

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

Corso Breve di Teoria del Controllo

Lezione 2

Appendice 2

Tipologia ed Esempi di sistemi di controllo a una leva,
con simulazioni

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

Piero Mella

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: 10.13132/2038-5498/13.4.897-935

Cite as: Mella, P. (2022). Corso Breve di Teoria del Controllo. Lezione 1. - APPENDICE 2. Tipologia ed Esempi di sistemi di controllo a una leva, con simulazioni. *Economia Aziendale online*, 13(4), 897-935.

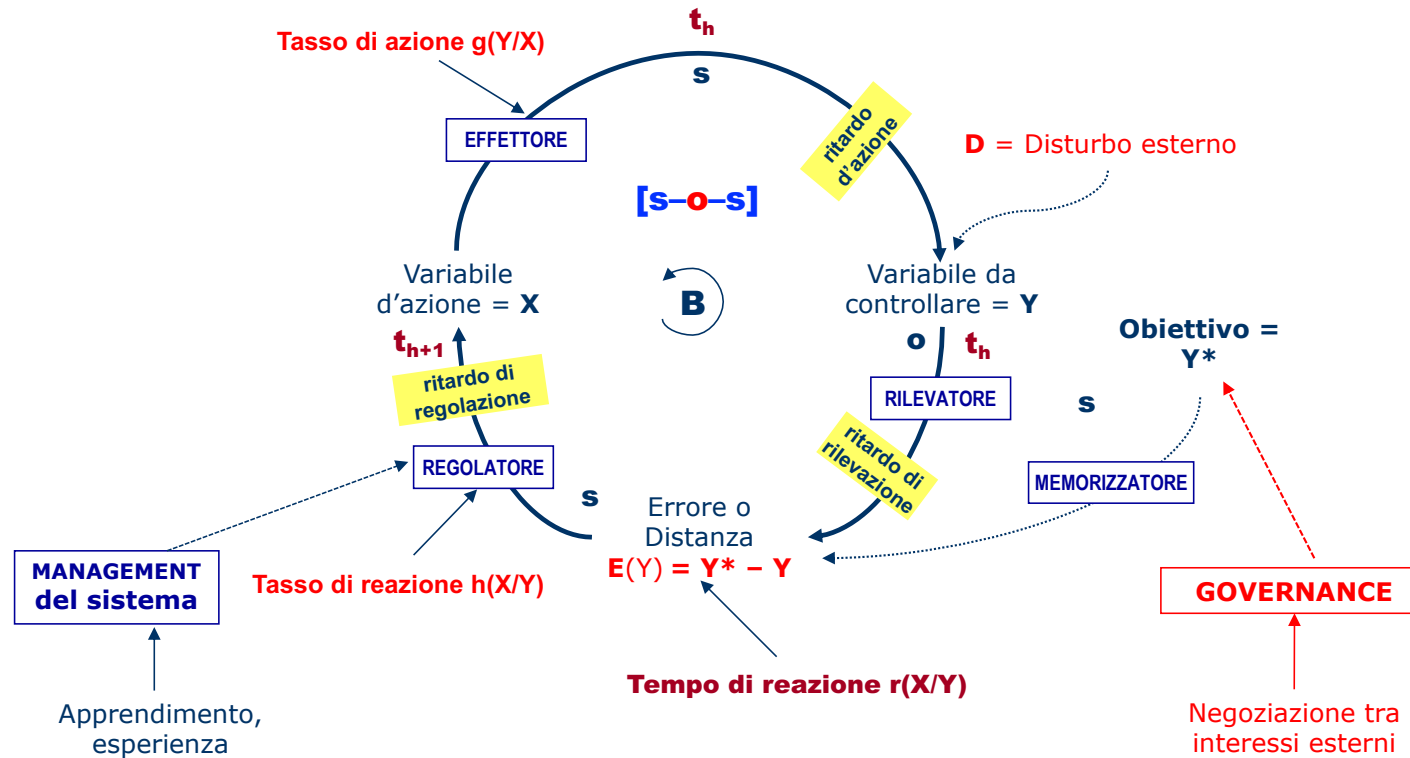
Economia Aziendale online - Electronic ISSN 2038-5498 - Tribunale di Pavia, 2007, n. 685 R.S.P.



Appendice 2 alla Lezione 2

Modello generale di sistema di controllo in forma canonica

- Questa **Appendice 2** – Tipologia ed esempi di sistemi di controllo – integra la **Lezione 2 del Corso Breve di Teoria del controllo** e presenta una **Tipologia minima** dei Sistemi di controllo a una leva e qualche **modello di simulazione**.
- Dalla Lezione 2, Pagina 868, sappiamo che un sistema di controllo a una leva può essere rappresentato con il seguente modello **in forma canonica**, con loop **[s-o-s]**.



