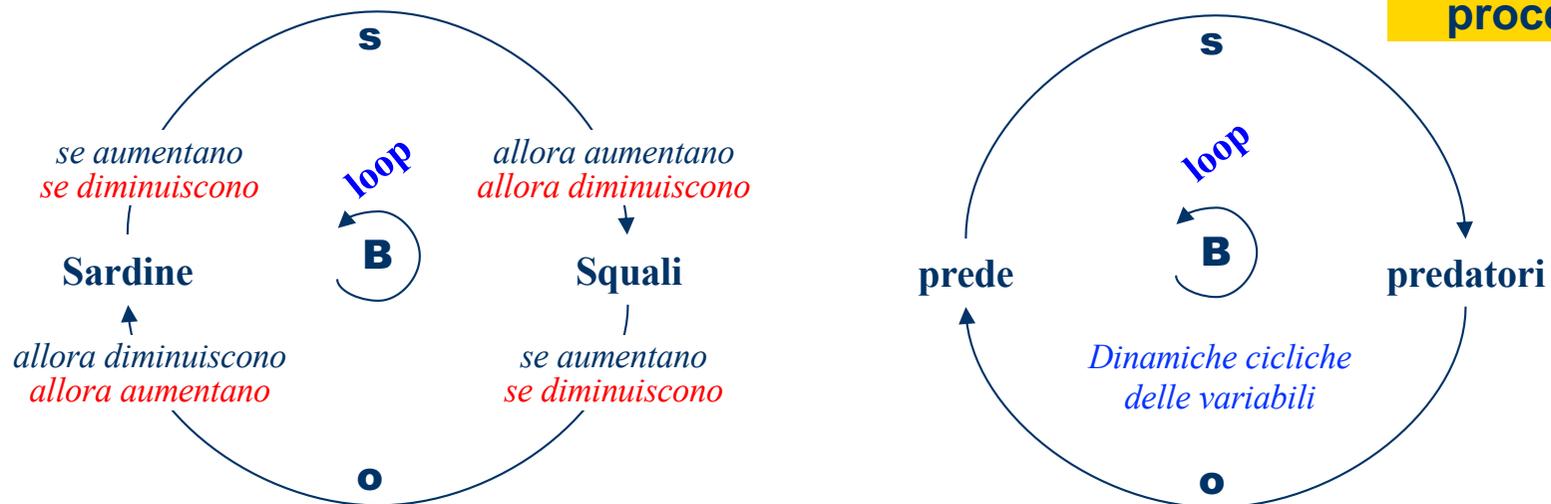


I «loop elementari» e il loro senso

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

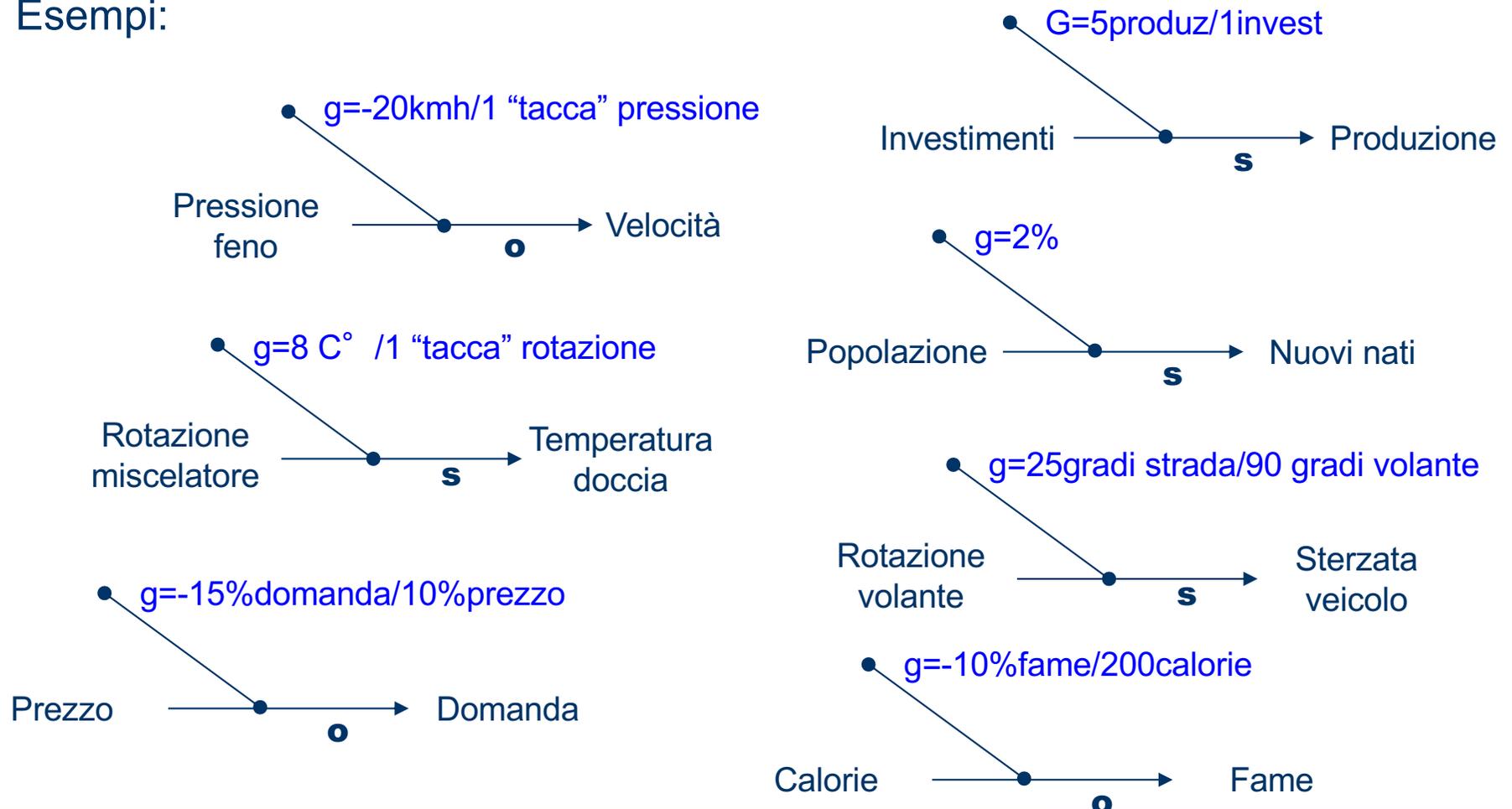
II System Dynamics

- **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

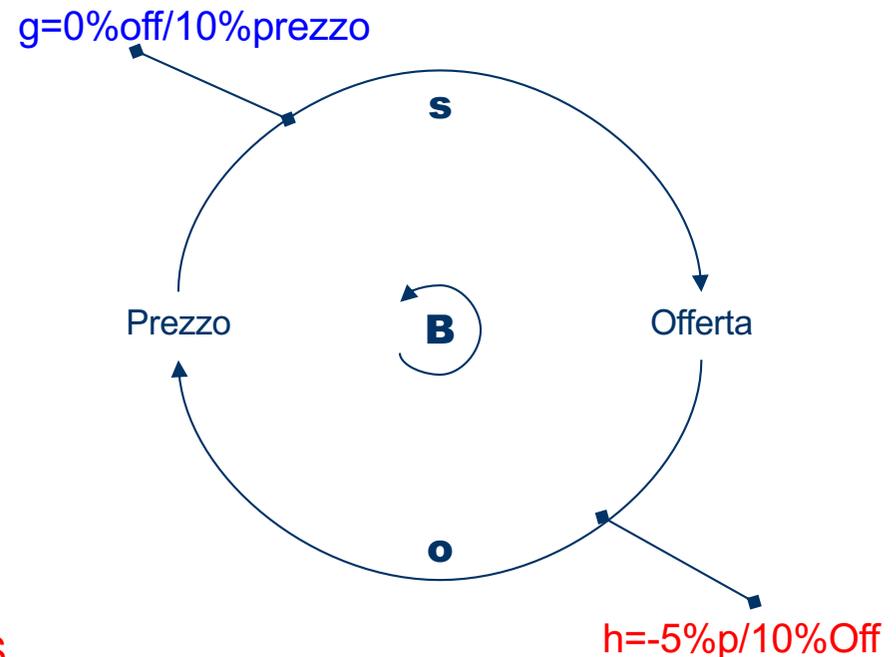
