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

Aula Scarpa

piero.mella@unipv.it

Finalità del Modulo 3

- Nel precedente **Modulo 2** ho presentato la logica del controllo ed i Sistemi di Controllo più semplici: monoleva e monoobiettivo.
- In questo **Modulo 3** si amplia la visione dei Sistemi di Controllo, introducendo due importanti generalizzazioni:
  - i Sistemi di Controllo **multileva**, con leve indipendenti o dipendenti l'una dall'altra;
  - i Sistemi di Controllo **multiobiettivo**;
  - sistemi con particolari caratteristiche.
- Il Modulo comprende il **Cap. 3**.

Due semplici definizioni

- Possiamo abbandonare la limitazione – introdotta nel **Modulo 1** – di Sistemi di Controllo a una sola leva e con un solo obiettivo.

- **Definizioni**

  - Se la variabile $\mathbf{X_t}$, definita **leva di controllo**, è un **vettore [X]** composto da **N** variabili d'azione $[\mathbf{X_1, X_2, \ldots X_N}]$, il sistema viene denominato Sistema di Controllo **multileva** (multi-lever control system).

  - Se la variabile $\mathbf{Y_t}$, definita **variabile obiettivo**, è un **vettore [Y]** composto da **M** variabili d'azione $[\mathbf{Y_1, Y_2, \ldots Y_M}]$ il sistema viene denominato Sistema di Controllo **multiobiettivo** (multi-objective control system).

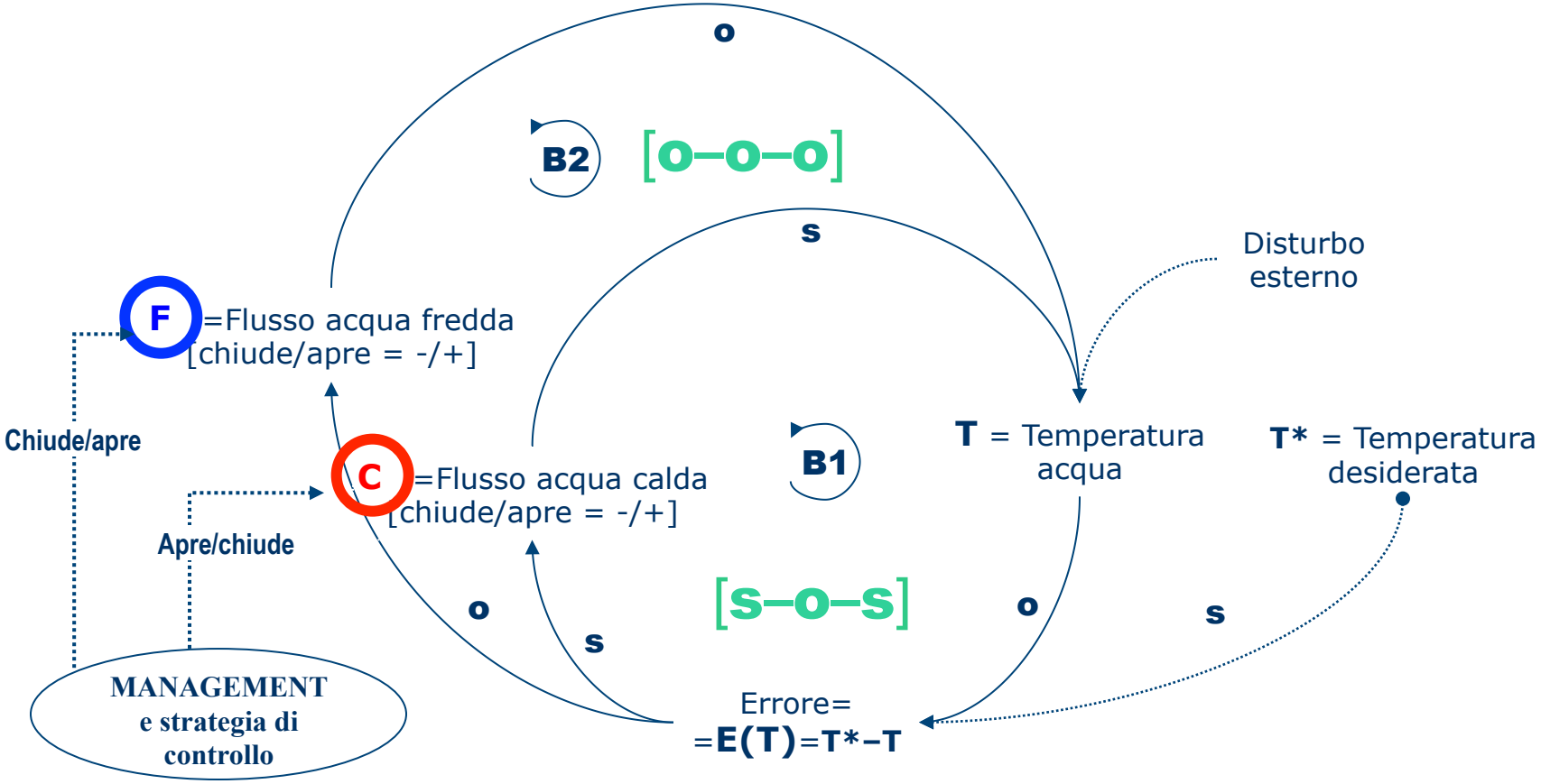
- **Ogni sistema multiobiettivo è anche multileva.**

Due tipi di Sistemi multileva

- Iniziamo dai sistemi più semplici, con due sole leve: $\mathbf{X_1}$ e $\mathbf{X_2}$.
- Possono distinguersi due tipi.
  - Le **leve** sono **indipendenti**, quando il manager può decidere se modificare solo la prima, o solo la seconda, o entrambe.
    - Questo controllo si definisce a **variabili libere**.
  - Le **leve** sono **dipendenti l'una dall'altra**, se una variazione nella $\mathbf{X_1}$ implica una variazione opposta, di senso "**o**" oppure "**s**", nella $\mathbf{X_2}$, anche se tali variazioni possono avere misura o intensità diversa.
    - Questo controllo si definisce a **variabili vincolate**.

Modello a due leve indipendenti
La doccia

- **La doccia con due rubinetti è il più semplice esempio di Sistema di Controllo con due leve manovrabili liberamente.**