Prendendo come base il modello generale, nel seguito saranno presentate varianti e tipi di sistemi di controllo, con alcuni esempi.

Poiché gli argomenti trattati appartengono ad «aree» diverse, per distinguerle, le diapositive relative a ciascuna area sono contrassegnate con un cerchio di un dato colore posto in alto, a destra, in corrispondenza della barra del titolo.

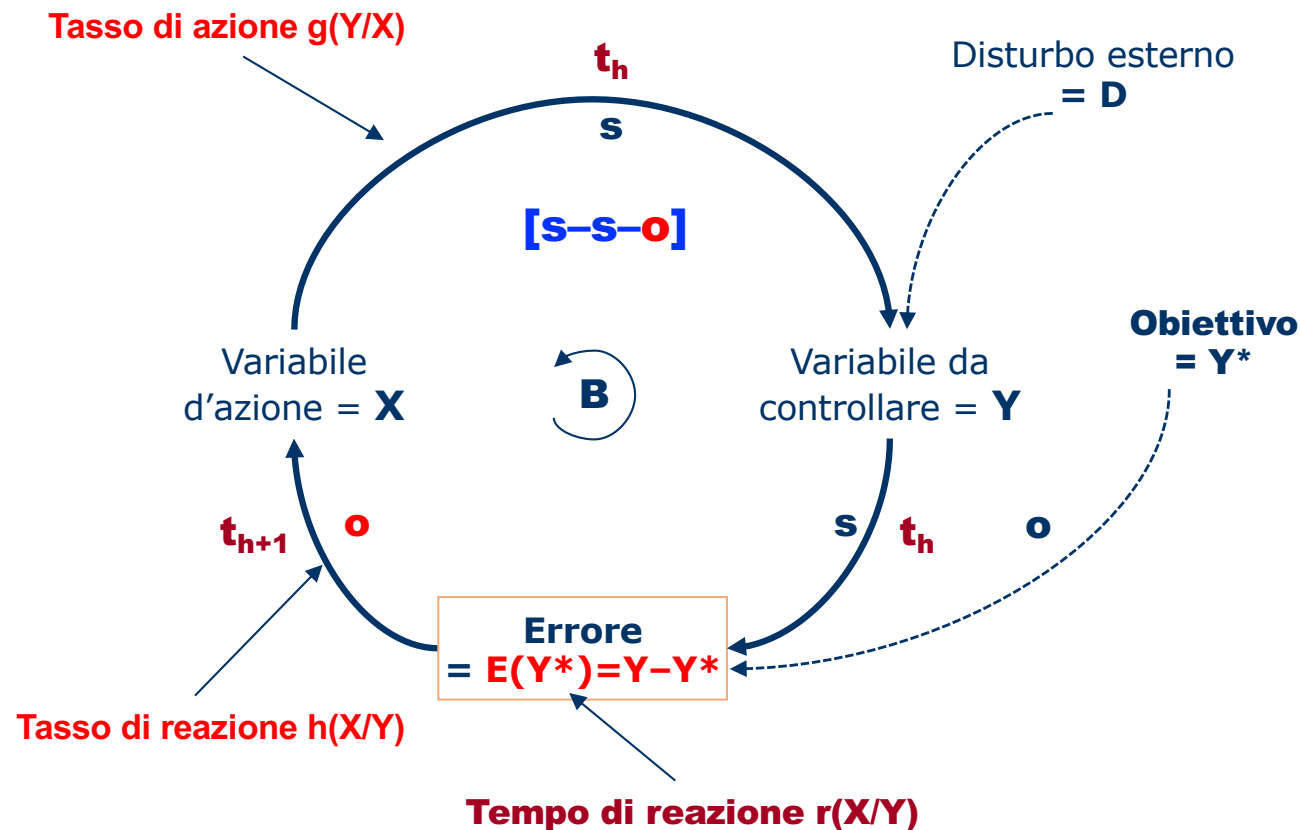


Prima variante dal modello generale

Sistemi [s-s-o]



- Il modello della pagine precedente è del tipo [s-o-s], in quanto l'Errore è calcolato assumendo come minuendo l'obiettivo: $E(Y) = Y^* - Y_t$.
- Come indicato nella Lezione 2, a Pagina 863, lo scostamento può essere calcolato anche invertendo gli addendi: $E(Y^*) = Y_t - Y^*$. In questo caso, il modello diventa [s-s-o].



