

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. (2023). Corso Breve di Teoria del Controllo. Lezione 3. *Economia Aziendale Online*, 14(1), 203-256.

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



Finalità del corso

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

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

All stable processes we shall predict.

All unstable processes we shall control. John von Neumann



Piano del Corso

[potrà subire variazioni]

- **Lezione 1** - Logica, linguaggio e regole del Systems Thinking (secondo Senge)
 - **Appendice 1 A** – Le Cinque Discipline [47 dia - tempo di lettura 50 min]
[21 dia - tempo di lettura 15 min]
 - **Appendice 1 B** – Costruire i Causal Loop Diagrams (CLD) [34 dia - tempo di lettura 60 min]

- **Lezione 2** – Il sistema di controllo a una leva. Struttura, Prototipi e Tipologia minima
 - **Appendice 2** – Tipologia ed esempi di sistemi di controllo a una leva, con simulazioni [44 dia - tempo di lettura 50 min]
[38 dia - tempo di lettura 40 min]

- **Lezione 3** – Sistemi multi-leva e multi-obiettivo. Strategie e Politiche di controllo [54 dia - tempo di lettura 70 min]

- **Lezione 4** – L'ubiqua presenza dei sistemi di controllo
 - **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 3

Sistemi multi-leva e multi-obiettivo. Strategie e Politiche di controllo

Piero Mella

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

Vol. 14-1/2023 - DOI: 10.13132/2038-5498/14.1.203-256

Cite as: Mella, P. (2023). Corso Breve di Teoria del Controllo. Lezione 3: Sistemi multi-leva e multi-obiettivo. Strategie e Politiche di controllo. *Economia Aziendale online*, 14(1), 203-256.

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

Aula Scarpa
Università di Pavia
Italy

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



Lezione 3

Abstract e Keywords

Abstract

Nella **Lezione 1** ho ricordato le nozioni fondamentali del **Systems Thinking**, poiché rappresenta il linguaggio fondamentale per la descrizione dei sistemi di controllo.

Nella **Lezione 2** ho costruito il **Modello generale di Sistema di Controllo mono leva e mono obiettivo in forma logica (simbolica)**, presentando una tipologia minima essenziale.

In questa **Lezione 3**, viene ampliata la «visione» dei Sistemi di Controllo, introducendo due importanti generalizzazioni che arricchiscono la varietà e la potenza dei controlli effettuabili:

- i Sistemi di Controllo **multi-leva (plurileva)** con leve indipendenti o dipendenti l'una dall'altra;
- i Sistemi di Controllo **multi-obiettivo (pluriobiettivo)**.

Si introducono i fondamentali concetti di «**strategia**» e di «**politica**» di controllo, indispensabili per completare la logica operativa dei sistemi di controllo. Vengono presentati alcuni esempi che anticipano la gamma dei casi che saranno presentati nelle Lezioni 4 e 5.

In **Lesson 1** I recalled the fundamental notions of Systems Thinking as a fundamental logic and language for describing control systems. In **Lesson 2** I built the general single-lever, single-objective Control System Model in a logical (symbolic) form, presenting a minimal essential typology.

In this **Lesson 3**, the "vision" of Control Systems is expanded, introducing two important generalizations that enrich the variety and power of the controls that can be performed:

- Multi-lever Control Systems with independent or mutually dependent levers;
- Multi-objective Control Systems.

The fundamental concepts of control «**strategy**» and «**policy**» are introduced, indispensable for completing the operational logic of control systems. Some examples are presented that anticipate the range of cases that anticipate those that will be examined in Lessons 4 and 5.

Keywords: Sistema di Controllo a leve libere, Sistema di Controllo a leve vincolate, strategia di controllo decisa dal management, esempio: vasca, esempio: sommergibile, esempio: aerostato, potenziamento dei sistemi di controllo, sistemi per impulsi: CI-PO, PI-CO, sistemi multi-leva: monolayer e multilayer, sistemi multi-obiettivo: tipologia, politica di controllo decisa dalla governance, strategia e politica ottimali



Sistemi multi-leva e multi-obiettivo

Definizioni

- Avevamo esaminato la seguente **Definizione generale** di sistema di controllo **mono-leva** e **mono-obiettivo**:
 - Un **sistema di controllo** è un **sistema reale** (una catena di controllo) che realizza un **sistema logico** (loop **[s-o-s]**) per forzare **«una»** variabile Y_t a raggiungere **«un»** obiettivo Y^* , malgrado possibili disturbi esterni, D_t , utilizzando **«una»** **leva di controllo** X_t .
- Possiamo abbandonare la limitazione di Sistemi di Controllo a una sola leva e con un solo obiettivo.
- **Definizioni**
 - Se la **leva di controllo** X_t , non è una variabile **singola** ma un **vettore** $[X]$ composto da N variabili d'azione $[X_1, X_2, \dots, X_N]$, il sistema viene denominato Sistema di Controllo **multi-leva** (multi-lever control system).
 - Se la **variabile obiettivo** Y_t , non è una variabile **singola** ma un **vettore** $[Y]$ composto da M variabili da controllare contemporaneamente, $[Y_1, Y_2, \dots, Y_M]$, il sistema viene denominato Sistema di Controllo **multi-obiettivo** (multi-objective control system).
- **Ogni sistema multi-obiettivo è, normalmente, anche multi-leva.**



Due tipi di Sistemi multileva

Leve indipendenti, o **libere**, e leve dipendenti, o **vincolate**

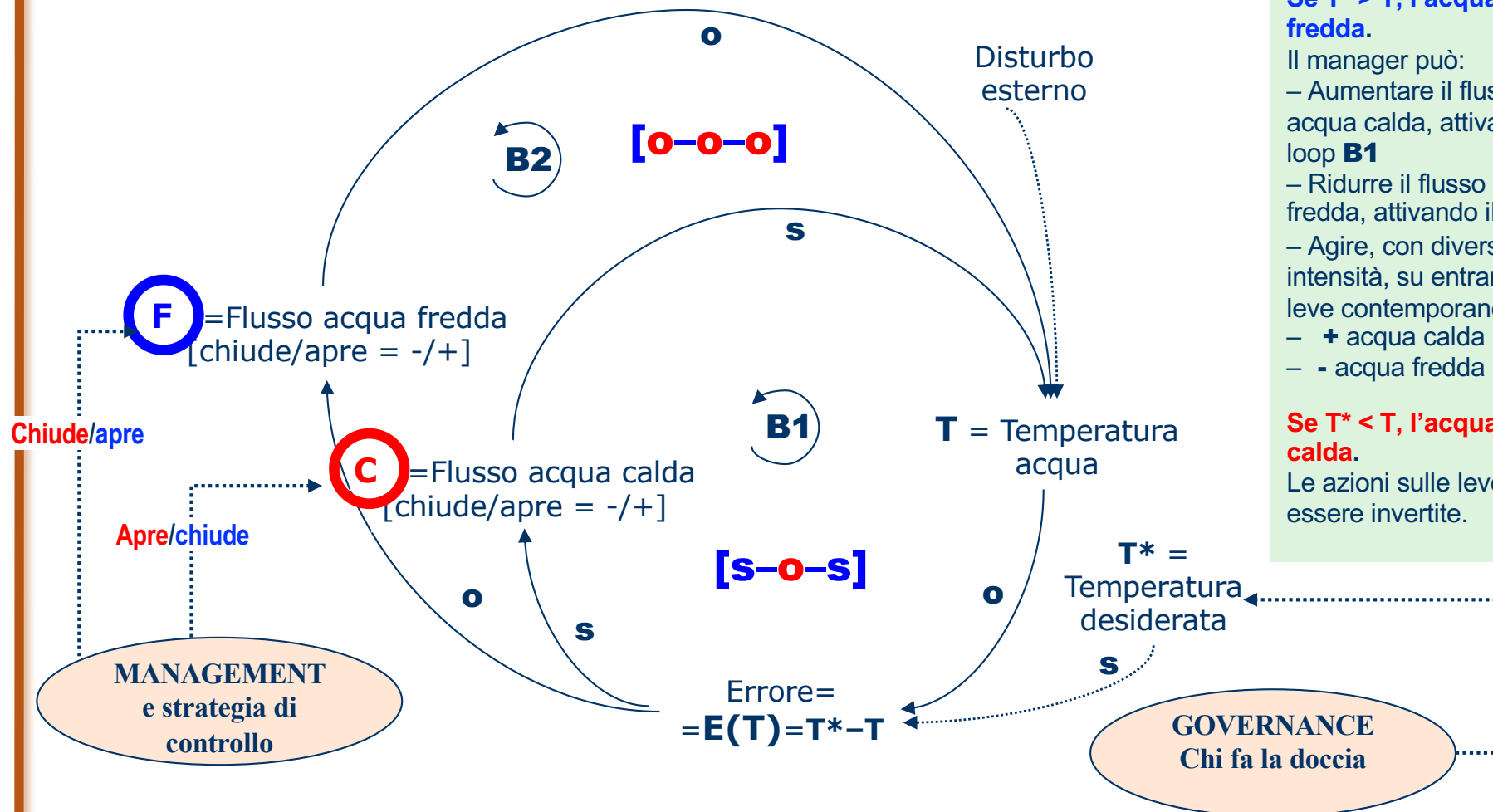
- Iniziamo dai sistemi multi-leva più semplici, con **due** sole leve: **X_1** e **X_2** .
- A secondo della possibilità di agire sulle leve possiamo distinguersi due tipi di leve.
 - Le **leve** sono **indipendenti**, nel senso che il **manager** può decidere se modificare solo la prima, o solo la seconda, o entrambe.
 - Questo controllo si definisce a **leve libere**.
 - Le **leve** sono **dipendenti l'una dall'altra**, nel senso che una variazione nella **X_1** implica una variazione di senso "**o**", oppure "**s**", nella **X_2** , anche se tali variazioni possono avere misura o intensità diversa.
 - Questo controllo si definisce a **leve vincolate**.



Controllo a due leve indipendenti

Controllo della temperatura della doccia

- La doccia con due rubinetti è il più semplice esempio di Sistema di Controllo con due leve manovrabili liberamente per controllare la temperatura del flusso.



Strategia del management

Se $T^* > T$, l'acqua è troppo fredda.

Il manager può:

- Aumentare il flusso di acqua calda, attivando il loop **B1**
- Ridurre il flusso di acqua fredda, attivando il loop **B2**
- Agire, con diversa intensità, su entrambe le leve contemporaneamente:
 - + acqua calda
 - - acqua fredda

Se $T^* < T$, l'acqua è troppo calda.

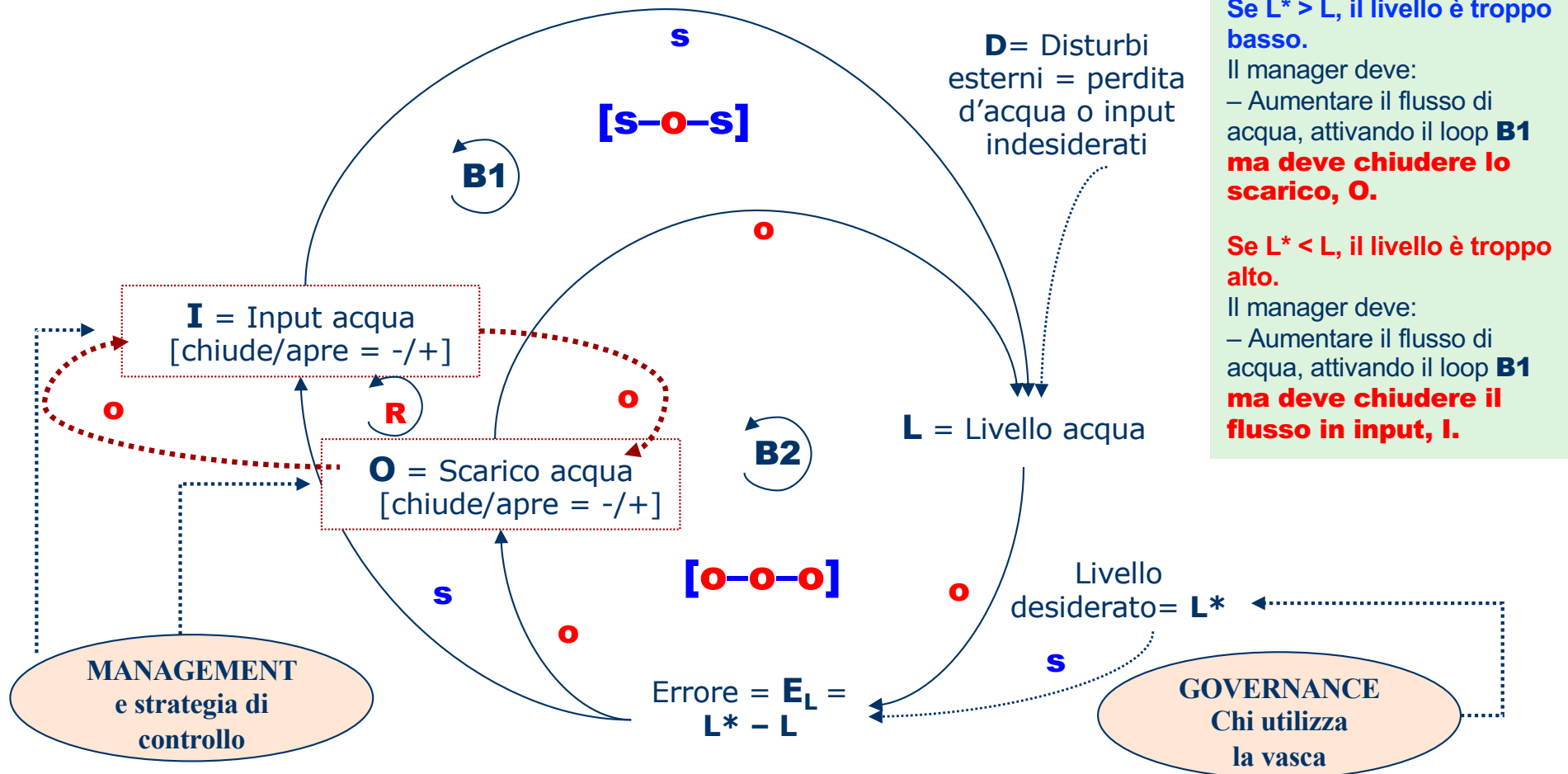
Le azioni sulle leve devono essere invertite.



Modello a due leve dipendenti ["o"/"o"]

Livello dell'acqua in una vasca

- La vasca con rubinetto e scarico è il più semplice (e generale) esempio di Sistema di Controllo con **due leve non manovrabili liberamente ma vincolate** in senso ["o"/"o"].

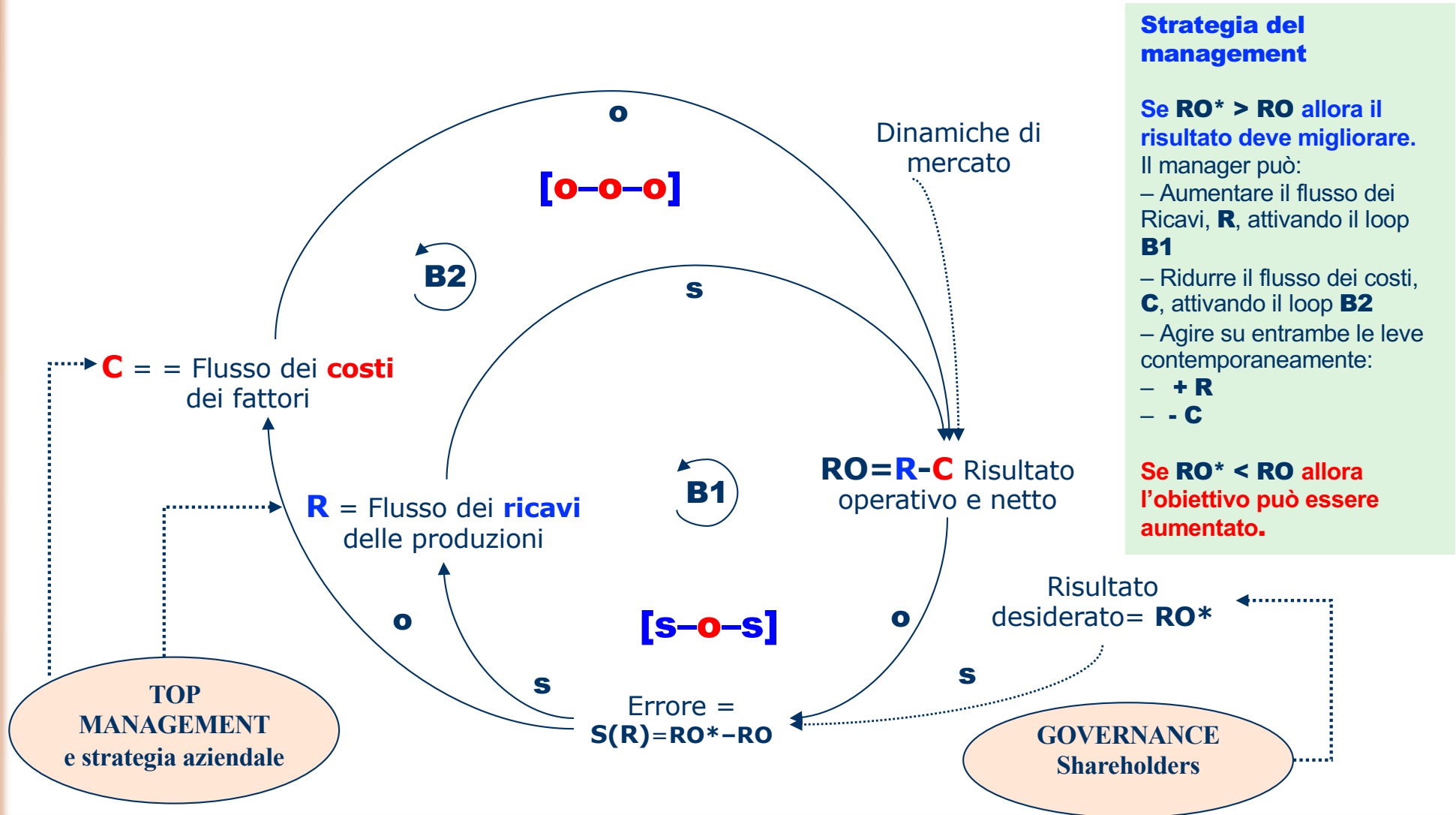


Modello a due leve indipendenti

Anche l'impresa è come una vasca

Controllo del risultato operativo

Sappiamo quanto sia importante e complessa la «strategia aziendale» per controllare i livelli del Risultato Operativo, RO se essi sono diversi da RO^* , stabilito dalla Governance.