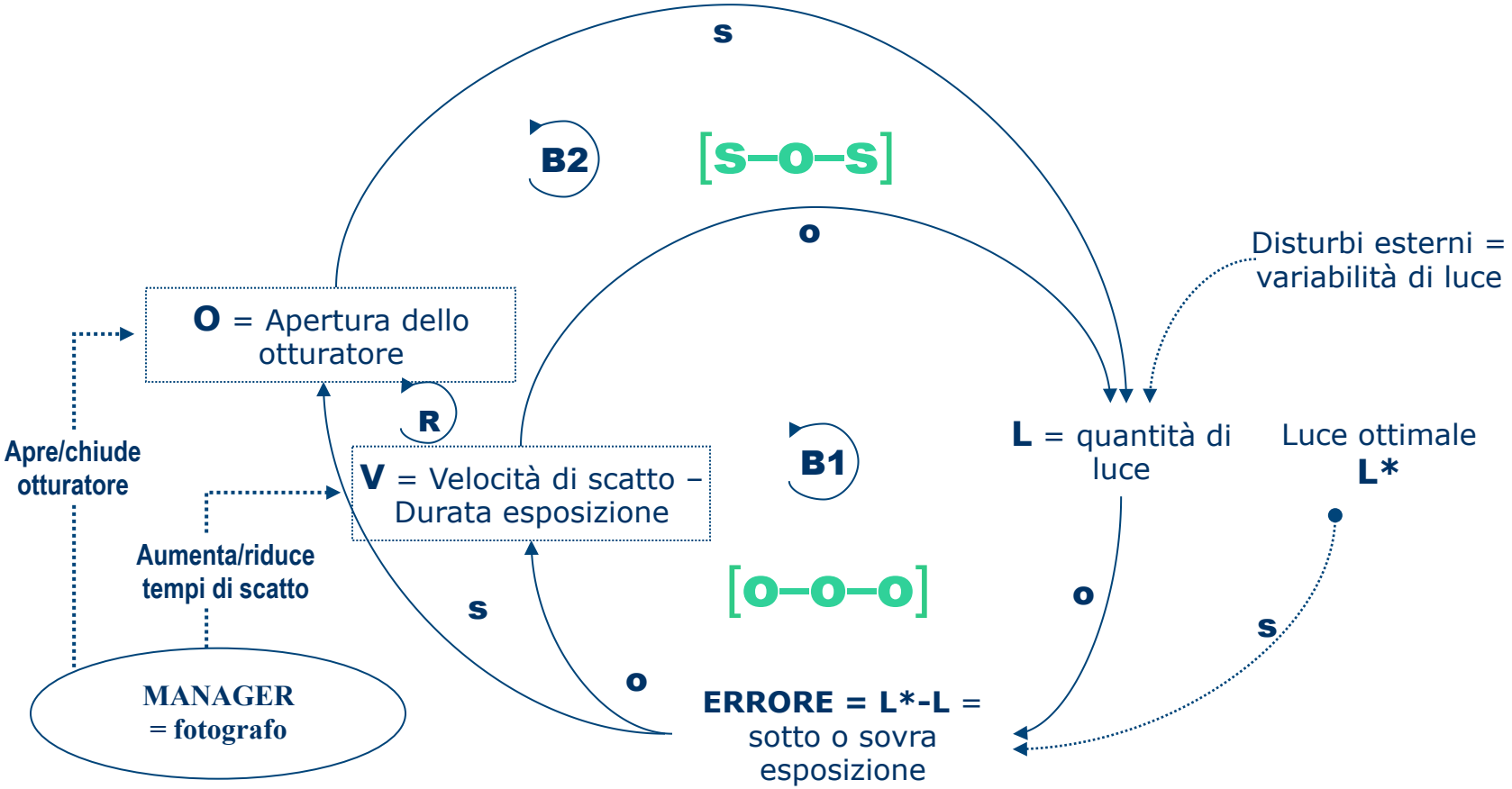


La strategia di azione delle leve

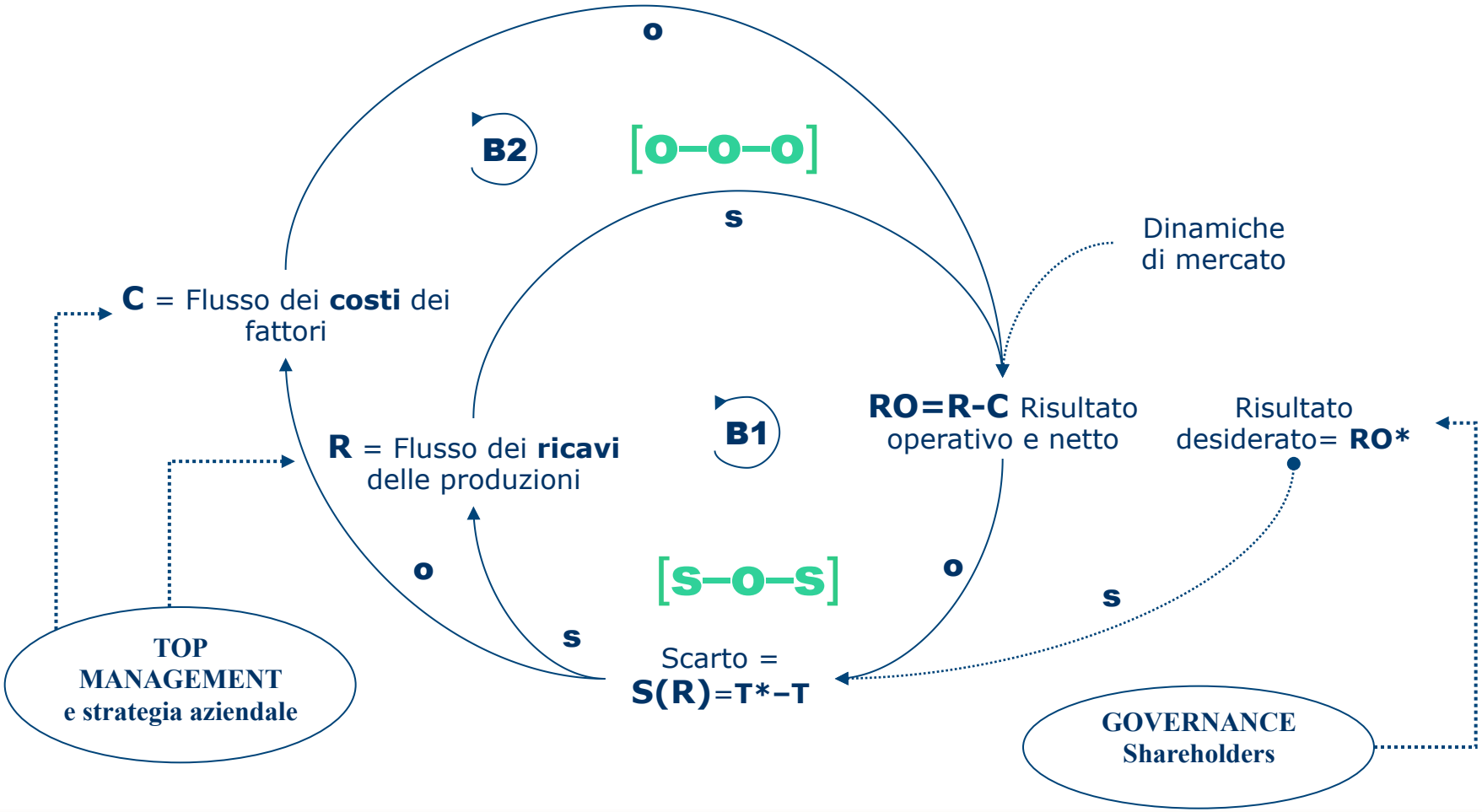
- Il controllo con due variabili, implica che il manager definisca un **ordine di priorità** per la **manovra delle leve** di controllo.
  - L'**esperienza** consentirà al manager di conseguire l'obiettivo manovrando le leve nell'ordine che ritiene più efficiente.
- **Si definisce strategia l'esperienza formalizzata circa le priorità di manovra delle leve di controllo.**
  - 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**.

Modello a due leve indipendenti
La luce sulla pellicola

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



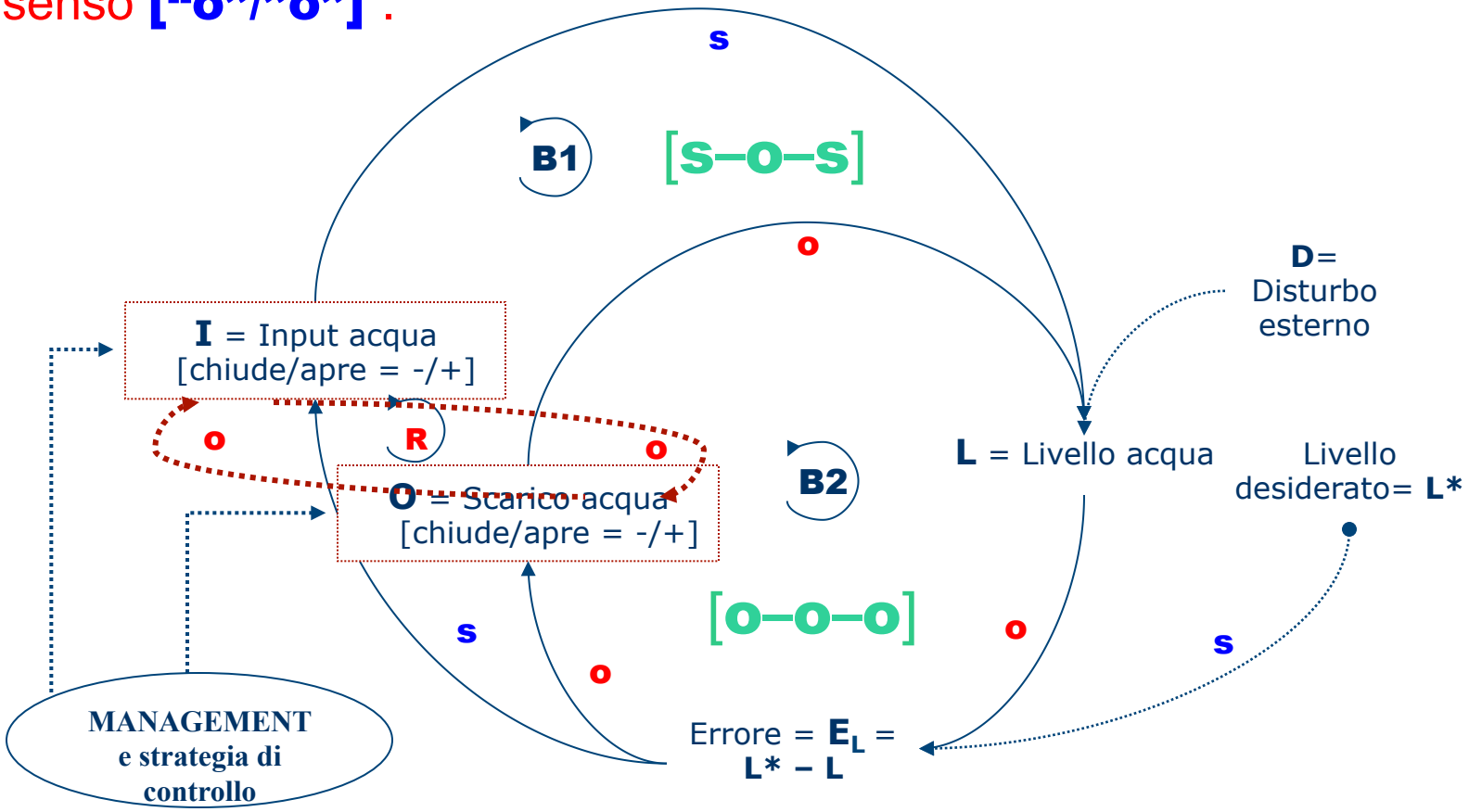
Modello a due leve indipendenti
Il risultato operativo



