

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

**Teoria del Controllo**  
**Modulo 2a**  
**Modello generale dei**  
**Sistemi di Controllo**  
**a una leva.**  
**4 PROTOTIPI**

... 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).

Aula Foscolo  
Palazzo Centrale



Università di Pavia, Facoltà di Economia

[piero.mella@unipv.it](mailto:piero.mella@unipv.it)

# Finalità di questo Modulo

- Nel precedente **Modulo 1** ho ricordato le nozioni fondamentali del Systems Thinking per fornire un linguaggio semplice ed efficace.
- In questo **Modulo 2a** presento la **logica del controllo**, e il **Modello generale di Sistema di Controllo** mono leva e mono obiettivo.
- Il Modulo comprende principalmente i §§ da 2.1 a 2.8, 2.11 e 2.12.
- **GLI STUDENTI SONO VIVAMENTE CONSIGLIATI DI INTEGRARE QUESTE SLIDES CON LA PIU' AMPIA TRATTAZIONE DEL TESTO.**



- **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**.
- Il controllo si attua tramite un **Sistema di Controllo** cioè:
  - un **sistema logico** (modello, calcoli, simulazioni)
  - un **sistema fisico** (complesso di apparati, progettazione e realizzazione)
  - tramite i quali cerchiamo di controllare la  $Y_t$ .

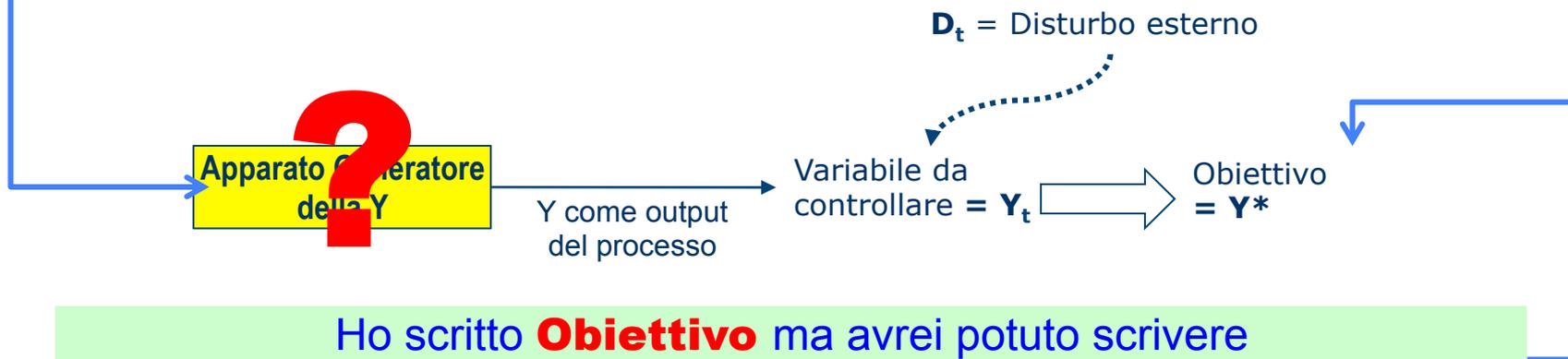
**Costruiamo un modello generale di Sistema di Controllo che rappresenta il sistema logico**



# Sistema di Controllo. Costruiamo il Modello

1<sup>^</sup> variab.:  $Y$  = variab. da controllare (passiva)  
 $D$  = Disturbi esterni non controllabili

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



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

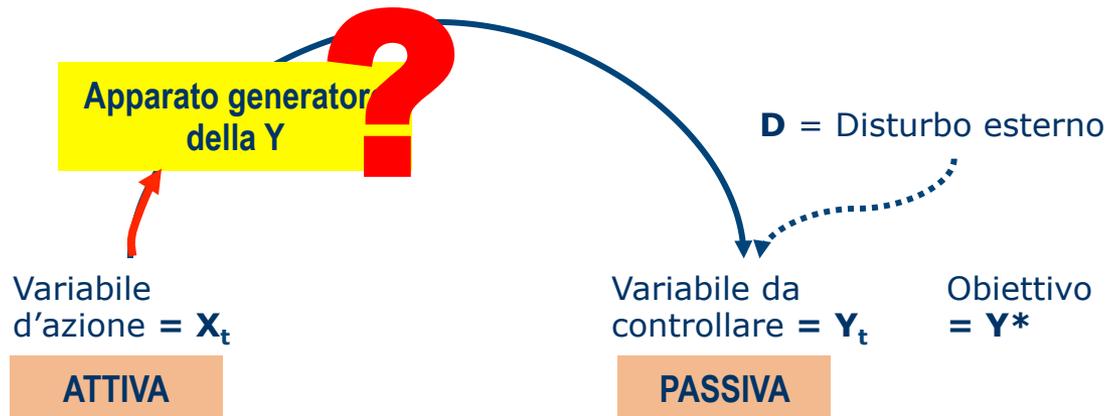
La distinzione tra **vincoli**, **limiti** e **obiettivi** non sempre è netta; per questo, salvo che non sia specificato chiaramente, il segno "\*", apposto a una variabile  $Y_t$ , assumerà, d'ora in avanti, il significato di **obiettivo del controllo di quella variabile, goal o traiettoria**.



# Costruiamo il Modello

## Seconda variabile: $X = \text{“leva”}$ di controllo

- Per “forzare” i valori della  $Y_t$ , verso l’obiettivo  $Y^*$ , occorre agire sull’apparato generatore della  $Y_t$  tramite un’altra variabile,  $X_t$ 
  - che definiamo **variabile d’azione** o **attiva** [input o causa], o **leva di controllo**.



# Costruiamo il Modello

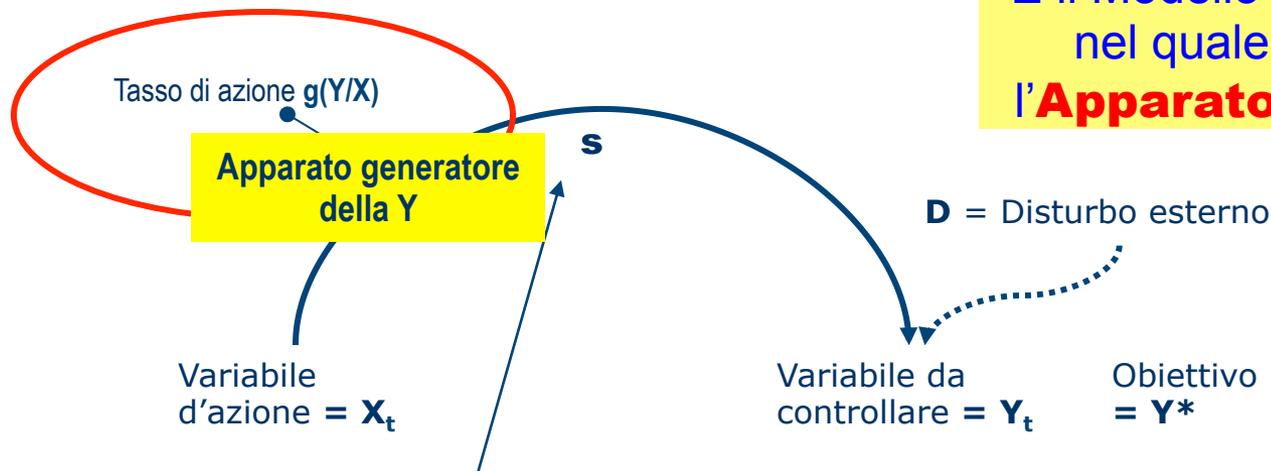
## Il tasso $g$

- La **misura** che caratterizza di quanto la  $X_t$  agisca sulla  $Y_t$  (**X causi la Y**) è definita:

- tasso d'azione**  $g_y$  oppure  $g(Y/X)$ , [g=gain]
- così che risulti:

$$Y_t = [X_t \times g_y] + D_t$$

- essendo  $D_t$  la variabile che indica, in sintesi, i disturbi esterni.



