

Corso Breve di Teoria del Controllo

Piano del corso Le lezioni

Piero Mella

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

Aula Volta, Palazzo Centrale
Università di Pavia - Italy

Cite as: Mella, P. (2022). Corso Breve di Teoria del Controllo. Lezione 1: Logica linguaggio e regole del Systems Thinking. *Economia Aziendale Online*, 13(4), 851-895.

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

- **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 2

Il sistema di controllo. Struttura, Prototipi e Tipologia minima

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

Piero Mella

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

Aula Foscolo, Palazzo Centrale
Università di Pavia - Italy

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

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

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



Lezione 2

Abstract e Keywords

Abstract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Dalla Lezione 1

Il problema del controllo

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

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



Esempio 1 - Afferrare un oggetto fermo

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

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



Continua - Afferrare un oggetto fermo

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

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

Simulazione 1 del controllo per afferrare un oggetto fisso, lontano						Simulazione 2 del controllo per afferrare un oggetto fisso, lontano						Simulazione 3 del controllo per afferrare un oggetto fisso, lontano					
Dati: distanza di pO^* = 12 metri						Dati: distanza di pO^* = 12 metri						Dati: distanza di pO^* = 12 metri					
g = velocità per secondo = 2 metri/secondo						g = velocità per secondo = 2.5 metri/secondo						g = velocità metri per sec. = 0.5 m/s fino a t=4 g = 1 m/s fino a t=8 - 2 m/s in seguito					
"t"(secondi)	"g" m/sec	pMt	pO*	$\Delta_t(O^*) = pO^* - pM$		"t"(secondi)	"g" m/sec	pMt	pO*	$\Delta_t(O^*) = pO^* - pM$		"t"(secondi)	"g" m/sec	pMt	pO*	$\Delta_t(O^*) = pO^* - pM$	
0	0	0	12	12		0	0	0	12	12		0	0.5	0	12	12	
1	2	2	12	10		1	2.5	2.5	12	9.5		1	0.5	0.5	12	11.5	
2	2	4	12	8		2	2.5	5	12	7		2	0.5	1	12	11	
3	2	6	12	6		3	2.5	7.5	12	4.5		3	0.5	1.5	12	10.5	
4	2	8	12	4		4	2.5	10	12	2		4	0.5	2	12	10	
5	2	10	12	2		4.8	2.5	12	12	0		5	1	3	12	9	
6	2	12	12	0		CONTROLLO RAGGIUNTO						6	1	4	12	8	
CONTROLLO RAGGIUNTO						> 4.8	0	12	12	0		7	1	5	12	7	
...	0	12	12	0		...	0	12	12	0		8	1	6	12	6	
												9	2	8	12	4	
												10	2	10	12	2	
												11	2	12	12	0	
						CONTROLLO RAGGIUNTO											



Continua - Afferrare un oggetto fermo

Gli apparati necessari

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



Il controllo secondo Norber Wiener.

La «distanza» come variabile fondamentale

- Ecco come Wiener (Lezione 1, p. 568) descrive il controllo ed evidenzia la funzione fondamentale della “**distanza**” cioè dello **scostamento**, o **errore**:

- **Supponiamo che io debba prendere una matita. Per fare questo devo muovere certi muscoli. Nessuno di noi, eccetto qualche esperto anatomista, sa tuttavia quali siano questi muscoli [...]**

Ciò che noi vogliamo consapevolmente fare è solo prendere la matita. Una volta presa questa decisione, il movimento procede in modo tale che – per così dire – “quanto manca alla presa della matita” decresca progressivamente. Questa parte dell’azione non si svolge a livello di piena consapevolezza [...]. Vediamo dunque che per un’azione efficace sul mondo esterno, non solo è essenziale possedere buoni **organi motori, ma occorre che l’attività di tali organi sia adeguatamente **segnalata** a scopo di controllo al sistema nervoso centrale, e che i rilevamenti degli organi di controllo si combinino appropriatamente con le altre informazioni in arrivo dagli **organi sensoriali** per determinare un’uscita motoria regolata (Wiener, 1968, p. 30).**

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

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



Definizione di sistema di controllo

Generalizzazione: la Catena di controllo

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

Definizione generale

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



Esempio 2 – Controllo con obiettivo dinamico

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

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

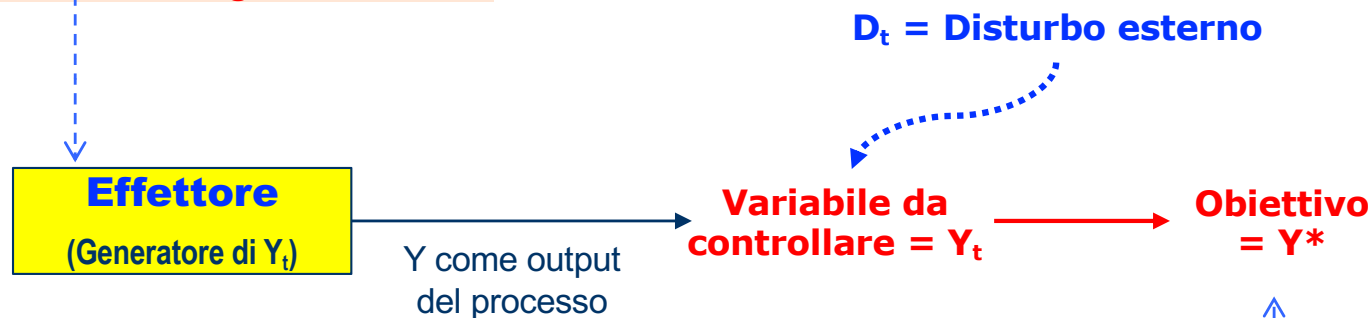


Sistema di controllo - Costruiamo il modello

L'effettore

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

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



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

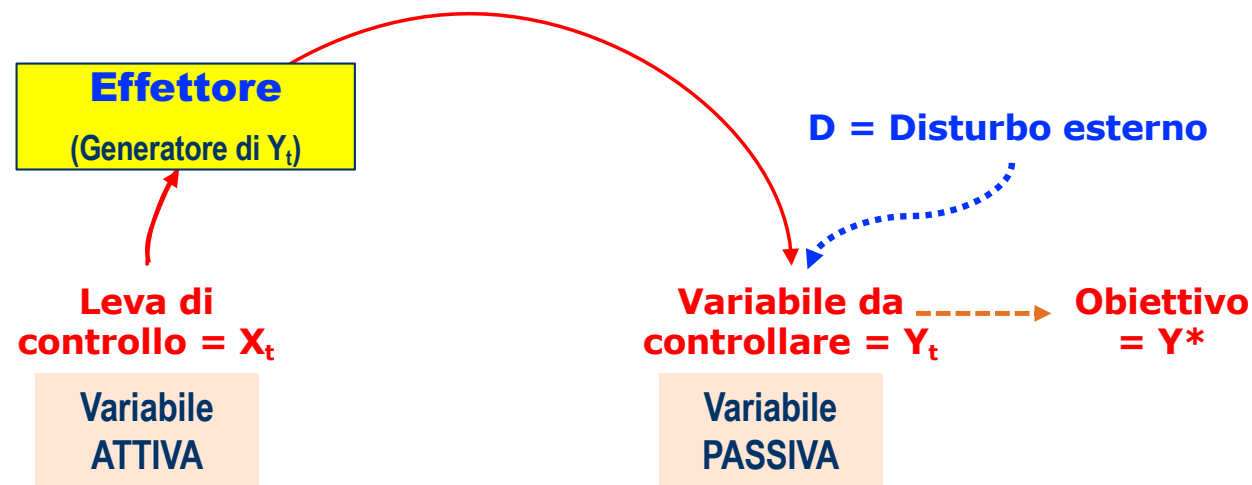
La distinzione tra **obiettivi**, **vincoli** e **limiti** e non sempre è netta; per questo, salvo che non sia specificato chiaramente, il segno "*", apposto a una variabile Y_t , assumerà, d'ora in avanti, il significato di **obiettivo del controllo di quella variabile, goal o traiettoria**.



Costruiamo il Modello

Seconda variabile: X = “leva” di controllo

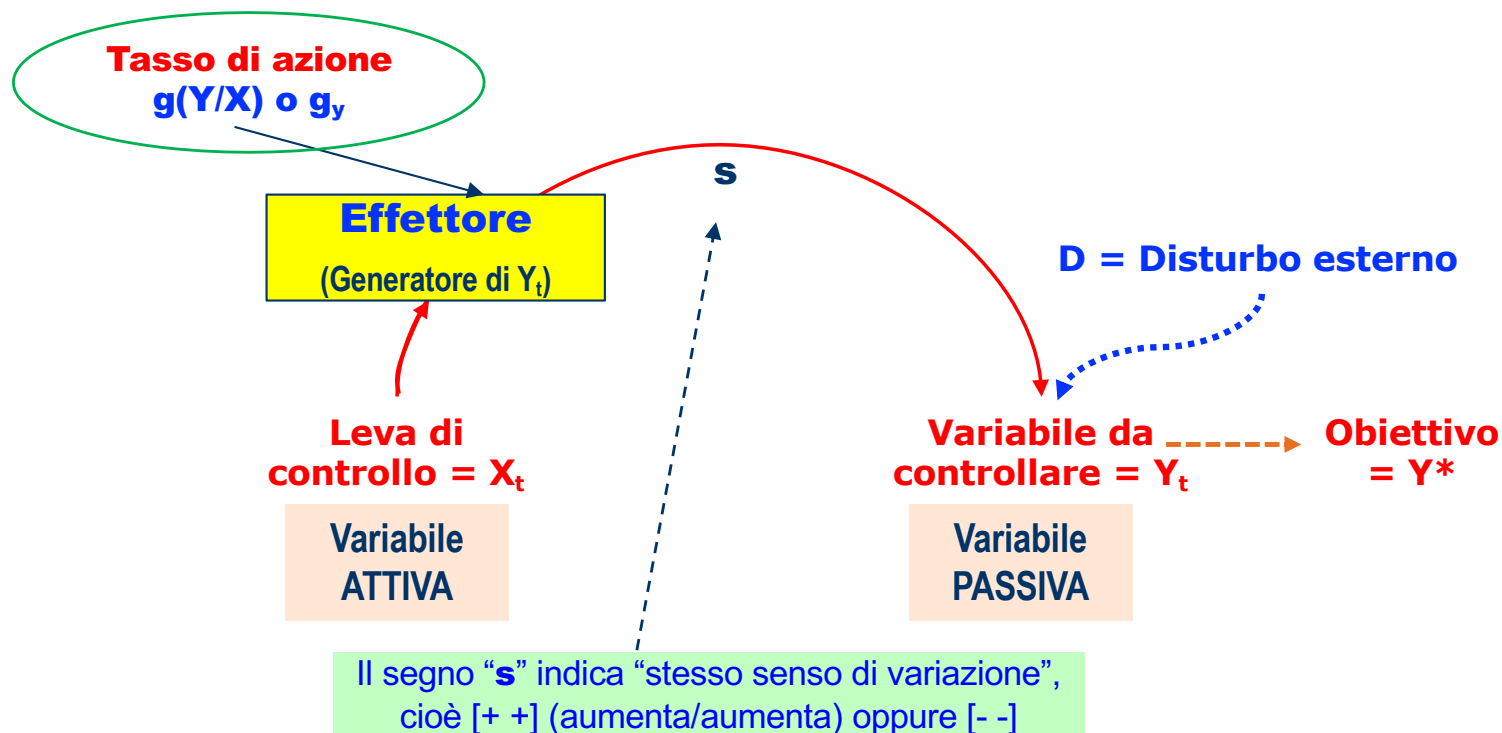
- Sappiamo, dalla Lezione 1, che, in un sistema dinamico, la dinamica di una variabile Y è sempre effetto di qualche variabile X che la causa.
- Pertanto, per “**forzare**” i valori della Y_t , verso l’obiettivo Y^* , occorre agire sull’**effettore** – che genera la dinamica della Y_t – tramite un’altra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



Costruiamo il Modello

Il «tasso d'azione» "g"

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



Costruiamo il Modello

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

- Come sappiamo dagli esempi presentati, il controllo richiede il calcolo di una **terza variabile**: è l'**errore** da eliminare.
 - L'**errore** misura la **distanza dall'obiettivo** (scarto, gap, differenza, scostamento, deviazione, delta, ecc.), cioè:
$$E_t(Y) = \Delta_t(Y) = Y^* - Y_t \quad [\text{oppure: } E_t(Y^*) = Y_t - Y^*].$$
- $E_t(Y)$ calcola la **distanza** come differenza tra l'obiettivo (base) e la variabile che deve raggiungerlo. $E_t(Y^*)$, pertanto, calcola la distanza tra la variabile e l'obiettivo. Le due formulazioni possono essere considerate equivalenti; tuttavia, la prima risponde alla domanda: «quanto ancora è lontano il punto che deve raggiungermi?». La seconda, «quanto ancora è lontano il l'obiettivo che devo raggiungere?».
- La logica del controllo è semplice: attribuire a X_t un valore, o una successione di valori, che portino Y_t ad annullare l'Errore, Quali valori? Per calcolarli facilmente è utile conoscere un **tasso di reazione h_x** o anche **$h(X/Y)$** .