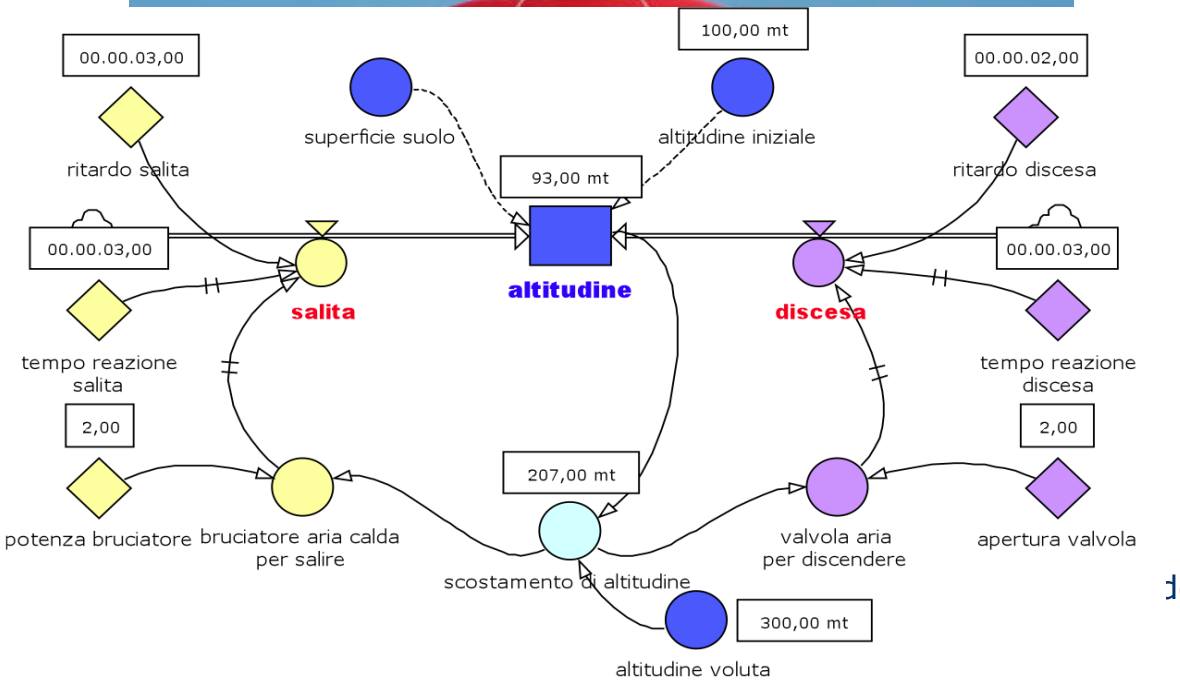
Modello a due leve dipendenti ["o"/"o"]
La vasca