Il segno " $s$ " sta per "stesso senso di variazione",  
cioè [+ +] (aumenta/aumenta) oppure [- -]



# Costruiamo il Modello

## E = distanza, gap o Errore. Il tasso h

- Il controllo richiede il calcolo di una **terza variabile**:
  - **La distanza dall'obiettivo** (scarto, gap, differenza, scostamento, deviazione, delta, ecc.), cioè:  
$$\Delta_t(\mathbf{Y}) = \mathbf{E}_t(\mathbf{Y}) = \mathbf{Y}^* - \mathbf{Y}_t \quad [\text{oppure: } \Delta_t(\mathbf{Y}^*) = \mathbf{Y} - \mathbf{Y}^*].$$
  - è definito anche **errore** da eliminare.
- La logica del controllo è semplice: attribuire a  $\mathbf{X}_t$  una successione di valori che gradualmente annullino la distanza,  $\mathbf{E}_t(\mathbf{Y})$ .
- Quali valori? Per calcolarli occorre conoscere un **tasso di reazione**  $\mathbf{h}_x$  o anche  $\mathbf{h}(\mathbf{X}/\mathbf{Y})$ ,
  - che indica la **misura** secondo la quale  $\mathbf{E}_t(\mathbf{Y})$  agisce sulla leva  $\mathbf{X}_t$ , per ottenere il nuovo valore  $\mathbf{X}_{t+1}$ , tale che:
    - $\mathbf{X}_{t+1} = \mathbf{X}_t + [(\mathbf{Y}^* - \mathbf{Y}_t) \times \mathbf{h}_x]$   
o, anche, in forma differenziale:
    - $\mathbf{X}_{t+1} - \mathbf{X}_t = [\mathbf{E}_t(\mathbf{Y}) \times \mathbf{h}_x]$



Per un **controllo simmetrico**, si pone:  **$h = 1 / g$** .

# La distanza come variabile fondamentale

- Ecco come Wiener descrive la funzione della “**distanza**” cioè dello **scostamento**, o **errore**:

Pag. 58



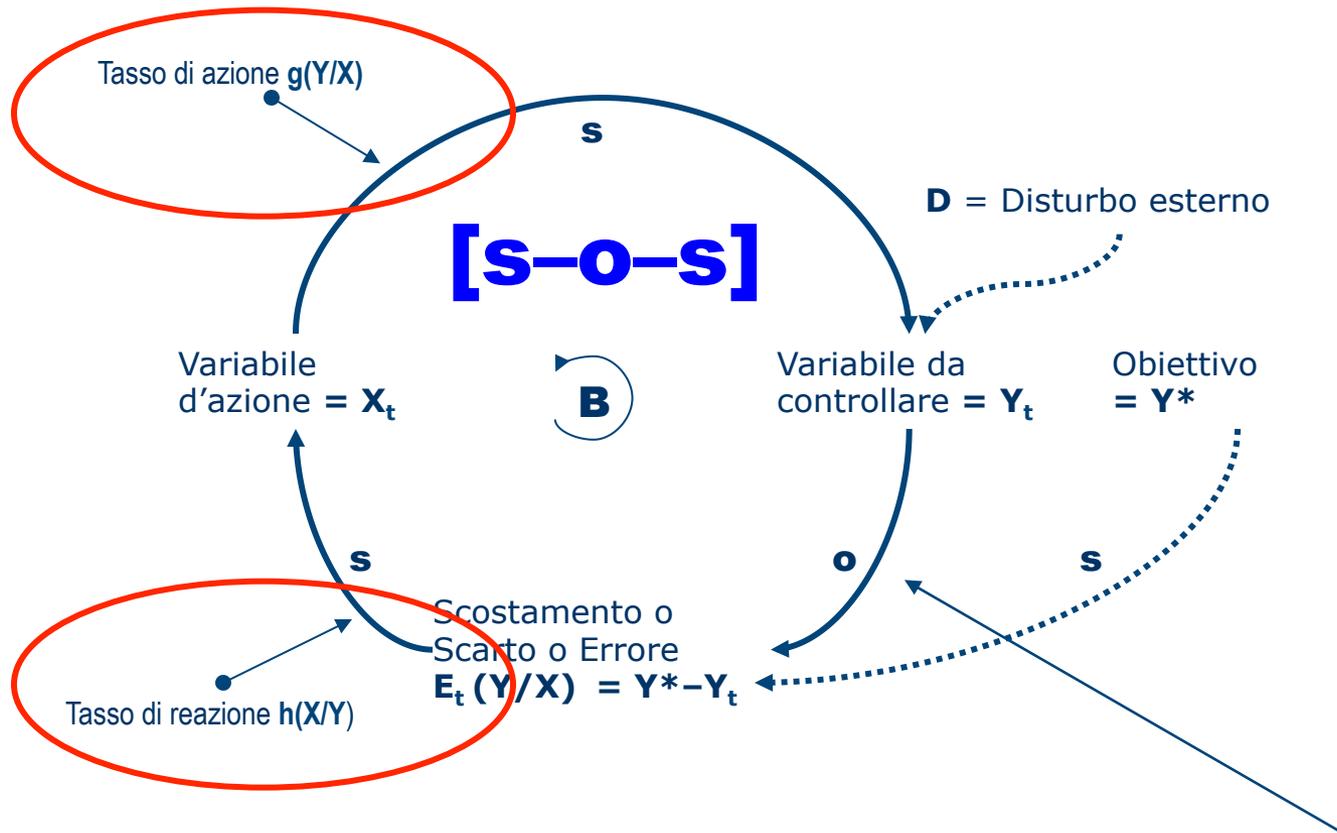
Supponiamo che io debba prendere una matita. Per fare questo devo muovere certi muscoli. Nessuno di noi, eccetto qualche esperto anatomista, sa tuttavia quali siano questi muscoli [...]

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).



È facile riconoscere che **un Sistema di Controllo, da un punto di vista logico, è un loop di bilanciamento** che connette le variabili **X, Y, D**, secondo lo **schema canonico**:

**[s-o-s]**



Il segno "●" sta per "opposto senso di variazione",  
cioè [+ -] (aumenta/riduce) oppure [- +] (riduce/aumenta)



# Modello canonico semplificato di Sistema di Controllo a una leva

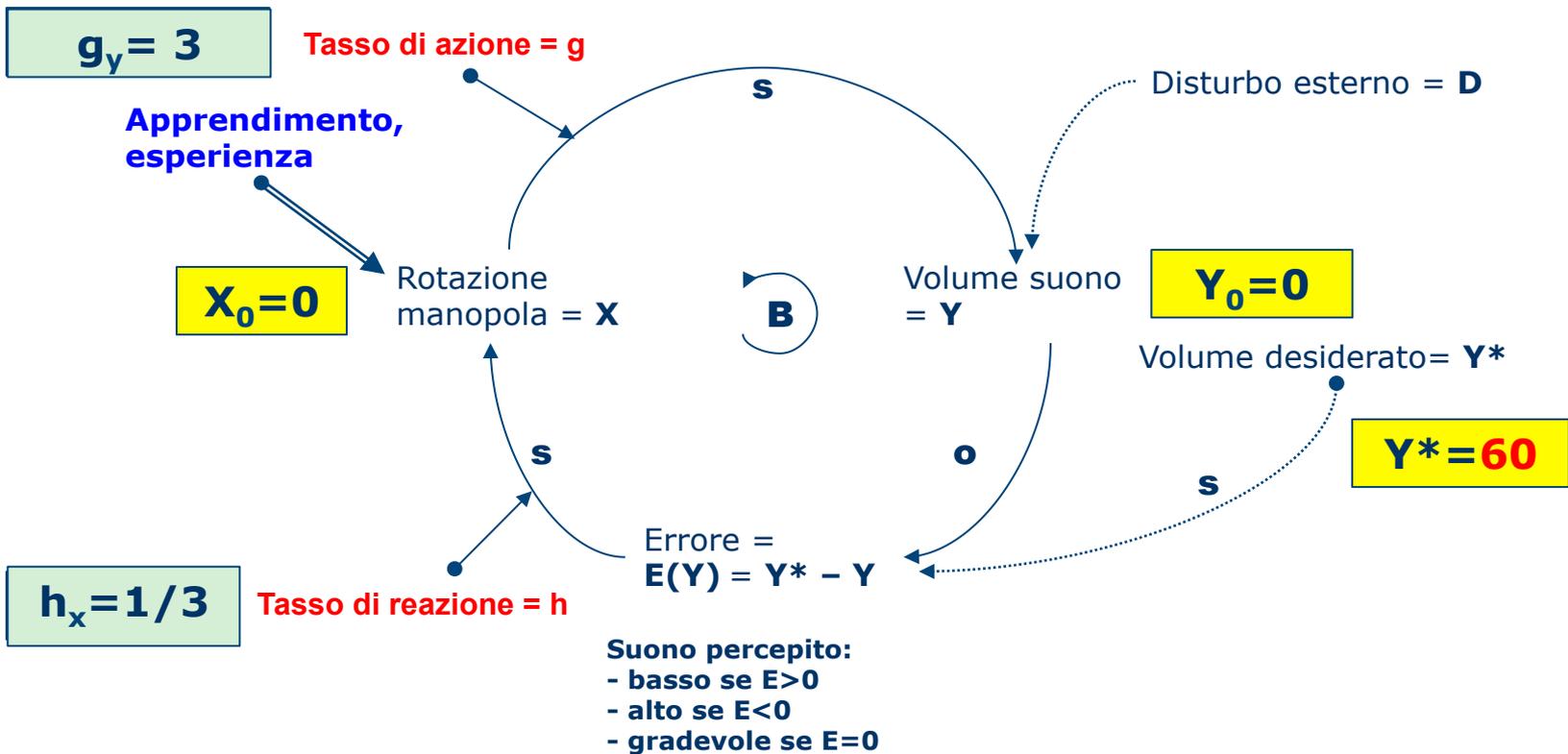
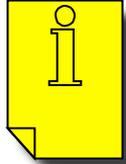
Il controllo che “corregge” la  $Y_t$  modificando gradualmente i valori della  $X_t$ , proporzionandoli alla distanza,  $E_t$ , si definisce controllo a **feedback** o per **retroazione**.