Strategia del management

Se $RO^* > RO$ allora il risultato deve migliorare. Il manager può:

- Aumentare il flusso dei Ricavi, **R**, attivando il loop **B1**
- Ridurre il flusso dei costi, **C**, attivando il loop **B2**
- Agire su entrambe le leve contemporaneamente:
- + R
- - C

Se $RO^* < RO$ allora l'obiettivo può essere aumentato.



La strategia di azione delle leve

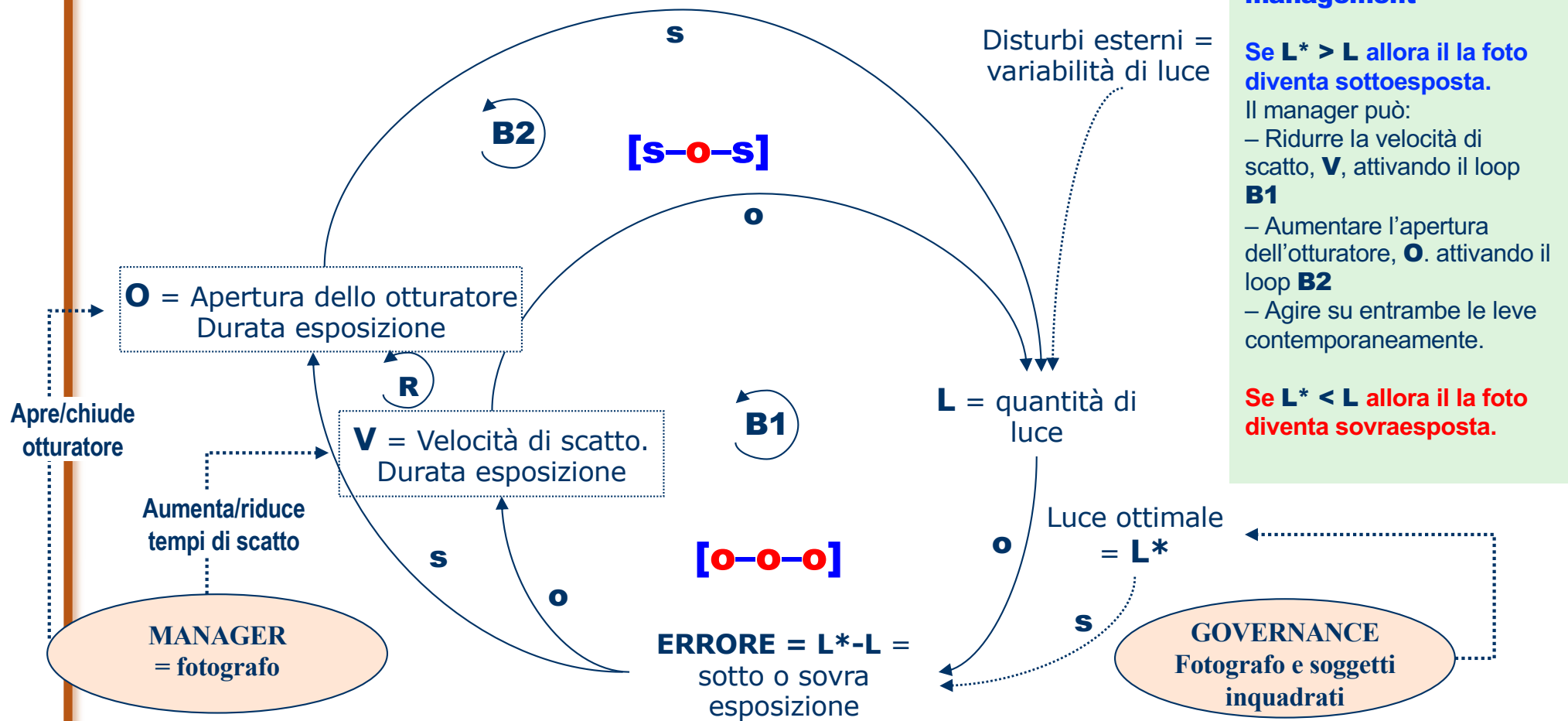
- Il controllo con due o più variabili, implica che il manager definisca un **ordine di priorità** per la **manovra** delle leve di controllo e il **valore** (dimensione) da assegnare a ciascuna.
 - L'**esperienza** consentirà al manager di conseguire l'obiettivo manovrando le leve nell'ordine e nella dimensione che ritiene più efficiente.
- **Si definisce strategia l'esperienza formalizzata circa il numero le priorità di manovra delle leve di controllo e il valore loro assegnato.**
 - La **strategia** non dipende solo dalla struttura del Sistema di Controllo ma anche dalle conoscenze e dalle attitudini del **manager**.
 - La **strategia** caratterizza tutti i sistemi **multileva** anche se appare più importante per i sistemi con **leve indipendenti**.
- Verranno ora presentati alcuni esempi di sistemi a due leve.



Modello a due leve indipendenti

La luce sulla pellicola della fotocamera

Formulare la **strategia** appare difficile perché le leve controllano altri obiettivi. L'apertura controlla la profondità di campo. La velocità controlla il "movimento". **Si tratta, pertanto di un sistema pluriobiettivo.**



Strategia del management

Se $L^* > L$ allora la foto diventa sottoesposta.
 Il manager può:

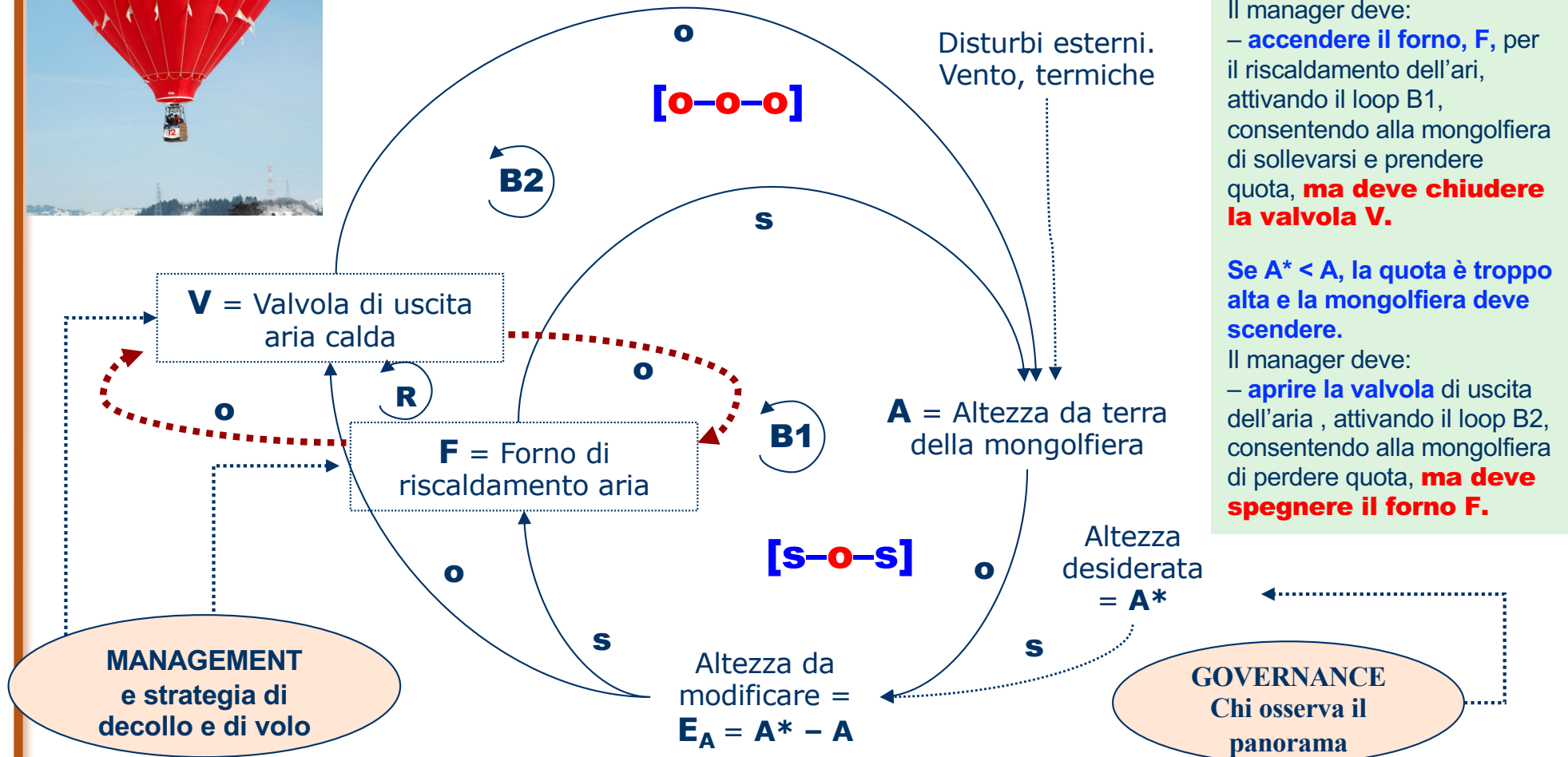
- Ridurre la velocità di scatto, V , attivando il loop **B1**
- Aumentare l'apertura dell'otturatore, O , attivando il loop **B2**
- Agire su entrambe le leve contemporaneamente.

Se $L^* < L$ allora la foto diventa sovraesposta.



Modello a due leve dipendenti

La mongolfiera e il modello della vasca



Strategia del management

Se $A^* > A$, la quota è bassa e la mongolfiera deve salire.

Il manager deve:

- **accendere il forno, F**, per il riscaldamento dell'ari, attivando il loop B1, consentendo alla mongolfiera di sollevarsi e prendere quota, **ma deve chiudere la valvola V.**

Se $A^* < A$, la quota è troppo alta e la mongolfiera deve scendere.

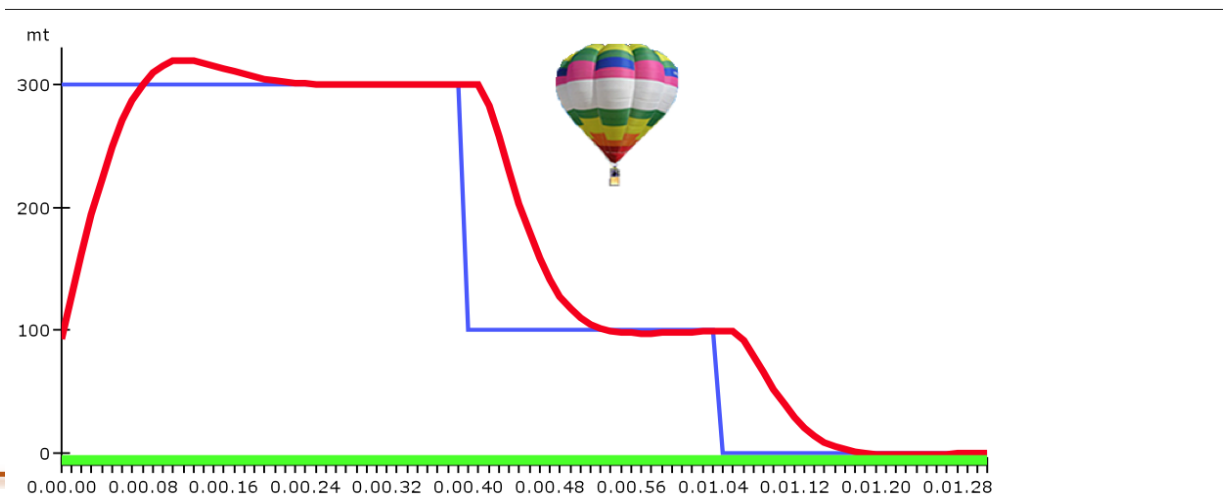
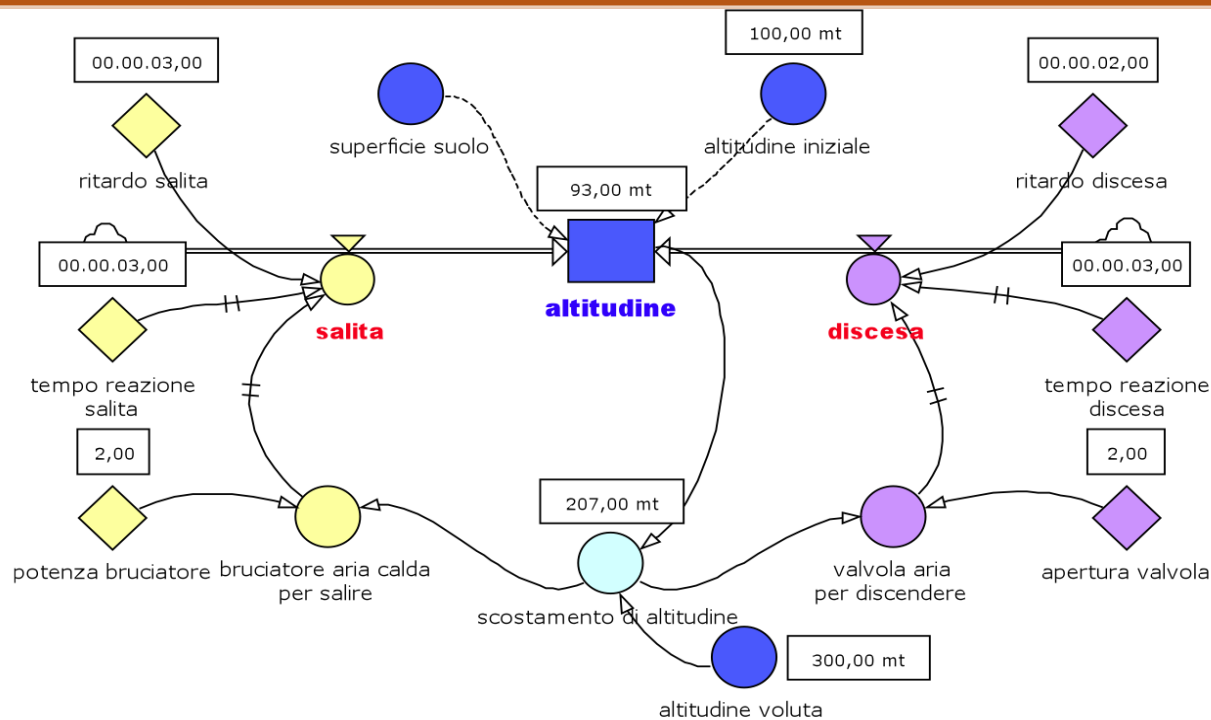
Il manager deve:

- **aprire la valvola** di uscita dell'aria, attivando il loop B2, consentendo alla mongolfiera di perdere quota, **ma deve spegnere il forno F.**



Modello a due leve dipendenti

Simulazione della dinamica dell'altezza di volo dell'aerostato



Simulazione della dinamica dell'altezza della mongolfiera

Utilizzando il software di simulazione Powersim, si ottiene una dinamica realistica delle variazioni di quota della mongolfiera nel tempo



Modello a due leve dipendenti

Il sommergibile e il modello della vasca

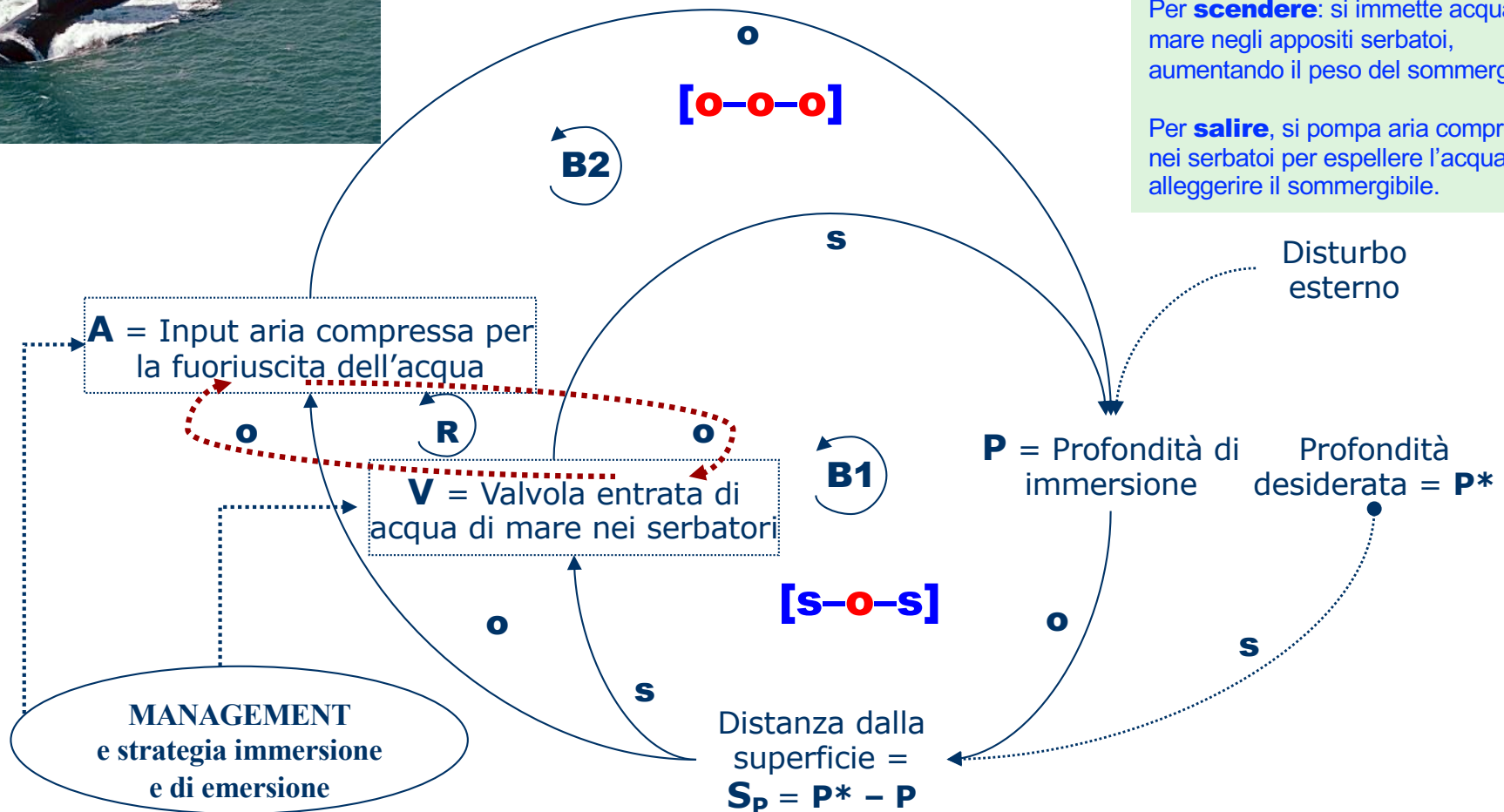


Presento, senza commenti, il sistema di controllo che consente a un sommergibile di raggiungere un profondità di immersione sott'acqua e di modificarla per conseguire l'obiettivo di profondità desiderata.