Pag. 128

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

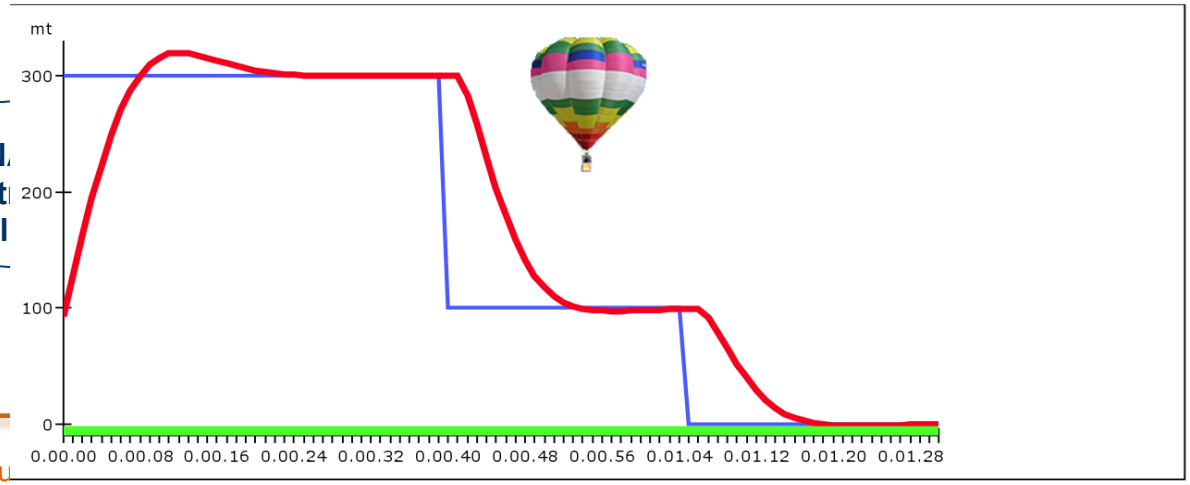


Modello a due leve dipendenti
L'aerostato



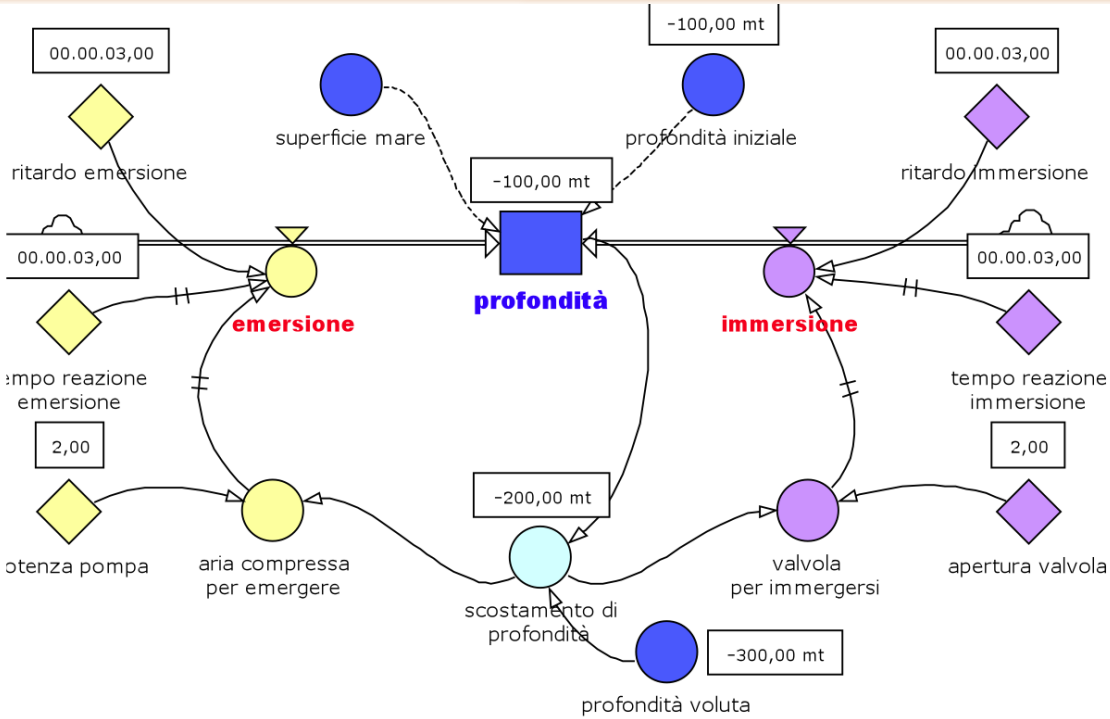
Disturbo esterno

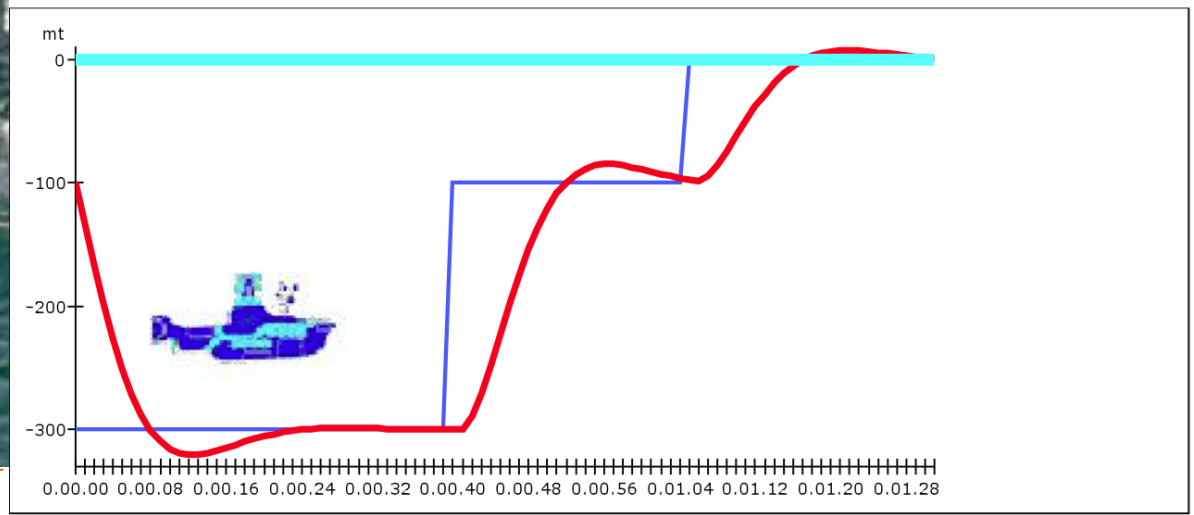
Altitudine desiderata = **A***



MAN
e st
decol

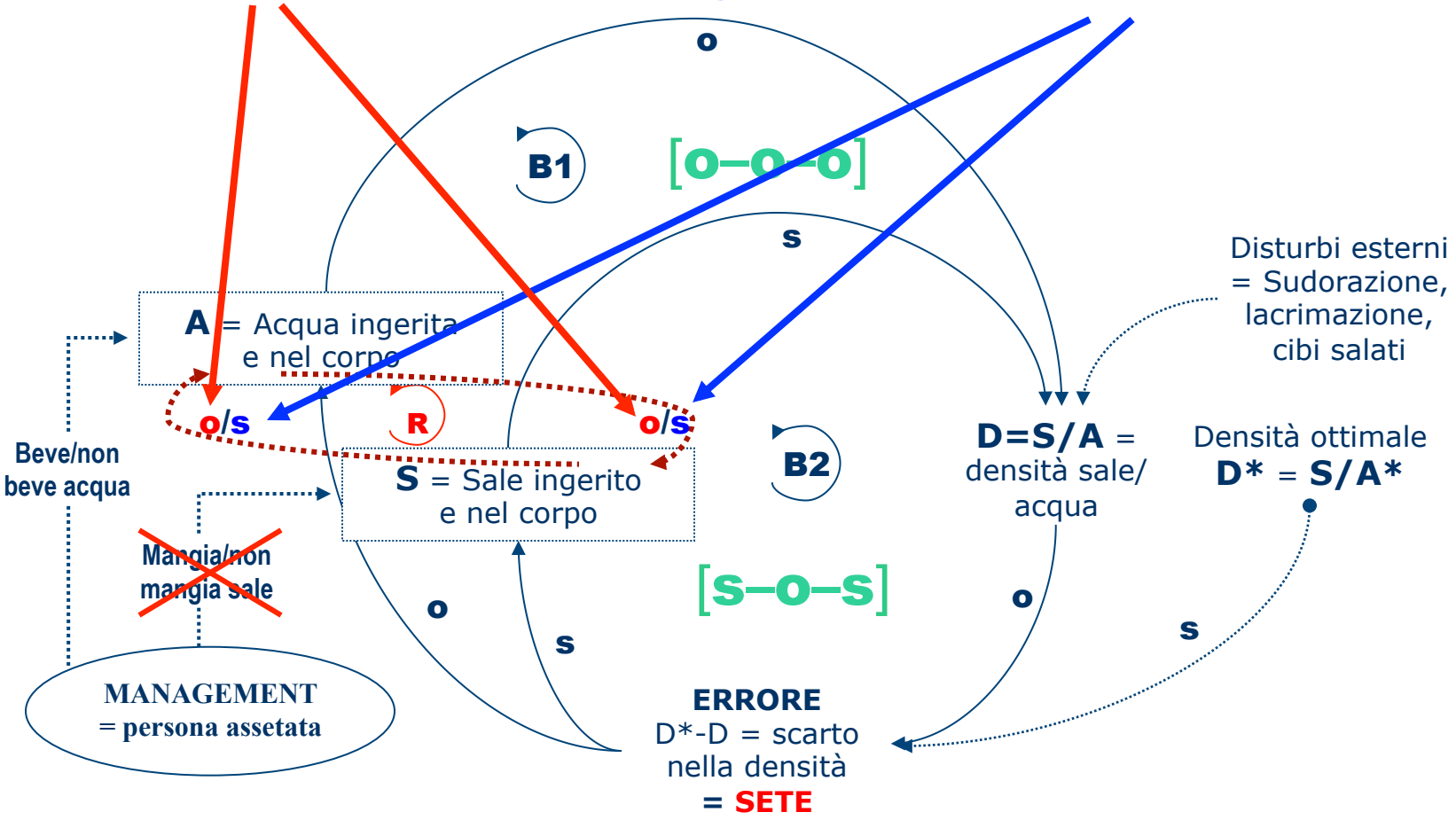
Modello a due leve dipendenti
Il sommergibile





Modello a due leve dipendenti
La densità di liquido nel corpo

La strategia appare difficile perché l'ERRORE porta impropriamente ad usare sempre la leva A o mai la S. Le leve sono dipendenti, non solo con vincolo "o"; conviene legarle anche con doppio vincolo "s".



Par. 3.6

Potenziamento del sistema di controllo

- **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 è sottodimensionato rispetto all'obiettivo l'obiettivo è sovradimensionato per il sistema.**

- **Definizione**
  - **Potenziamento del sistema** è ogni intervento strutturale per:
    - **ampliare la portata** delle leve di controllo,
      - con un **potenziamento interno**;
    - o, anche, per **aumentare il numero** delle leve,
      - con un **potenziamento esterno**.

Tasso d'azione, portata, sezione e velocità

- Nei Sistemi di Controllo (monoleva o plurileva), alcune leve **X** sono caratterizzate da un **tasso d'azione** – **gX** – che, direttamente o indirettamente, assume il significato di **portata.**

- Tale tasso d'azione può pensarsi composto 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.**

Potenziamento delle leve di controllo

- 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 (secondo il significato da specificare di volta in volta);
  - **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 dallo scostamento, **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**.

Nuove leve

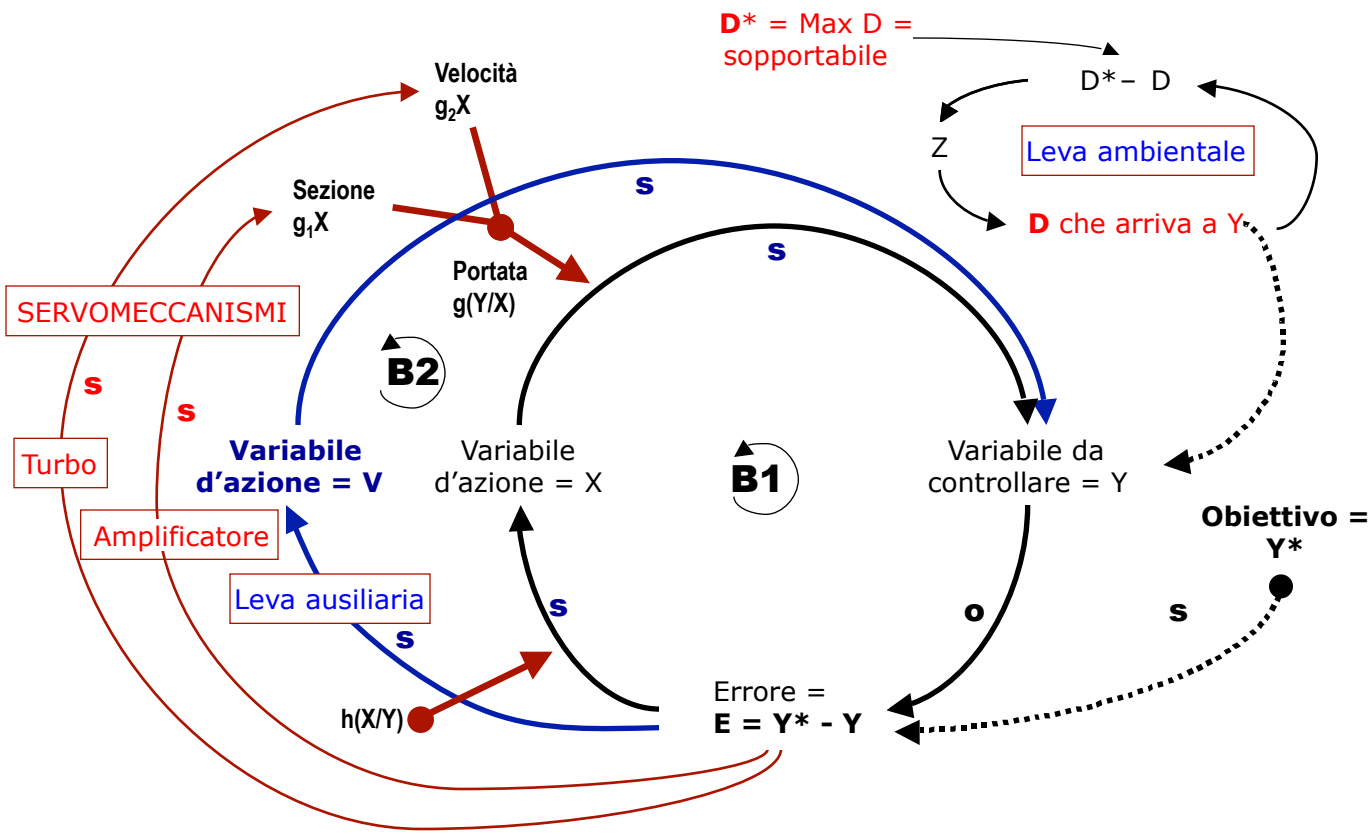
- Si può migliorare ulteriormente l'efficacia di un sistema di controllo affiancando a **X** una **nuova leva** di controllo, poniamo **V**,
  - che produca un **ulteriore flusso**, in aggiunta a quello di **X**.