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

Il controllo che non agisce a feedback si denomina controllo a **feedforward** o a **catena aperta**.



# Sistema ad una leva senza ritardo Audio



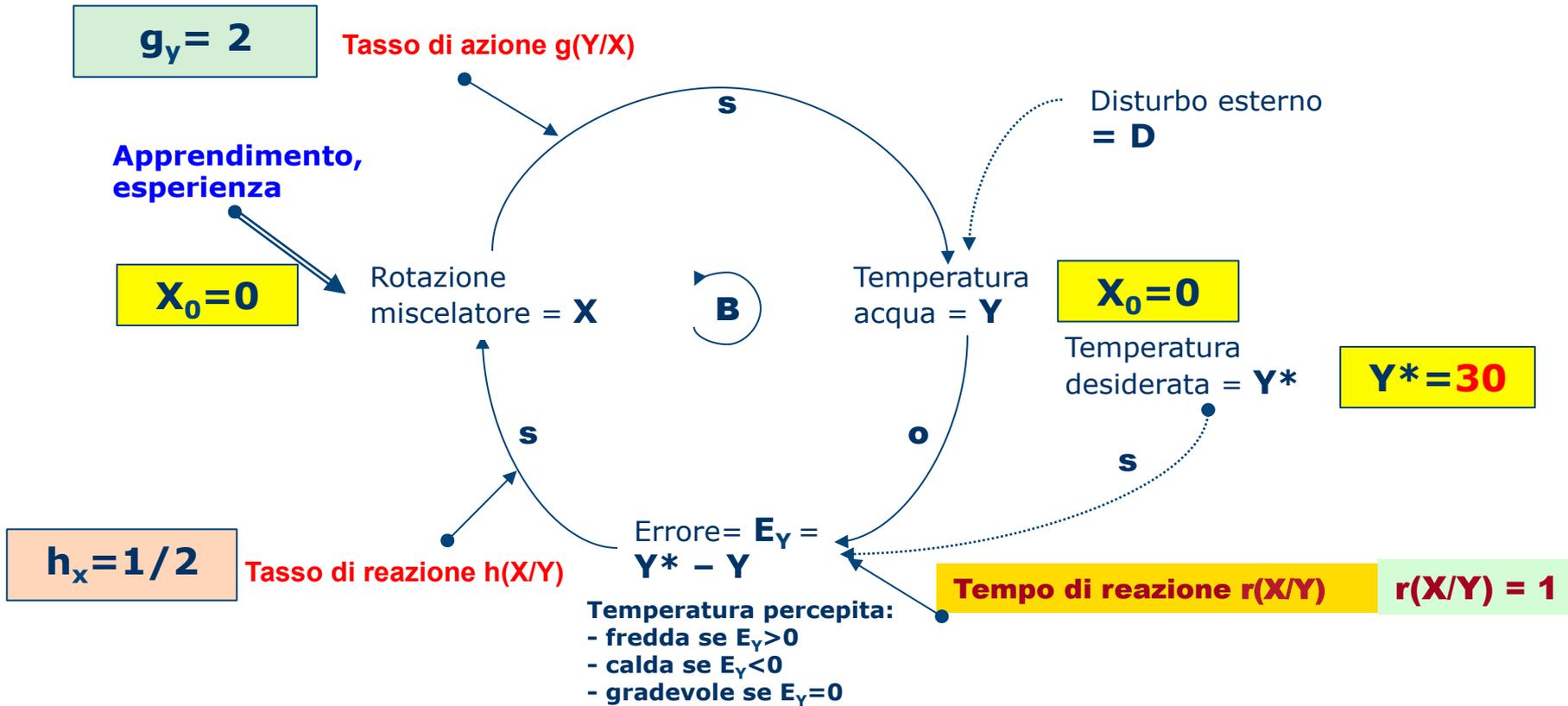
decisione  
 decisione  
 decisione  
 decisione

	X MANOPOLA		Y VOLUME	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**

# Sistema ad una leva senza ritardo

## Temperatura acqua con miscelatore



decisione →  
 decisione →  
 decisione →

	X
	12
+5	12+5=17
-2	17-2=15

\*  $g$

Y
24
34
30

E
30 - 24 = 6
30 - 34 = -4

NB - Il significato di  $r(X/Y) =$   
 = tempo di reazione sarà  
 chiarito tra breve

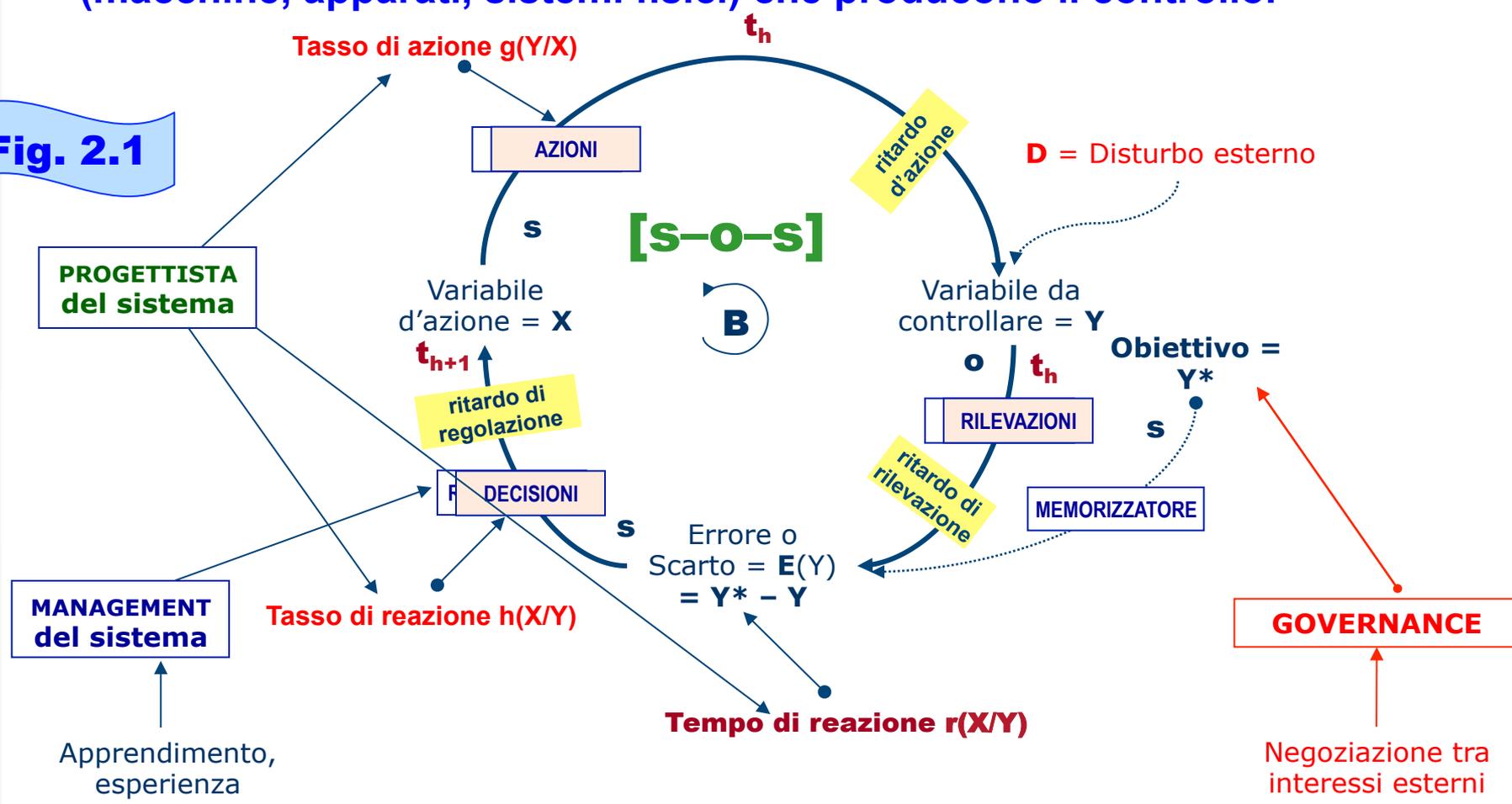


# Modello generale di sistema di controllo con apparati e processi

Par. 2.11 Fig. 2.13

- Dobbiamo rendere generale il modello evidenziando gli organi (macchine, apparati, sistemi fisici) che producono il controllo.