Strategia del management

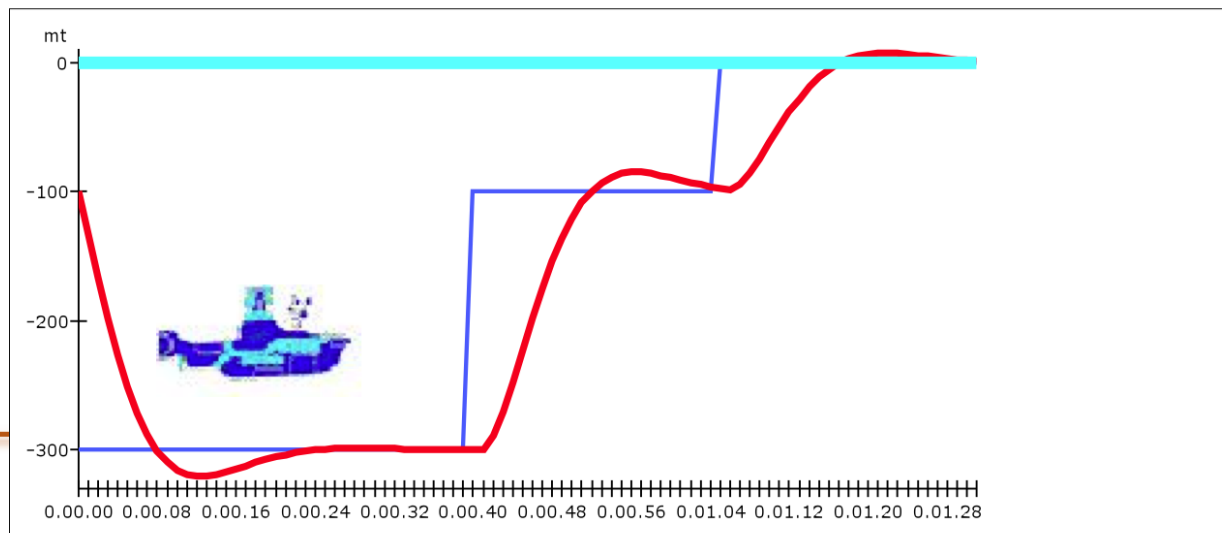
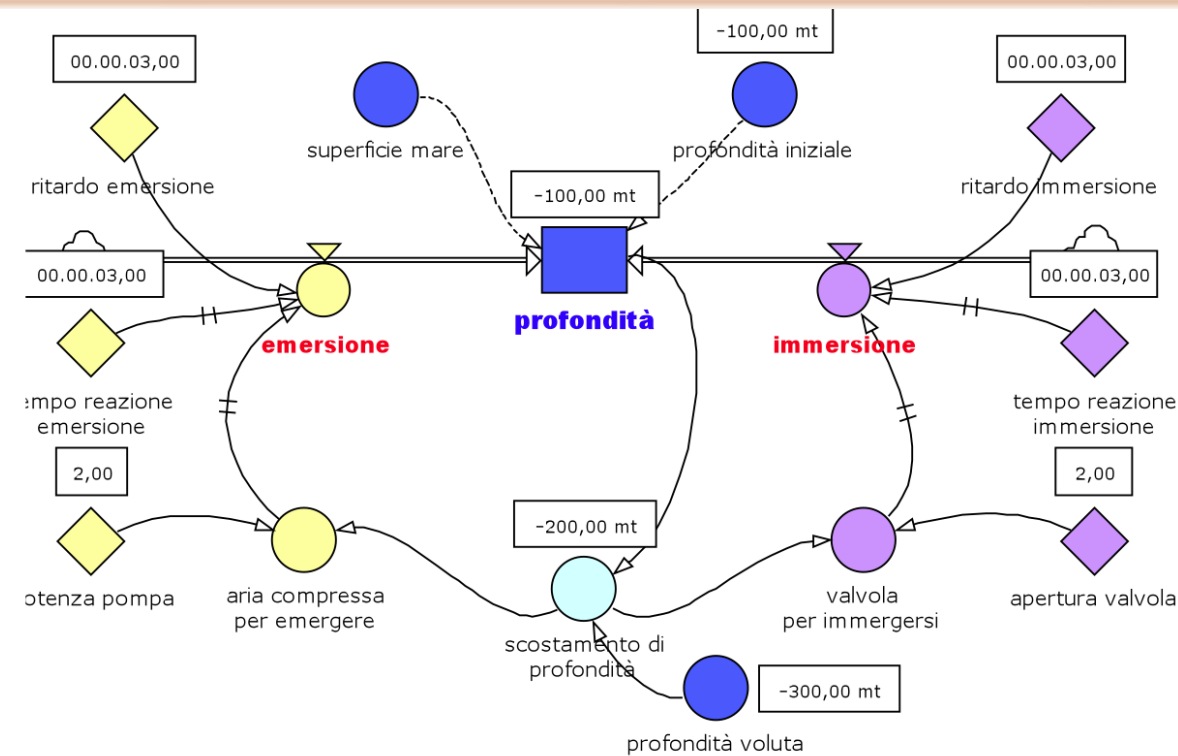
Per **scendere**: si immette acqua di mare negli appositi serbatoi, aumentando il peso del sommergibile

Per **salire**, si pompa aria compressa nei serbatoi per espellere l'acqua e alleggerire il sommergibile.



Modello a due leve dipendenti

Simulazione della dinamica della profondità di immersione



Simulazione della dinamica della profondità di immersione del sommergibile

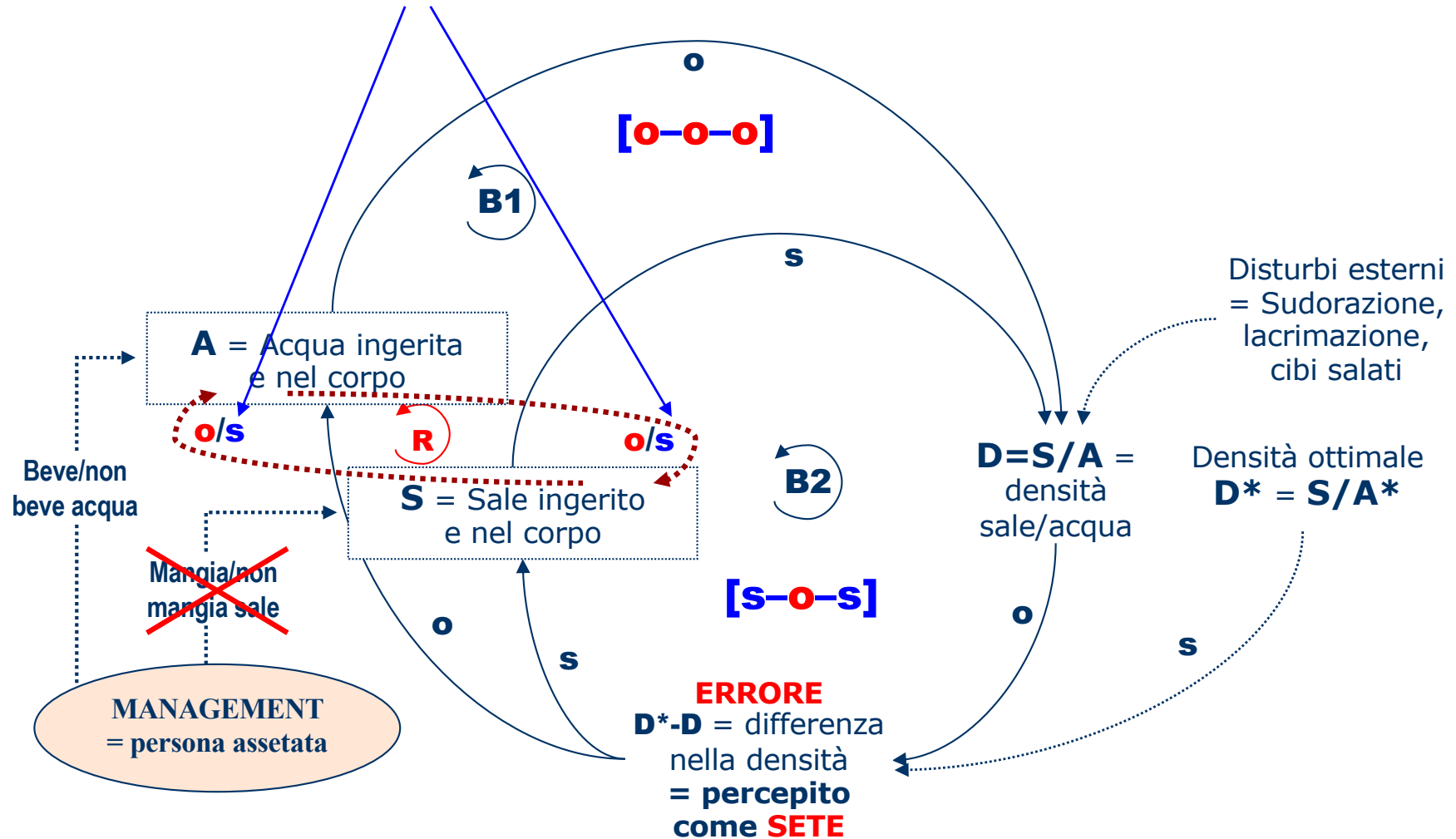
Si noti come la dinamica del sommergibile sia speculare a quella della mongolfiera. La mongolfiera si innalza; il sommergibile si immerge. C'è una evidente inversione di segno nei valori ma le dinamiche sono simili, anche se «capovolte».



Modello a due leve dipendenti, con errore

La densità di liquido nel corpo

Il sistema di regolazione della sete, per ingestione di sale o di acqua, presenta un grave difetto. La strategia appare difficile perché l'ERRORE porta impropriamente ad usare sempre la leva **A** e mai la **S**. Quando si ha sete viene istintivo bere acqua ma non è altrettanto istintivo assumere sale. Le leve sono dipendenti, non solo con vincolo "o"; conviene legarle anche con doppio vincolo "s".



Sistemi per impulsi

- I sistemi a due leve, dei modelli presentati in precedenza, sono a «funzionamento continuo» (oppure graduale), in quanto hanno la caratteristica di operare con «leve continue» che controllano la Y , assumendo, solitamente, valori definiti per ogni t compreso nell'intervallo di osservazione T .
- Considereremo ora un'altra rilevante classe di Sistemi di Controllo a due leve, particolarmente diffusi in ogni area di osservazione: **quelli che operano «per impulsi».**
- **Definizione**
- Un sistema a **due leve** opera **per impulsi** quando:
 - la **prima leva** di controllo X_1 incrementa il valore della Y_t – mentre la seconda X_2 rimane a zero – fino a quando la Y_t non raggiunga il livello Y^* , precedentemente definito come obiettivo.
 - Quando Y_t **ha raggiunto** Y^* si attiva la **seconda leva** di controllo X_2 che decrementa la Y_t , mentre la X_1 rimane a zero.
 - Quando Y_t **ha raggiunto** $Y = 0$, riprende la X_1 .
 - Il ciclo continua.
- Questo comportamento delle leve produce l'effetto una **variazione periodica** della Y_t da 0 a Y^* .
- **Come vedremo (p. 223), i sistemi per impulsi rappresentano adeguatamente la dinamica di “magazzini” (stock, livelli, masse, ecc.) di qualsivoglia natura.**



Sistema per impulsi

CI-PO, Continuous Input/Point Output

- Ci sono **due modi** di funzionamento del sistema per impulsi.
 - Il **primo modo**, è definito sistema **CI-PO**.
- Supponiamo, che uno **stock** parta a t_0 da un livello pari a Y_0 e venga **incrementato gradualmente** fino a quando non raggiunga l'obiettivo, $Y^* = Y^{\max}$ denominato **livello di saturazione**.
- Raggiunto il livello Y^* , lo stock viene poi **scaricato** in una sola volta, per un volume pari esattamente a $Y = -(Y^{\max} - Y_0)$.
- Lo stock assume, allora, il livello $Y = Y_0$.
- Comincia poi, di nuovo, a incrementarsi **gradualmente** fino a quando non raggiunga di nuovo il livello di saturazione Y^* . Questo livello può essere variato per decisione della governance.
- Il ciclo si ripete fino a quando il periodo T di azione del sistema non sia completato.



Sistema per impulsi CI-PO, Continuous Input/Point Output

OUT		IN	
velocità di X_1	10	passo rid. $X_1 =$	10
velocità di X_2	2	passo rid. $X_2 =$	10
		tempo reazione	1
		liv. Iniz. $Y_0 =$	0
		Obiettivo $Y^* =$	100
		tolleranza $Y =$	0
		DISABILITATI	

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
t	velocità di X_1	velocità di X_2	dinamica di Y	$Y^* =$ OBIETTIVO	variaz. Obiettivo	E = DISTURBO	ERRORE = $Y^* - Y$
0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
1	0.0	20.0	20.0	100.0	0.0	0.0	80.0
2	0.0	20.0	40.0	100.0	0.0	0.0	60.0
3	0.0	20.0	60.0	100.0	0.0	0.0	40.0
4	0.0	20.0	80.0	100.0	0.0	0.0	20.0
5	0.0	20.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
6	-100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
7	0.0	20.0	20.0	100.0	0.0	0.0	80.0
8	0.0	20.0	40.0	100.0	0.0	0.0	60.0
9	0.0	20.0	60.0	100.0	0.0	0.0	40.0
10	0.0	20.0	80.0	100.0	0.0	0.0	20.0
11	0.0	20.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
12	-100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
13	0.0	20.0	20.0	100.0	0.0	0.0	80.0
14	0.0	20.0	40.0	100.0	0.0	0.0	60.0
15	0.0	20.0	60.0	100.0	0.0	0.0	40.0
16	0.0	20.0	80.0	100.0	0.0	0.0	20.0
17	0.0	20.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0

Il modello evidenzia la dinamica di un sistema CI-PO «perfetto», nel quale non sono presenti Disturbi e l'obiettivo non subisce variazioni nel tempo, anche se la loro presenza provocherebbe solo una temporanea alterazione dei cicli, che si riprodurrebbero regolarmente, terminata la perturbazione, come sarà dimostrato nel modello della diapositiva che segue.

In ogni t , da $t = 1$ a $t = 5$, la leva X_2 incrementa la Y di

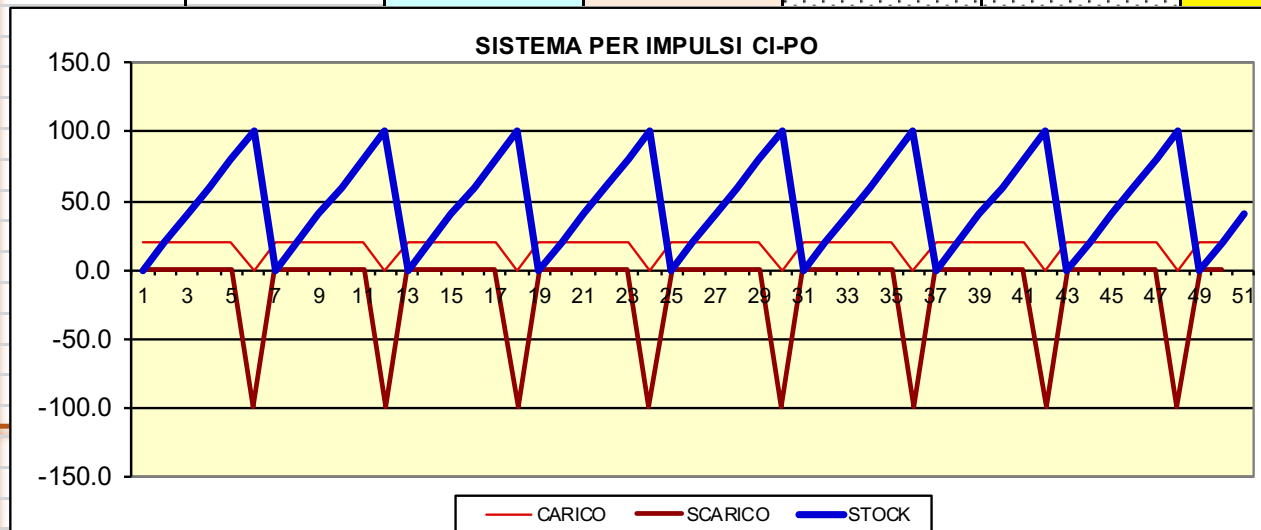
$$20 = 2 \times 10 = \text{velocità} \times \text{passo},$$

portando la Y al valore dell'obiettivo: $Y_5 = 100 = Y^*$.