- Esso che indica la **misura** secondo la quale la dimensione di $E_t(Y)$ agisce sulla leva X_t , per ottenere il nuovo valore X_{t+1} , tale che:

$$X_{t+1} = X_t + [(Y^* - Y_t) \times h_x]$$

o, anche, in forma differenziale:

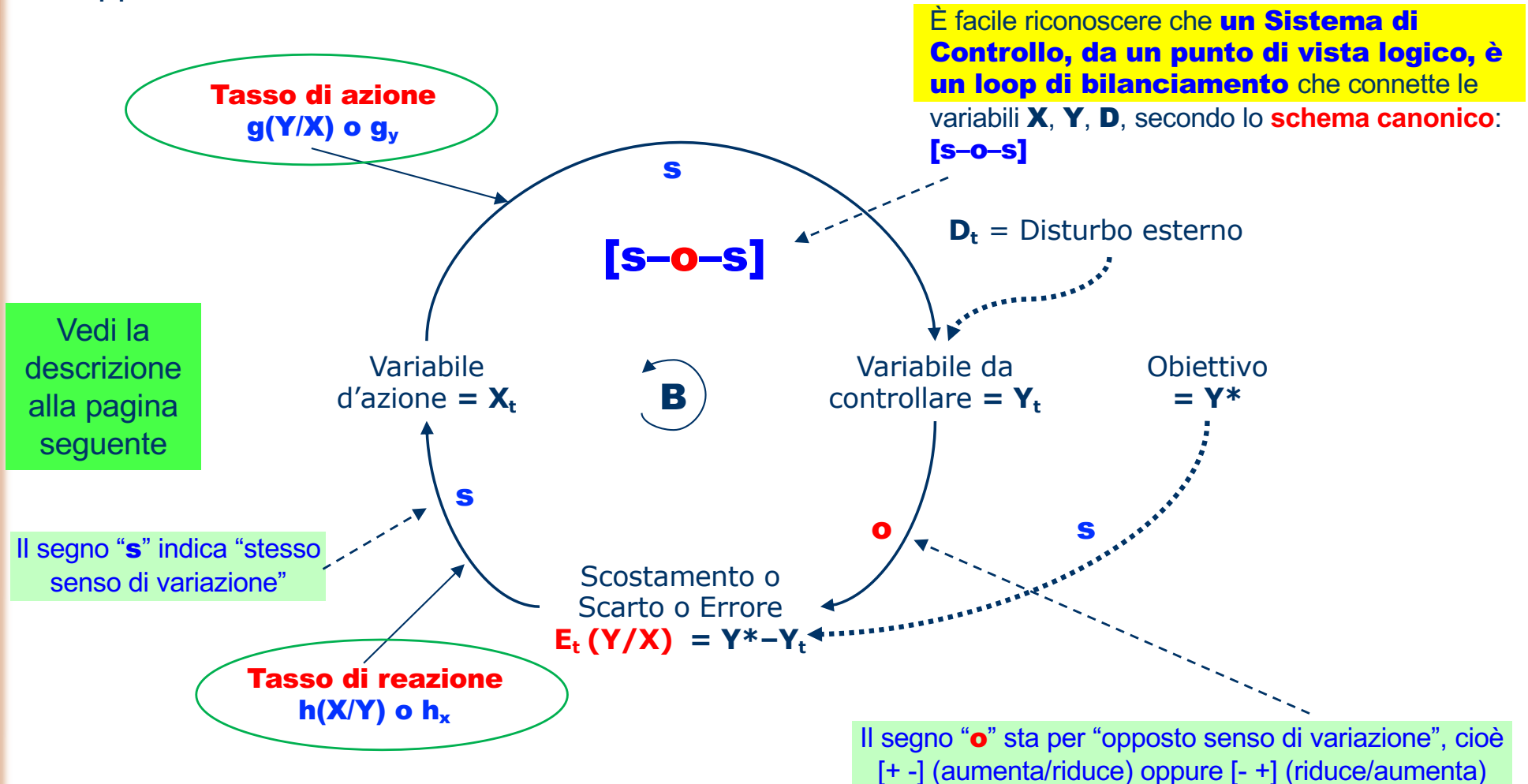
$$X_{t+1} - X_t = [E_t(Y) \times h_x]$$

- Per un **controllo simmetrico**, si pone: **$h_x = 1 / g_x$** .



Modello canonico semplificato di Sistema di Controllo a una leva senza gli «apparati»

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



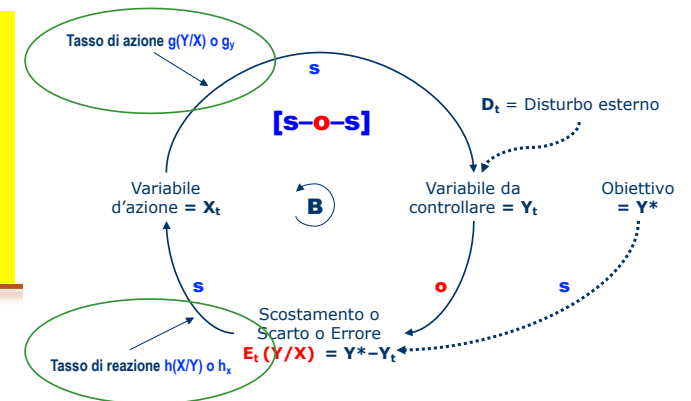
Interpretazione del modello

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

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

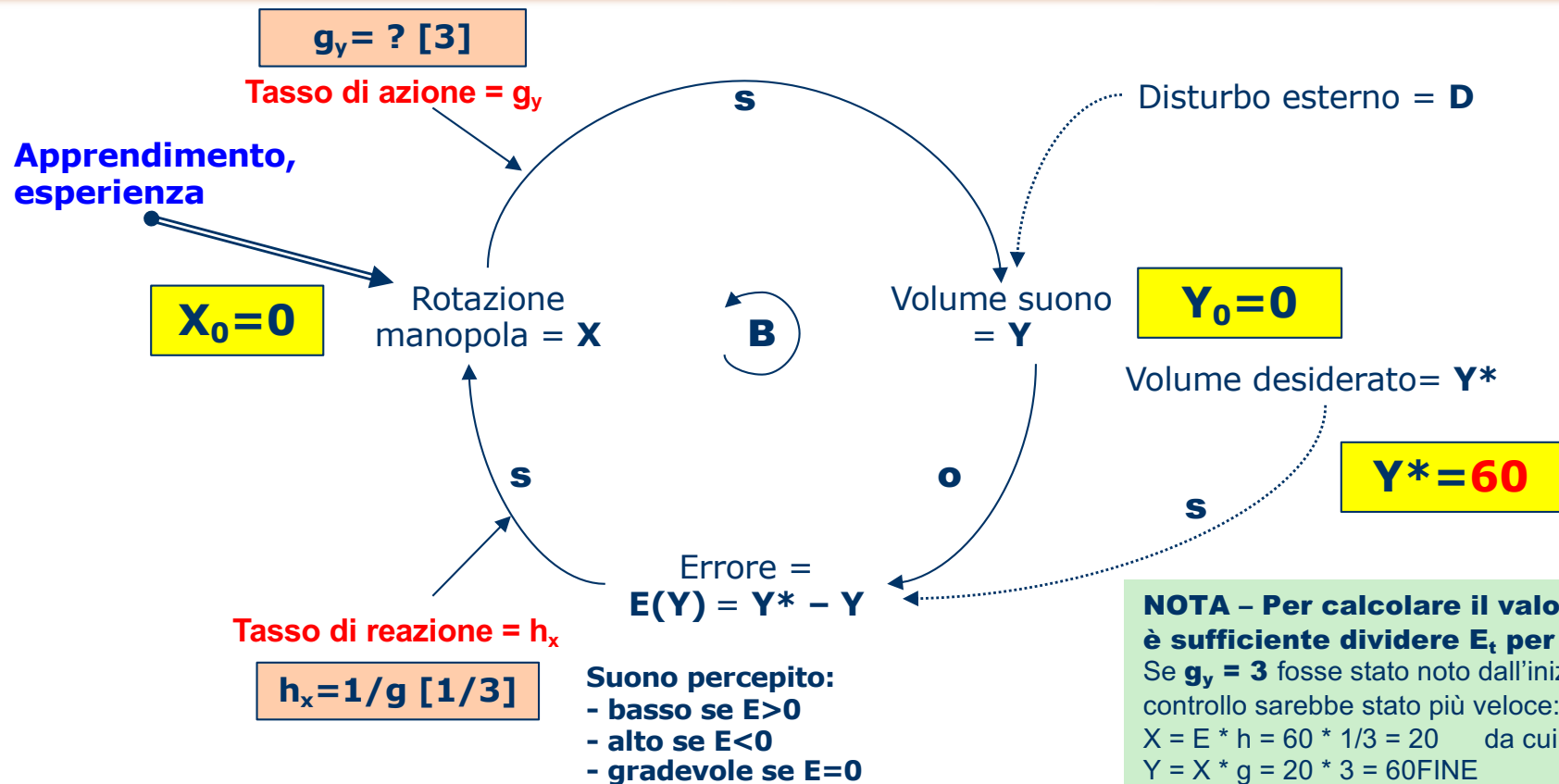
Esempio 3 – Il sistema di controllo regola $X_t = \text{audio}$ dello stereo tramite la leva $X_t = \text{manopola di regolazione del volume}$.

Esempio 4 – Il sistema di controllo regola $X_t = \text{temperatura della doccia}$ tramite la leva di controllo $X_t = \text{miscelatore dell'acqua calda e fredda}$.



Esempio 3 - Sistema ad una leva senza ritardo

Audio regolato "per tentativi"



Suono percepito:
- basso se E > 0
- alto se E < 0
- gradevole se E = 0

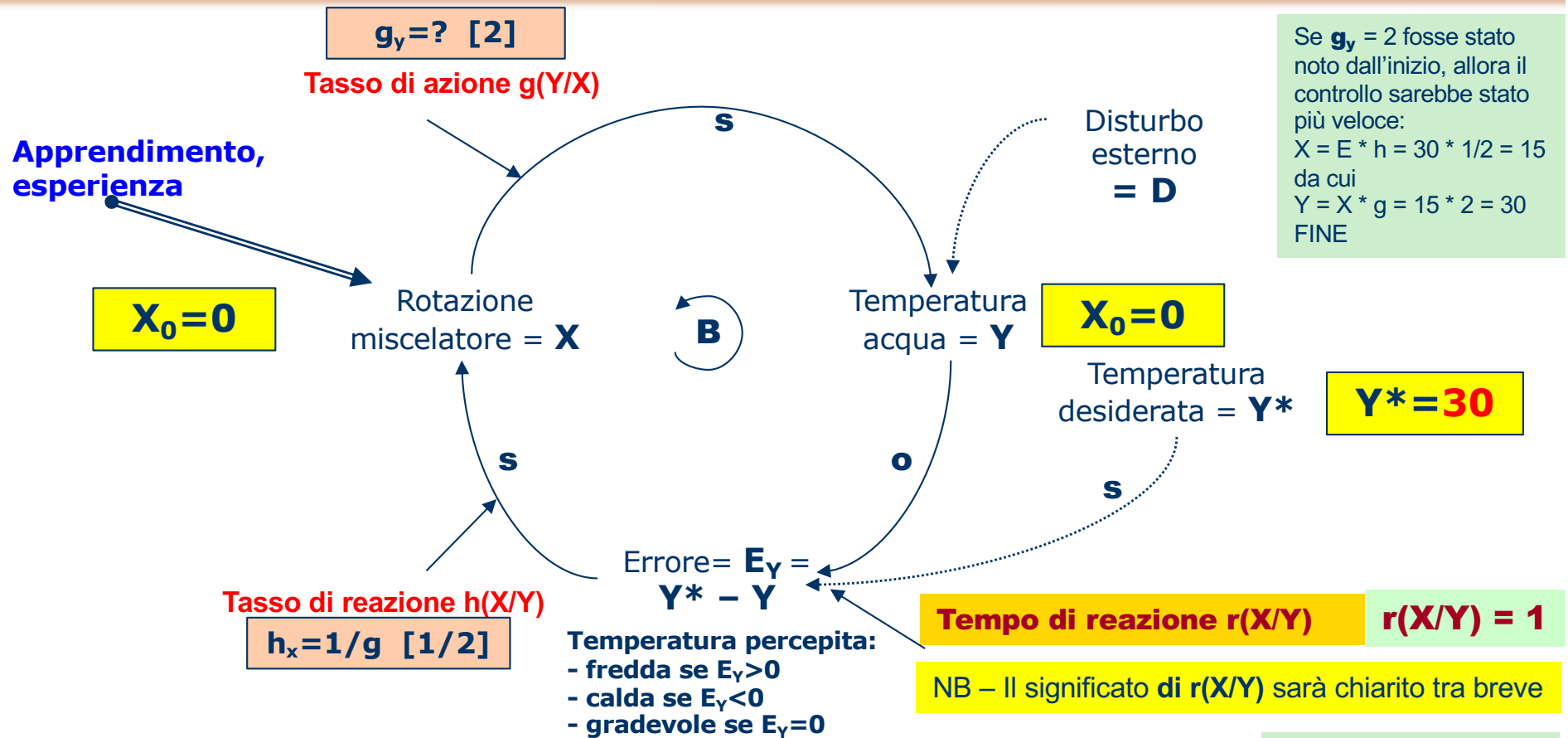
decisione
decisione
decisione
decisione

	X = manopola	G _y ?	Y = volume suono	E = errore
	15	x ?	= 45	60 - 45 = 15
+3	15+3=18	x ?	= 54	60 - 54 = 6
+4	18+4=22	x ?	= 66	60 - 66 = -6
-2	22-2=20	x ?	= 60	60 - 60 = 0