Fig. 2.1



**GOVERNANCE**  
 ↑  
 Negoziazione tra interessi esterni



# Catena di controllo Generalizzazione

- 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 dipende 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.

## 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** a raggiungere **Y\***, malgrado possibili disturbi esterni, **D**, utilizzando un **leva di controllo X**.



# Il “tempo entropico”

- Ogni Sistema di Controllo **scandisce la sua dinamica** su una appropriata **scala temporale** che definisce la **finestra temporale** del sistema.
- **Anche se la dinamica può essere continua, per la costruzione di modelli di simulazione è comodo supporre che essa sia scansionata per intervalli discreti.**
- La lunghezza dell'intervallo dipende dall'accuratezza della misurazione dell'errore e soprattutto dalle esigenze di precisione.



- **Definizione.**
- **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** per variare la **X**, al fine di modificare la **Y**,
  - supponendo che il funzionamento di tale apparato sia invariante 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**.



- **Definizione.**
- **La governance** del Sistema di Controllo
  - è il processo attraverso il quale un soggetto, il **governor**,
  - pone l'obiettivo,  $Y^*$ , per il conseguimento di propri interessi individuali,
  - che il management deve conseguire con un Sistema di Controllo, sia esso esistente o da costruire.
- Il **governor** non è parte del Sistema di Controllo.
- È un soggetto esterno 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 “negoziatura politica” tra i soggetti, secondo il loro potere relativo.**



- **Definizione.**
- **Progettista** e **costruttore** sono i soggetti, intesi nel più ampio senso, 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 individuare 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.**



## ■ **Definizione.**

- **Obiettivo esplicito** è quello 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 si possono spesso identificare con i **vincoli** o con **limiti**.
  - Gli obiettivi impliciti non sono determinati dalla Governance ma dalla Natura.



# Significato dell'Errore

- Formalmente, l' **$E(Y)$**  ha il significato del risultato del calcolo della **distanza**, rispetto a  **$Y^*$** , per ogni istante di rilevamento dei valori di  **$Y_t$** .
- La “**distanza**” è un concetto generale – meglio reso con  **$\Delta$**  – che si riferisce a variabili di qualsivoglia specie:
  - **$\Delta$**  di volume di suono, di colore,
  - **$\Delta$**  di profumo, di sapore, ecc.
  - **$\Delta$**  di temperatura, di sensazioni tattili, ecc.
  - **$\Delta$**  di flusso, di livello, di stock, ecc.
- In molti casi, 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 sintomo di un disequilibrio (errore scostamento, ...) tra uno stato fisiologico o mentale normale,  $Y^*$  (obiettivo o limite), e uno stato effettivo,  $Y$ . Rendono esplicito l'Errore.**

# Attenzione ai ritardi

- Quando non è dichiarato esplicitamente, si suppone che:
  - lo stimolo  $\Delta X$  e la risposta  $\Delta Y$  siano concatenati istantaneamente.
- Se tra lo stimolo  $\Delta X$  e la risposta  $\Delta Y$  intercorre un periodo relativamente lungo, allora si dice che
  - la **risposta**  $\Delta Y$  si produce con un **ritardo** rispetto allo **stimolo**  $\Delta X$ .
  - Il ritardo si rappresenta nel modello scrivendo RITARDO o sulla freccia i cui processi presentano il ritardo, o barrandola.
- **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 non sempre si possono eliminare ma i loro effetti si possono mitigare con  $r_x > 1$ .**



# L'importanza dei ritardi

- I ritardi si generano nell'ambito della struttura tecnica (catena di controllo).
  - **ritardo d'azione** – o anche **ritardo di risposta** – che dipende dall'effettore e 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  $X_t$ .



# Modello euristico

## Controllo senza ritardi

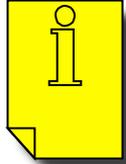
- Il funzionamento di un
  - sistema di controllo **ad una leva**,
  - senza **ritardi**,
- è descritto dal seguente **modello euristico**:
  - Parti da  $\mathbf{t}_0$  (istante iniziale convenzionale) e assegna il primo valore a  $\mathbf{X}$ :  $\mathbf{X}_0$ .
  - Agisci sulla  $\mathbf{X}_0$  per calcolare il valore di  $\mathbf{Y}_0$  (senso “s”) e poni:  
 $\mathbf{Y}_0 = \mathbf{X}_0 \times \mathbf{g}_y$  essendo  $\mathbf{g}_y$  il tasso di azione.
- Confronta  $\mathbf{Y}_0$  con  $\mathbf{Y}^*$  e quantifica l'**errore** tenendo conto del tempo di reazione  $\mathbf{r}_x$ 
  - $\mathbf{E}_0 = [\mathbf{Y}^* - \mathbf{Y}_0] / \mathbf{r}_x$  (senso “o”).
  - Utilizza la dimensione di  $\mathbf{E}_0$  per calcolare la variazione di  $\mathbf{X}_0$  e al successivo istante  $\mathbf{t}_1$  poni:  
 $\mathbf{X}_1 = \mathbf{X}_0 + [\mathbf{E}_0 \times \mathbf{h}_x]$   
 essendo  $\mathbf{h}_x$  il tasso di reazione (senso “s”).

Nel testo sono riportati modelli euristici più completi.

**Sono facoltativi.**

ricomincia





# PRIMO PROTOTIPO Controllo integrale Sistema a Variazione continua di X

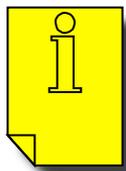
## Par. 2.4

t	[1] $\Delta X_t$	[2] $X_t$	[3] $g_t$	[4] $\Delta Y_t$	[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
6	0.00	20.00	5	0.00	100.00	100.00	0.00	0.2	1

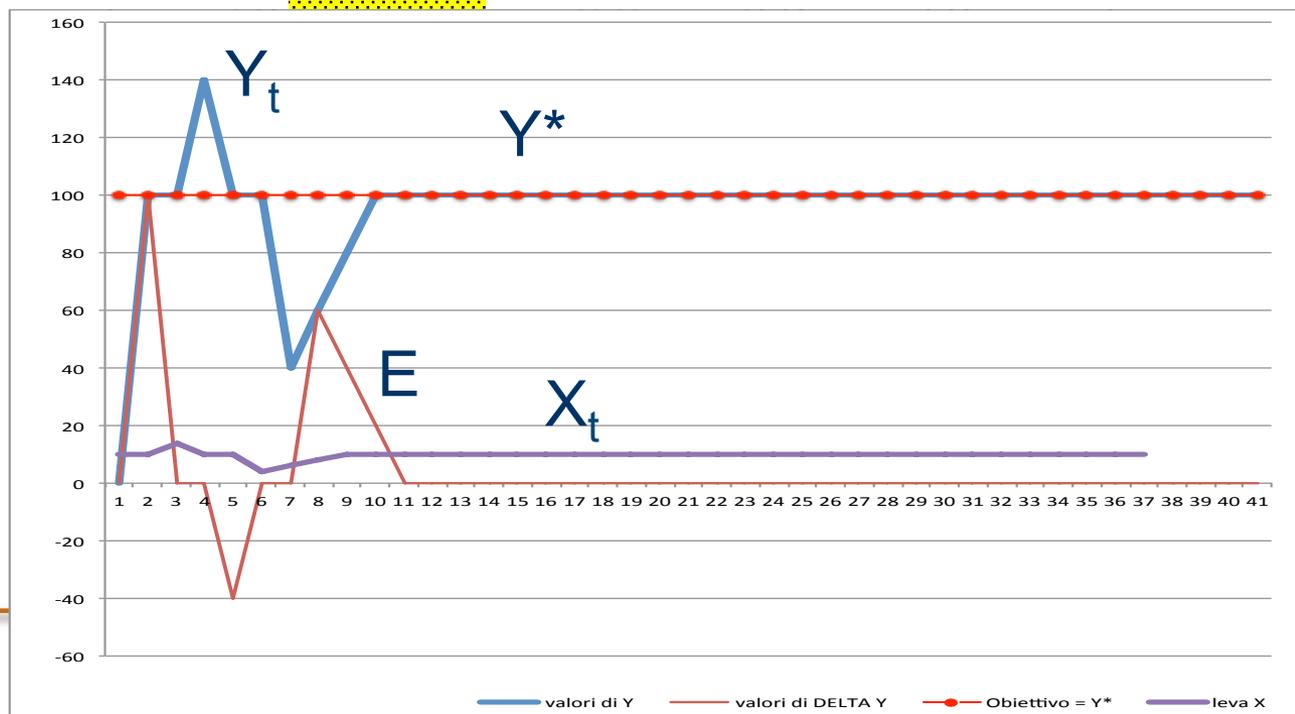


Si definisce **CONTROLLO INTEGRALE** in quanto il manager **computa il valore di X** che elimina l'intero errore (integrale dell'errore) in una sola volta.  
**Presuppone la conoscenza del tasso d'azione  $g(Y/X)$**