- 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 appare regolata da **E** ma da **D**.

- Il **controllo ambientale** è, per definizione, esterno al Sistema di Controllo.

- Esso, tuttavia, potrebbe essere considerato, nel suo complesso, con tutte le sue leve particolari, come una **leva strutturale**, di secondo o terzo livello del Sistema di Controllo principale (si veda il par. 3.5 che esamineremo tra breve).

Sistema di Controllo con interventi di potenziamento



Sistemi per impulsi

- **Definizione**
- Un sistema a **due leve** opera **per impulsi** quando:
  - la **prima variabile** di controllo, $\mathbf{X_1}$, assume un valore non nullo fino a quando la **Y** (oppure lo scarto, **E**) non raggiunga un dato livello **Y*** – precedentemente definito come obiettivo –, mantenendo, invece, il **valore 0** per il livello della **Y = Y***;
  - la **seconda variabile** di controllo $\mathbf{X_2}$ assume, invece i valori:
    - $\mathbf{X_2 = 0}$ se $\mathbf{X_1 \neq 0}$,
    - $\mathbf{X_2 = -Y^*}$ quando la $\mathbf{X_1 = 0}$, cioè quando $\mathbf{Y = Y^*}$.
- Questo comportamento delle leve produce quale effetto una variazione periodica della **Y** da **0** a **Y***.
- **I sistemi per impulsi rappresentano adeguatamente la dinamica di "magazzini" (stock, livelli, masse, ecc.) di qualsivoglia natura.**

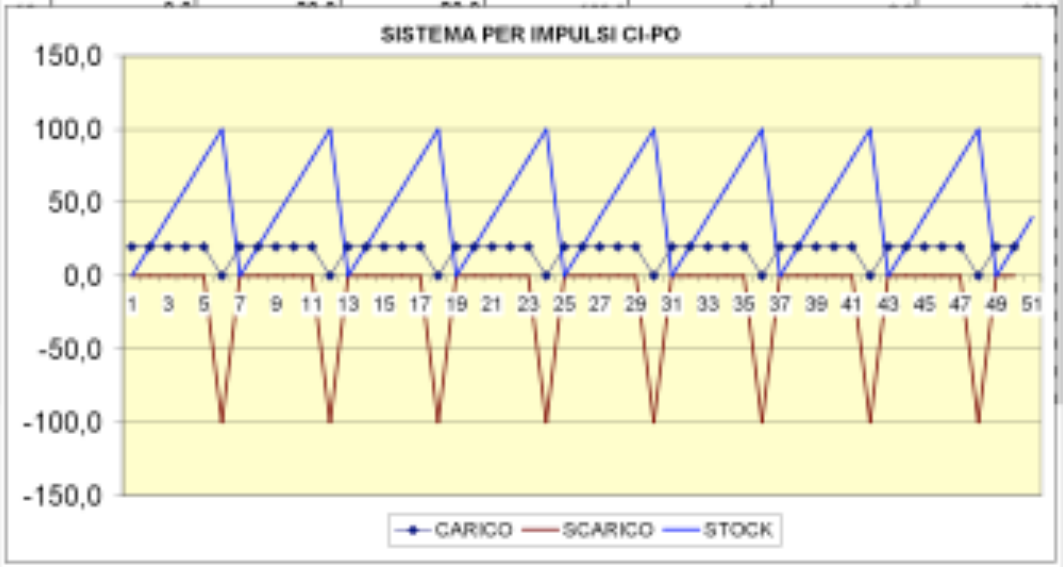
Sistema per impulsi
CI-PO, continuous input/point output

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

Sistema per impulsi CI-PO, continuous input/point output

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

t	variaz. di X1	variaz. di X2	disavanzo di Y	Y* = OBIETTIVO	variaz. Obiettivo	E = DISTURBO	SCARTO = 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



Sistema per impulsi CI-PO, continuous input/point output

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

t	variaz. di X1	variaz. di X2	dinamica di Y	Y* = OBIETTIVO	variaz. Obiettivo	E = DISTURBO	SCARTO = 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	20,0	150,0	150,0	0,0	0,0	0,0
28	-150,0	0,0	0,0	150,0	0,0	0,0	150,0
29	0,0	20,0	20,0	150,0	0,0	0,0	130,0
30	0,0	20,0	40,0	150,0	0,0	0,0	110,0

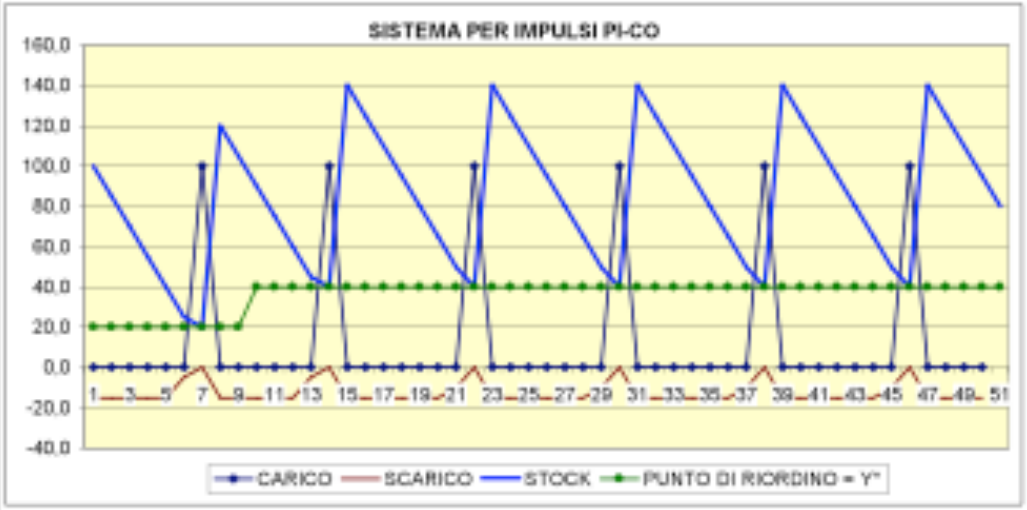
Sistema per impulsi
PI-CO, point input/continuous output

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

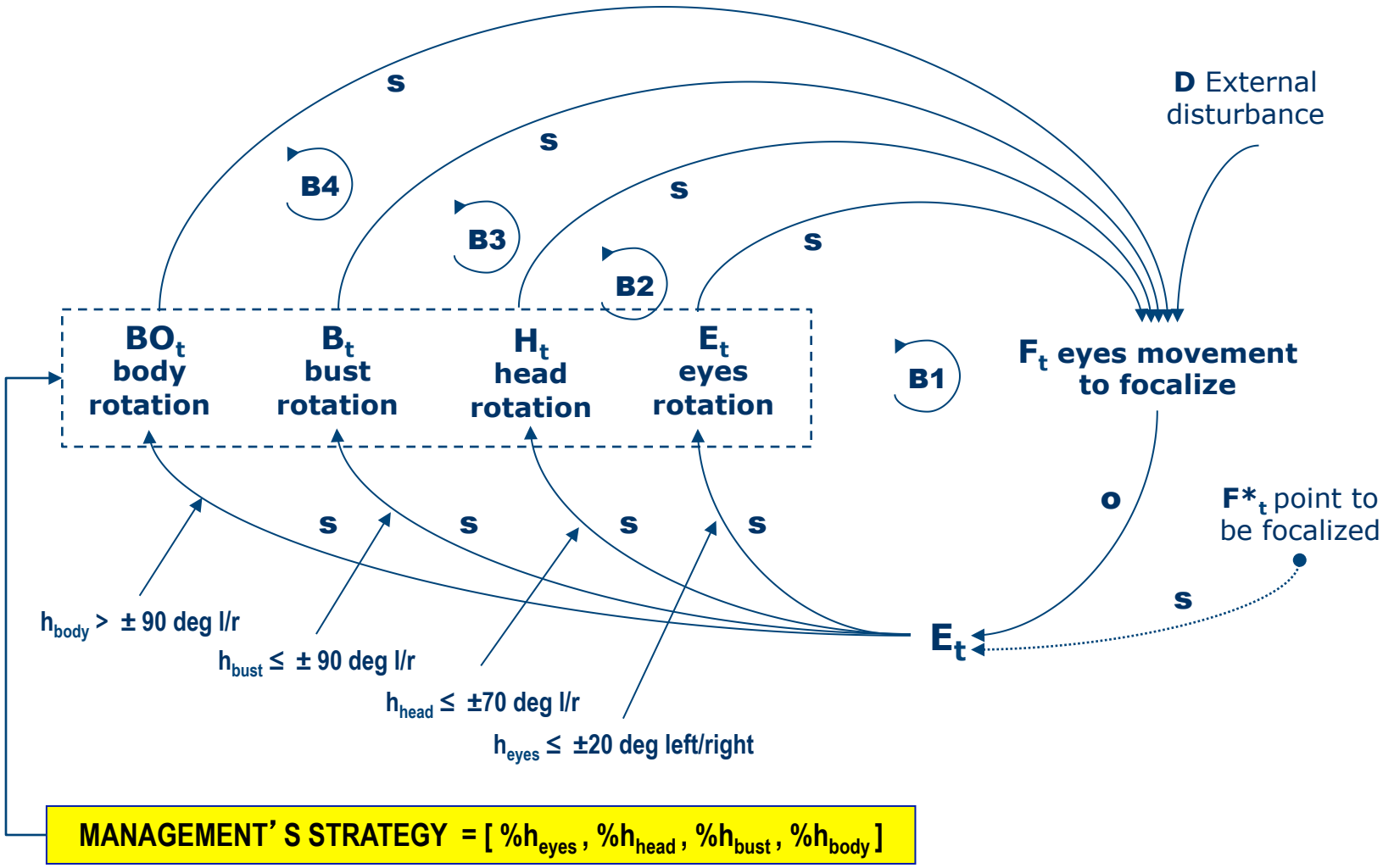
Sistema per impulsi
PI-CO. point input/continuous output