FINE

Esempio 4 - Sistema ad una leva senza ritardo

Temperatura acqua con miscelatore, "per tentativi"



decisione
decisione
decisione

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

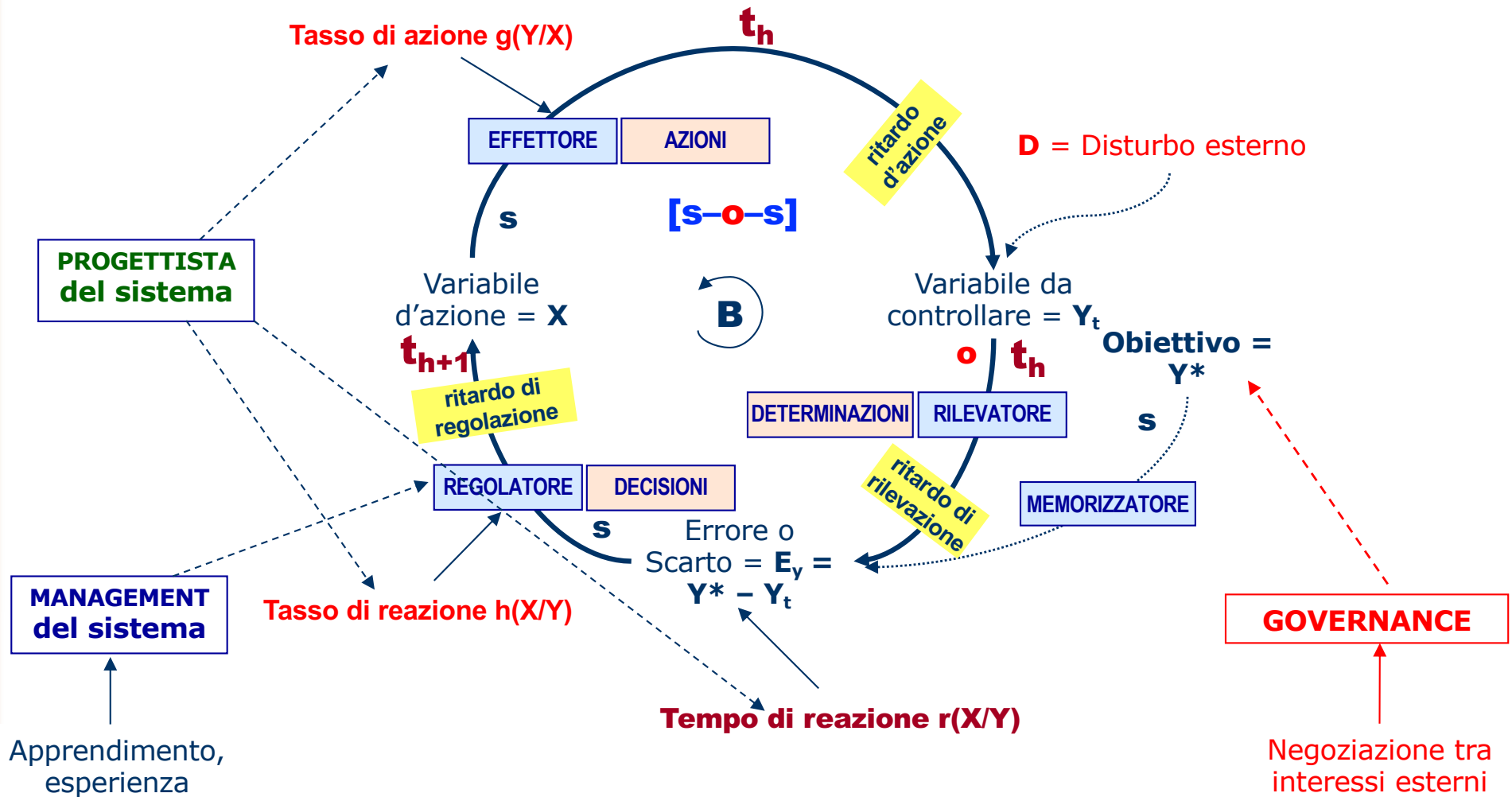
$\times g$

NOTA – Per calcolare il valore della X_{t+1} è sufficiente dividere E_t per h_x .
 Se $g_y = 2$ fosse stato noto dall'inizio, allora il controllo sarebbe stato più veloce:
 $X = E * h = 30 * 1/2 = 15$
 da cui
 $Y = X * g = 15 * 2 = 30$
 FINE



Modello generale completo di sistema di controllo con apparati e processi

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



Sistema di controllo in forma completa

Note [1] e [2]

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



Sistema di controllo in forma completa

Note [3] e [4]

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



Sistema di controllo in forma completa

Note [5] e [6]

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



Sistema di controllo in forma completa

Nota [7]

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



Sistema di controllo in forma completa

Nota [8]

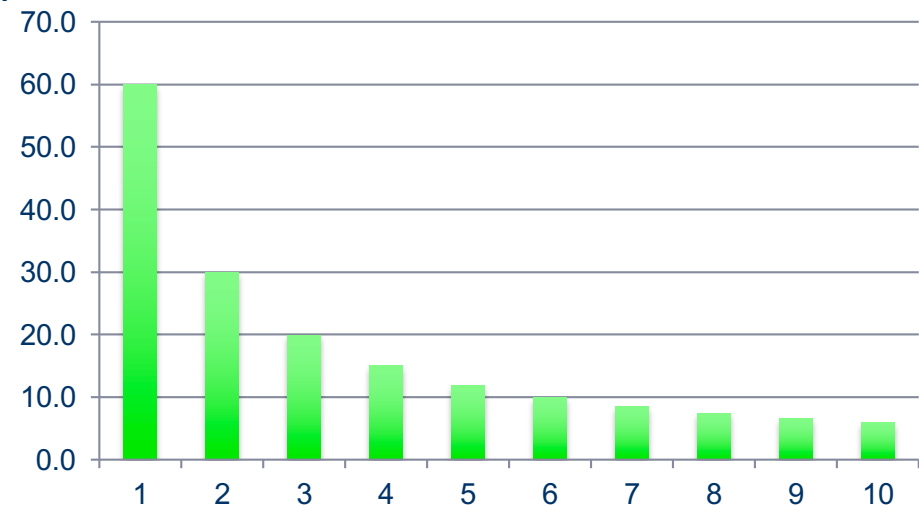
- Nel modello generale sono esplicitati i «**ritardi**». Quando non è dichiarato esplicitamente,
 - si suppone che lo **stimolo** ΔX e la **risposta** ΔY siano concatenati **istantaneamente**;
 - Se, tuttavia, tra lo **stimolo** ΔX e la **risposta** ΔY intercorre un periodo «troppo» (relativamente) lungo,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



Sistema di controllo in forma completa

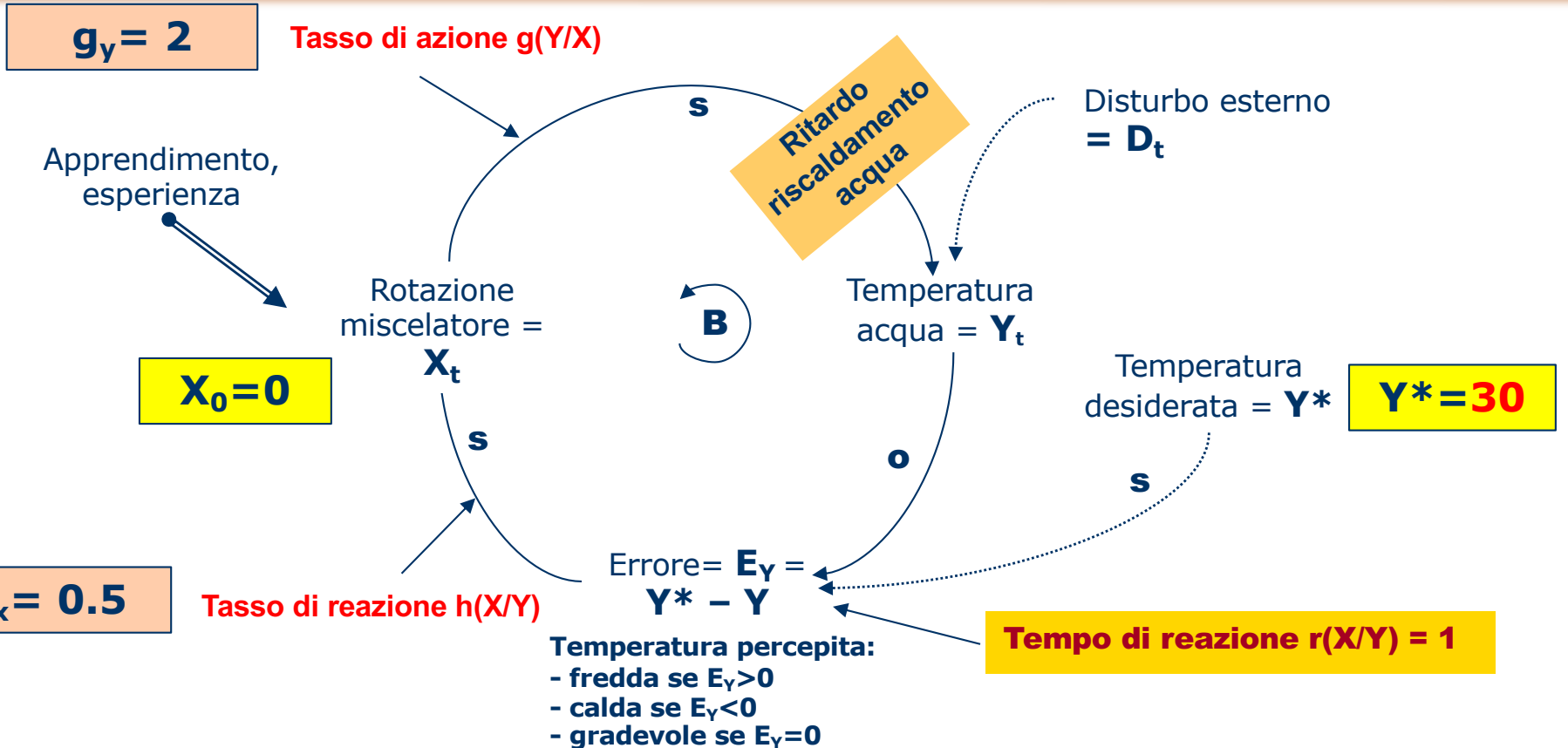
Nota [9]

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



Sistema ad una leva con 1 ritardo

Temperatura acqua con miscelatore, «per tentativi»



decisione
 decisione
 decisione
 decisione

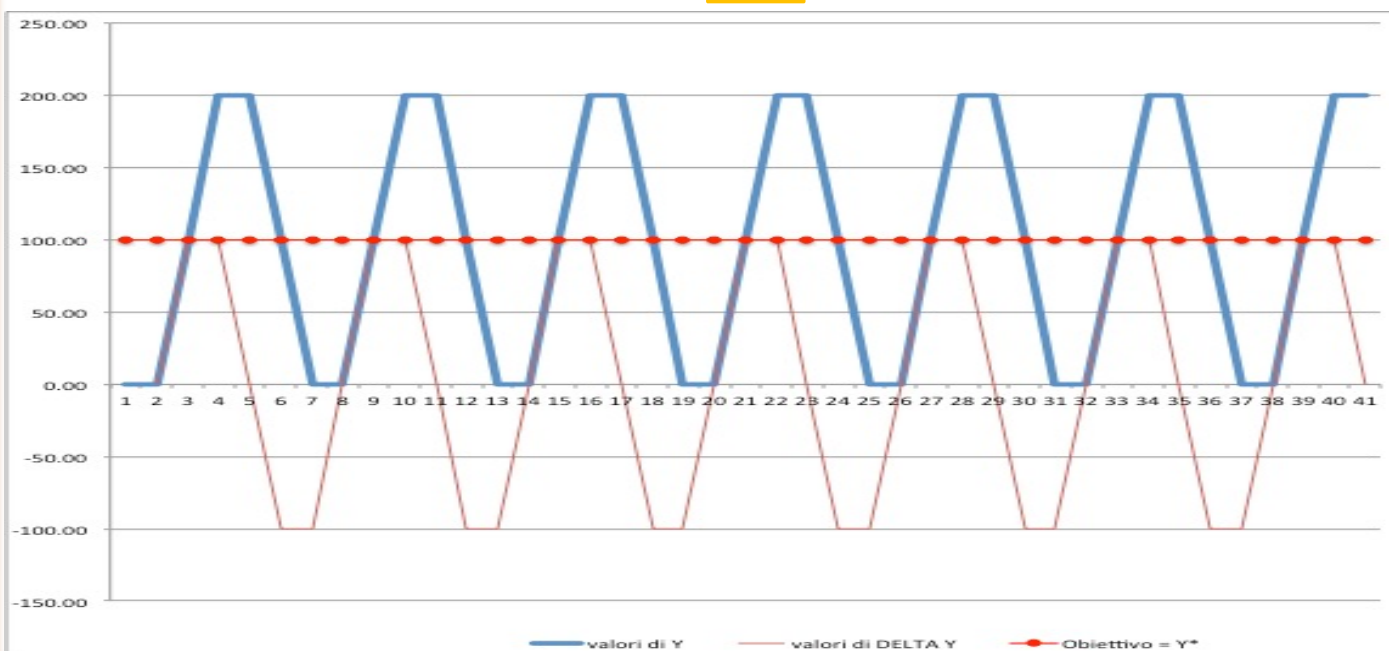
	X	$g=2$	Y	E
	12		= 0	30-0=30
+8	20=12+8		= 24	30-24=6
+3	23=20+3		= 40	30-40=-10
-13	10=23-13		= 46	30-46=-16