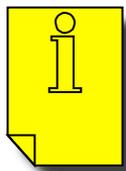
# PRIMO PROTOTIPO: variante Controllo integrale con Disturbi



t	[1] $\Delta X_t$	[2] $X_t$	[3] $g_t$	[4] $\Delta Y_t$	[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								
11	0.00	10.00								
12	0.00	10.00								
13	0.00	10.00								
14	0.00	10.00								
15	0.00	10.00								
16	0.00	10.00								
17	0.00	10.00								
18	0.00	10.00								
19	0.00	10.00								
20	0.00	10.00								
21	0.00	10.00								
22	0.00	10.00								
23	0.00	10.00								
24	0.00	10.00								
25	0.00	10.00								
26	0.00	10.00								
27	0.00	10.00								



# PRIMO PROTOTIPO: variante Sistema a **Variazione proporzionale**

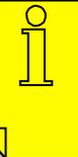


t	[0] % errore	[1] $\Delta X_t$	[2] $X_t$	[3] $g_t$	[4] $\Delta Y_t$	[5] $Y_t$	[6] $y^*$	[7] $E = Y^* - Y_t$	[8] $h_t$	[9] $r(t)$
0	40%	0.00	0	5	0.00	0	100	100.00	0.2	1
1	40%	8.00	8.00	5	40.00	40.00	100.00	60.00	0.2	1
2	40%	4.80	12.80	5	24.00	64.00	100.00	36.00	0.2	1
3	40%	2.88	15.68	5	14.40	78.40	100.00	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



# SECONDO PROTOTIPO

## Sistema a Variazione a passo discreto di $X_t$

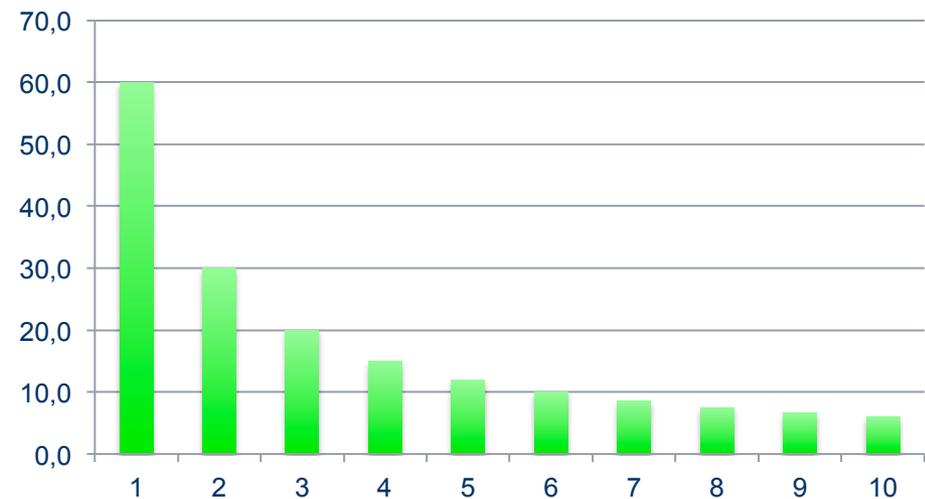


t	[1] $\Delta X_t = \text{passo}$	[2] $X_t$	[3] $g_t$	[4] $\Delta Y_t$	[5] DISTURBI	[6] $Y_t$	[7] $Y^*$	[8] $E = Y^* - Y_t$	[9] $h_t$	[10] $r(t)$
0	2.00	0.00	5			0.00	117	117	0.00	1
1	frazionario	2.00	5.0	10.0		10.00	117.0	107.0	0.00	1.0
2		4.00	5.0	10.0		20.00	117.0	97.0	0.00	1.0
3		6.00	5.0	10.0		30.00	117.0	87.0	0.00	1.0
4		8.00	5.0	10.0		40.00	117.0	77.0	0.00	1.0
5		10.00	5.0	10.0		50.00	117.0	67.0	0.00	1.0
6		12.00	5.0	10.0		60.00	117.0	57.0	0.00	1.0
7		14.00	5.0	10.0		70.00	117.0	47.0	0.00	1.0



# Una variabile fondamentale Il tempo di reazione

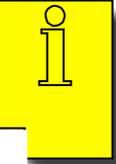
- Il tempo di reazione  $r_x$  è una variabile decisionale che stabilisce **di quando decade l'errore**, per unità di tempo, per ogni azione sulla  $X$ .
- È più facile – ma del tutto equivalente – definire tempo di reazione  $r_x$  come la variazione di  $X$  per unità di tempo. In pratica,  $r_x$  divide  $X$ .
- Se, per un dato  $E(Y)$  la  $X$  deve variare, per es. 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.



- Il controllo è **immediato** se il tempo di reazione è  $r_x = 1$ .
  - Il sistema porta  $Y_t$  a  $Y^*$  in un solo istante.
  - Sono sistemi ad aggiustamento veloce della  $Y$  ma sono pericolosi e difficili da realizzare in quanto producono uno shock nella struttura fisica del sistema. Il controllo appare “ruvido” (**rough control**).
- Il controllo **graduale** opera quando  $r_x > 1$ , così che la struttura fisica assorbe gradualmente le variazioni di  $X$  e di  $Y$ .
  - Il sistema produce una dinamica di  $Y$  verso  $Y^*$  più lenta ma più morbida (**soft control**).
  - Occorre individuare il  $r_x > 1$  che porti ad un bilanciamento tra rapidità e gradualità.
- Sono a controllo **graduale** quelli a **variazione proporzionale** o **discreta** per i quali non si pone  $r_x$ .

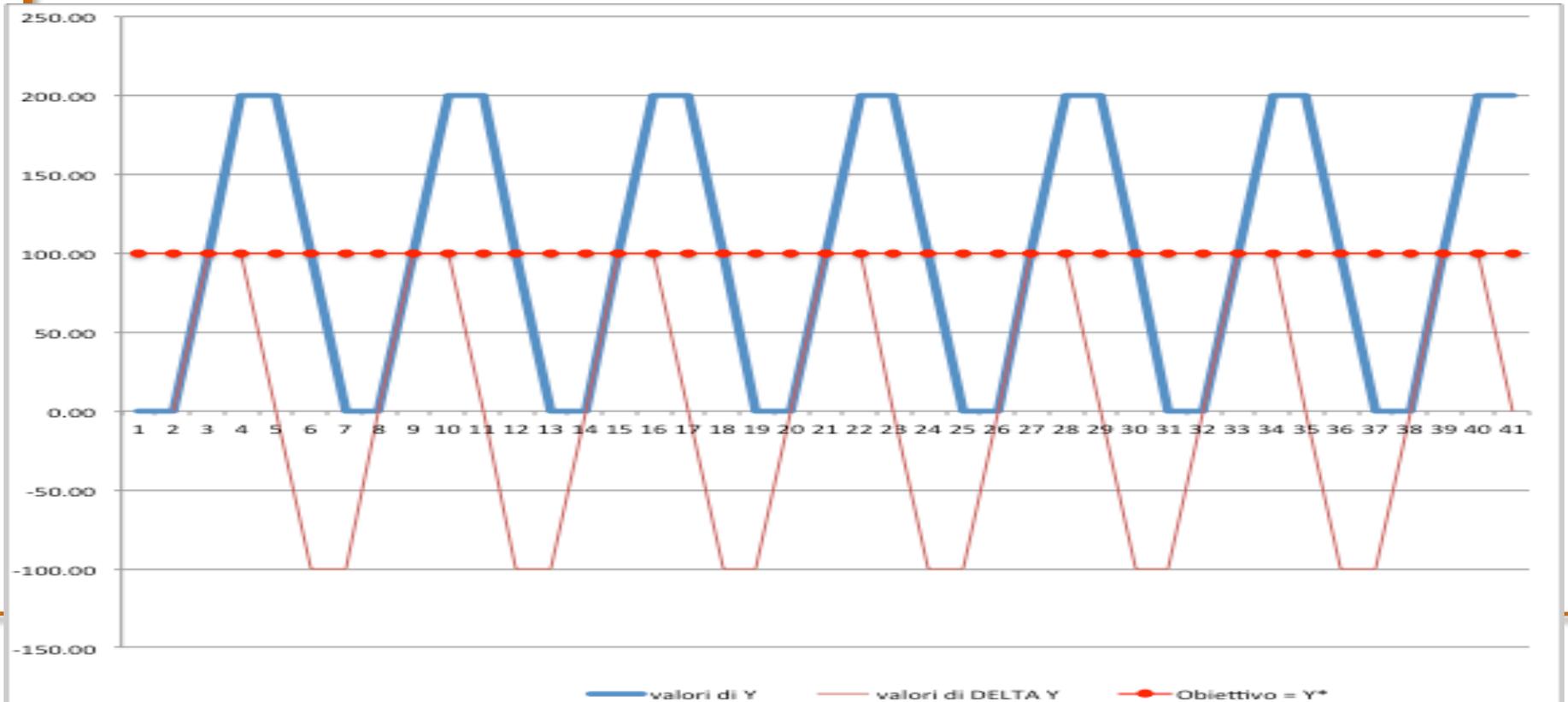


# TERZO PROTOTIPO Controllo con 1 ritardo



## Par. 2.6

t	[1] $X_t$	[2] $g_t$	[3] $\Delta Y_t$	[4] $Y_t$	[5] $Y^*$	[6] $E = Y^* - Y_t$	[7] $h_t$	[8] $r(t)$
0	0.00	5		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