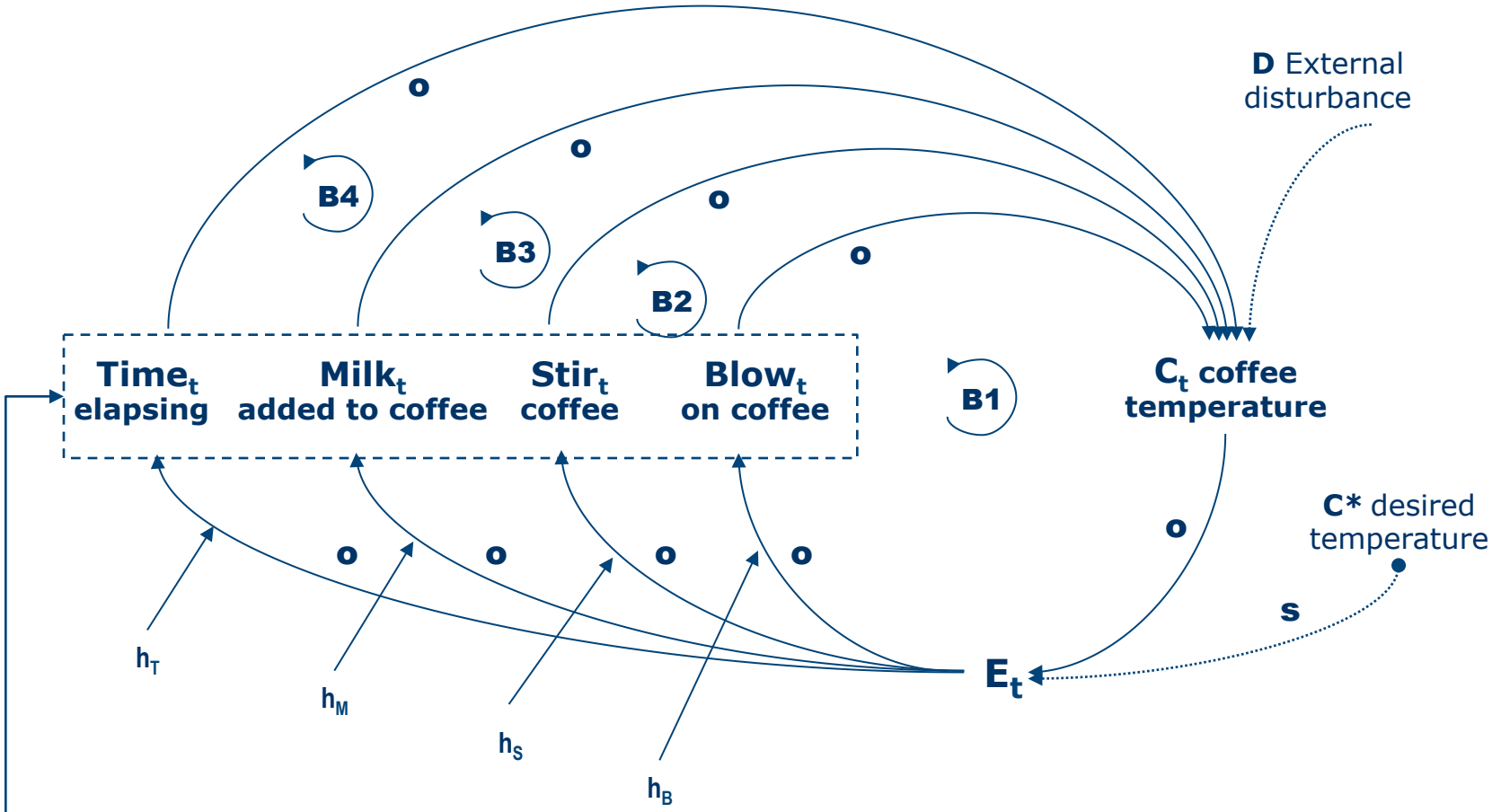
			t. reazione	1		
OUT	velocità di X_1	3	passo rid. X_1 =	5	riordino Y_a =	100
IN	velocità di X_2	10	passo rid. X_2 =	10	liv. sic.Y* =	20
			tempo reazione	1	tolleranza Y =	1

t	variaz. di X1	variaz. di X2	dinamica di Y	Y* = OBIETTIVO	variaz. Obiettivo	E = DISTURBO	SCARTO = Y* - Y
0	0,0	0,0	100,0	20,0	0,0	0,0	-80,0
1	-15,0	0,0	85,0	20,0	0,0	0,0	-65,0
2	-15,0	0,0	70,0	20,0	0,0	0,0	-50,0
3	-15,0	0,0	55,0	20,0	0,0	0,0	-35,0
4	-15,0	0,0	40,0	20,0	0,0	0,0	-20,0
5	-15,0	0,0	25,0	20,0	0,0	0,0	-5,0
6	-5,0	0,0	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	100,0	120,0	20,0	0,0	0,0	-100,0
8	-15,0	0,0	105,0	20,0	0,0	0,0	-85,0
9	-15,0	0,0	90,0	40,0	20,0	0,0	-50,0
10	-15,0	0,0	75,0	40,0	0,0	0,0	-35,0
11	-15,0	0,0	60,0	40,0	0,0	0,0	-20,0
12	-15,0	0,0	45,0	40,0	0,0	0,0	-5,0
13	-5,0	0,0	40,0	40,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	100,0	140,0	40,0	0,0	0,0	-100,0
15	-15,0	0,0	125,0	40,0	0,0	0,0	-85,0
16	-15,0	0,0	110,0	40,0	0,0	0,0	-70,0
17	-15,0	0,0	95,0	40,0	0,0	0,0	-55,0
18	-15,0	0,0	80,0	40,0	0,0	0,0	-40,0
19	-15,0	0,0	65,0	40,0	0,0	0,0	-25,0
20	-15,0	0,0	50,0	40,0	0,0	0,0	-10,0



Sistemi multi-lever, mono livello





MANAGEMENT' S STRATEGY = [%h$_B$, %h$_S$, %h$_M$, %h$_T$]

Sistemi multi-layer
Tipologia di leve

- Dobbiamo ora introdurre tre nuove nozioni:
  - **livello delle deviazioni**
    - **ordine delle leve**
      - **tipologia dei controlli.**

Nota - Anche nei sistemi plurileva si riscontra l'ampia tipologia di leve che abbiamo esaminato al Modulo 2.

- Leve **graduali** e **istantanee**
- Leve **continue** e **discrete**
- Leve **on/off** e **I/O**.

Sistemi multi-layer - Livello delle deviazioni
Ordine delle leve

Par. 3.5

- **Definizioni**
- Si definisce **deviazione di primo livello** l'errore iniziale:

$$E(Y) = \Delta(Y) = Y^* - Y.$$

  - Si definiscono **Leve di primo ordine** quelle con le quali il manager cerca di annullare $\Delta(Y)$.