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

Sistema ad una leva con 1 ritardo

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

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



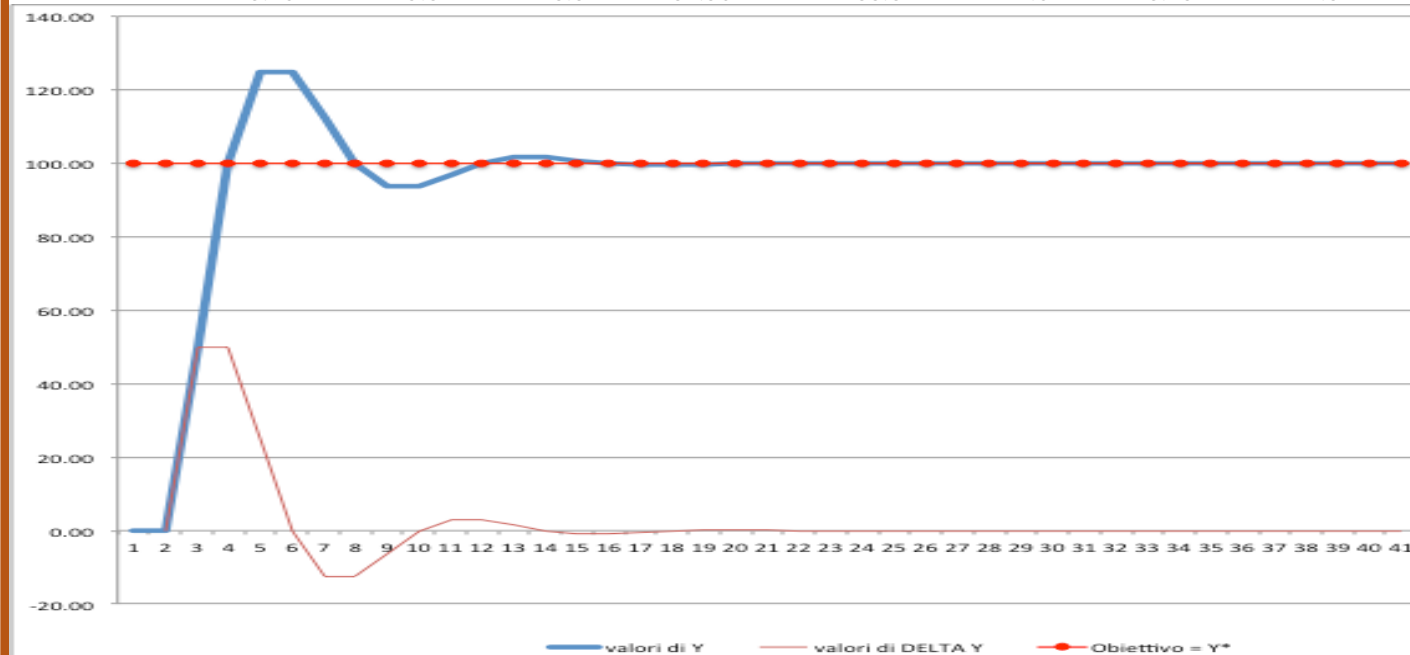
L'acqua fredda e calda si miscelano in un certo tempo: Chi è sotto la doccia e varia il miscelatore percepisce il cambiamento di temperatura con un certo ritardo, che dipende dall'impianto idraulico. La doccia rappresenta, quindi, un tipico **sistema di controllo con ritardo**. Nella **simulazione** si suppone che i valori di X_t siano correlati a quelli di Y_t con un ritardo di **1t** e **si è adottato $r_x = 1$** . Le dinamiche dovute al ritardo sono evidenziate, nella **tabella**, dai valori incorniciati con colori differenti. Il **grafico** rappresenta in blu i valori di Y_t che, come si osserva, **oscillano in modo ciclico regolare**, all'infinito, **NOTA: Si è posto l'obiettivo irrealistico di $Y^* = 100$ solo per rendere facilmente leggibile le dinamiche dei valori.**



Sistema ad una leva con 1 ritardo

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

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



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

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

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

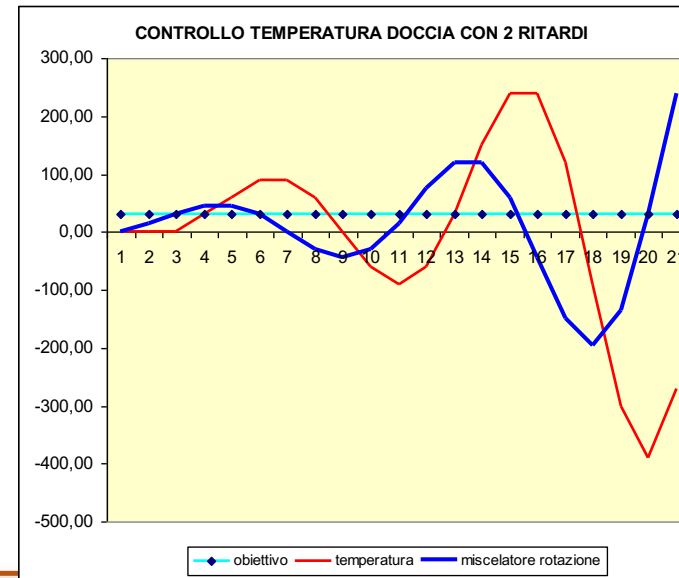
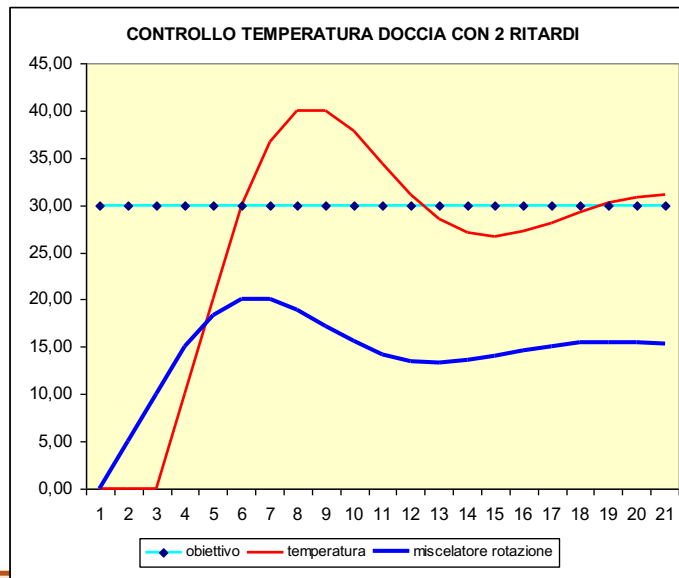
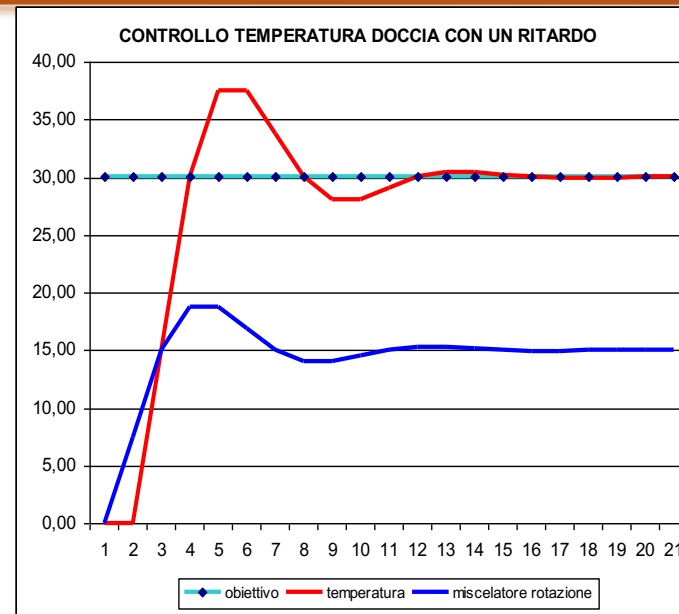
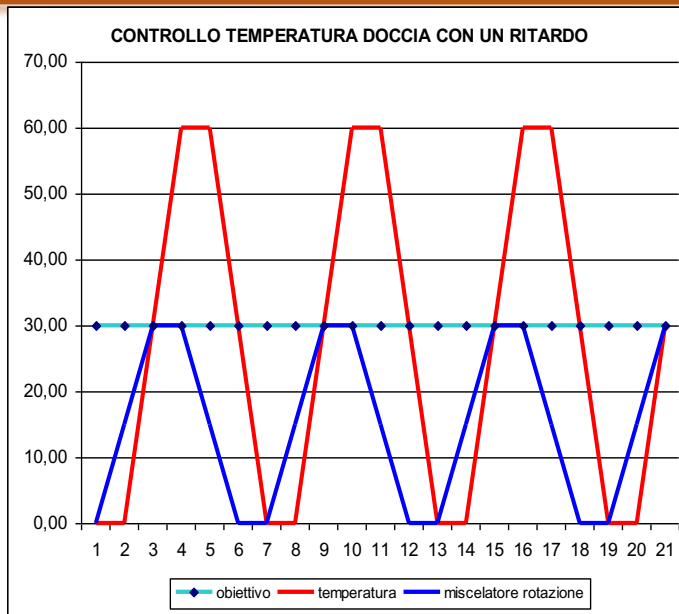
NOTA: Il tempo di reazione è pari a $r_x = 2$.





Sistema ad una leva con 1 ritardo

Simulazione. Miscelatore con valori diversi di r_x



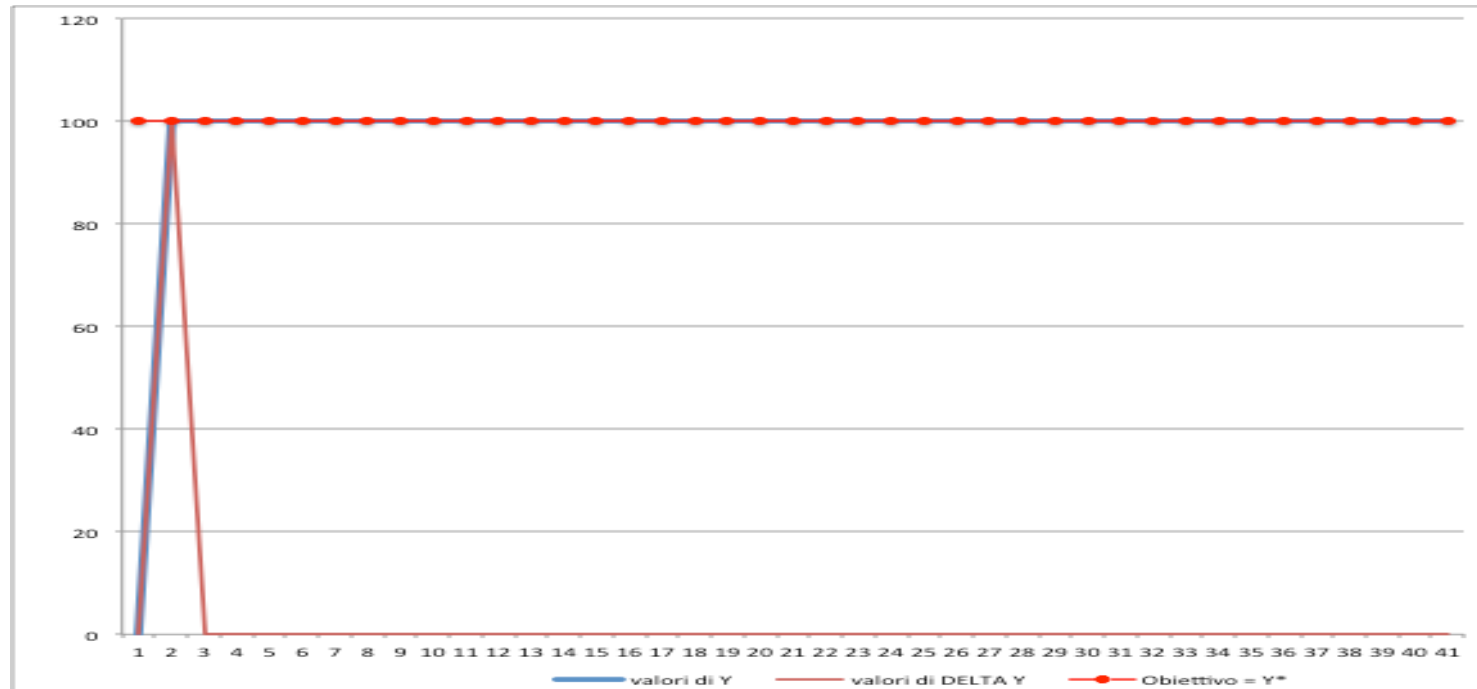
NOTA: Le dinamiche della temperatura sono indicate dalle curve in rosso.