In $t = 6$, si disattiva la leva che «carica», che diventa:

$X_2 = 0$, e contemporanea-mente si attiva la leva che «scarica»: $X_1 = -100$.

Da $t = 7$, per altri 5 periodi, ritornano i valori di $X_1 = 0$ e $X_2 = 20$. Il ciclo si ripete invariato.



Sistema per impulsi

CI-PO, Continuous Input/Point Output, con variazione obiettivo

OUT										
velocità di X ₁	10	passo rid. X ₁ =	10	liv. Iniz. Y ₀ =	0					
velocità di X ₂	2	passo rid. X ₂ =	10	scarico Y* =	100					
IN		tempo reazion		1	tolleranza Y =	0	DISABILITATI			
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]			
t	variaz. di X1	variaz. di X2	dinamica di Y	Y* = OBIETTIVO	variaz. Obiettivo	E = DISTURBO	ERRORE = Y* - Y			
0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
1	0.0	20.0	20.0	100.0	0.0	0.0	80.0			
2	0.0	20.0	40.0	100.0	0.0	0.0	60.0			
3	0.0	20.0	60.0	100.0	0.0	0.0	40.0			
4	0.0	20.0	80.0	100.0	0.0	0.0	20.0			
5	0.0	20.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0			
6	-100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
7	0.0	20.0	20.0	100.0	0.0	0.0	80.0			
8	0.0	20.0	40.0	150.0	50.0	0.0	110.0			
9	0.0	20.0	60.0	150.0	0.0	0.0	90.0			
10	0.0	20.0	80.0	150.0	0.0	0.0	70.0			
11	0.0	20.0	100.0	150.0	0.0	0.0	50.0			
12	0.0	20.0	120.0	150.0	0.0	0.0	30.0			
13	0.0	20.0	140.0	150.0	0.0	0.0	10.0			
14	0.0	10.0	150.0	150.0	0.0	0.0	0.0			
15	-150.0	0.0	0.0	150.0	0.0	0.0	150.0			
16	0.0	20.0	20.0	150.0	0.0	0.0	130.0			
17	0.0	20.0	40.0	150.0	0.0	0.0	110.0			
18	0.0	20.0	50.0	150.0	0.0	-10.0	100.0			
19	0.0	20.0	50.0	150.0	0.0	-20.0	100.0			
20	0.0	20.0	40.0	150.0	0.0	-30.0	110.0			
21	0.0	20.0	40.0	150.0	0.0	-20.0	110.0			
22	0.0	20.0	50.0	150.0	0.0	-10.0	100.0			
23	0.0	20.0	70.0	150.0	0.0	0.0	80.0			
24	0.0	20.0	90.0	150.0	0.0	0.0	60.0			
25	0.0	20.0	110.0	150.0	0.0	0.0	40.0			
26	0.0	20.0	130.0	150.0	0.0	0.0	20.0			
27							0.0			
28							150.0			
29							130.0			
30							110.0			
31							90.0			
32							70.0			
33							50.0			
34							30.0			
35							10.0			
36							0.0			
37							150.0			
38							130.0			
39							110.0			
40							90.0			
41							70.0			
42							50.0			
43							30.0			

Questo modello, dimostra numericamente le conseguenze di un innalzamento dell'obiettivo da 100 a 150, che sopravviene a $t = 8$.

Si osserva che tale modifica dell'obiettivo produce perturbazioni che intervengono negli istanti da $t = 18$ a $t = 22$.

Malgrado tali perturbazioni, il Sistema riesce sempre a raggiungere il valore Y*.

Sistema per impulsi

PI-CO, Point Input/Continuous Output

- Ci sono **due modi** di funzionamento del sistema per impulsi.
 - Il **secondo modo**, è definito sistema **PI-CO**.
- Supponiamo, che uno **stock** parta a t_0 da un livello pari a Y_0 e venga **decrementato gradualmente** fino a quando non raggiunga un valore minimo $Y^* = Y_{\min}$ posto come obiettivo, denominato **livello di sicurezza** [che coincide con Y_0 se $Y_{\min} = 0$].
- Raggiunto il **livello di sicurezza**, lo stock viene poi **caricato** in una sola volta, per un volume pari a Y_0 denominato **livello di riordino**.
- Lo stock assume, allora, il livello $Y^{\max} = Y_{\min} + \Delta Y$.
- Comincia poi a **decrementarsi gradualmente** fino a quando non raggiunga, di nuovo, il livello di sicurezza, $Y^* = Y_{\min}$.
- Il ciclo si ripete fino a quando il periodo T non sia completato.



Sistema per impulsi PI-CO, Point Input/Continuous Output

OUT									
velocità di X_1	5	passo rid. $X_1 =$	2	riordino $Y_0 =$	100				
velocità di X_2	10	passo rid. $X_2 =$	10	liv. sicur. $Y^* =$	30				
IN		tempo reazione	1	tolleranza $Y =$	0	DISABILITATI			
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]		
t	variaz. di X_1	variaz. di X_2	dinamica di Y	$Y^* =$ OBIETTIVO	variaz. Obiettivo	E = DISTURBO	ERRORE = $Y^* - Y$		
0	0.0	0.0	100.0	30.0	0.0	0.0	-70.0		
1	-10.0	0.0	90.0	30.0	0.0	0.0	-60.0		
2	-10.0	0.0	80.0	30.0	0.0	0.0	-50.0		
3	-10.0	0.0	70.0	30.0	0.0	0.0	-40.0		
4	-10.0	0.0	60.0	30.0	0.0	0.0	-30.0		
5	-10.0	0.0	50.0	30.0	0.0	0.0	-20.0		
6	-10.0	0.0	40.0	30.0	0.0	0.0	-10.0		
7	-10.0	0.0	30.0	30.0	0.0	0.0	0.0		
8	0.0	100.0	130.0	30.0	0.0	0.0	-100.0		
9	-10.0	0.0	120.0	30.0	0.0	0.0	-90.0		
10	-10.0	0.0	110.0	30.0	0.0	0.0	-80.0		
11	-10.0	0.0	100.0	30.0	0.0	0.0	-70.0		
12	-10.0	0.0	90.0	30.0	0.0	0.0	-60.0		
13	-10.0	0.0	80.0	30.0	0.0	0.0	-50.0		
14	-10.0	0.0	70.0	30.0	0.0	0.0	-40.0		
15	-10.0	0.0	60.0	30.0	0.0	0.0	-30.0		
16	-10.0	0.0	50.0	30.0	0.0	0.0	-20.0		
17	-10.0	0.0	40.0	30.0	0.0	0.0	-10.0		
18	-10.0	0.0	30.0	30.0	0.0	0.0	0.0		
19	0.0	100.0	130.0	30.0	0.0	0.0	-100.0		
20	-10.0	0.0	120.0	30.0	0.0	0.0	-90.0		
21	-10.0	0.0	110.0	30.0	0.0	0.0	-80.0		

Il modello evidenzia la dinamica di un sistema PI-CO «perfetto», nel quale non sono presenti Disturbi e l'obiettivo non subisce variazioni nel tempo.

La governance ha stabilito un **livello di sicurezza = $30 = Y^*$** , al di sotto del quale il valore di Y non può scendere. Pertanto il «livello di sicurezza» rappresenta l'obiettivo Y^* del controllo.

All'istante $t = 0$ il sistema presenta un valore di «Carico» pari $Y_0 = 100 = 10 \times 10$.

In ogni t , da $t = 1$ a $t = 7$, la leva X_1 «scarica» la Y di

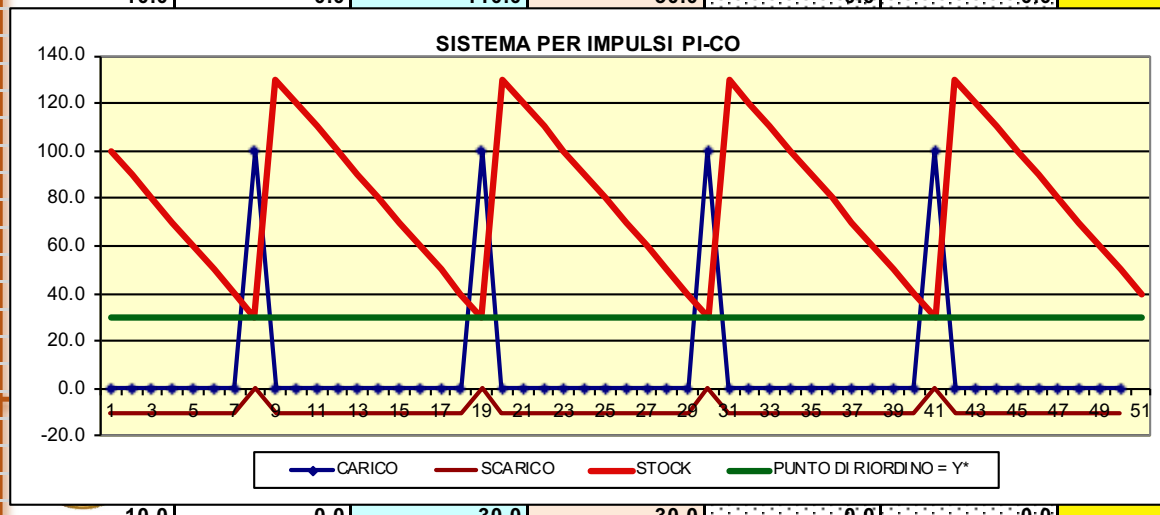
$$-10 = -(5 \times 2) = \text{velocità} \times \text{passo},$$

portandola al valore dell'obiettivo:

$$Y_7 = 30 = Y^*.$$

In $t = 8$, si disattiva la leva che «scarica», che diventa: $X_2 = 0$; contemporaneamente si attiva la leva che «carica»: $X_1 = +100$, pari al **valore di riordino**, portando $Y_8 = 130$

Da $t = 9$, per 10 periodi, ritornano i valori di $X_1 = -10$ e $X_2 = 0$. Il ciclo si ripete invariato.



Ubiquità dei sistemi per impulsi

- A prima vista, i Sistemi di Controllo che operano *per impulsi* possono sembrare alquanto astratti ma, anche a una veloce riflessione, è facile rendersi conto di quanto essi siano diffusi.
- Un tipico Sistema di Controllo CI-PO è riscontrabile nelle nostre toilette. Quando pigiamo il bottone dello **sciacquone**, lo scarico dell'acqua può essere considerato pressoché istantaneo (PO); dopo essersi svuotato, il serbatoio torna a riempirsi (CI), fino a quando l'apparato di rilevazione e di regolazione, costituito dal galleggiante e dalla spina di chiusura dell'acqua, non arrestano la crescita del livello fino al massimo contenuto nella vasca. La velocità di riempimento dipende, come sempre, dalla *portata*, a sua volta formata dalla *sezione* del tubo e dalla *velocità* dell'acqua.
- Anche i **piani di accumulazione** dei capitali possono essere considerati Sistemi CI-PO.
- Il maggior numero di Sistemi di Controllo CI-PO si riscontra nel mondo della vita; il frutto cresce a poco a poco (CI) con l'apporto graduale di calorie e di sostanze nutritive (variabile X_2) e poi matura (Y^*), cadendo dall'albero (variabile X_1) o finendo su qualche tavola (PO); ma il Sistema di Controllo dell'albero, nel successivo ciclo biologico, nuovamente trasformerà input di calorie e di sostanze nutritive in un altro frutto.
- Il fatto che, di norma, nei mammiferi, le **gravidanze** abbiano una durata definita – nel mondo degli umani durano mediamente 280 giorni – è la più evidente dimostrazione dell'azione di tali sistemi.
- Altrettanto diffusi e numerosi sono i Sistemi di Controllo PI-CO; tipici sono quelli che caratterizzano la nostra **dispensa**, il nostro **frigorifero** e il **serbatoio/batteria** della nostra automobile; a meno di non essere assidui visitatori degli ipermercati o di distributori di carburanti/energia, tutti noi ci riforniamo con uno stock di alimentari, di prodotti per la casa e di carburante/energia (PI), sufficienti per periodo più o meno lungo, usandoli poi regolarmente (CO), e rifornendoci ancora quando il loro livello scende “pericolosamente” vicino al livello di sicurezza Y^* .
- Anche il processo del nutrirsi, nostro, e degli animali in genere, è palesemente prodotto da un Sistema di Controllo per impulsi. Un buon pasto ci fornisce di energie (PI) per qualche ora di lavoro, nelle quali queste vengono consumate (CO), così da desiderare un nuovo pasto (PI). Il ciclo si ripete per tutta la vita.



Sistema di controllo sotto dimensionato

Potenziamento del sistema

- I sistemi di controllo «fisici», per quanto ben strutturati da un punto di vista «logico» e ben gestiti dal management, anche in assenza di guasti, possono non essere in grado di raggiungere gli obiettivi posti dalla governance. Sono sottodimensionati.
- **Definizione**
 - Si definisce **sottodimensionato** rispetto all'obiettivo un Sistema di Controllo che **non** consente di raggiungere l'obiettivo Y^* in un dato intervallo T^* , a motivo dell'**insufficiente azione delle sue leve**, e non solo per i **disturbi**,
 - Se il sistema fisico è **sottodimensionato** rispetto all'obiettivo, l'obiettivo è **sovradimensionato** per il sistema fisico.
 - **Un sistema di controllo sottodimensionato è inefficace.**
 - Per conseguire il controllo, il sistema fisico (la «catena di controllo») deve essere potenziato.
- **Definizione**
 - **Potenziamento del sistema fisico** è ogni **intervento strutturale** per:
 - **ampliare la «portata»** delle leve di controllo,
 - realizzando un **potenziamento interno**;
 - **aumentare il numero** delle leve,
 - realizzando un **potenziamento esterno**.



Potenziamento interno

portata, sezione, velocità, servomeccanismi

- Nei Sistemi di Controllo (mono-leva o pluri-leva), alcune leve **X** sono caratterizzate da un **tasso d'azione** – **gX** – che, direttamente o indirettamente, può assumere il significato di **«portata» della leva per un «flusso» che scorre attraverso la leva**, (secondo il significato da specificare di volta in volta);
- La **«portata»** del **tasso d'azione** dipende da due elementi:
 - la **sezione, sX**, della leva (diametro, superficie, capacità, ecc.),
 - la **velocità, vX**, del flusso nella leva,
 - così che si possa scrivere **«portata» = gX = sX × vX**.
- Il **potenziamento di una leva** di controllo può essere attuato incrementando la sua **«portata»** mediante due **interventi, interni**, singoli o congiunti:
 - **intervento amplificatore**, se agisce su **sX**, producendo un aumento della **sezione** della leva
 - **intervento acceleratore**, o **turbo**, se agisce su **vX**, incrementando la **velocità** del flusso,
- Amplificatore e turbo possono essere dimensionati
 - sia alla variabile da controllare, **Y**,
 - sia all'ampiezza dell'errore, **E**.
- Gli apparati che producono tali effetti sono **servomeccanismi** interni e possono produrre dinamiche lineari, se i loro effetti dipendono da **Y**, oppure non-lineari se, in qualche forma, sono funzioni di **E**.



Potenziamento esterno

nuove leve

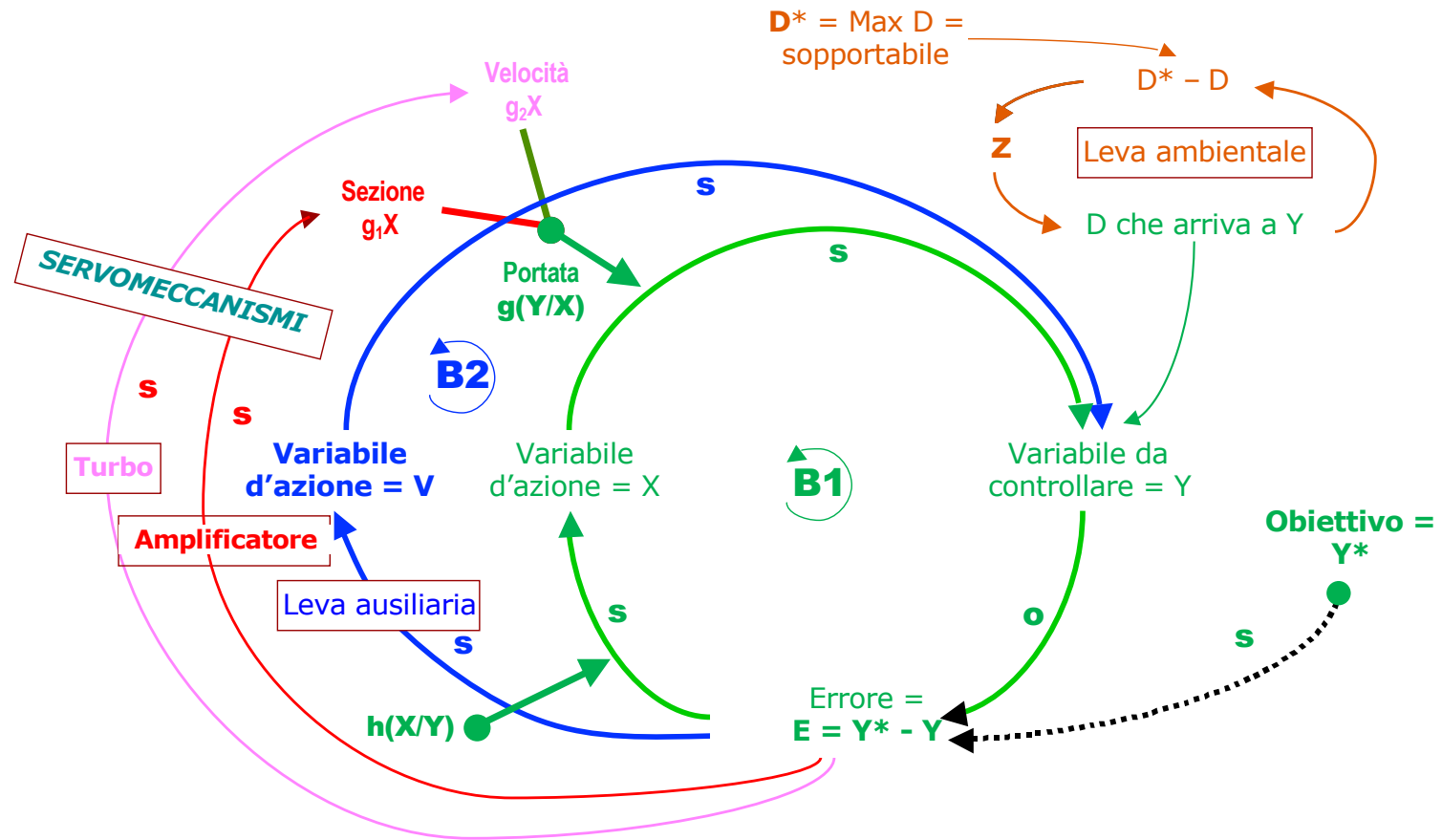
- Si può migliorare ulteriormente l'efficacia di un sistema di controllo affiancando alla **X** una **nuova leva** di controllo, poniamo **V**,
 - che produca un **ulteriore flusso**, in aggiunta a quello di **X**.
- Tale leva **V** si può denominare:
 - **leva ausiliaria interna** alla struttura se i suoi valori dipendono dallo scostamento **E**,
 - **servomeccanismo esterno**, o di **controllo ambientale**, se **V** non agisce per controllare **E** ma per controllare i disturbi, **D**.
- Il potenziamento del sistema di controllo mediante l'aggiunta di **leve ausiliarie interne** porta alla formazione di sistemi pluri-leva sempre più **ampi** ed efficienti.
- Il **controllo ambientale** è, per definizione, **esterno** al Sistema di Controllo e presuppone la creazione di **leve ambientali** per il controllo dei **disturbi esterni**.