- Si definisce **deviazione di secondo livello** l'errore sull'errore:

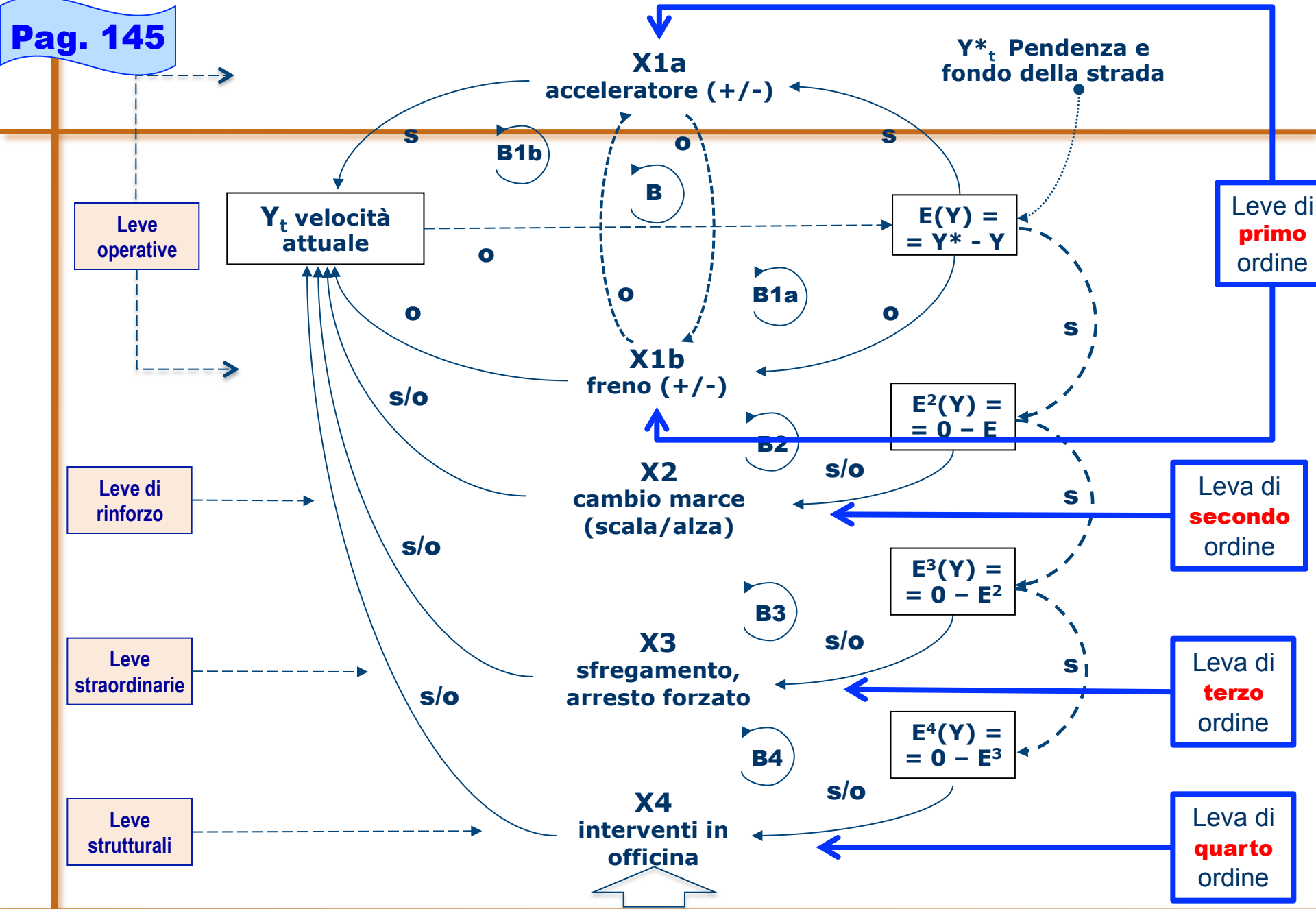
$$EE(Y) = \Delta\Delta(Y) = 0 - \Delta(Y).$$

  - Si definiscono **Leve di secondo ordine** quelle con le quali il manager cerca di annullare $\Delta\Delta(Y)$.

- Si definisce **deviazione di livello N** l'errore sull'errore:

$$E^N(Y) = \Delta^N(Y) = 0 - \Delta^{N-1}(Y).$$

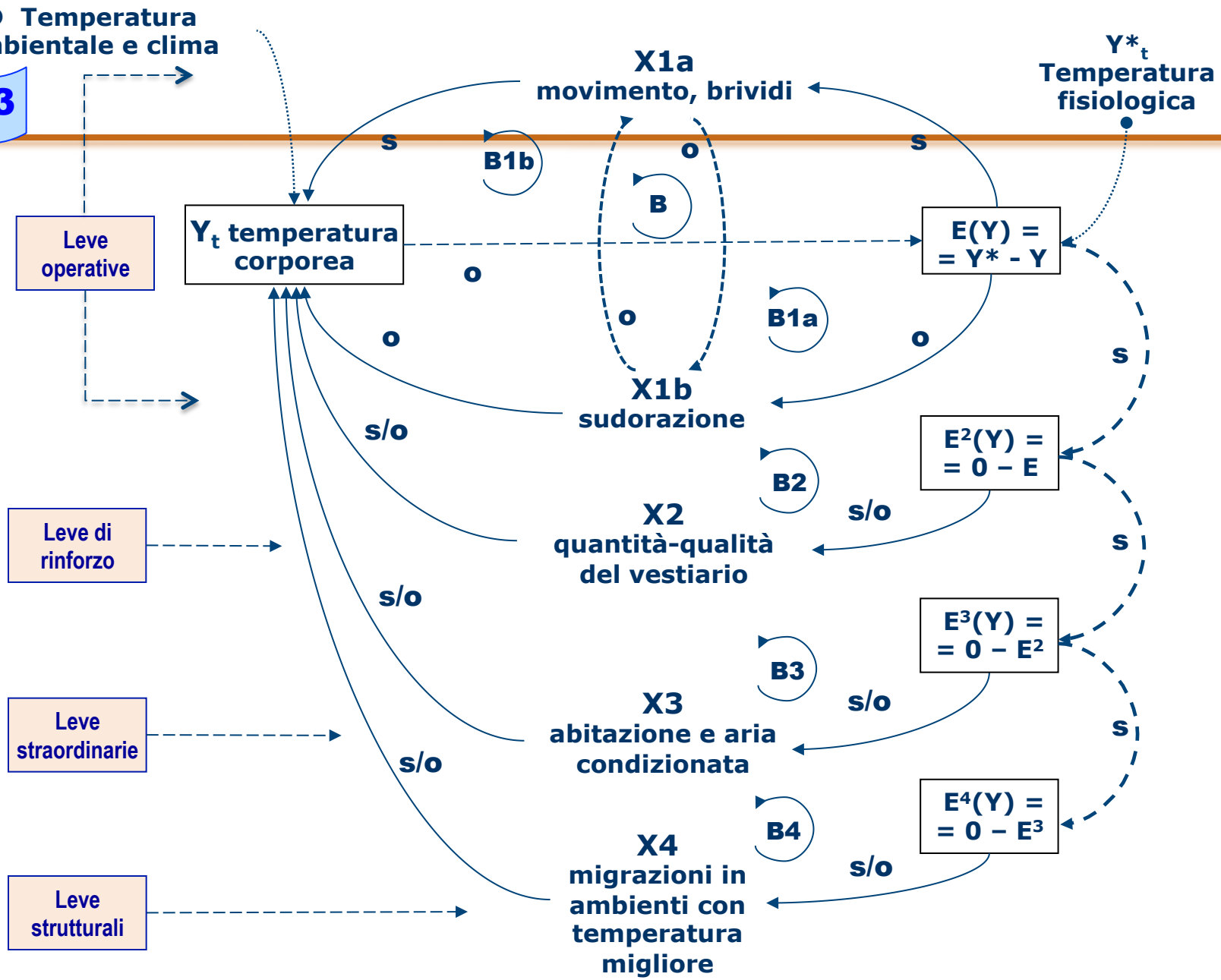
  - Si definiscono **Leve di ordine N** quelle con le quali il manager cerca di annullare $\Delta^N(Y)$.



STRATEGIA DEL MANAGEMENT
[s_{1a}, s_{1b}, s_2, s_3, s_4]

Tipologia di controlli
Operativi, straordinari e strutturali

- **Definizione**
  - È **operativo** il controllo (ordinario o straordinario) che agisce con le **leve operative** del **primo ordine** disponibili, mantenendo inalterata la struttura tecnica del sistema (apparati delle catena di controllo);
  - È **straordinario**, il controllo che potenzia le leve normalmente sottodimensionate,
  - È **strutturale** il controllo che interviene aggiungendo nuove leve leve oltre a quelle già esistenti.



STRATEGIA DEL MANAGEMENT
$[s_{1a}, s_{1b}, s_2, s_3, s_4]$

Contenuto della strategia

- La **strategia di controllo** deve decidere
  - non solo l'**ordine di manovra delle leve**
  - ma anche **il tipo di controllo da effettuare**,
    - in base al tempo di reazione e all'entità dello scostamento.
  - come colmare il mancato controllo di una leva ricorrendo alle leve successive.

