

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 Esocote
Palazzo Centrale

Università di Pavia, Facoltà di Economia 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.**

piero.mella@unipv.it 2

Par. 2.1 **Dal modulo 1**

- **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

piero.mella@unipv.it 3

Sistema di Controllo. Costruiamo il Modello

1[^] 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.**

piero.mella@unipv.it 4

Costruiamo il Modello

Seconda variabile: X = "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.**

piero.mella@unipv.it 5

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.

È il Modello più semplice nel quale si omette l'**Apparato** Generatore

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

piero.mella@unipv.it 6

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:

$$\Delta_t(Y) = E_t(Y) = Y^* - Y_t \quad [\text{oppure: } \Delta_t(Y^*) = Y - Y^*].$$
 - è definito anche **errore** da eliminare.
- La logica del controllo è semplice: attribuire a X_t una successione di valori che gradualmente annullino la distanza, $E_t(Y)$.
- Quali valori? Per calcolarli occorre conoscere un **tasso di reazione** h_x o anche $h(X/Y)$,
 - che indica la **misura** secondo la quale $E_t(Y)$ 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: **$h = 1 / g$** .

piero.mella@unipv.it

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).

piero.mella@unipv.it 8

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

piero.mella@unipv.it 9

Pag. 90 **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**.

piero.mella@unipv.it 10

Par. 2.4 **Sistema ad una leva senza ritardo Audio**

g_Y = 3 Tasso di azione = g

h_X = 1/3 Tasso di reazione = h

Disturbo esterno = D

Apprendimento, esperienza

Rotazione manopola = X $X_0=0$

Volume suono = Y $Y_0=0$

Volume desiderato = Y* $Y^*=60$

Errore = $E(Y) = Y^* - Y$

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

	X MANOPOLA		Y VOLUME	E ERRORE	
decisione	15	x ?	45	60-45=15	
decisione	+3	15+3=18	x ?	60-54=6	
decisione	+4	18+4=22	x ?	60-66=-6	
decisione	-2	22-2=20	x ?	60-60=0	FINE

Sistema ad una leva senza ritardo Temperatura acqua con miscelatore

g_Y = 2 Tasso di azione g(Y/X)

h_X = 1/2 Tasso di reazione h(X/Y)

Disturbo esterno = D

Apprendimento, esperienza

Rotazione miscelatore = X $X_0=0$

Temperatura acqua = Y $Y_0=0$

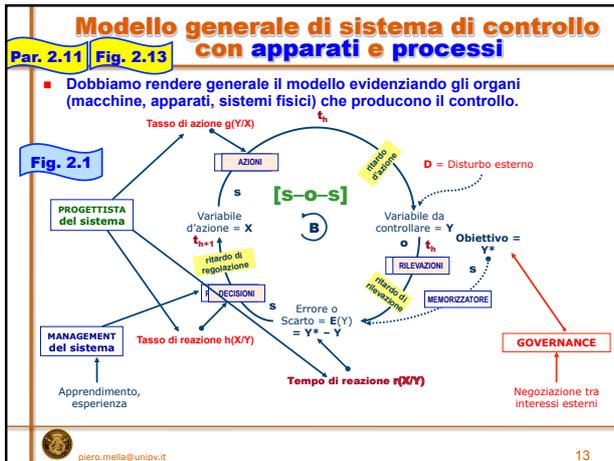
Temperatura desiderata = Y* $Y^*=30$

Errore = $E_Y = Y^* - Y$

Tempo di reazione r(X/Y) $r(X/Y) = 1$

Temperatura percepita:
- fredda se E_y>0
- calda se E_y<0
- gradevole se E_y=0

	X		Y	E	
decisione	12		24	30-24=6	
decisione	+5	12+5=17	* g	34	
decisione	-2	17-2=15	30	30-30=0	NB - Il significato di r(X/Y) = tempo di reazione sarà chiarito tra breve



Catena di controllo Generalizzazione

Pag. 86

- 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**.

14

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.

15

Par. 2.12 **Management**

- **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**.

 piero.mella@unipv.it 16

Par. 2.12 **Governance**

- **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.**

 piero.mella@unipv.it 17

Par. 2.12 **Progettista e costruttore**

- **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.**

 piero.mella@unipv.it 18

Gli obiettivi

- **Definizione.**
 - **Obiettivo esplicito** è quello definito dalla governance.
 - **Obiettivo implicito** è connesso 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 **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, 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** ΔX e la **risposta** ΔY siano concatenati **istantaneamente**.
- Se tra lo **stimolo** ΔX e la **risposta** ΔY intercorre un **periodo relativamente lungo**, allora si dice che
 - la **risposta** ΔY si produce con un **ritardo** rispetto allo **stimolo** ΔX .
 - 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 $r_x > 1$.**



Pag. 71 **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 .

piero.mella@unipv.it 22

Par. 2.3 **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 t_0 (istante iniziale convenzionale) e assegna il primo valore a X_0 .
 - Agisci sulla X_0 per calcolare il valore di Y_0 (senso "s") e poni: $Y_0 = X_0 \times g_y$ essendo g_y il **tasso di azione**.
- Confronta Y_0 con Y^* e quantifica l'**errore** tenendo conto del tempo di reazione r_x
 - $E_0 = [Y^* - Y_0] / r_x$ (senso "o").
 - Utilizza la dimensione di E_0 per calcolare la **variazione** di X_0 e al successivo istante t_1 poni: $X_1 = X_0 + [E_0 \times h_x]$ essendo h_x il **tasso di reazione** (senso "s").

ricomincia

Nel testo sono riportati modelli euristici più completi. Sono facoltativi.

piero.mella@unipv.it 23

Par. 2.4 **PRIMO PROTOTIPO Controllo integrale Sistema a Variazione continua 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
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 $g(Y/X)$

Pag. 63 **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.

28

Pag. 64 **Controllo immediato e graduale**

- 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 .

29

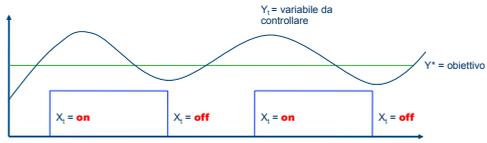
TERZO PROTOTIPO Controllo con 1 ritardo

Par. 2.6

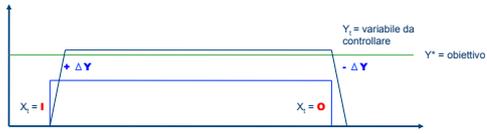
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
	X_t	g_t	ΔY_t	Y_t	Y^*	$E = Y^* - Y_t$	h_t	$r(t)$
0	0.00	5	0.00	0.00	100	100	0.20	1
1	20.00	5.0	0.0	0.00	100.0	100.0	0.20	1.0
2	20.00	5.0	100.0	100.00	100.0	0.0	0.20	1.0
3	0.00	5.0	100.0	200.00	100.0	-100.0	0.20	1.0
4	-20.00	5.0	0.0	200.00	100.0	-100.0	0.20	1.0
5	-20.00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

Tipi Sistemi di on/off e I/O.

Sistemi on/off.

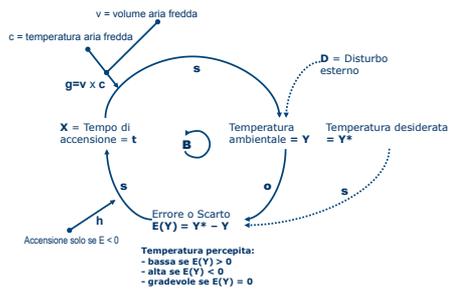


Sistemi I/O



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