Interventi di potenziamento

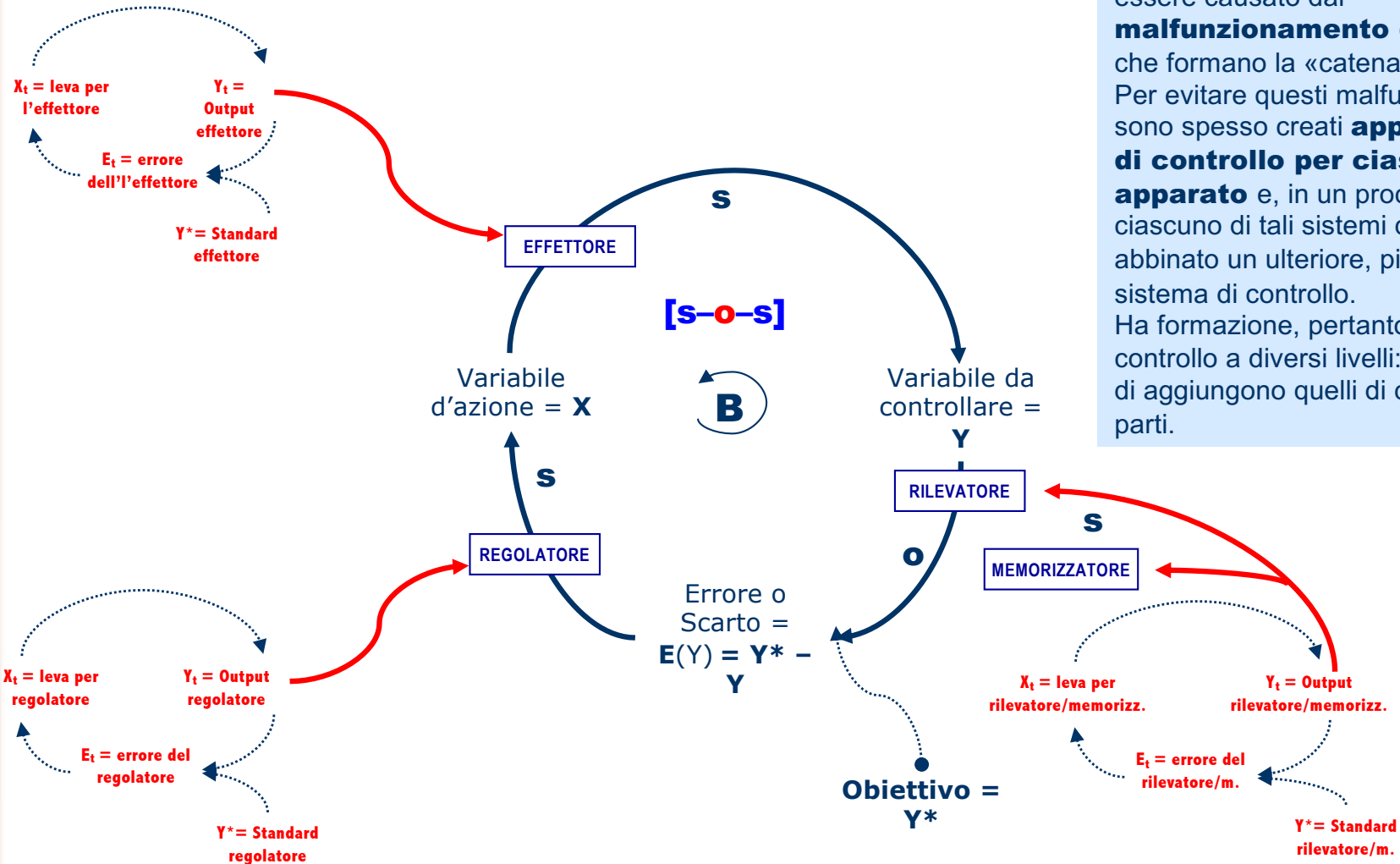
Quadro d'insieme



facoltativo

Il controllo degli apparati

Sistema di Controllo a diversi livelli. Quadro d'insieme



Molti sistemi di controllo, pur essendo ben dimensionati, falliscono ugualmente nel conseguire gli obiettivi. Ciò può essere causato dal **malfunzionamento degli apparati** che formano la «catena di controllo». Per evitare questi malfunzionamenti, sono spesso creati **appositi sistemi di controllo per ciascun apparato** e, in un processo ricorsivo, a ciascuno di tali sistemi di controllo viene abbinato un ulteriore, più specifico, sistema di controllo. Ha formazione, pertanto, un sistema di controllo a diversi livelli: il principale cui di aggiungono quelli di controllo di sue parti.



Strategie multi-lever, mono-layer

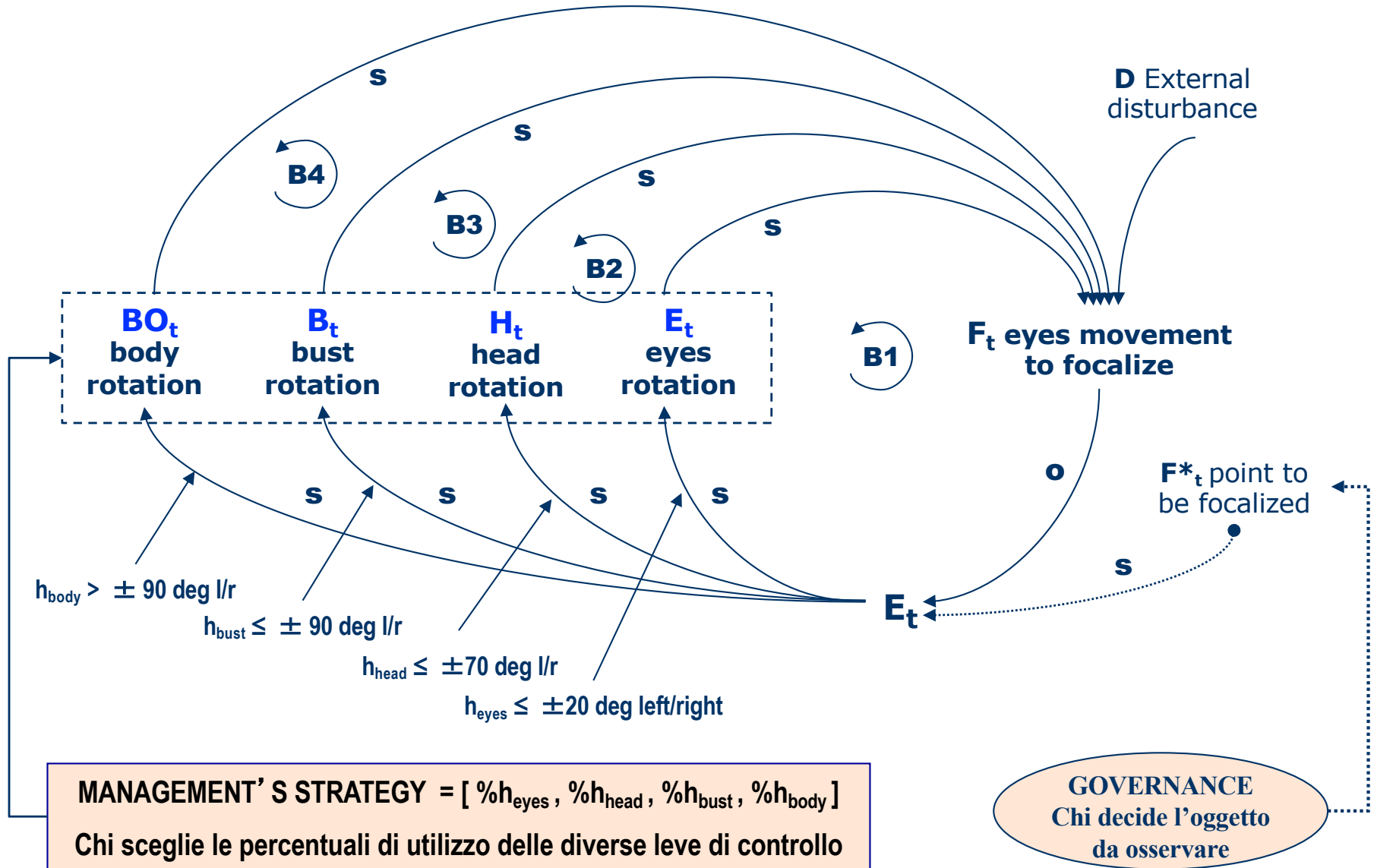
Messa a fuoco di oggetti a diverse distanze e posizioni

- Gli esempi fin qui presentati riguardavano il più semplice caso di strategia elaborata considerando sistemi **multi-lever**, dotati **di due sole leve di controllo**.
- È semplice generalizzare ipotizzando sistemi caratterizzati da una **pluralità di leve di controllo**, per i quali il management debba elaborare una **strategia multi-lever**.
- Per dimostrare il ragionamento, presenterò due semplici casi tratti dal «quotidiano»:
 - **PRIMO ESEMPIO** - strategia per la **messa a fuoco di oggetti** posti su un piano orizzontale,
 - **SECONDO ESEMPIO** - strategia per mantenere la **temperatura del corpo**.
- **PRIMO ESEMPIO - Sistema di messa a fuoco di oggetti** - I nostri occhi hanno un «sistema naturale» di messa a fuoco che utilizza il cristallino come lente flessibile che, senza che intervenga la nostra volontà, muta il suo spessore e adatta quasi istantaneamente il fuoco su oggetti che si trovano di fronte alla pupilla.
- **Il problema è come spostare la pupilla sugli oggetti da mettere a fuoco quando si trovano in diverse posizioni.**
- **Come indicato nel modello seguente**, possiamo individuare **4 leve di controllo** che agiscono **anche contemporaneamente** a seconda della posizione dell'oggetto da osservare:
 - rotazione orizzontale dei **bulbi oculari**, **$E_t = \text{eyes rotation}$** , se l'oggetto si trova fino a circa **20/25 gradi d'arco** a sinistra o a destra rispetto al centro (per es., leggendo questa riga, ruotate solo i bulbi);
 - rotazione **anche della testa**, **$H_t = \text{head rotation}$** , per oggetti più esterni, dai 20 fino a circa **70 gradi d'arco**;
 - rotazione **anche del busto**, **$B_t = \text{bust rotation}$** , per oggetti ancora più esterni, dai 70 fino a **circa 90 gradi**;
 - rotazione **anche dell'intero corpo**, **$BO_t = \text{body rotation}$** , se vogliamo mettere a fuoco un oggetto posto **"dietro" alle nostre spalle**.



Sistemi multi-lever, mono-layer

Leve per la messa a fuoco di oggetti



Strategie multi-lever

Messa a fuoco di oggetti

- Il sistema precedente – come quello che presenterò tra poco – è caratterizzato dal fatto che le leve agiscono **tutte** sulla **variabile da controllare** per eliminare l'errore «**in una sola volta**». Tali sistemi si denominano «**mono-layer**» in quanto **tutte le leve sono «sullo stesso piano»** e si attivano come deciso dal management.
- Quale strategia può essere elaborata dal management, tenuto conto che il sistema di controllo ha quattro leve di controllo tra loro relativamente indipendenti?
- **In condizioni «normali»** tutti (siamo noi i manager) seguiamo, normalmente, questa **strategia naturale** di controllo:
 - ruotare **prima** gli occhi, **poi** anche la testa, **poi** anche il busto e, **infine**, se necessario, anche il corpo. **Naturale e facile!**
- **In condizioni "non normali"** il manager potrebbe fissare una diversa strategia, tenuto conto delle sue **conoscenze, preferenze e vincoli**.
 - **Quando ho il torcicollo**, io, personalmente, cerco di ruotare al massimo gli occhi e poi il busto, evitando la rotazione della testa, per non sentire il dolore alla cervicale.
 - **Quando ho il mal di schiena**, cerco di non attivare la leva della rotazione del busto, preferendo ruotare il corpo con spostamenti dei piedi.
 - **Quando guido l'automobile**, essendo difficile la rotazione del busto e impossibile quella del corpo, leva che risulta del tutto disattivata, posso ricorrere a una **leva supplementare** costituita dallo **specchietto retrovisore**.
- Quale strategia seguirebbe un **robot** incapace di ruotare solo la testa e il busto?
- E quale seguirebbe una civetta, che ha gli occhi fissi ma è in grado di ruotare la testa di 270 gradi?



Strategie multi-lever

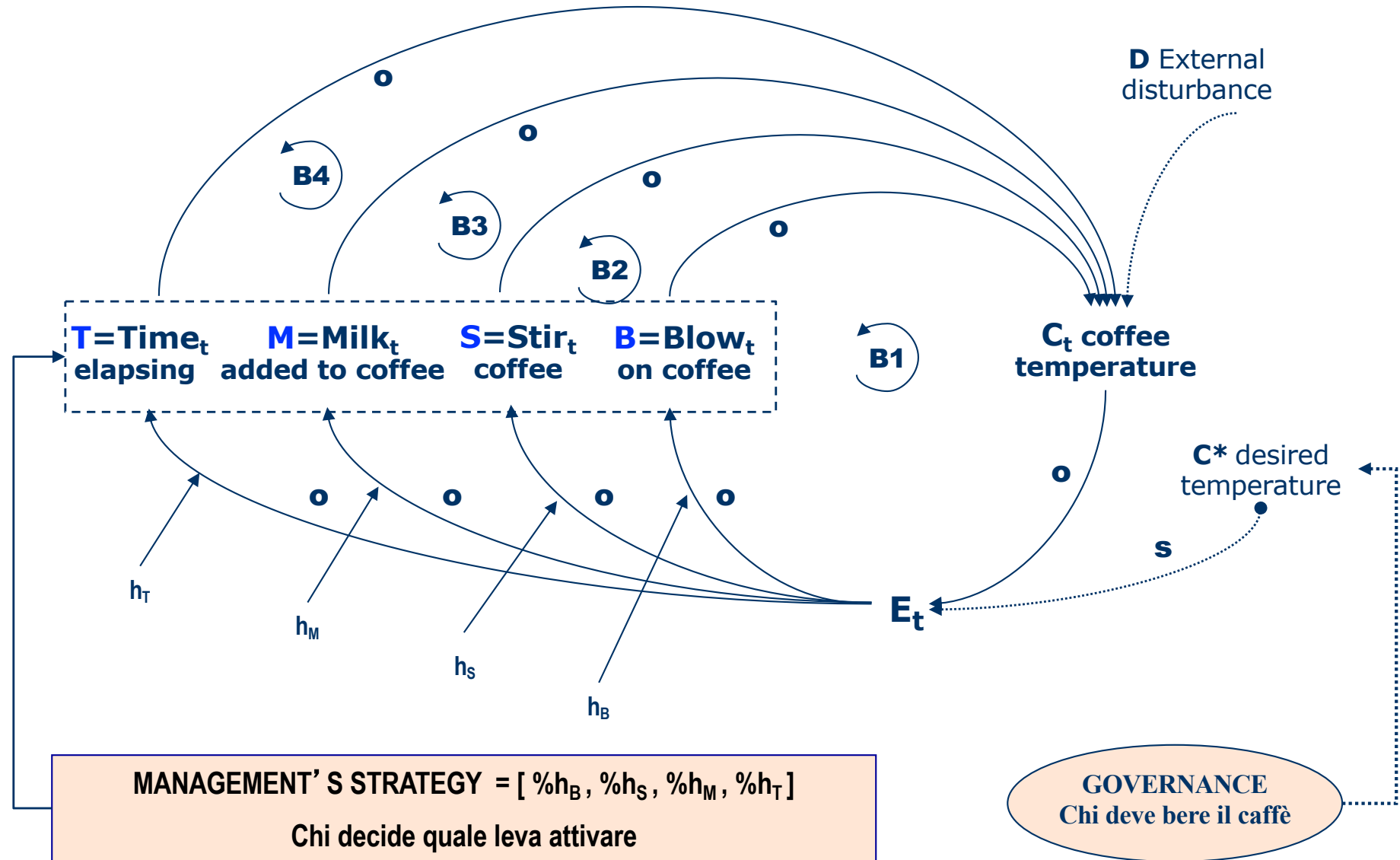
Come raffreddare un liquido bollente per poterlo ingerire

- **SECONDO ESEMPIO - Sistema raffreddamento di un liquido** – Per non entrare in esempi complicati, consideriamo un altro sistema multi-lever mono-layer che quotidianamente utilizziamo per il controllo della temperatura di un liquido o di un cibo troppo caldi per essere ingeriti.
- Il modello che segue rappresenta una possibile conformazione del Sistema di Controllo per abbassare la temperatura del caffè, (o del tè o del risotto o della polenta, ecc.) che, al bar ci viene servito bollente. Dal modello risulta immediato individuare la possibile strategia di controllo.
 - Quando, avvicinando la tazzina alla bocca, i nostri sensori percepiscono la temperatura del caffè ($C_t = \text{Coffee temperature}$) troppo elevata, rispetto a quella desiderata (C^*), ci viene **spontaneo soffiare sul caffè**, per raffreddarlo, cioè attivare una **prima leva: $B = \text{Blow}_t \text{ on coffee}$**
 - Una **seconda leva** alternativa consiste nel **girare più volte il caffè**, con il cucchiaino freddo, sfruttando la minore temperatura dell'ambiente: **$S = \text{Stir}_t \text{ coffee}$** .
 - **Come terza leva**, se abbiamo premura, e se il gusto è gradito, possiamo anche **aggiungere latte freddo: $M = \text{Milk}_t \text{ added to coffee}$** .
 - Al contrario, se il galateo ce lo impone, e il tempo ce lo consente, **come quarta leva** possiamo **semplicemente aspettare** che il caffè ceda all'ambiente il calore incorporato e la temperatura si riduca spontaneamente: **$T = \text{Time}_t \text{ elapsing}$** .
- Queste quattro leve possono essere usate in successione, oppure una in alternativa all'altra, oppure in un mix deciso dal manager-utente.
 - In un veloce coffee break, è presumibile che si attiveranno le leve **B** e **M**.
 - In un party raffinato, nessuno si sognerebbe di soffiare sul caffè. o di girarlo ripetutamente. La leva preferibile potrebbe essere quella di lasciare scorrere il tempo.
- **Nota.** Quello appena esaminato è un tipico «**halt system**»; se il caffè diventa troppo freddo, risulta imbevibile; le leve possono essere regolate, singolarmente o congiuntamente in una sola direzione (una volta aggiunto, il latte freddo non si può più eliminare).