Prototipo del Sistema di Controllo integrale

Sistema a Variazione unica di X

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



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

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

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

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

Impiegando il valore di X_1 così determinato, otteniamo immediatamente:

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

che annulla l'errore.

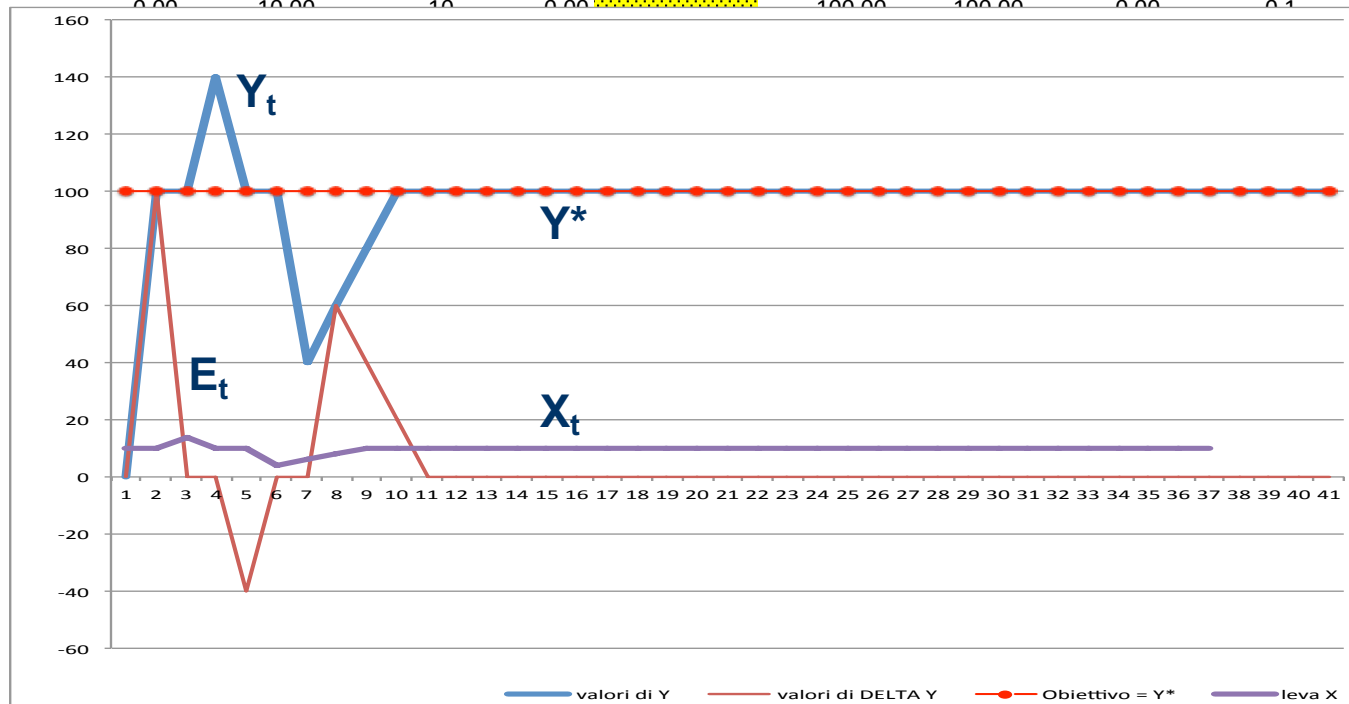
NOTA: Il tempo di reazione è pari a $r_x = 1$.

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



Prototipo del Sistema di Controllo integrale in presenza di Disturbi

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



Il manager, noto $g_y = 10$ (costante), calcola $h_x = 0,1$ (costante).
Con i dati di $Y^* = 100$ (costante) e $Y_0 = 0$, l'errore risulta

$E_0 = 100$.

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

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

e

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

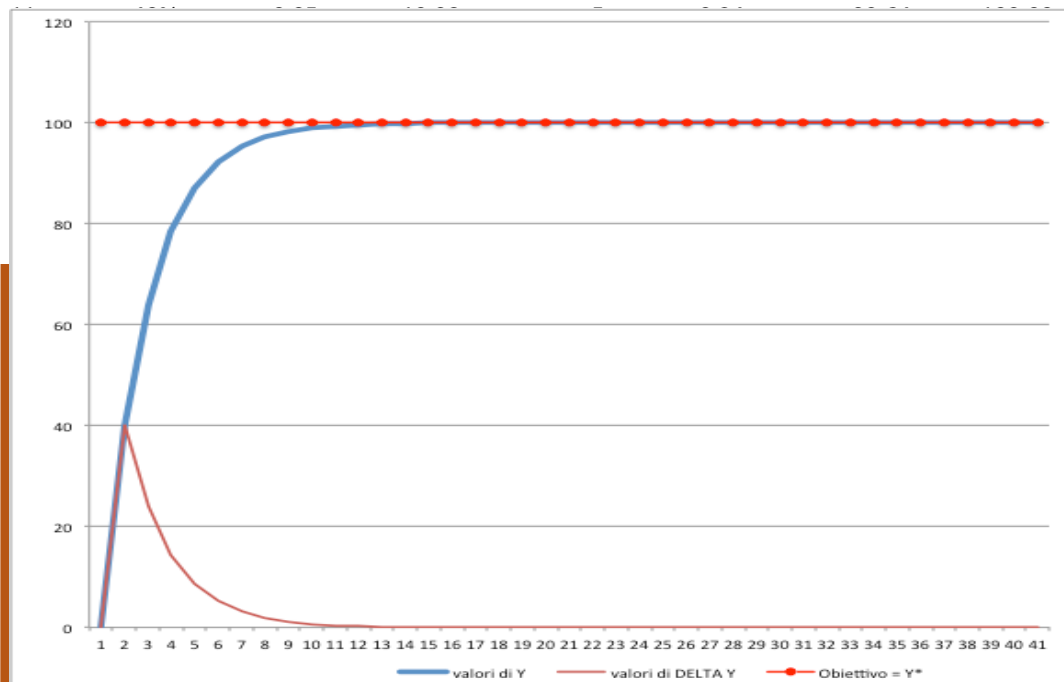
I **Disturbi** successivi, D_t , si sommano ai valori precedenti i X_{t-1} .

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



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

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



0.03
0.02
0.01

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

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



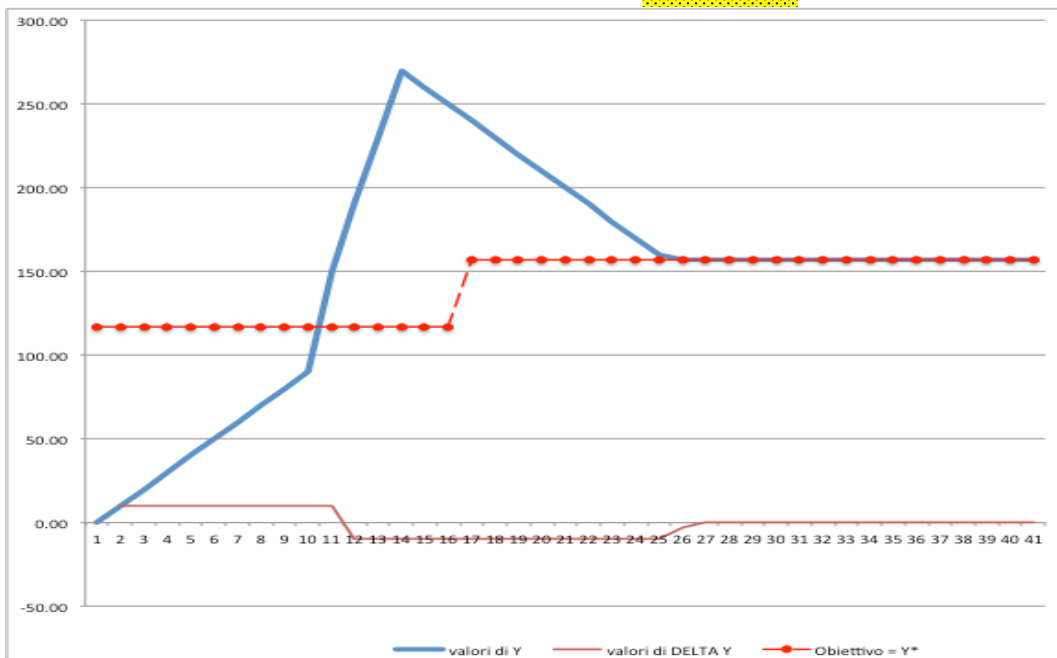
Prototipo di Sistema di controllo a variazione a passo discreto di X_t

t	[1] $\Delta X_t = \text{passo}$	[2] X_t	[3] g_t	[4] ΔY_t	[5] DISTURBI	[6] Y_t	[7] Y^*	[8] $E = Y^* - Y_t$	[9] h_t	[10] $r(t)$
0	2.00	0.00	5			0.00	117	117	0.00	1
1	2.00	2.00	5.0	10.0		10.00	117.0	107.0	0.00	1.0
2	2.00	4.00	5.0	10.0		20.00	117.0	97.0	0.00	1.0
3	2.00	6.00	5.0	10.0		30.00	117.0	87.0	0.00	1.0
4	2.00	8.00	5.0	10.0		40.00	117.0	77.0	0.00	1.0
5	2.00	10.00	5.0	10.0		50.00	117.0	67.0	0.00	1.0
6	2.00	12.00	5.0	10.0		60.00	117.0	57.0	0.00	1.0
7	2.00	14.00	5.0	10.0		70.00	117.0	47.0	0.00	1.0
8	2.00	16.00	5.0	10.0		80.00	117.0	37.0	0.00	1.0
9	2.00	18.00	5.0	10.0		90.00	117.0	27.0	0.00	1.0
10	2.00	20.00	5.0	10.0	50	150.00	117.0	-33.0	0.00	1.0
11	-2.00	18.00	5.0	-10.0	50	190.00	117.0	-73.0	0.00	1.0
12	-2.00	16.00	5.0	-10.0	50	230.00	117.0	-113.0	0.00	1.0
13	-2.00	14.00	5.0	-10.0	50	270.00	117.0	-153.0	0.00	1.0
14								-143.0	0.00	1.0
15								-133.0	0.00	1.0
16								-83.0	0.00	1.0
17								-73.0	0.00	1.0
18								-63.0	0.00	1.0
19								-53.0	0.00	1.0
20								-43.0	0.00	1.0
21								-33.0	0.00	1.0
22								-23.0	0.00	1.0
23								-13.0	0.00	1.0
24								-3.0	0.00	1.0
25								0.0	0.00	1.0

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

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

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



Controllo immediato e graduale

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

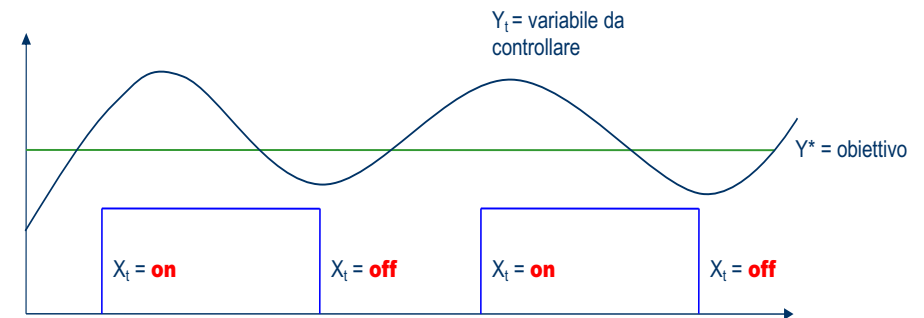


Due ulteriori Prototipi di Sistema di Controllo

Sistemi di «on/off» e «I/O»

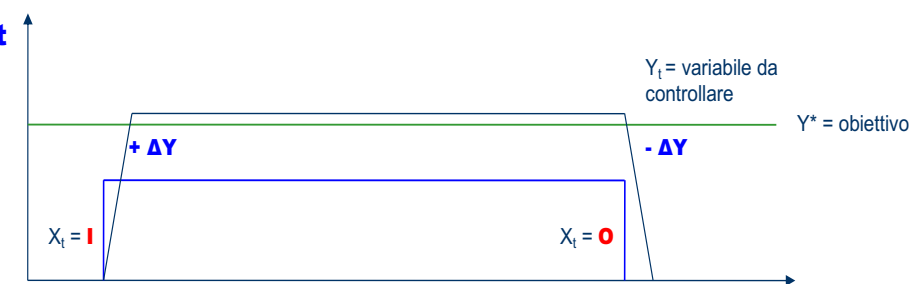
■ Sistemi on/off (acceso-spento).