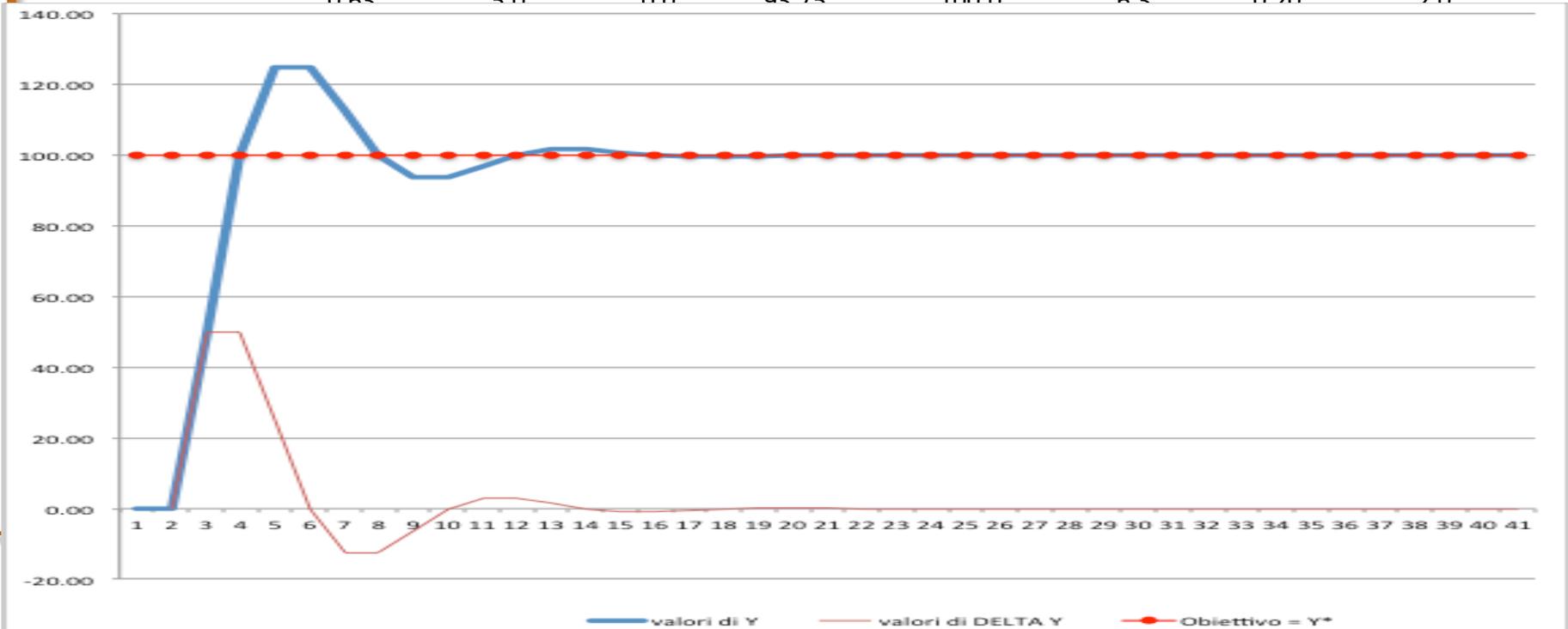


# TERZO PROTOTIPO

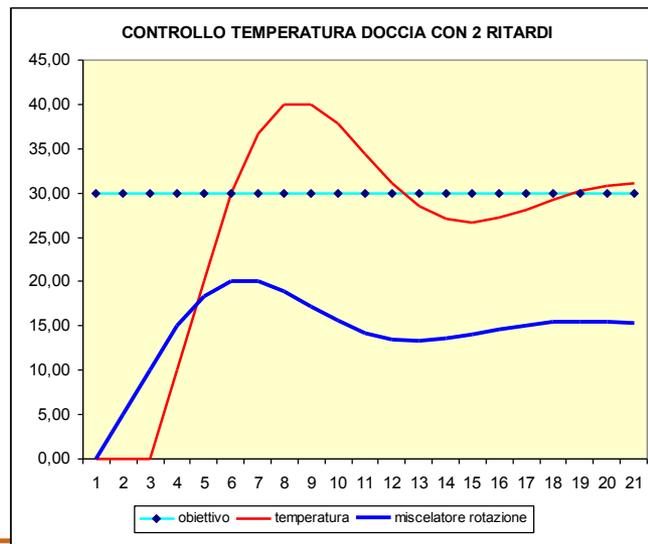
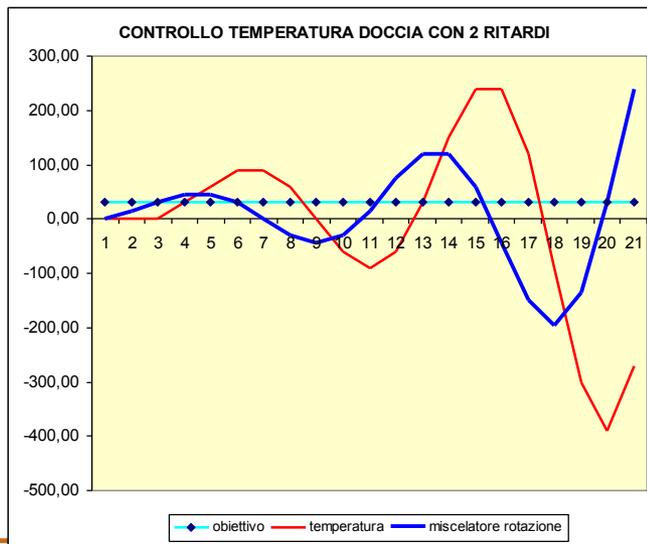
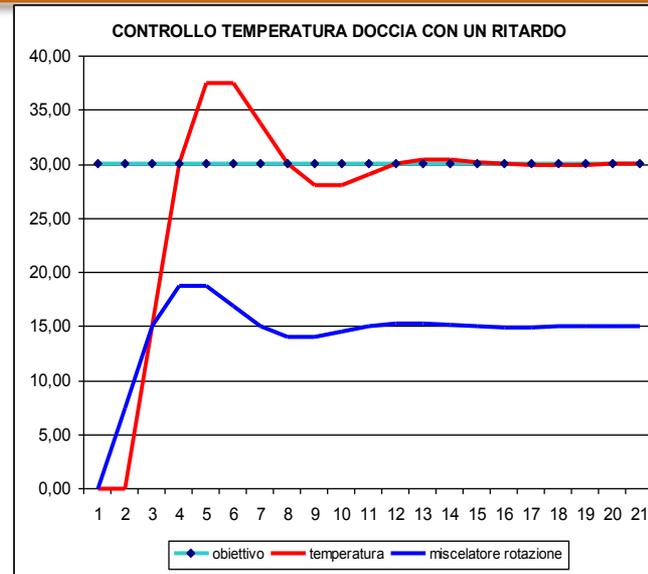
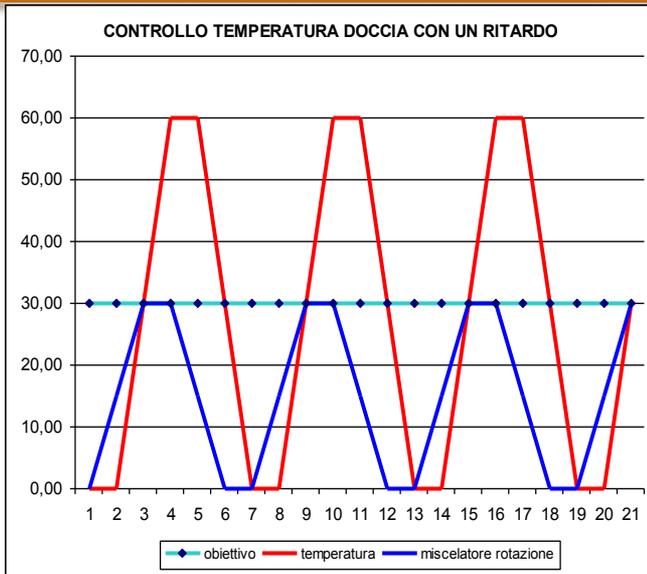
## Controllo con 1 ritardo e $r_x = 2$ .