Sistema multi-lever, mono-layer

Leve per la messa a fuoco di oggetti



Sistema multi-lever, mono-layer

Leve per mantenere immobile una nave posacavi

- Le figure seguenti rappresentano il **sistema di controllo della posizione** di una **nave posacavi su un punto prefissato**.
- Quando i cavi posati devono essere congiunti ai precedenti, mediante robot subacquei, le navi posacavi devono necessariamente mantenere una **posizione fissa**, indipendentemente dai **Disturbi** (correnti, vento, meteo, ecc.) che tendono ad alterarla.
- Per **controllare la posizione**, come appare dalle immagini, la nave nelle foto utilizza **quattro leve indipendenti, quattro eliche orientabili** che, ruotando con grande precisione, garantiscono l'eliminazione del pur minimo spostamento della nave rispetto al **punto fisso** che deve essere mantenuto il tempo necessario a completare la giunzione.



Sistema multi-lever, mono-layer

Posizione orizzontale di un piano mobile

- Come porre un «piano» in equilibrio orizzontale – ad es., il pianale di una gru, un’impalcatura, una piattaforma marina, una nave inclinata da portare a livello orizzontale, ecc. – supposto che il piano sia supportato da tre/quattro (o più) «piedini» allungabili – mossi, ad esempio, da stantuffi idraulici – che possano assumere differenti altezze, così da annullare le asperità e irregolarità del terreno.



Strategia del management

Un possibile processo di controllo deve basarsi sulla regolazione dell'altezza dei piedini. Facendo riferimento alla tabella della pagina seguente, si può procedere come segue:

- 1) Si individuano i punti del terreno sui quali devono poggiare i "piedini"; indichiamo con P_0 il vettore che indica le "quote" (in millimetri, per maggiore accuratezza) di ciascuno dei punti;
- 2) si individua il punto con la "quota massima di livello", Q_{max} , che rappresenta la quota alla quale devono essere regolati tutti i piedini;
- 3) si accerta l'estensione iniziale dei piedini, che indichiamo con P_i ;
- 4) Il controllo della posizione orizzontale implica che l'estensione iniziale dei piedini debba essere modificata affinché ciascun piedino si livelli con la Q_{max} ;
- 5) per ogni piedino si calcola l'entità dell'estensione o la contrazione che deve subire per essere livellato a Q_{max} ;
- 6) le **misure dell'estensione o della contrazione** necessarie per il livellamento rappresentano l'**obiettivo P*** che il sistema di controllo deve raggiungere.

Calcolo degli obiettivi che i piedini devono raggiungere (tab.a pag. 236).

Piedino X: è esteso di 3 ma poggia già sulla quota massima di livello di 15; pertanto, l'estensione iniziale deve essere annullata, così che il piedino si livelli alla quota $15 = (3-3)+15$.

Piedino Y: è esteso di 2 ma deve poggiare sulla quota del terreno di 12; pertanto, l'estensione iniziale deve essere aumentata di 1, così che il piedino si livelli alla quota $15 = (2+1)+12$.

Piedino Z: è esteso di 3 ma deve poggiare sulla quota del terreno di 8; pertanto, l'estensione iniziale deve essere aumentata di 4, così che il piedino si livelli alla quota $15 = (3+4)+8$.

Piedino W: è esteso di 1 ma deve poggiare sulla quota del terreno di 2; pertanto, l'estensione iniziale deve essere aumentata di 12, così che il piedino si livelli alla quota $15 = (1+12)+2$.

Questi valori sono indicati chiaramente nel quadro di controllo della tab. di pag. 236. Se si suppone che per **regolare l'estensione dei piedini** vi sia un **effettore – distinto per ciascun piedino** – che attui un controllo graduale a passo discreto, secondo i **tassi di azione traslatori** indicati della penultima riga del quadro di controllo, è immediato verificare, nella tabella, l'azione del sistema di controllo.



Simulazione di un sistema multi-lever

Posizione orizzontale di un piano mobile

nomi dei piedini	X	Y	Z	W		
estensione iniziale dei piedini	P_i	3	2	3	1	posizione
quote delle asperità del terreno	P₀	15	12	8	2	15 QUOTA MASSIMA DI LIVELLO
estensione dei piedini	P*	-3	1	4	12	obiettivo
traslatori - tassi di azione	3	0.5	1	1		
traslatori - tempi di reazione	1	1	1	1		

t	g _x	g _y	g _z	g _w	x	y	z	w	x*	y*	z*	w*	dx=x*-x	dy=y*-y	dz=z*-z	dw=w*-w	distanza euclidea
0					3	2	3	1	-3	1	4	12	-6	-1	1	11	12.61
1	-3	-0.5	1	1	0	1.5	4	2	-3	1	4	12	-3	-0.5	0	10	10.45
2	-3	-0.5	0	1	-3	1	4	3	-3	1	4	12	0	0	0	9	9.00
3	0	0.0	0	1	-3	1	4	4	-3	1	4	12	0	0	0	8	8.00
4	0	0	0	1	-3	1	4	5	-3	1	4	12	0	0	0	7	7.00
5	0	0	0	1	-3	1	4	6	-3	1	4	12	0	0	0	6	6.00
6	0	0	0	1	-3	1	4	7	-3	1	4	12	0	0	0	5	5.00
7	0	0	0	1	-3	1	4	8	-3	1	4	12	0	0	0	4	4.00
8	0	0	0	1	-3	1	4	9	-3	1	4	12	0	0	0	3	3.00
9	0	0	0	1	-3	1	4	10	-3	1	4	12	0	0	0	2	2.00
10	0	0	0	1	-3	1	4	11	-3	1	4	12	0	0	0	1	1.00
11	0	0	0	1	-3	1	4	12	-3	1	4	12	0	0	0	0	0.00
12	0	0	0	0	-3	1	4	12	-3	1	4	12	0	0	0	0	0.00
13	0	0	0	0	-3	1	4	12	-3	1	4	12	0	0	0	0	0.00





Sistema multi-leva, mono-layer. Generalizzazione Spostamento di un punto in uno spazio multidimensionale

- L'esempio precedente, del **livellamento della gru mobile**, agendo sui 4 piedini estensibili, considerati quali leve indipendenti, può essere generalizzato per il controllo del movimento di un **punto** in uno “**spazio**” formato da un numero “**y**”, qualsivoglia di **dimensioni**, \mathbf{d}_n , $1 \leq n \leq N$.
- Occorre osservare che, per un sistema che agisca su un punto \mathbf{P}_t definito da 4 coordinate, un punto $\mathbf{P}_t = (\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t, \mathbf{z}_t, \mathbf{w}_t)$ (**stato attuale**) può essere spostato al punto $\mathbf{P}^* = (\mathbf{x}^*, \mathbf{y}^*, \mathbf{z}^*, \mathbf{w}^*)$ (stato da raggiungere = **obiettivo**) agendo sulle coordinate di \mathbf{P}_t che sono le **leve** \mathbf{x}_n i cui valori possono essere variati secondo i tassi d'azione, \mathbf{g}_n , stabiliti per ogni dimensione \mathbf{d}_n (per semplificare consideriamo una azione discreta, costante, definita da ogni \mathbf{g}_n).
- Note le coordinate di \mathbf{P}_t e di \mathbf{P}^* , possiamo calcolare la «**distanza**», cioè l' «**errore**» di posizionamento tra i due punti. Spostare il punto da \mathbf{P}_t a \mathbf{P}^* , significa **annullare la distanza** che li separa, agendo sulle \mathbf{x}_n con i tassi di azione \mathbf{g}_n .
- **È sufficiente** progettare un Sistema di Controllo a 4 leve che calcoli, ad ogni istante, la distanza euclidea tra \mathbf{P}^* e \mathbf{P}_t , definita come:

$$\mathbf{E}_t = \mathbf{P}^* - \mathbf{P}_t = \sqrt{(x^*-x_t)^2 + (y^*-y_t)^2 + (w^*-w_t)^2 + (z^*-z_t)^2}$$

- Essendo necessario modificare ciascuna coordinata, con tassi di azione specifici, il **sistema di controllo a quattro** leve risulta di fatto composto da **4 sistemi di controllo mono-leva**, ciascuno agente su una coordinata specifica. Il sistema si arresta quanto $\mathbf{E}_t = \mathbf{0}$; ciò si verifica quando i 4 distinti sistemi di controllo monoleva che agiscono su ciascuna coordinata portano la coordinata di partenza alla coordinata obiettivo.
- La simulazione della pagina seguente – del tutto analoga a quella della pagina precedente – rende evidente la procedura e consente di verificare i calcoli.



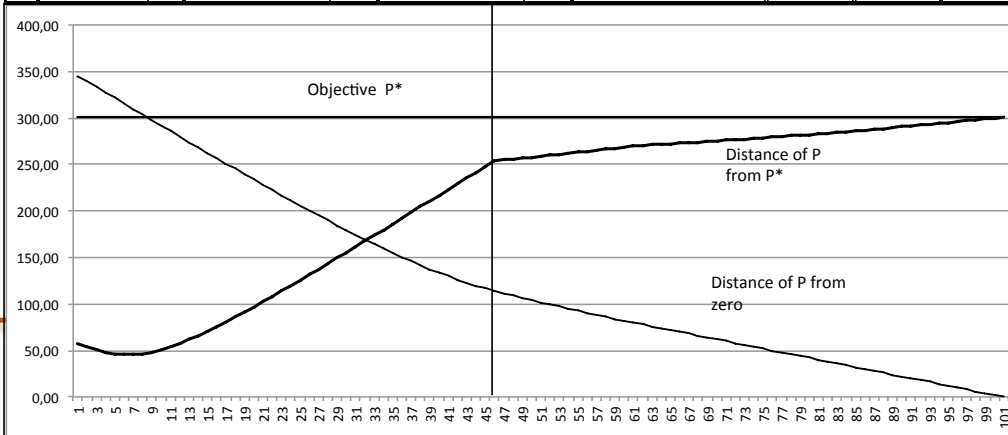


Sistema multi-leva

Spostamento di un punto in uno spazio multidimensionale

P	x	y	z	w	
	0	20	50	20	initial position of point P
P*	180	160	150	100	position of the objective point P*
action rates - g	4	4	2	2	

t	Translators				Point coordinates				Objective coordinates				Distance of coordinates				Dynamics		
	$g_x = \text{traslat X}$	$g_y = \text{traslat Y}$	$g_z = \text{traslat Z}$	$g_w = \text{traslat W}$	x	y	z	w	x^*	y^*	z^*	w^*	$dx=x^*-x$	$dy=y^*-y$	$dz=z^*-z$	$dw=w^*-w$	distance of P from P*	Distance of P* from origin	Distance of P from origin
0					0	20	50	20	180	160	150	100	180	180	200	120	345,25	300,83	57,45
1	4	4	2	2	4	-16	-48	-18	180	160	150	100	176	176	198	118	339,23	300,83	53,85
2	4	4	2	2	8	-12	-46	-16	180	160	150	100	172	172	196	116	333,23	300,83	50,79
3	4	4	2	2	12	-8	-44	-14	180	160	150	100	168	168	194	114	327,23	300,83	48,37
4	4	4	2	2	16	-4	-42	-12	180	160	150	100	164	164	192	112	321,25	300,83	46,69
5	4	4	2	2	20	0	-40	-10	180	160	150	100	160	160	190	110	315,28	300,83	45,83
6	4	4	2	2	24	4	-38	-8	180	160	150	100	156	156	188	108	309,32	300,83	45,83
[omitted]																			
44	4	4	2	2	176	156	38	68	180	160	150	100	4	4	112	32	116,62	300,83	247,75
45	4	4	2	2	180	160	40	70	180	160	150	100	0	0	110	30	114,02	300,83	253,97
46	0	0	2	2	180	160	42	72	180	160	150	100	0	0	108	28	111,57	300,83	254,85
47	0	0	2	2	180	160	44	74	180	160	150	100	0	0	106	26	109,14	300,83	255,76
48	0	0	2	2	180	160	46	76	180	160	150	100	0	0	104	24	106,73	300,83	256,69
49	0	0	2	2	180	160	48	78	180	160	150	100	0	0	102	22	104,35	300,83	257,66
50	0	0	2	2	180	160	50	80	180	160	150	100	0	0	100	20	101,98	300,83	258,65
[omitted]																			
60	0	0	2	2	180	160	70	100	180	160	150	100	0	0	80	0	80,00	300,83	270,00
61	0	0	2	0	180	160	72	100	180	160	150	100	0	0	78	0	78,00	300,83	270,53
62	0	0	2	0	180	160	74	100	180	160	150	100	0	0	76	0	76,00	300,83	271,06
[omitted]																			
96	0	0	2	0	180	160	142	100	180	160	150	100	0	0	8	0	8,00	300,83	296,92
97	0	0	2	0	180	160	144	100	180	160	150	100	0	0	6	0	6,00	300,83	297,89
98	0	0	2	0	180	160	146	100	180	160	150	100	0	0	4	0	4,00	300,83	298,86
99	0	0	2	0	180	160	148	100	180	160	150	100	0	0	2	0	2,00	300,83	299,84
100	0	0	2	0	180	160	150	100	180	160	150	100	0	0	0	0	0,00	300,83	300,83



Quale strategia può adottare il manager per regolare le 4 leve – x_t , y_t , z_t , w_t – che controllano P_t ?

Ci sono numerose strategie. Il management potrebbe decidere di modificare la posizione di P_t , agendo prima sulla coordinata “x” e, successivamente, su “y” e di seguito sulle altre. Oppure, potrebbe iniziare lo spostamento dalla “w” e, successivamente, agire sulla “z” e cos. via.

Nel sistema della tabella a fianco, si è scelto di avviare tutte e 4 le leve di P_t al massimo valore di “g” previsto per ciascuna (ultima riga del pannello di controllo).

Al tempo $t = 45$, le variabili “x” e “y”, che hanno *action rate* più elevati delle altre – pari a $g_x = 4$ e $g_y = 4$ (pannello di controllo) – raggiungono i valori obiettivo, $x^* = 180$ e $y^* = 160$ (si veda la linea orizzontale alla riga $t = 45$); pertanto, nei periodi $t > 45$, esse mantengono il valore “0”, non essendo necessario un ulteriore spostamento.

Le altre due leve, z e w, con *action rate* più ridotti – pari a $g_z = 2$ e $g_w = 2$ (pannello di controllo) – continuano la loro traiettoria fino a $t = 100$, periodo in cui raggiungono il loro valore obiettivo, $w^* = 150$ e $z^* = 100$ (coordinate obiettivo in P^*).