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



■ Sistemi I/O (input-output)

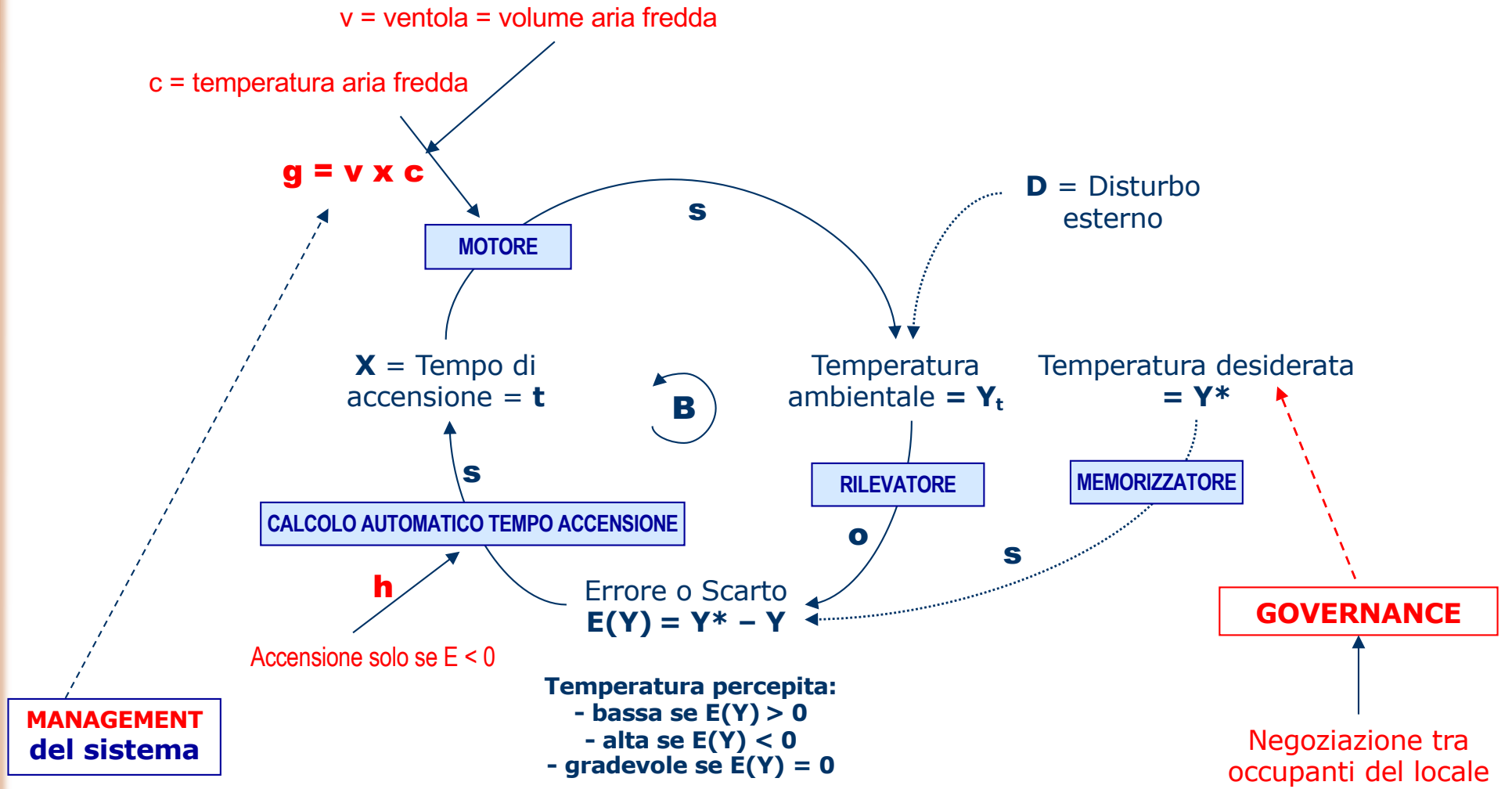
- Sono particolari **sistemi** che tentano di raggiungere l'obiettivo deciso dal **management, Y^*** , «accendendo» – **[I]** – la leva X , una o più volte, per un dato **tempo, deciso ad hoc**, per ottenere un valore Y_t^* , raggiunto il quale «spengono» la leva – **[O]** – per poi riaccenderla quando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





Sistema di controllo «on/off» a una leva. Condizionatore per il controllo della Temperatura di un locale

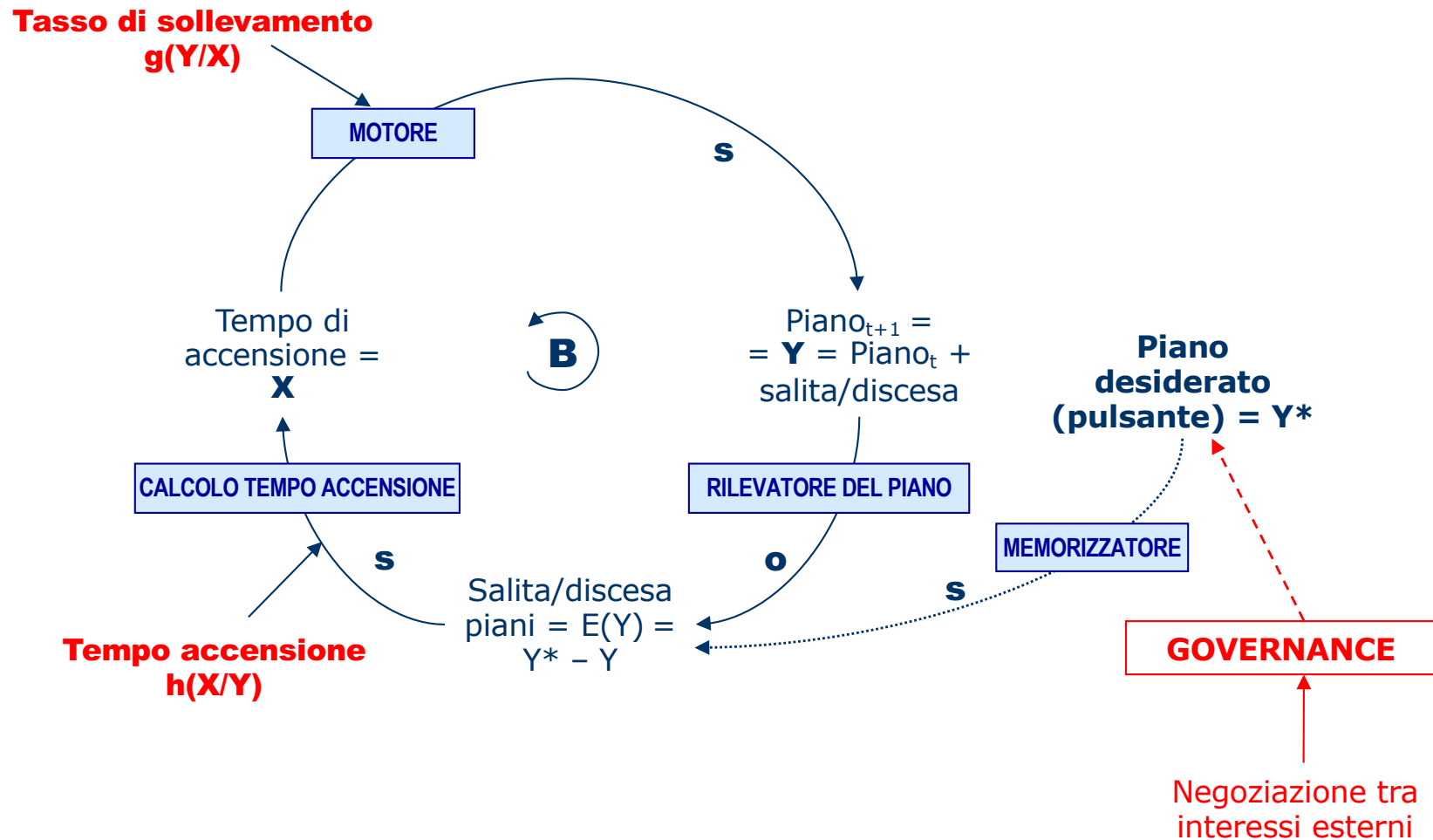
È un sistema semi-automatico nel quale l'intervento umano si limita a decidere la temperatura obiettivo. Si accende e si spegne quando si manifesta e si annulla lo scostamento.



Sistema di controllo «I/O» a variazione discreta

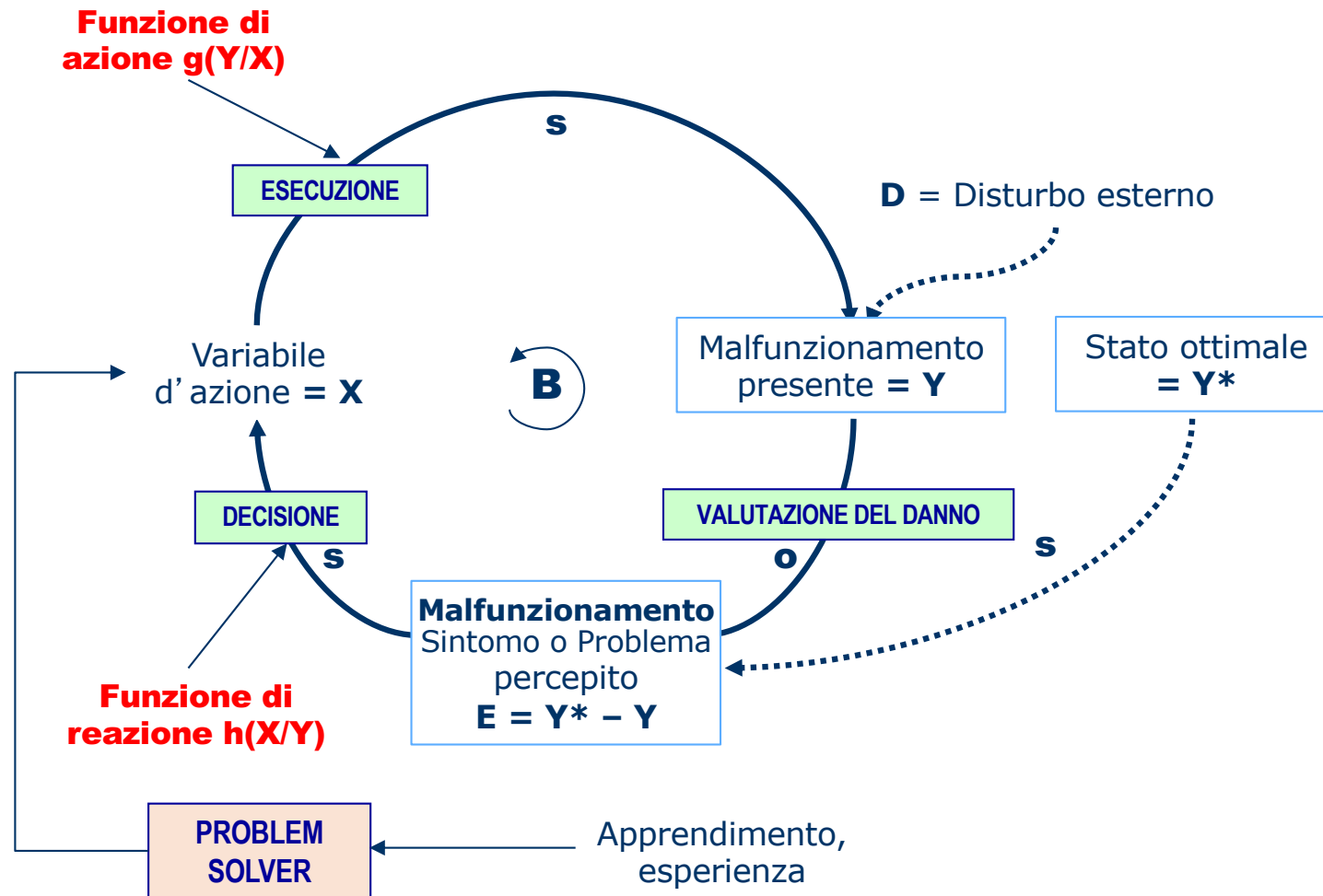
Ascensore quale sistema di controllo

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



Sistemi di controllo nelle «aree» aziendali

Problem Solving [Nickols, 2011; Proctor, 1999]