[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
$X_t$	$g_t$	$\Delta Y_t$	$Y_t$	$y^*$	$E = Y^* - Y_t$	$h_t$	$r(t)$
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



# Doccia con ritardi e diversi tempi di reazione



# QUARTO PROTOTIPO

## Sistemi di on/off e I/O.

### ■ Sistemi on/off.

- Sono particolari **sistemi** che raggiungono l'obiettivo  $Y^*$  facendo funzionare **[on]** la leva  $X_t$  per un dato tempo preimpostato,  $T^*$ , fino a quando la arrestano **[off]** per poi riprendere quando **D** produce nuovamente un errore di ampiezza prefissata  $\Delta E^*$  (es. condizionatore).

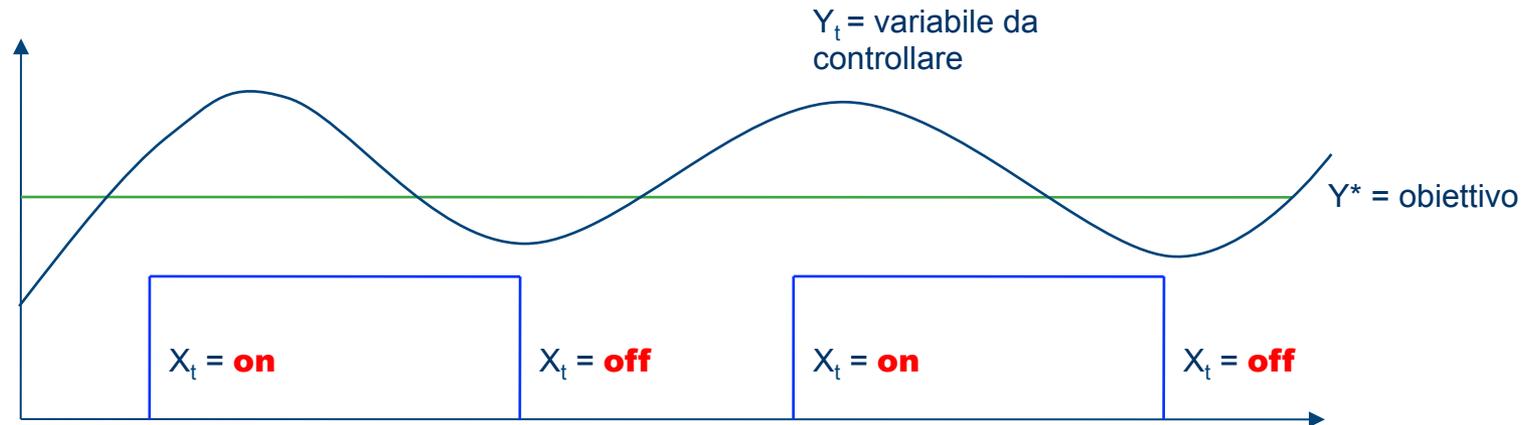
### ■ Sistemi I/O

- Sono particolari **sistemi** che tentano di raggiungere l'obiettivo  $Y^*$  accendendo **[I]** la leva  $X$ , una o più volte, per un dato tempo, deciso di volta in volta, per ottenere un valore fisso  $\Delta Y$ , fino a quando la spengono **[O]**, annullando  $\Delta Y$ , per poi riaccenderla quando **D** produce nuovamente un errore  $E$ . (es. ascensore oppure esempi numerici precedenti con scelta volontaria dei valori delle  $X$ ).