Sistemi multi-leva che operano in spazi a N dimensioni

- I sistemi di controllo multi-leva il cui *modus operandi* è analogo ai sistemi appena esaminati sono molto diffusi e numerosi.
- Oltre ai sistemi di controllo della posizione della nave posacavi, e del livellamento della gru a piedini mobili, ricordo i seguenti.
 - Controllo della posizione del “punto mobile” di una **gru a torre**, che debba spostare un carico di mattoni, posato a terra nel punto $P_0 = (x_0, y_0, z_0)$, fino al punto $P^* = (x^*, y^*, z^*)$, per esempio in cima al tetto. Il punto in movimento $P_t = (x_t, y_t, z_t)$ viene spostato da P_0 a P^* agendo sulle tre coordinate: (a) la rotazione angolare del fusto della gru (x_t), (b) lo spostamento orizzontale del carrello (y_t), (c) lo spostamento verticale del verricello (z_t). Il controllo di tali coordinate si attua con i tre sistemi di controllo mono-leva, ciascuno azionato da uno specifico effetto (motore) e caratterizzato da un differente tasso di azione: lenta è la rotazione del fusto della gru ma più veloci sono i traslatori dell’asse orizzontale e di quello verticale.
 - Un sistema di controllo a N leve è quello che consente di formare e di mantenere una data **miscela** tra N componenti. Ogni componente P_n deve entrare nella miscela nella quantità x_n^* , obiettivo stabilito, in modo preciso, dalla governance. La miscela è perfettamente composta quando tutte le N componenti assumono i valori obiettivo a seguito dell’azione del Sistema di Controllo. Il sistema può agire per step costanti, secondo un tasso d’azione costante, definito, oppure in modo proporzionale all’errore. La strategia di controllo deve essere progettata tenendo conto della natura della miscela, dei tempi di reazione e del tempo massimo ammissibile, per arrivare a completare il controllo.
 - Un Sistema di Controllo a quattro dimensioni è quello nel quale, accanto alle tre dimensioni spaziali, si unisce la quarta dimensione temporale. Ogni **veicolo viaggiante** nello spazio tridimensionale che debba spostarsi da un punto spaziale a un altro, entro un prefissato intervallo di tempo, agisce secondo questa logica.
 - Un robot industriale cartesiano, che sposta oggetti tramite un braccio snodato a movimento tridimensionale mediante un arto artificiale anch’esso dotato di una pluralità di movimenti, rappresenta un altro esempio di sistema pluri-leva.



Sistemi multi-layer (operanti per livelli successivi)

Tipologia di leve

- I sistemi di controllo **multi-layer** in precedenza esaminati erano definiti sistemi **mono-layer** in quanto tutte le leve sono, almeno potenzialmente, in grado di eliminare «l'**errore generale**»:
 $E^1(\mathbf{Y})_t = \mathbf{Y}^* - \mathbf{Y}_t$.
- Questo errore si definisce «**di primo livello**» (o anche «di primo ordine» in quanto si tenta di eliminarlo applicando una o più leve definite «**leve operative ordinarie**», o anche «**leve di primo ordine, o naturali**»).
- Vi sono molti casi nei quali l'errore di primo livello, $E^1(\mathbf{Y})_t$, è così ampio che le «leve operative ordinarie» disponibili non hanno sufficiente «potenza» per annullarlo, lasciando un **residuo errore** che definisco «**errore di secondo livello**»: $E^2(\mathbf{Y})_t = \mathbf{0} - E^1(\mathbf{Y})_t$.
- Quest'espressione indica chiaramente che, se $E^1(\mathbf{Y})_t$ rimane permanentemente positivo, allora, la “distanza” da colmare per annullare completamente l'errore è proprio pari a $E^2(\mathbf{Y})_t = \mathbf{0} - E^1(\mathbf{Y})_t$, che rappresenta, appunto «l'errore di secondo livello».
- Per tentare di annullare $E^2(\mathbf{Y})_t$ risulta necessaria l'attivazione di ulteriori leve – che definisco «**leve di secondo ordine**» – che si aggiungono a quelle di primo ordine e vengono attivate solo quando queste ultime risultano insufficienti.
- Se, anche dopo l'attivazione delle «leve di secondo ordine», rimanesse un residuo «**errore di terzo livello**»: $E^3(\mathbf{Y})_t = \mathbf{0} - E^2(\mathbf{Y})_t$, sarebbe necessario attivare «**leve di terzo ordine**», continuando così, per livelli successivi, fino a quando l'errore residuo non venga annullato, se possibile, o minimizzato.
- **Definisco multi-layer il sistema di controllo predisposto per annullare l'errore per successivi livelli utilizzando leve di ordine crescente.**



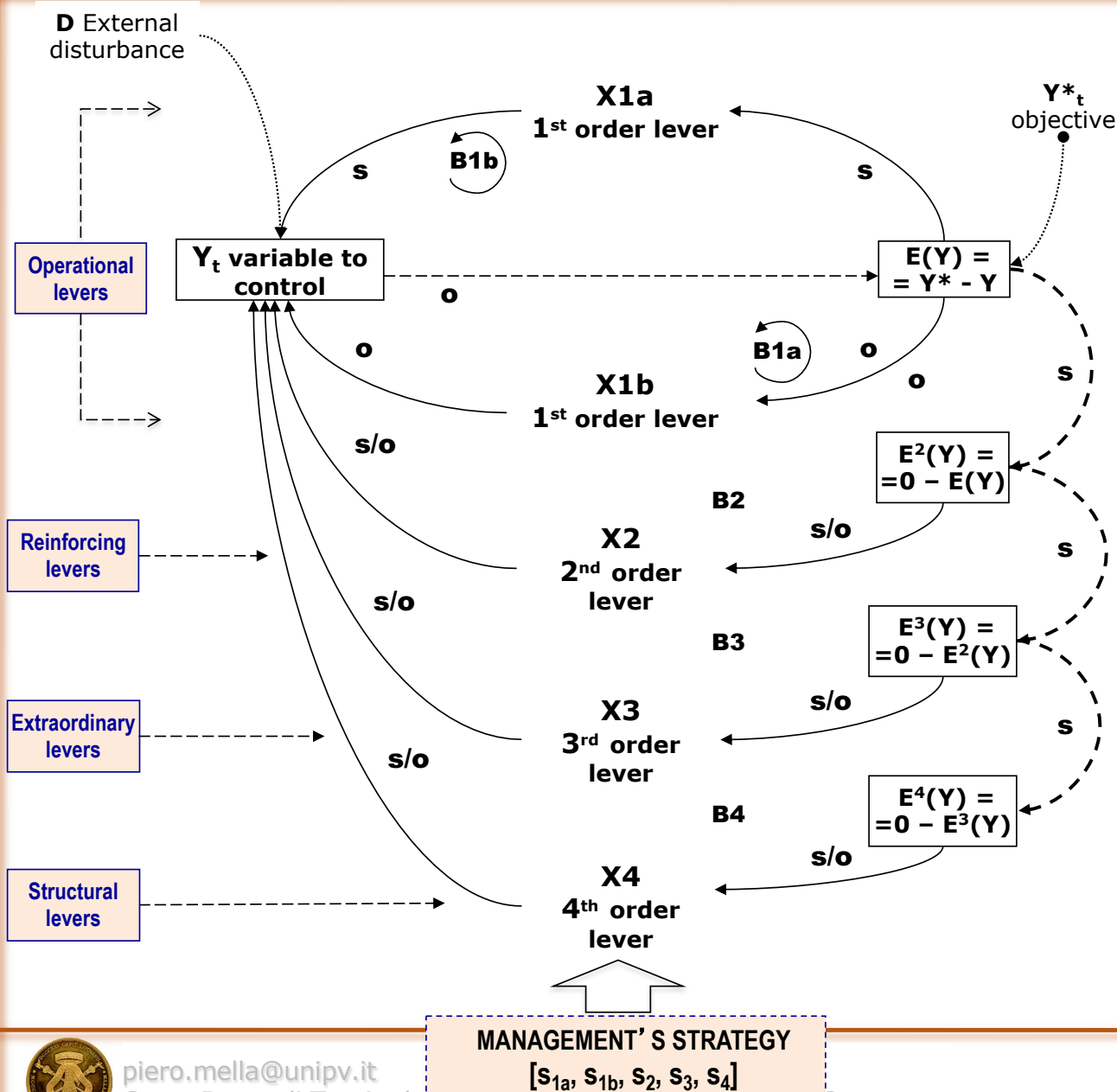
Tipologia di leve nei sistemi multi-layer

Leve ordinarie, di rinforzo, straordinarie e strutturali

- Da quanto appena detto, per definire la **strategia di controllo** nei sistemi **multi-layer**, il management deve anche decidere in quale ordine attivare le possibili **leve strategiche**.
- Si possono, per comodità, definire **4 tipi di leve**, da attivarsi per **livelli successivi di controllo** qualora le leve del livello precedente non fossero sufficienti a conseguire l'obiettivo:
 - **leve operative ordinarie** (o del **primo ordine**): sono quelle impiegate normalmente, ritenute sufficienti a modificare la traiettoria della variabile da controllare;
 - **leve operative di rinforzo** (o del **secondo ordine**): sono leve, anch'esse considerate normali, che integrano (rinforzano) le precedenti, quando occorre;
 - **leve straordinarie** (o del **terzo ordine**): sono, di solito, costose e con tempi lunghi di azione; si usano solo in caso di insufficienza delle leve degli altri ordini;
 - **leve strutturati** (o del **quarto ordine**): modificano la **struttura stessa del sistema** da controllare affinché il controllo abbia successo; richiedono tempo e ingenti risorse.
- Per definire la strategia di controllo nei sistemi **multi-layer** il management deve decidere fino a quale livello estendere il controllo, tenuto conto che, normalmente:
 - quanto più aumenta il «livello del controllo», tanto più le leve diventano difficili da attivare, hanno ritardi, richiedono risorse e costi notevoli e producono i loro effetti su in un tempo più lungo.
- Per dimostrare come possa essere strutturato un sistema multi-layer, propongo quale esempio, il sistema di **controllo della temperatura del nostro corpo**.



Struttura generale di sistema di controllo multi-layer



Il modello a fianco, differisce da quelli in precedenza impiegati per rappresentare i sistemi multi-layer, mono-layer, presentando queste varianti:

- Nel primo layer, sulla sinistra, viene posta in evidenza la variabile da controllare, Y_t .
- Essa è connessa all'Errore, $E(Y)$, tramite la freccia tratteggiata.
- L'errore si determina dal confronto tra l'obiettivo Y^* , a destra, e Y_t .
- Sulla base dell'entità dell'errore $E(Y)$, si attivano le due leve $X1a$ e $X1b$, che modificano direttamente la Y_t ; si formano i **loop B1a** e **B1b**.
- Il secondo layer, che origina il loop **B2**, si forma per modificare la Y_t con la leva $X2$, così da determinare l'errore di secondo livello $E^2(Y)$.
- La stessa logica si applica per i successivi layer, ciascuno dei quali attiva leve per ridurre l'errore di primo livello $E(Y)$, e, a cascata, quelli dei livelli successivi, fino, si spera, ad azzerare l'errore di ultimo livello.



Sistema di controllo multi-layer

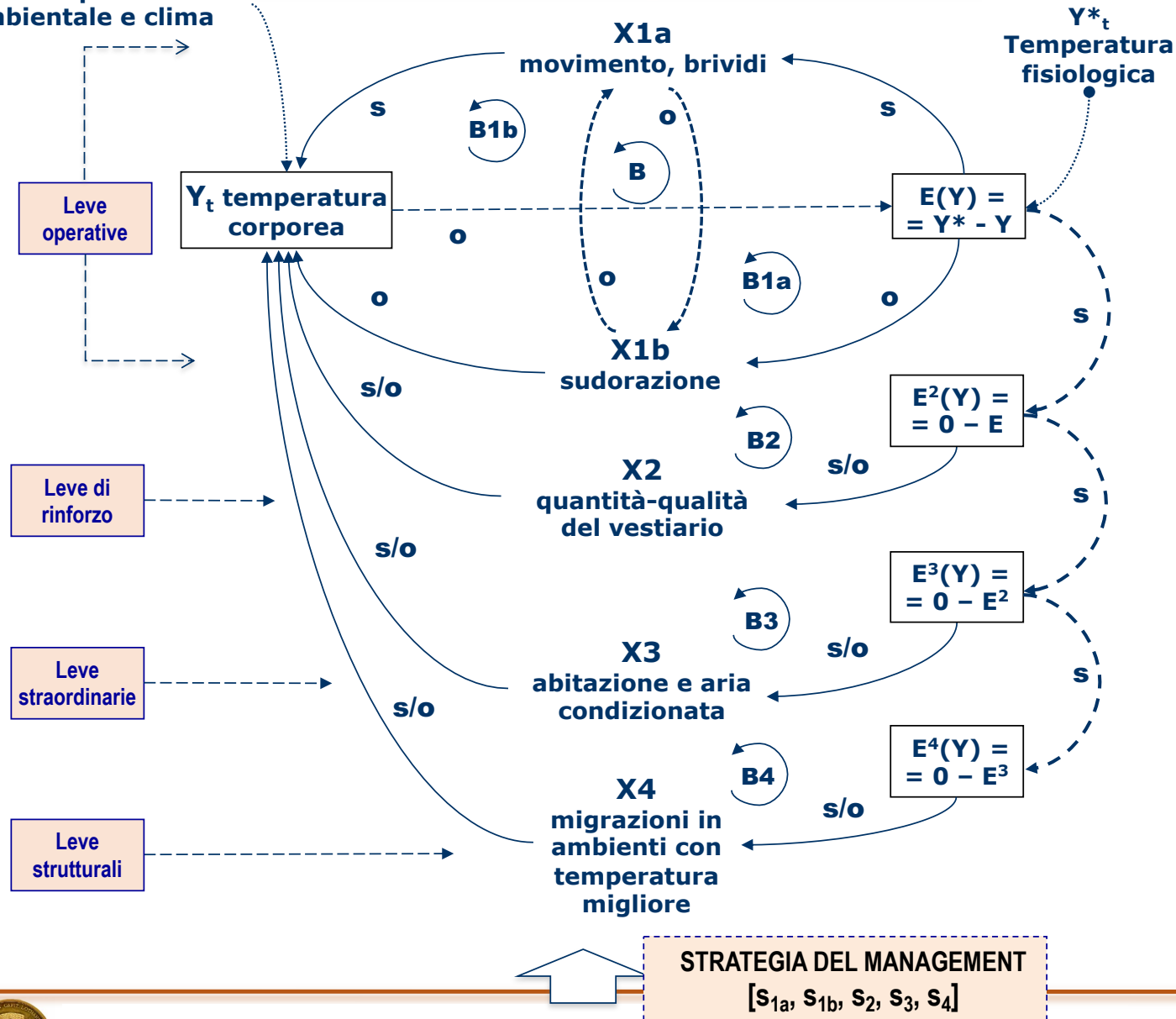
Controllo della temperatura del nostro corpo

- Il **controllo della temperatura del nostro corpo** è fondamentale per la sopravvivenza nostra e degli animali in genere e ritengo che tale controllo possa essere attuato da un sistema **multi-layer** analogo a quello della slide seguente.
- Quando siamo in condizioni di salute normali, due sono le **leve operative fisiologiche** (o del **primo ordine**) che la natura ci ha fornito per il **controllo di primo livello**:
 - **brividi** e **movimento per alzare la temperatura** (leva **X1a**);
 - **sudorazione** e **riposo per abbassarla** (leva **X1b**).
- Le due leve operative hanno limitata capacità d'azione, e variano di pochi gradi di temperatura corporea.
- L'uomo ha cercato, fin dalle epoche preistoriche, le **leve di rinforzo**, rappresentate dagli **indumenti di ogni genere** (leva **X2**); dalle primitive pellicce alle moderne fibre artificiali che isolano quasi completamente dal caldo e dal freddo; il ghiaccio viene in aiuto in caso di febbre;
- Se anche gli indumenti non sono sufficienti, l'uomo cerca di regolare la temperatura corporea con **leve straordinarie**, che dipendono dall'ambiente in cui vive e dai materiali che può trovare; tali leve sono rappresentate dalle diverse **forme di abitazione**, che fungono da isolanti dall'esterno e, dall'interno, conservando il calore artificiale prodotto da camini, stufe o moderni condizionatori caldo/freddo (leva **X3**);
- Ricordando la prima regola del Systems Thinking (Lezione 1), potremmo anche zoomare ancor più verso "il grande" e pensare ad altre **leve strutturali**, quali "trasferirci in montagna" (+ fresco), "andare a vivere alle Bahamas" (+ caldo), e altro ancora (leva **X4**). Se questo ci fa sorridere, pensiamo che le «leve strutturali» sono impiegate da migliaia di specie di esseri viventi che – non potendo utilizzare vestiti o abitazioni – si difendono dal caldo e dal freddo con forme di **letargo** in tane sotterranee o dando vita alle spettacolari **migrazioni** che tutti conosciamo.
- NOTA: Ho scelto di rappresentare la struttura del sistema di controllo multi-layer disponendo le variabili in forma verticale.



Systema multi-layer per il controllo della temperatura fisiologica

D Temperatura ambientale e clima



Esempi di Multi-layer Systems saranno presentati nelle prossime lezioni



Sistemi pluri-obiettivo in senso proprio

- Tutti i sistemi fin qui presentati hanno la comune caratteristica di riguardare **un solo obiettivo**: la temperatura o il livello dell'acqua, il risultato operativo e così via.
- Questa limitazione non è assolutamente necessaria e possiamo considerare modelli ancor più generali, nei quali il *manager* debba raggiungere, contemporaneamente, diversi obiettivi, impiegando un adeguato numero di leve con varie caratteristiche.
- **Definizione – sistema pluri-obiettivo «in senso proprio»**
- Un sistema si definisce **pluri-obiettivo**, o **multi-obiettivo**, in **senso proprio**,
 - se è caratterizzato da una molteplicità di **variabili obiettivo**: Y_1, Y_2, \dots, Y_M , con $M \geq 2$,
 - che il manager deve controllare **contemporaneamente** per raggiungere altrettanti **obiettivi**, $Y^*_1, Y^*_2, \dots, Y^*_M$,
 - impiegando un **adeguato numero di leve** con varie caratteristiche,
 - **alla condizione che le M variabili obiettivo siano interdipendenti.**
- Ciò che rende un sistema tipicamente multio-biettivo **in senso proprio** è la condizione di **che le M variabili obiettivo siano interdipendenti.**
- Tale condizione si manifesta quando **una leva che controlla una variabile obiettivo inevitabilmente finisce con il controllarne anche un'altra**, con senso [s], oppure [o].
- Se, rispetto a una **stessa leva di controllo**, gli obiettivi variano **entrambi**:
 - con senso [s], allora tali obiettivi sono **cumulativi**, o **complementari**;
 - con senso [o], allora tali obiettivi sono **concorrenti**, o **antagonisti**.