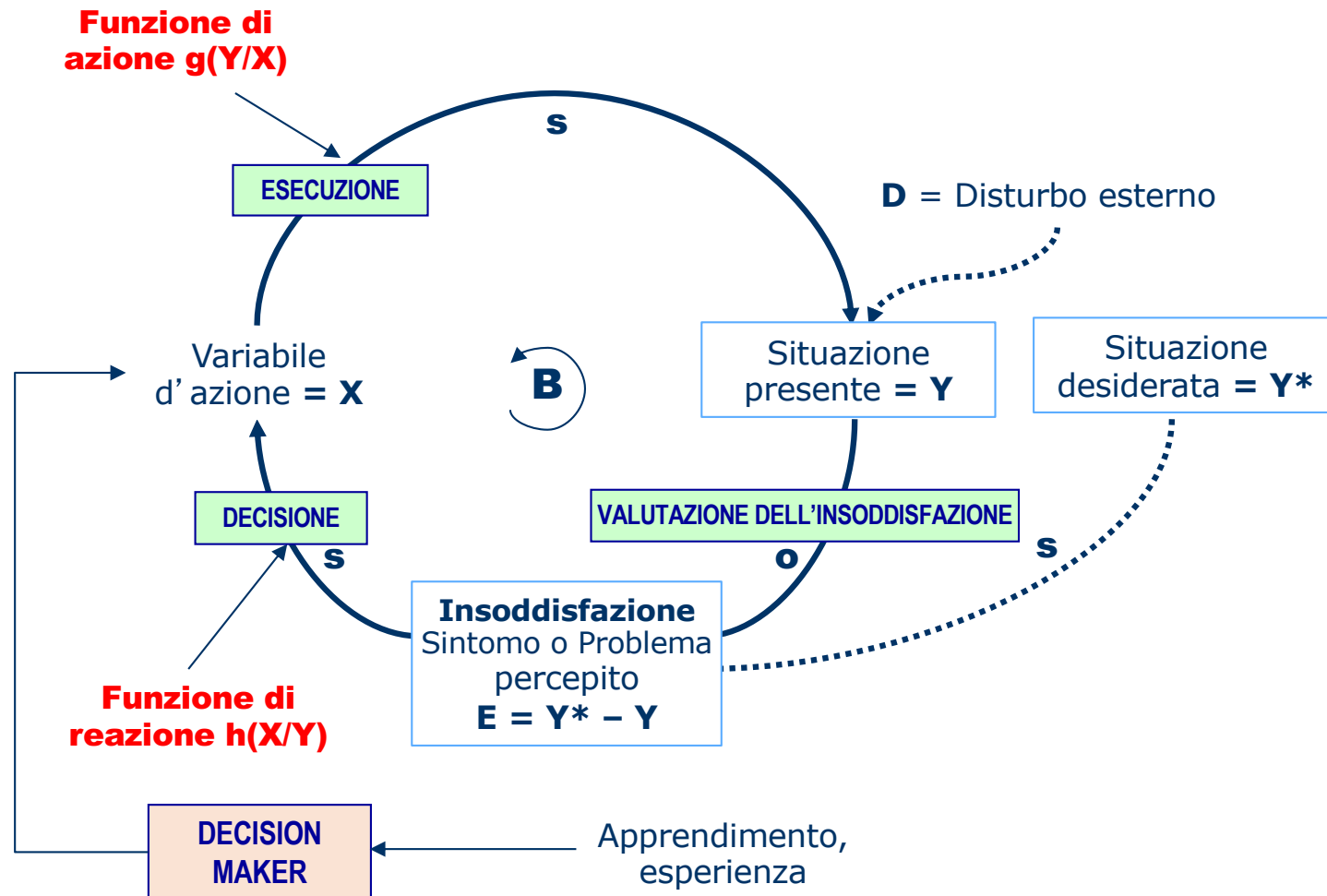


La struttura generale di sistema di controllo è immediatamente osservabile in tutte le aree organizzative e può fare luce sui meccanismi di regolazione nelle aziende. Presenterò alcuni modelli significativi.



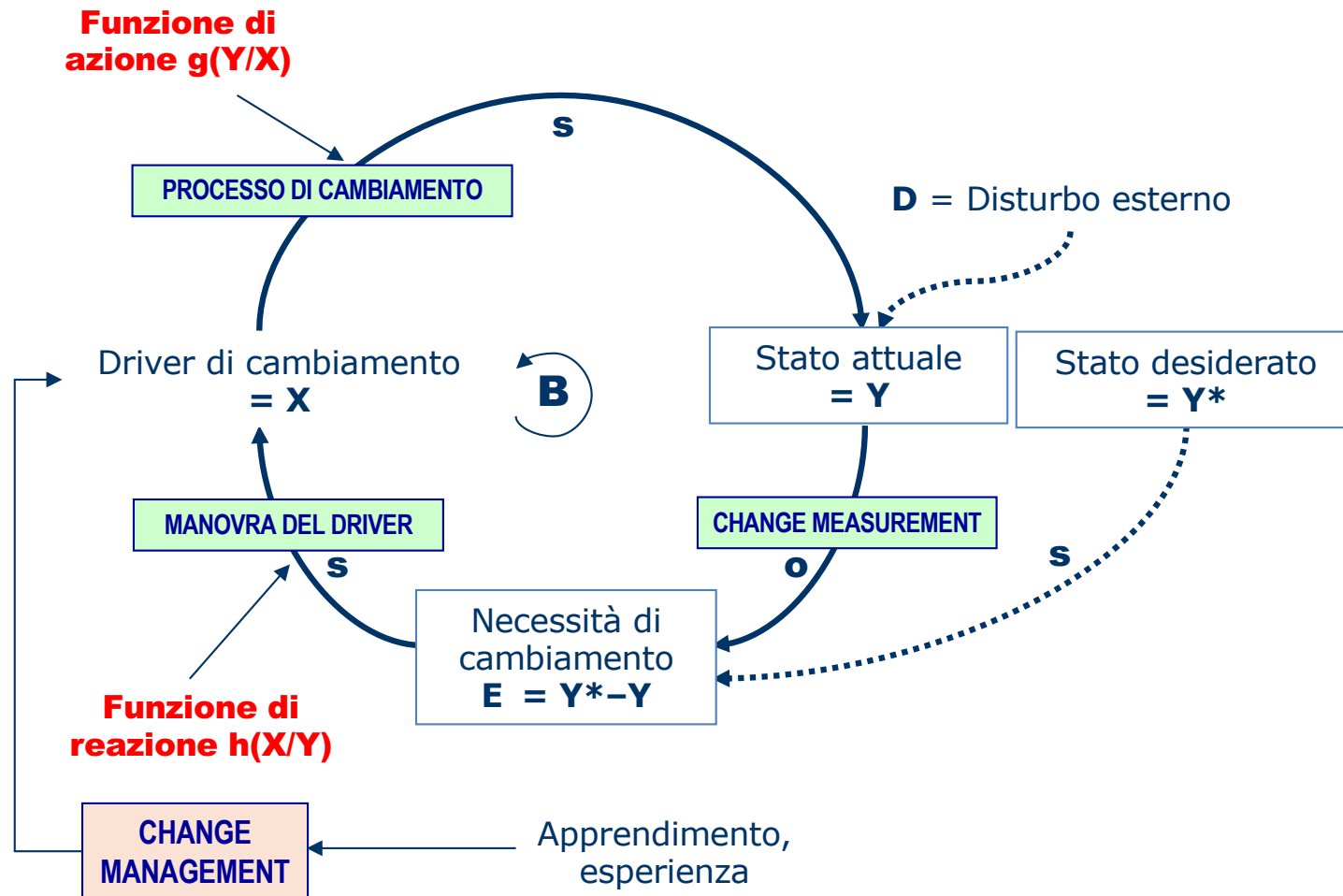
Sistemi di controllo nelle «aree» aziendali

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



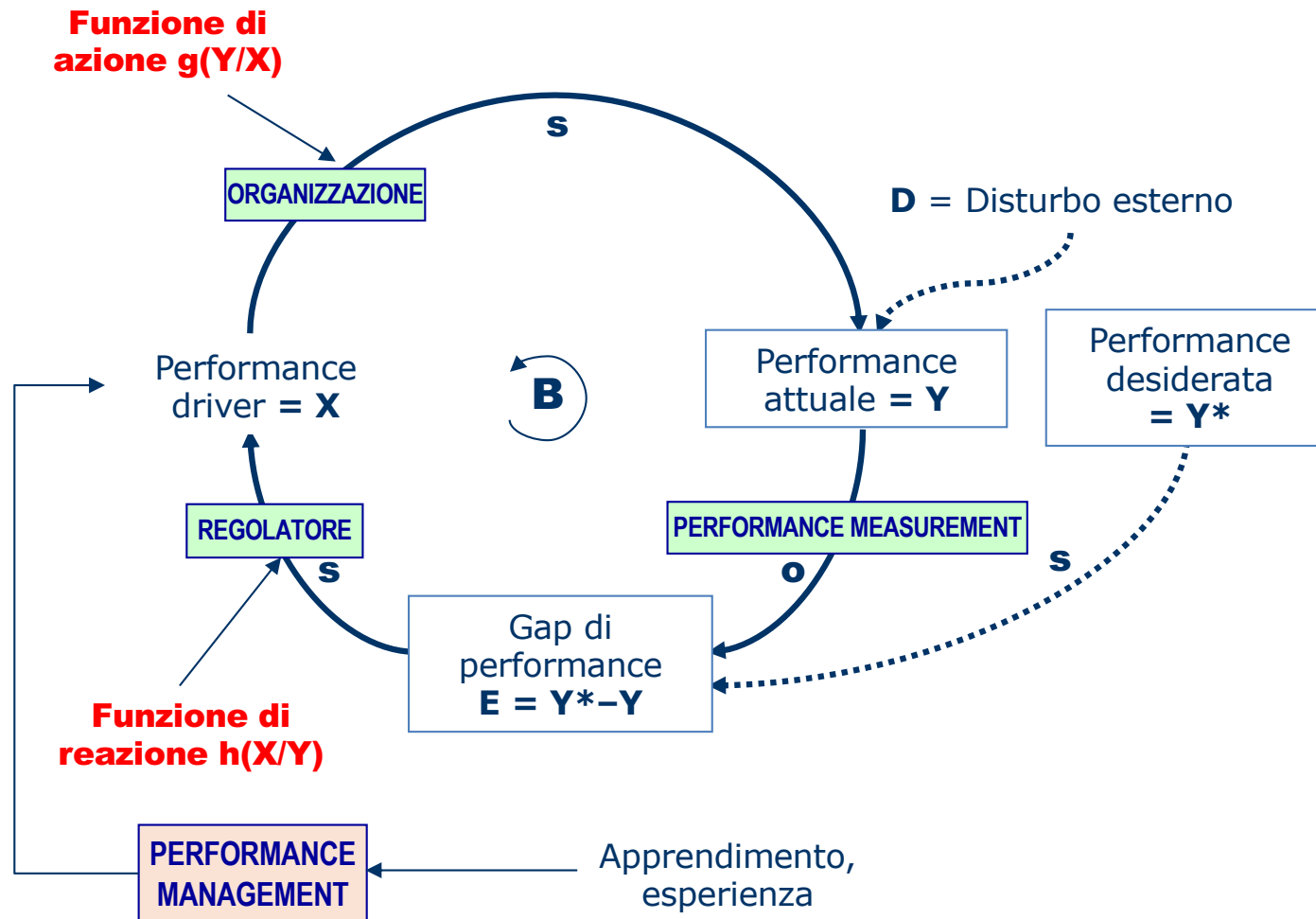
Sistemi di controllo nelle «aree» aziendali

Change management [Lauer, 2010]



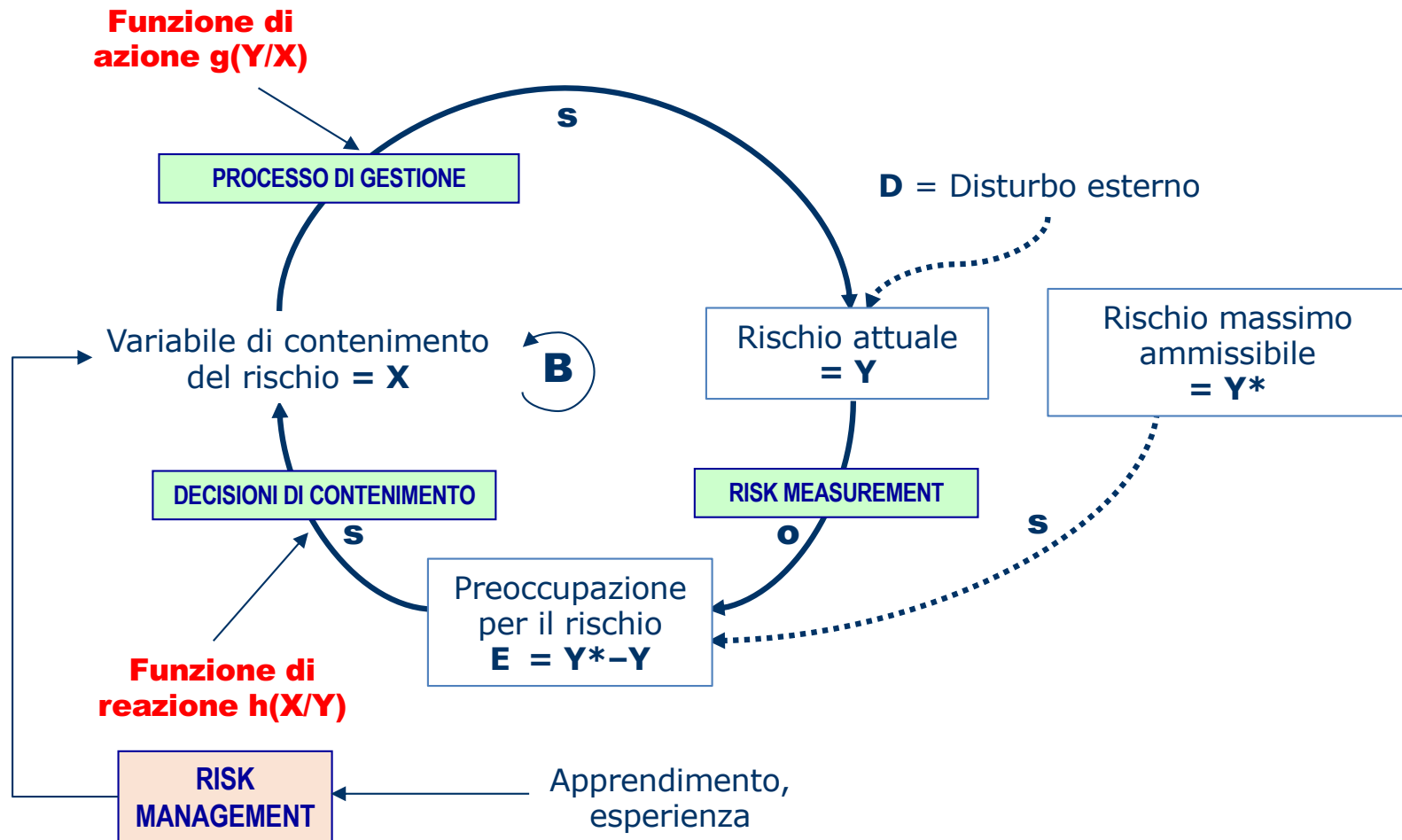
Sistemi di controllo nelle «aree» aziendali