Sistemi pluriobiettivo in senso proprio

- **Definizione**

- Un sistema si definisce **pluriobiettivo**, o **multiobiettivo**, in **senso proprio**,
  - se è caratterizzato da una molteplicità di **variabili obiettivo**: $\mathbf{Y_1}$, $\mathbf{Y_2}$, ..., $\mathbf{Y_M}$, con $\mathbf{M \geq 2}$,
  - che il manager deve controllare **contemporaneamente** per raggiungere altrettanti **obiettivi**, $\mathbf{Y^*_1, Y^*_2, ..., Y^*_M}$,
  - impiegando un **adeguato numero di leve** con varie caratteristiche,
  - **alla condizione che le M variabili obiettivo siano interdipendenti**.

Condizione perché un sistema sia pluriobiettivo in senso proprio

- Ciò che rende un sistema tipicamente multiobiettivo **in senso proprio** è la condizione di **interdipendenza** tra le **M** variabili da controllare.
- Tale condizione si manifesta quando **una leva che controlla una variabile obiettivo inevitabilmente finisce con il controllarne anche un'altra**, non importa se 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**.

Sistemi pluriobiettivo apparenti da congiunzione operativa

- **Definizione**

- Un sistema **pluriobiettivo** si definisce **apparente** se
  - è caratterizzato da **M** variabili **obiettivo**,
  - ma queste risultano tra loro **indipendenti**, ai fini del controllo.

- **Un sistema pluriobiettivo apparente rappresenta la l'unione operativa di M sistemi mono obiettivo.**

- Esempio: flusso e temperatura nella doccia.

Sistemi pluriobiettivo impropri da interferenza

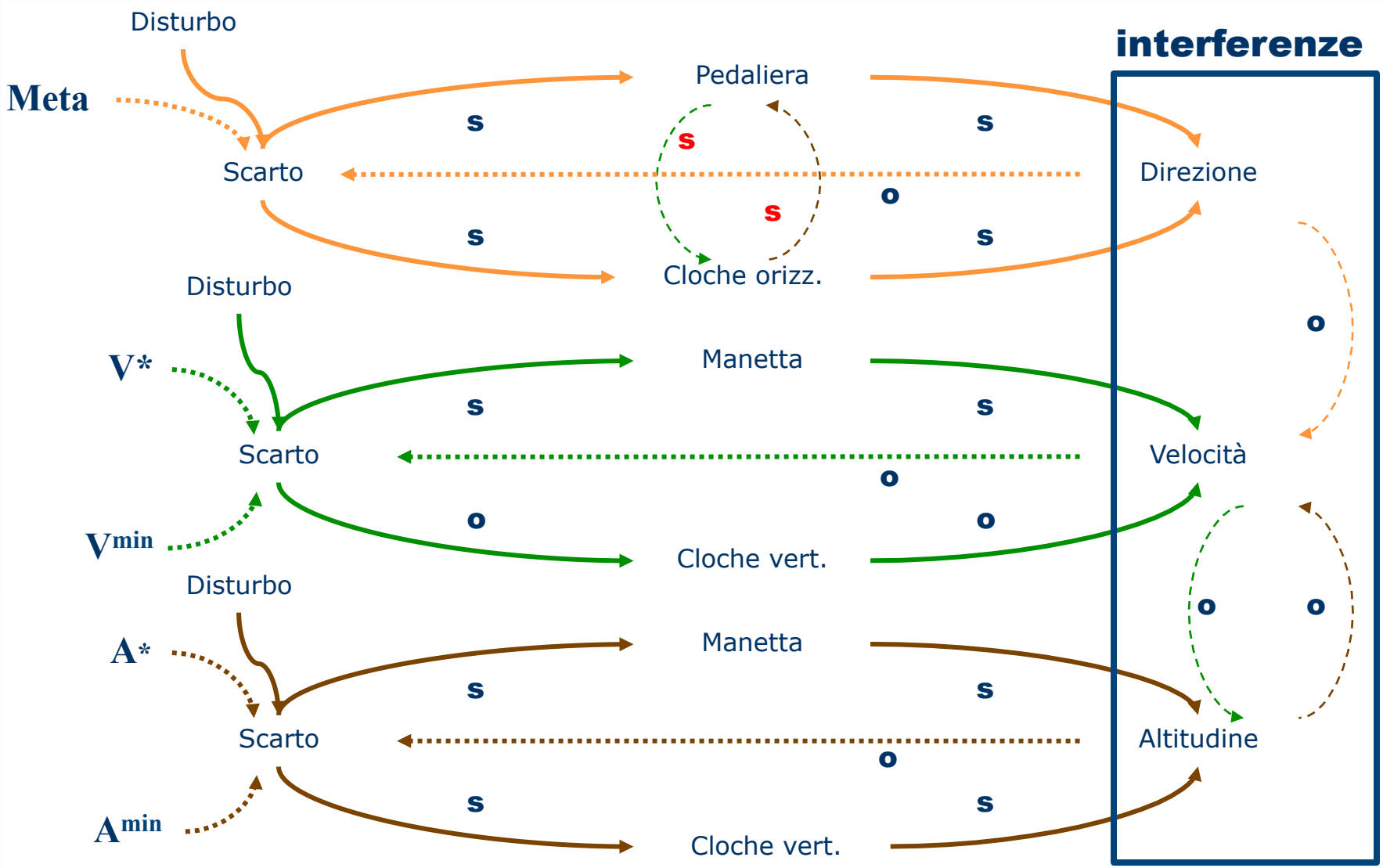
- **Definizione**

- Un sistema **pluriobiettivo** si definisce **improprio** se
  - è caratterizzato da **M** variabili **obiettivo**,
  - ma queste risultano tra loro **interferenti**, ai fini del controllo.

- **Un sistema pluriobiettivo improprio rappresenta la congiunzione operativa di M sistemi mono obiettivo.**

- Esempio: 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 pluriobiettivo impropri da interferenza



Par. 3.8

La politica di controllo degli obiettivi

- Tutti i sistemi pluriobiettivo, da quelli con obiettivi indipendenti (doccia), a quelli con obiettivi semplicemente interferenti (aereo), fino a quelli con obiettivi interdipendenti (sedile), richiedono che il manager decida **in quale ordine gli obiettivi debbano essere conseguiti.**
- Si forma, così, l'**esperienza** che gli consentirà di conseguire tutti gli obiettivi secondo l'ordine 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**.

Strategia ottimale

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

$$\frac{\textbf{(entità dello scostamento} \times \textbf{importanza obiettivo)}}{\textbf{costo delle leve}}$$

- 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,
  - dai **costi/benefici** abbinati alle diverse leve disponibili
  - dall'**importanza** e dall'**urgenza** degli obiettivi che il sistema deve raggiungere.

- 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 quantitative.

PRIMA CONGETTURA di evoluzione dei Sistemi di Controllo

- 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.

- Possiamo, pertanto, avanzare la seguente:

  - **PRIMA CONGETTURA**

  - **I Sistemi di Controllo a feedforward tendono ad evolvere in in Sistemi di Controllo a feedback.**

SECONDA CONGETTURA di evoluzione dei Sistemi di Controllo

- Molti sistemi a più leve rappresentano uno sviluppo **naturale** dei sistemi monoleva.
- Spesso i sistemi plurileva derivano da esigenze **artificiali** di potenziamento dei sistemi monoleva.
- Altre volte i sistemi plurileva 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 monoleva;**
    - **più zoomiamo verso il grande, più osserviamo sistemi plurileva.**

TERZA CONGETTURA di evoluzione dei Sistemi di Controllo

- I sistemi naturali, a livello basso, sono solitamente mono obiettivo.
- La progettazione umana tende a controllare contemporaneamente diversi obiettivi mediante Sistemi di Controllo pluriobiettivo.
- Si delinea una terza tendenza evolutiva formalizzabile come segue:
  - **TERZA CONGETTURA**
    - **più zoomiamo verso il piccolo, più osserviamo sistemi mono obiettivo;**
    - **più zoomiamo verso il grande, considerando sistemi progettati dall'uomo, più osserviamo sistemi pluriobiettivo e, pertanto plurileva.**

Sistemi di Controllo ad azione variante

- Le **caratteristiche strutturali** del Sistema di Controllo reale sono rappresentate da due **funzioni di trasformazione**:
  - il tasso di azione, **g(Y/X)**, che trasforma $\mathbf{X_t}$ in $\mathbf{Y_t}$;
  - il tasso di reazione, **h(X/Y)**, che trasforma $\mathbf{Y_t}$ in $\mathbf{X_t}$ tramite $\mathbf{E_t}$.

- **Definizione**
  - sono Sistemi di Controllo ad **azione (o struttura) invariante** quelli nei quali le **g(Y/X)** e **h(X/Y)** si mantengono invariate nel tempo, così che il controllo si attua "manovrando la leva".

- **Definizione**
  - Sono sistemi Sistemi di Controllo ad **azione (o struttura) variante** quelli nei quali il controllo si realizza modificando le funzioni di trasformazione.
  - Lo scarto, $\Delta(\mathbf{Y}) = \mathbf{Y^*} - \mathbf{Y_t}$, anziché incidere sulle $\mathbf{X_t}$, a modifica le funzioni "**g**" e "**h**", mantenendo gli originari valori delle $\mathbf{X_t}$.

Fare solo la definizione