Esempi di sistemi pluriobiettivo in senso proprio

- **Primo esempio.** Supponiamo che un passeggero-manager debba regolare le posizioni del proprio sedile su un'autovettura e che tali posizioni siano controllabili attraverso leve distinte, rappresentate da pulsanti che agiscono tramite effettori elettrici. Supponiamo, altresì, per semplificare, che siano definiti i seguenti obiettivi:
 - – **sicurezza:** - sedile indietro tutto, - inclinazione poco accentuata, - sedile basso;
 - – **comodità** del passeggero-manager: - sedile indietro tutto, - inclinazione accentuata, - sedile in posizione media;
 - – **comodità del passeggero** del sedile posteriore, per cortesia: - sedile avanti tutto, - inclinazione accentuata, - sedile basso;
 - – **visibilità esterna:** - sedile avanti tutto, - inclinazione media, - sedile alto.

- Anche a un rapido esame, appare immediatamente come non sia possibile conseguire contemporaneamente tutti gli obiettivi. Se si manovra la leva di scorrimento avanti e indietro, si agisce necessariamente su sicurezza, comodità del manager, comodità del passeggero e visibilità; qualunque leva si manovri, tutti gli obiettivi sono implicati in modo antagonista. Il sistema è realmente **pluri-obiettivo in senso proprio** e gli obiettivi sono concorrenti.

- **Secondo esempio.** Vogliamo preparare una cena per amici (oppure: un prodotto per i nostri clienti) e cerchiamo di controllare la varietà e la bontà dei piatti che prepareremo (dei componenti che utilizzeremo), ma anche, contemporaneamente, la quantità di lavoro e di tempo, il costo, la salute e altro ancora.
- Quali variabili ottimizzare in linea prioritaria? La governance del sistema dovrà scegliere, ad es.,
 - – se preferire il caviale e lo champagne (l'alluminio e la fibra di carbonio), oppure se minimizzare il costo con gamberetti e minerale (vetro e plastica);
 - – se cucinare uno stracotto per 12 ore (un processo raffinato di levigatura con il diamante) impiegando un tempo lungo, oppure una pasta al sugo in 10 minuti (un processo di fresatura);
 - – se usare il tartufo costoso o il burro;
 - – se badare al colesterolo o insaporire con uova e formaggi.

- È del tutto impossibile arrivare al controllo assoluto di tutti gli obiettivi contemporaneamente. Il Sistema di Controllo, del quale siamo i manager, è **pluri-obiettivo in senso proprio**, essendo le variabili tra loro interdipendenti.



Sistemi pluri-obiettivo «apparenti» e «impropri»

- **Definizione** – Un sistema **pluri-obiettivo** si definisce **«apparente»** se
 - è caratterizzato da **M** variabili **obiettivo**,
 - ma queste risultano tra loro **indipendenti**, ai fini del controllo.
- **Un sistema pluri-obiettivo apparente rappresenta, di fatto, l'unione operativa di M sistemi mono-obiettivo.**
- **Esempi:** Controllo del flusso e della temperatura nella doccia; controllo dei vari obiettivi e vincoli nella guida di un veicolo (velocità, corsie laterali, distanza da chi precede, comportamento al semaforo, ecc.)
- **Definizione** – Un sistema **pluri-obiettivo** si definisce **«improprio»** se
 - è caratterizzato da **M** variabili **obiettivo**,
 - le quali risultano tra loro **interferenti**, ai fini del controllo.
- **Un sistema pluriobiettivo improprio rappresenta la congiunzione operativa di M sistemi mono obiettivo.**
- **Esempi:** Obiettivi di volo di un aereo: altitudine, rotta, velocità, consumo di carburante sono obiettivi interferenti. Militari che sfilano in parata; ogni militare ha tre obiettivi: tenere l'allineamento, l'incolonnamento e il passo cadenzato.



Esempio di Sistemi pluri-obiettivo «improprio» Aeroplano

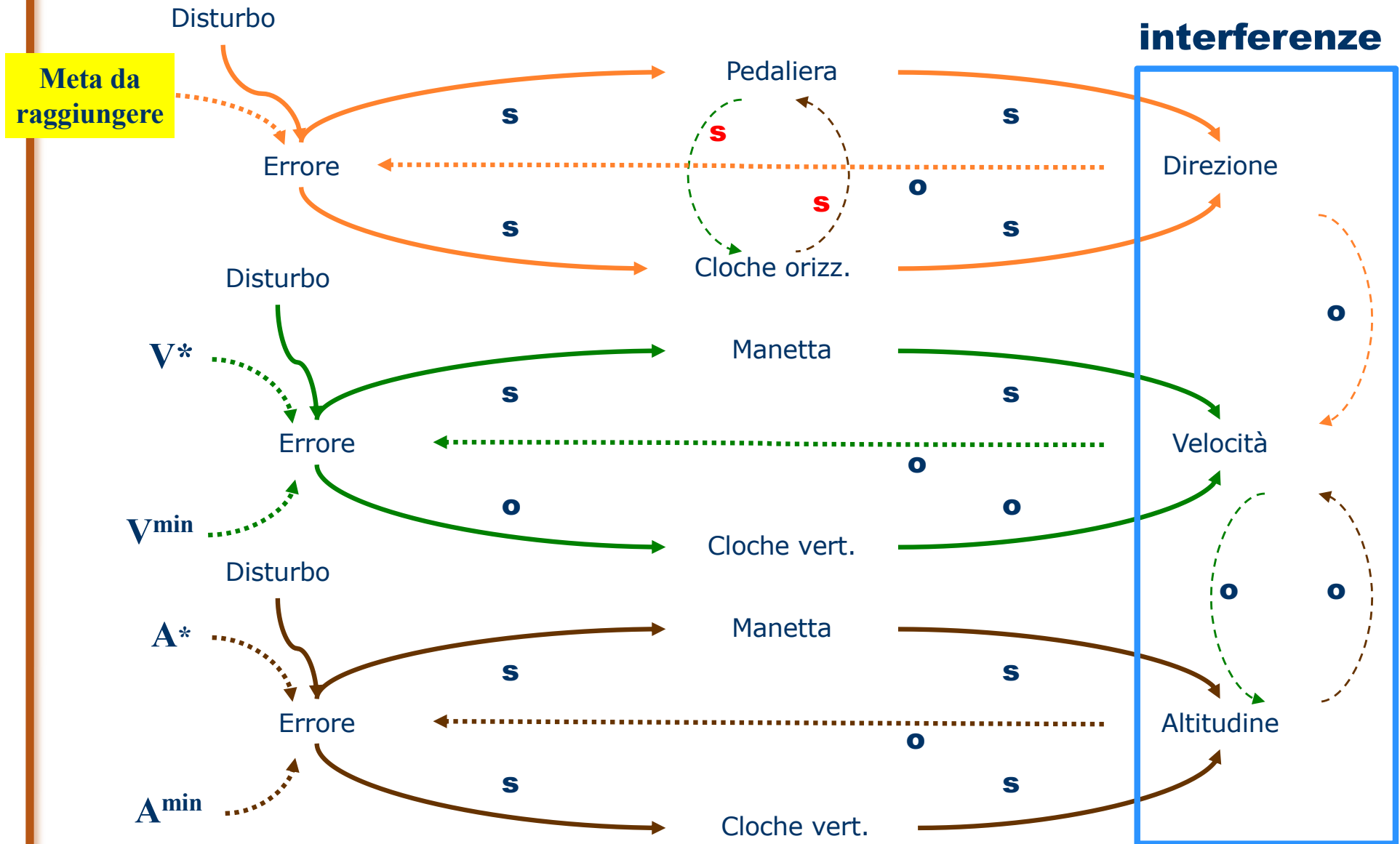
- Un **Sistema di controllo pluri-obiettivo**, con **obiettivi interferenti**, è rappresentato da un **aereo** che debba effettuare un **volo** per raggiungere una certa destinazione, o meta, stabilita dalla **governance**.
- Il **manager** di questo sistema è, ovviamente, il **pilota** che, insieme con lo staff di terra, deve tenere sotto controllo contemporaneamente almeno **quattro principali variabili operative (o di controllo)** che caratterizzano il **volo** – **direzione, velocità, altitudine e livello carburante** –, impiegando un certo numero di leve, come indicato nel modello della diapositiva seguente. **Solo il mantenimento del loro controllo per tutta la durata del volo consente al pilota di raggiungere l'obiettivo finale, costituito dalla meta del volo.**
- Ritengo di lasciare all'intuizione del Lettore l'interpretazione del Sistema di Controllo presentato nella dia seguente (sono stati utilizzati i termini tecnici di un manuale di volo). Faccio solo notare che ciò che rende **pluri-obiettivo** il controllo di un aereo è il fatto che le **variabili operative sono tra loro interferenti**, poiché **molte leve di controllo sono comuni ad almeno due di esse**, così che non è possibile regolare una variabile senza regolare anche le altre.
- Osservando le regole di controllo della velocità e dell'altitudine indicate nella figura, risulta che non vi sono **vincoli diretti** tra tali variabili, pur sussistendo **vincoli indiretti**, a motivo del fatto che le variabili obiettivo sono controllate da **comandi (leve) comuni**: l'aumento della **velocità** non può essere ottenuto semplicemente dando **manetta** (aumento dei giri dell'elica), perché questa leva controlla anche l'**altitudine** in quanto il «dare manetta» non aumenta solo la velocità, ma porta anche, inevitabilmente, a un innalzamento dell'altitudine; per acquistare velocità, l'azione sulla manetta deve accompagnarsi al mantenimento dell'altitudine, usando la cloche verticale.
- Così vale per le altre variabili da controllare.
- Anche se le variabili interferiscono, il pilota-manager è comunque in grado di arrivare al controllo del sistema, portando tutte le variabili al loro valore obiettivo, eliminando o attenuando le reciproche interferenze e minimizzando le eventuali oscillazioni di aggiustamento.
- Ciò che rende questo sistema tipicamente multi-obiettivo è la condizione di **interdipendenza** tra le variabili da controllare, per cui una leva di controllo di una variabile obiettivo inevitabilmente finisce con il controllarne anche un'altra, non importa se con senso [s], oppure [o].
- **Nota:** Oltre alle quattro variabili operative, i moderni velivoli da trasporto devono controllare, contemporaneamente decine di altre variabili (pressioni interne, distanze di sicurezza, ecc.), troppo numerose e tecniche per essere contenute in un esempio didattico.



facoltativo

Esempio di sistema pluriobiettivo improprio

Interferenza tra obiettivi di volo



Sistemi di controllo pluri-obiettivo

L'importanza della politica e della strategia

- Tutti i sistemi pluri-obiettivo, da quelli con obiettivi indipendenti (doccia), a quelli con obiettivi semplicemente interferenti (aereo), fino a quelli con obiettivi interdipendenti (menu per tanti invitati), richiedono che il manager decida **in quale ordine gli obiettivi debbano essere conseguiti**.
- Egli si forma, nel tempo, l'**esperienza** che gli consentirà di valutare quali obiettivi conseguire e decidere l'ordine di priorità che consenta la massima efficienza di manovra delle leve che agiscono congiuntamente.
- **Si definisce politica l'esperienza formalizzata circa le priorità conseguimento degli obiettivi.**
- La **politica** non dipende solo dalla struttura del Sistema di Controllo ma anche dalla conoscenza e dalle attitudini del **manager**.
- La **politica** caratterizza tutti i sistemi **multi-obiettivo** anche se appare più importante per i sistemi **in senso proprio**.
- È anche delineato il **modello generale del controllo** secondo il quale un sistema pluri-obiettivo può essere controllato solo se:
 - si definisce l'**insieme degli obiettivi** da perseguire, e la **politica** che ne specifica le priorità,
 - sono contemporaneamente disponibili **sufficienti “leve” di controllo**, tra loro compatibili e coordinate, da utilizzare secondo una definita **strategia**.



Strategia ottimale

- La **strategia ottimale** è quella che ottimizza il rapporto:

(importanza obiettivo × entità dello scostamento) / costo delle leve

- Il concetto di **strategia ottimale** è, pertanto, relativo e dipende dal tipo di obiettivo e dai vantaggi che si conseguono, dall'entità dello scostamento e dal costo associato alle diverse leve.
- La definizione della **strategia ottimale** si può affrontare con un'analisi costi/benefici (Cost Benefits Analysis, o CBA), valutando tutti gli elementi di costo associati alle leve (tenendo conto di costi diretti e di danni indiretti) e tutti i benefici, in termini di vantaggi connessi alla riduzione dello scostamento e al conseguimento dell'obiettivo.
- **La CBA incontra, in molti casi, notevoli difficoltà perché, nella valutazione delle diverse leve di controllo, il manager tiene conto di elementi non quantificabili monetariamente, ma di origine psicologica, o emotiva, o legati alla cultura e, talvolta, anche ai pregiudizi.**



Politica ottimale

- La scelta dell'ordine di conseguimento dei diversi obiettivi dipende,
 - dall'**importanza** e dall'**urgenza** degli obiettivi che il sistema deve raggiungere,
 - dai **costi/benefici** abbinati alle diverse leve disponibili.
- Solitamente, l'obiettivo **primo** da conseguire dovrebbe essere quello ritenuto più **urgente** e/o più **importante**, essendo ad esso associato un alto beneficio (se viene conseguito), o un elevato danno (se non si consegue).
- Per la definizione della **politica ottimale** si possono applicare le **tecniche di ordinamento degli obiettivi su scale cardinali**, così che la scelta della politica possa essere effettuata secondo metodologie pseudo-quantitative.





Evoluzione dei Sistemi di Controllo

Prima Congettura

- I sistemi di controllo, sia quelli naturali, sia quelli ideati dall'uomo, evolvono, modificando la loro struttura logica e soprattutto, potenziando e rendendo più efficienti gli apparati che formano la catena di controllo.
- Ritengo utile presentare alcune congetture relativamente a tale evoluzione.
- Anche se i Sistemi di Controllo a feedforward ancora pervadono la nostra esistenza, l'uomo ha sempre cercato di migliorare i propri attrezzi e di controllare il proprio ambiente introducendo forme di controllo a feedback.
- Questa tendenza evolutiva appare anche negli animali singoli e nelle “collettività” di animali (e nelle specie), quando vengono interpretati come sistemi di controllo che evolvono verso forme di controllo più efficienti.
- Possiamo, pertanto, avanzare la seguente:
 - **PRIMA CONGETTURA**
 - **I Sistemi di Controllo a feedforward tendono ad evolvere in Sistemi di Controllo a feedback.**





Evoluzione dei Sistemi di Controllo

Seconda Congettura

- Molti sistemi a più leve rappresentano uno sviluppo **naturale** dei sistemi mono-leva.
- Spesso, i sistemi pluri-leva derivano da esigenze **artificiali** di potenziamento dei sistemi mono-leva e dalle innovazioni tecniche che consentono di inventare e costruire apparati (sensori, regolatori ed effettori) sempre più sofisticati, di dimensioni ridotte e con costo basso.
- Altre volte i sistemi pluri-leva si osservano zoomando verso il grande.
- Si delinea una seconda tendenza evolutiva formalizzabile come segue:
 - **SECONDA CONGETTURA**
 - **Più zoomiamo verso il piccolo, più osserviamo sistemi mono-leva, caratterizzati da specializzazione e velocità. Sono caratteristici dei sistemi naturali.**
 - **Più zoomiamo verso il grande, più osserviamo sistemi pluri-leva, caratterizzati dalla varietà degli obiettivi conseguibili. Sono, solitamente, sistemi progettati dall'uomo.**



Lezione 3 - Conclusioni

- In questa terza lezione abbiamo considerato i sistemi multi-leva (o pluri-leva) e multi-obiettivo (o pluri-obiettivo).
 - a. I **sistemi multi-leva** più semplici sono quelli a duplice leva: X_1 , e X_2 , che vengono attivate per produrre variazioni dello stesso o di opposto segno nella Y . Le leve possono essere:
 - **indipendenti** (o libere), se X_1 e X_2 possono produrre entrambe variazioni dello stesso segno della Y , oppure variazioni di segno opposto;
 - **dipendenti** (o vincolate), se X_1 e X_2 possono produrre, ciascuna, variazioni di opposto segno della Y .
 - b. Particolari sistemi a due leve sono quelli che operano per **impulsi**, tipici del controllo dei magazzini e della vita biologica; possono essere a funzionamento **CI-PO** oppure a funzionamento **PI-CO**.
 - d. I **sistemi multi-leva** possono essere **mono-layer** e **multi-layer** e avere leve di diverso ordine o livello; in particolare,
 - leve **operative**, o di primo livello; sono quelle sulle quali si agisce immediatamente (possono essere libere o vincolate);
 - leve **ausiliarie**, che rinforzano l'azione delle leve operative;
 - leve **straordinarie**, o di secondo livello; si impiegano quando le leve operative e ausiliarie si rivelano insufficienti ad annullare lo scostamento;
 - leve **strutturali**, o di terzo livello; si attivano se anche le leve straordinarie non sono sufficienti a conseguire l'obiettivo.
- Nei **sistemi multi-leva**, il **manager** del sistema deve stabilire l'*ordine di attivazione delle leve* – cioè la **strategia di controllo** – attuando un'analisi costi-benefici per individuare le leve più efficaci ed efficienti.
- Nei **sistemi multi-obiettivo** la **governance** del sistema deve definire l'ordine di priorità nel conseguimento degli obiettivi, cioè la **politica di controllo**; essa deve essere congiunta alla *strategia* del controllo, decisa dal manager per la scelta delle leve di controllo.
- La definizione della politica di controllo deve essere attuata sulla base di accurate *tecniche di ordinamento degli obiettivi* secondo preferenza che portino a definire la *scala di priorità* obiettivi dei medesimi.

FINE della LEZIONE 3