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



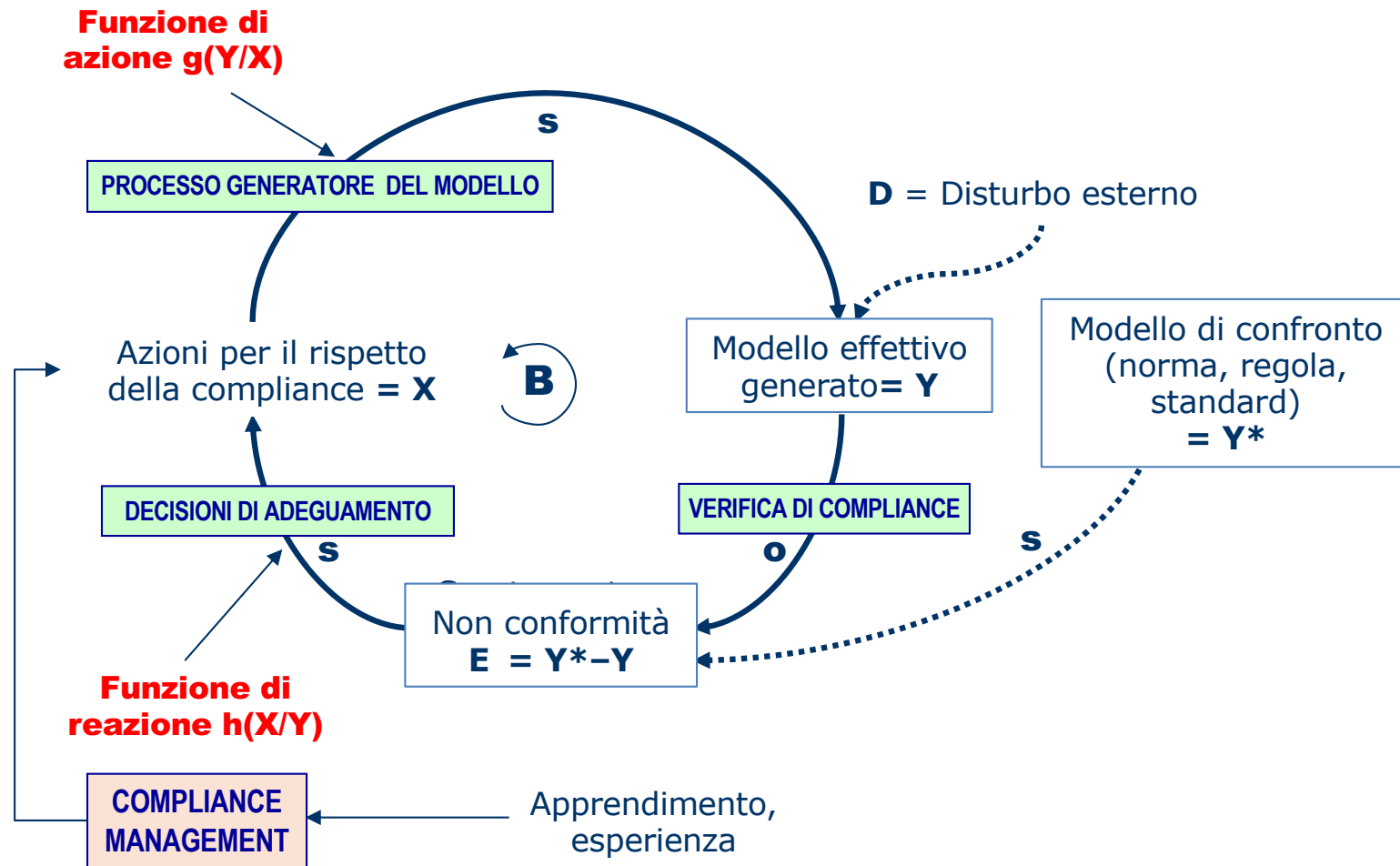
Sistemi di controllo nelle «aree» aziendali

Controllo dei rischi [Hopkin, (2018)]



Sistemi di controllo nelle «aree» aziendali

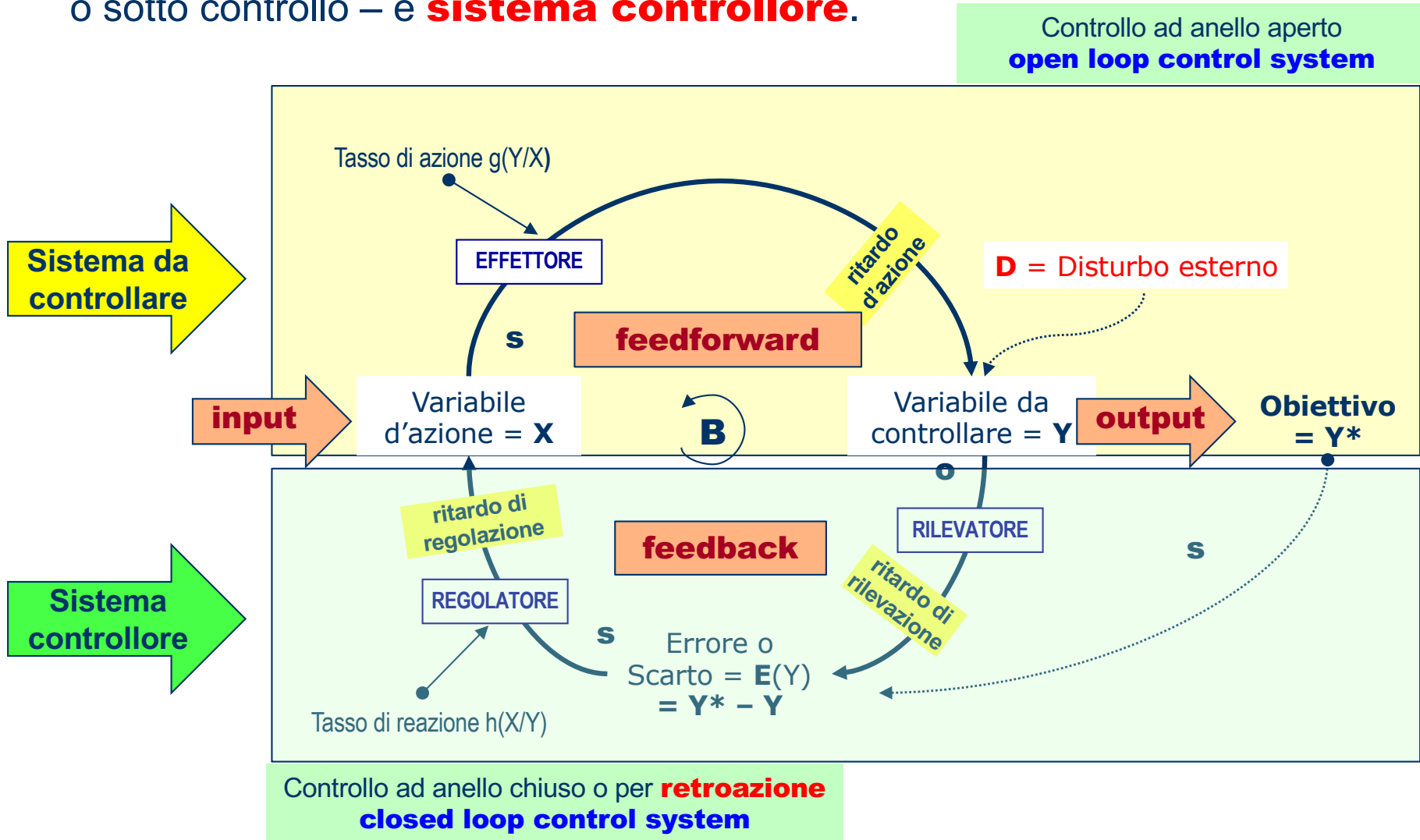
Controllo della compliance [Green and Welsh 1988]



facoltativo

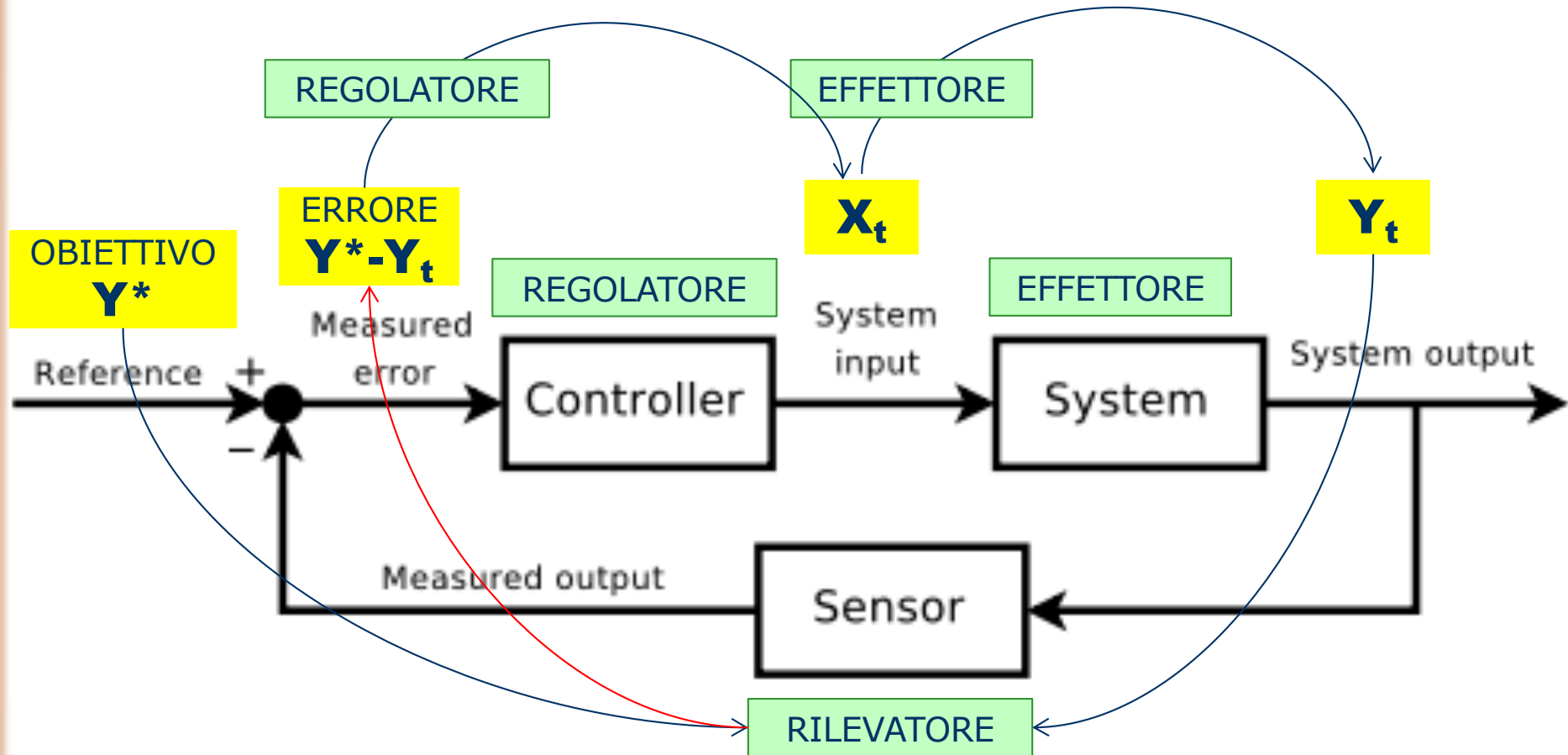
Interpretazione ingegneristica Sistemi da Controllare e Controllori Controllo ad anello aperto o chiuso

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



facoltativo

Equivalenza tra il modello «Ring» e il Modello ingegneristico



Testi citati in questa “Lezione 2”

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

FINE della LEZIONE 2