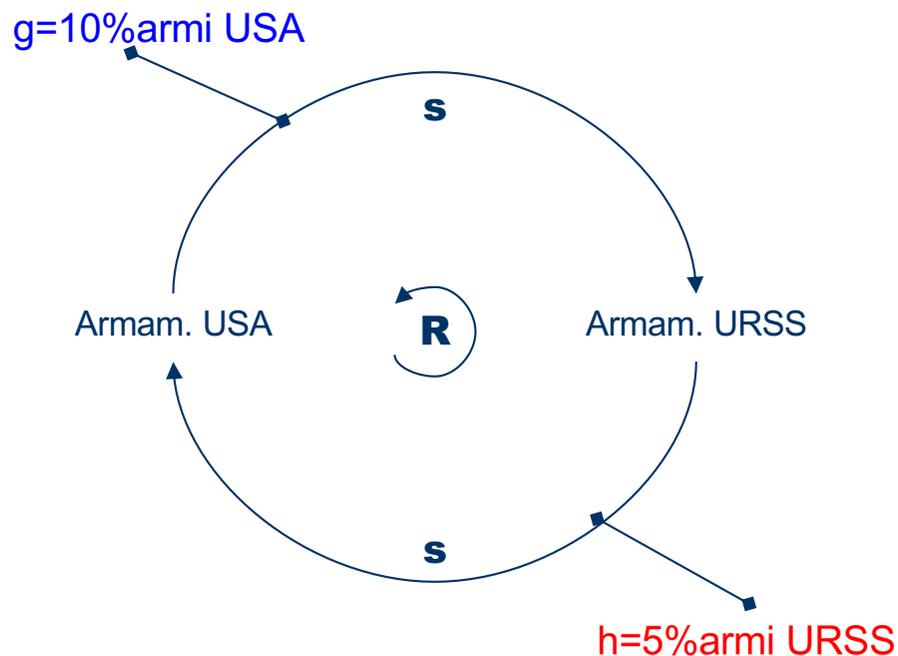
- Per le simulazioni quantitative, quando si individua una relazione causale è utile, se possibile, individuare anche il **tasso di azione**, $g(Y/X)$, che indica di quanto varia **Y** al variare di **X**, scrivendolo in corrispondenza della freccia.
- Esempi:



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 occorre 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

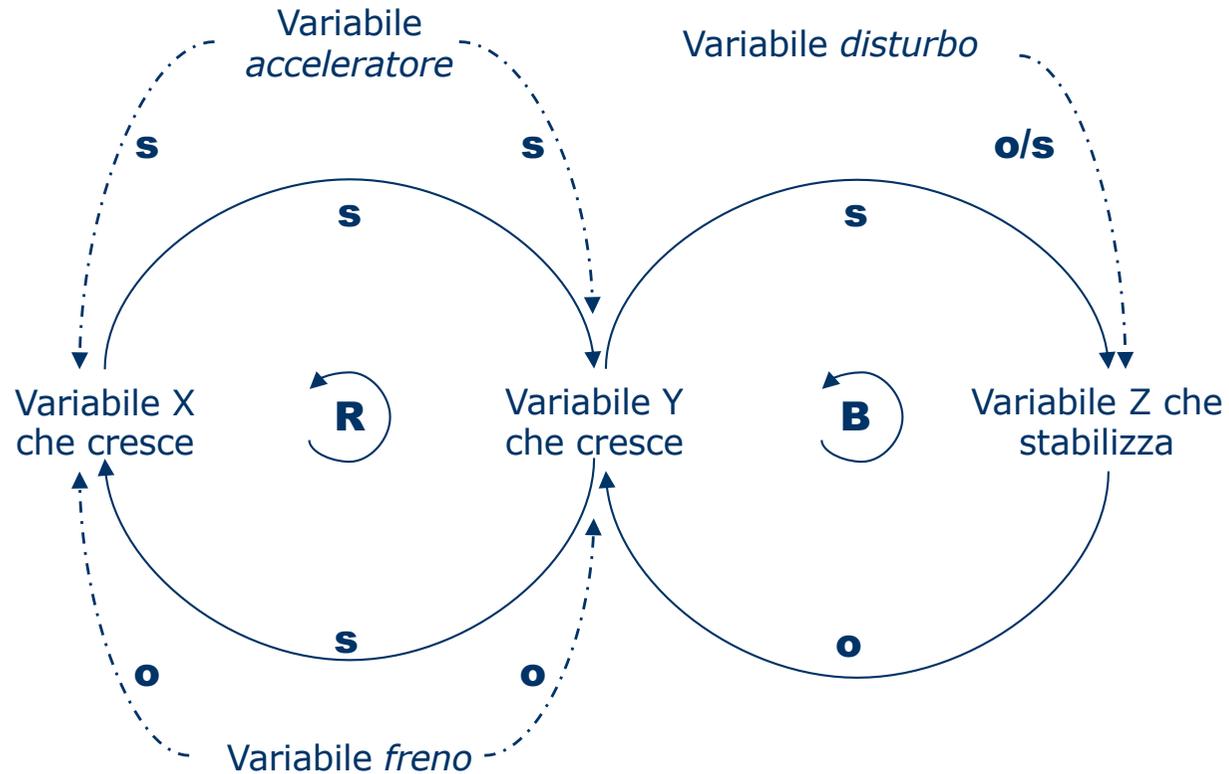
La legge dell'instabilità dinamica

- 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.
- Serman, 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.