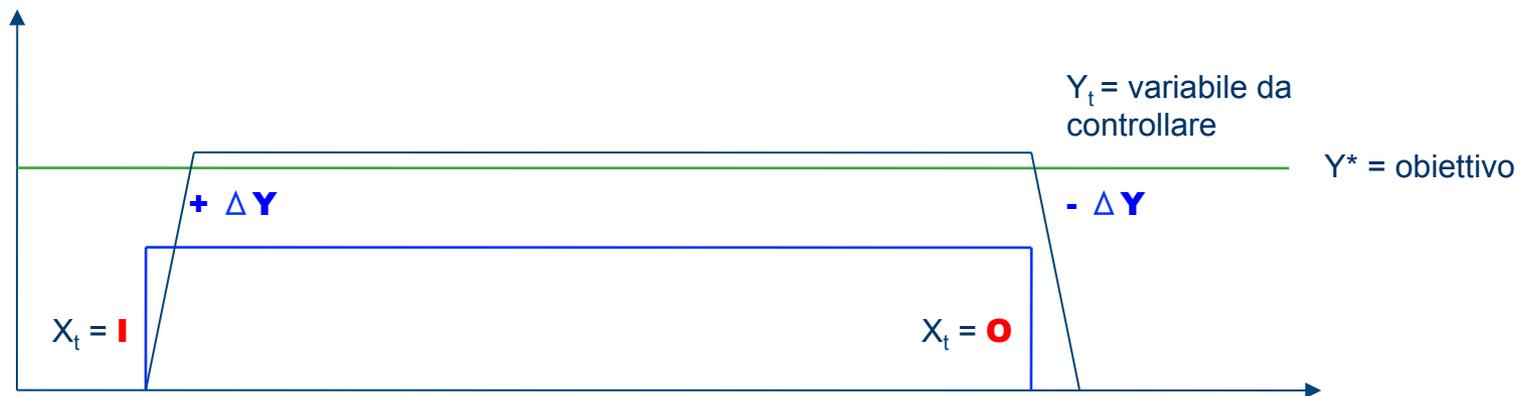


# Tipi Sistemi di on/off e I/O.

## ■ Sistemi on/off.

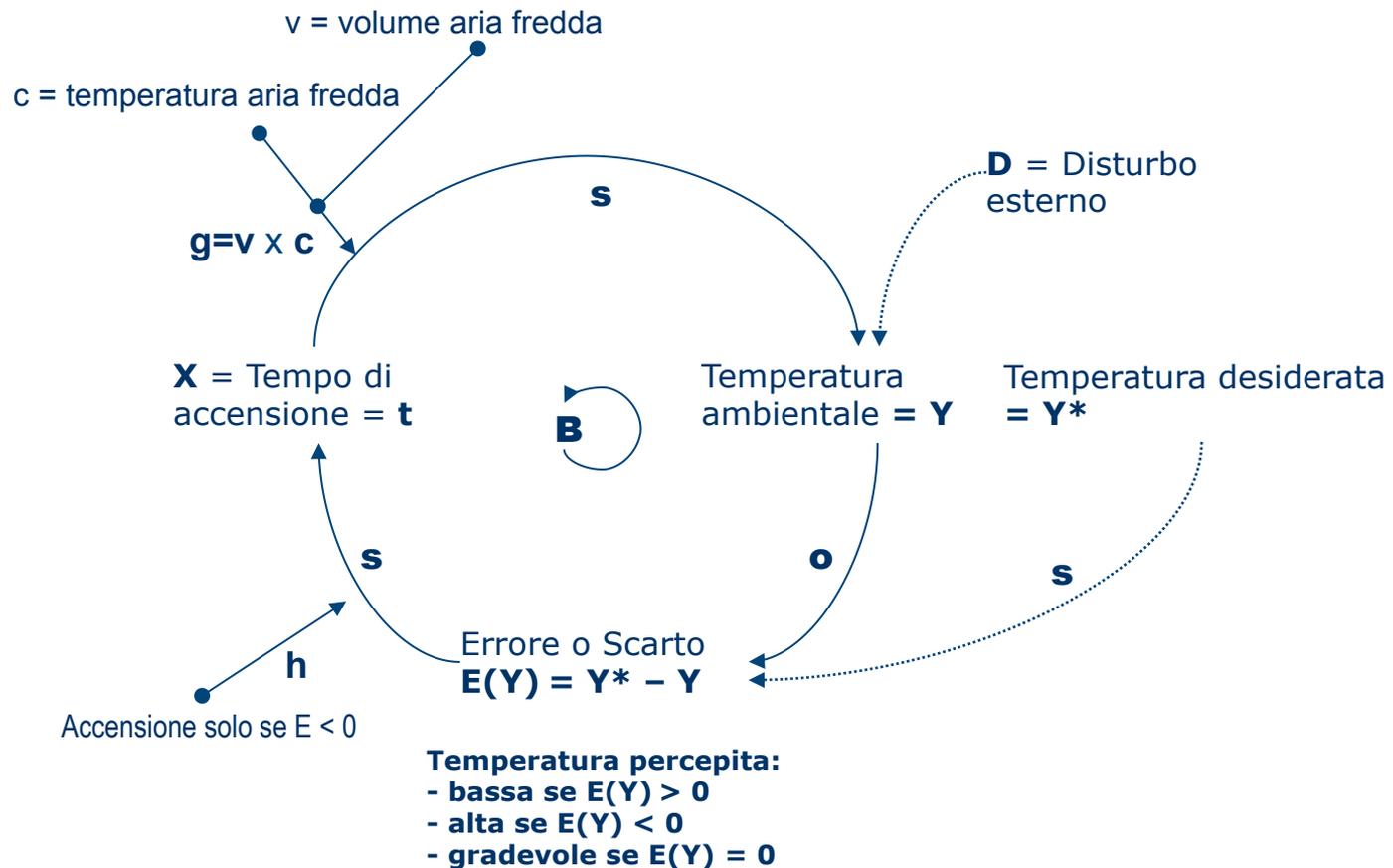


## ■ Sistemi I/O



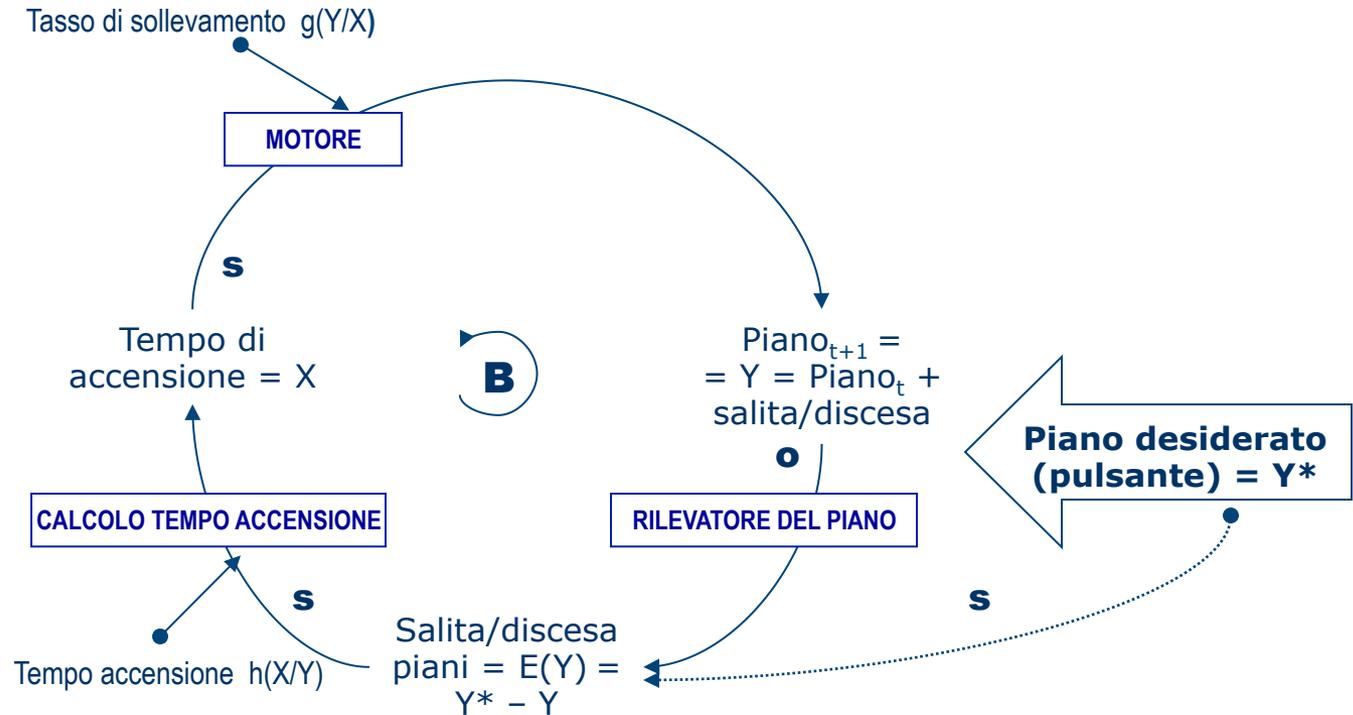
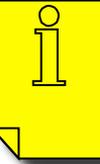
# Sistema di controllo on-off a una leva. Temperatura dell'aria con condizionatore

- È un sistema nel quale non c'è intervento umano se non per decidere la temperatura obiettivo. Si avvia quando si manifesta lo scostamento.



# Variazione discreta I/O

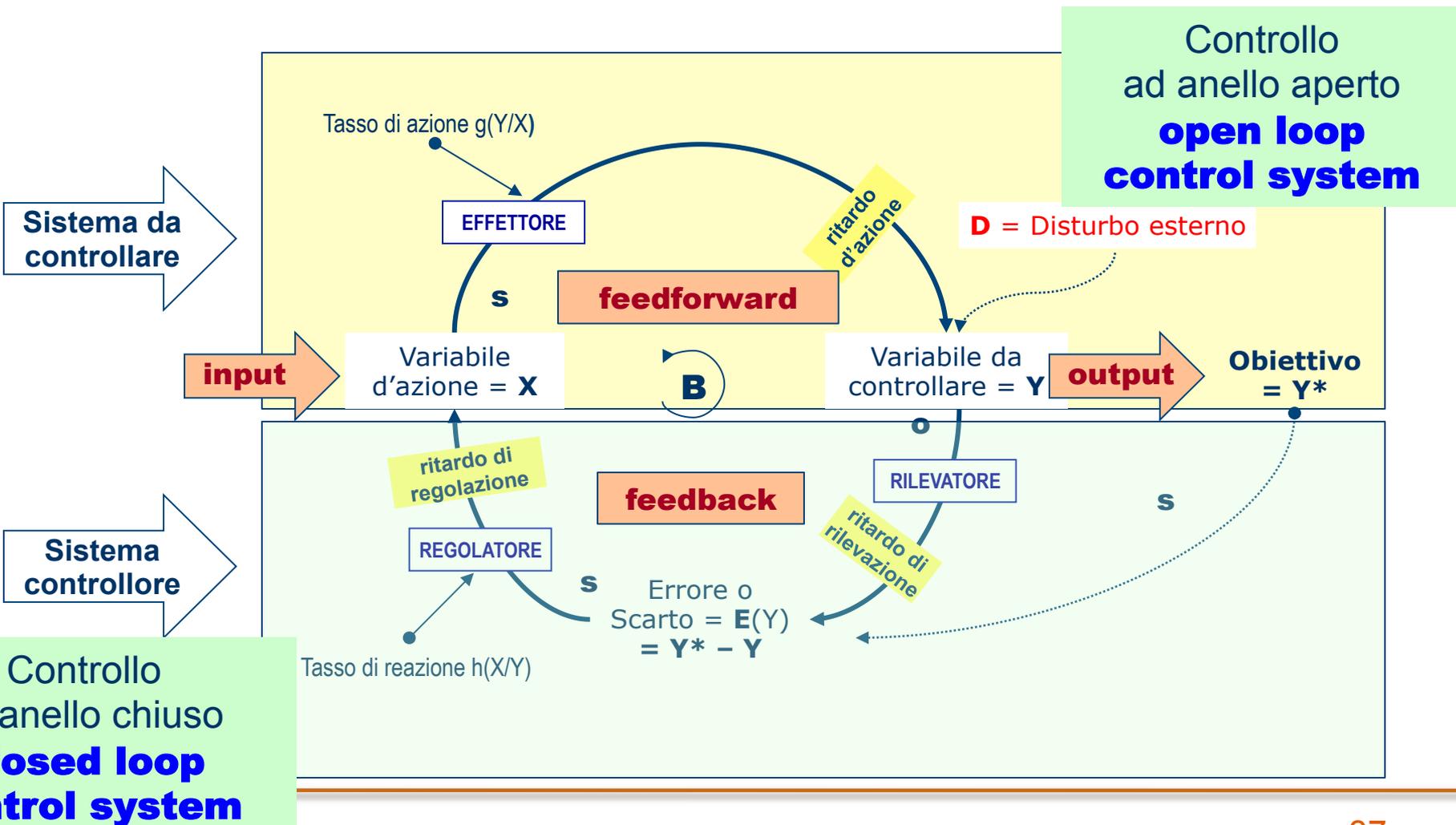
## Ascensore quale sistema di controllo



# Interpretazione ingegneristica Sistemi da Controllare e Controllori

## Controllo ad anello aperto o chiuso

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



# Modello ingegneristico