Se **X** aumenta allora **Y** aumenta [senso «s»].
 Se **Y** aumenta, allora **E** aumenta [senso «s»].
 Se **E** aumenta allora **X** diminuisce [senso «o»].
 Il loop di bilanciamento risulta del tipo [s-s-o]

A parte il modo di calcolare l'Errore, il sistema di controllo presenta dinamiche del tutto analoghe a quelle della forma canonica

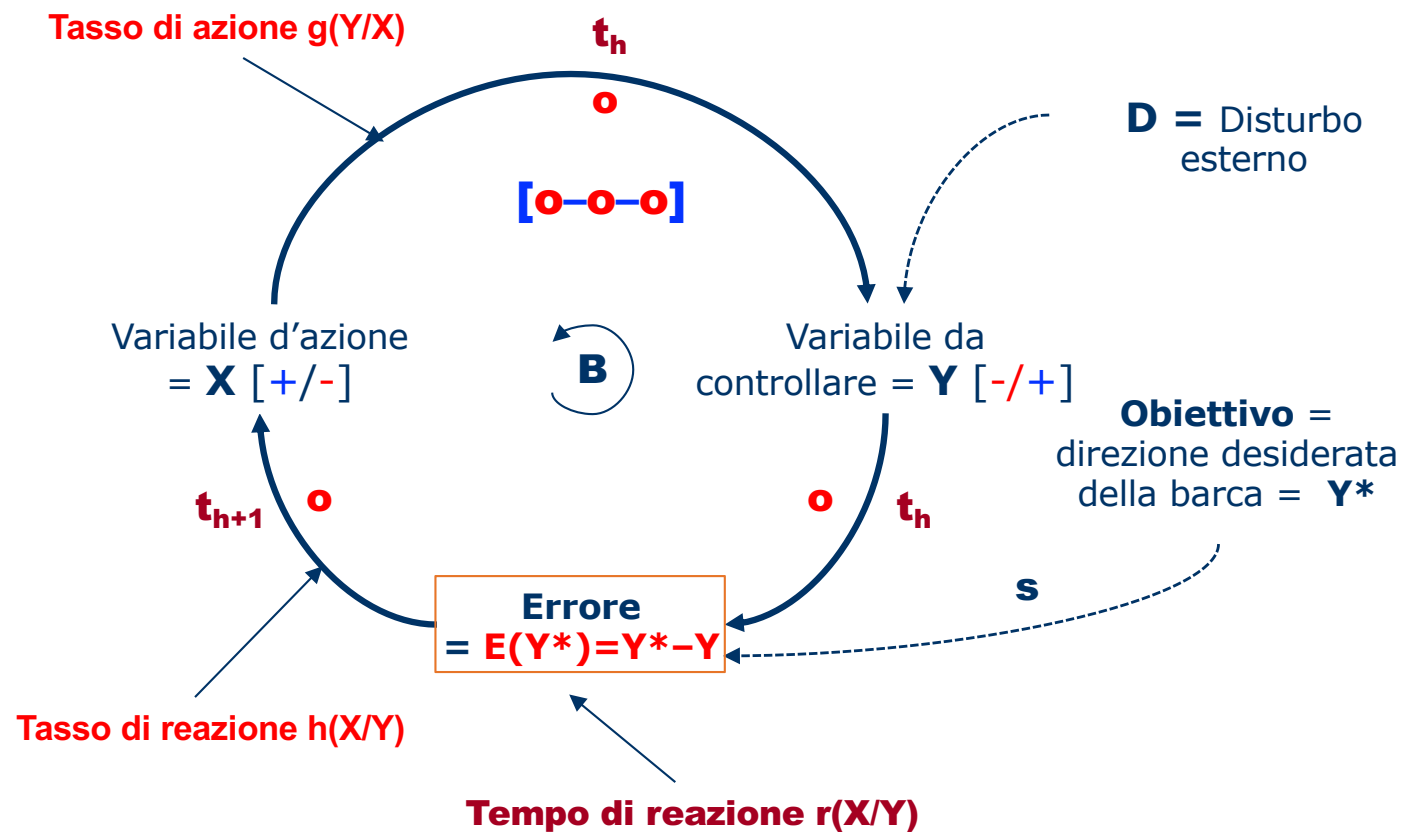


Seconda variante dal modello generale

Controllo inverso e Sistemi [o-o-o]



- Una notevole variante è quella del **sistema di controllo inverso** nel quale tra **X** e **Y** vi è un legame causale di senso «o». Ciò implica che **sia** tra **Y** ed **E** **sia** tra **E** ed **X** debba necessariamente esservi un legame causale di senso «o».
- Il **sistema di controllo inverso** appare, pertanto, come un loop di tipo [o-o-o].



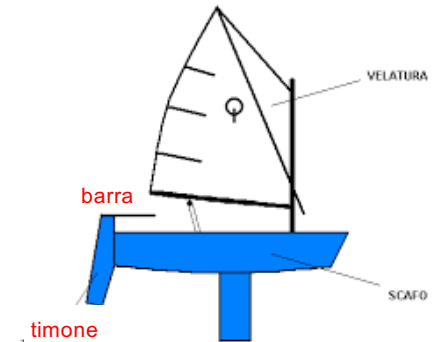
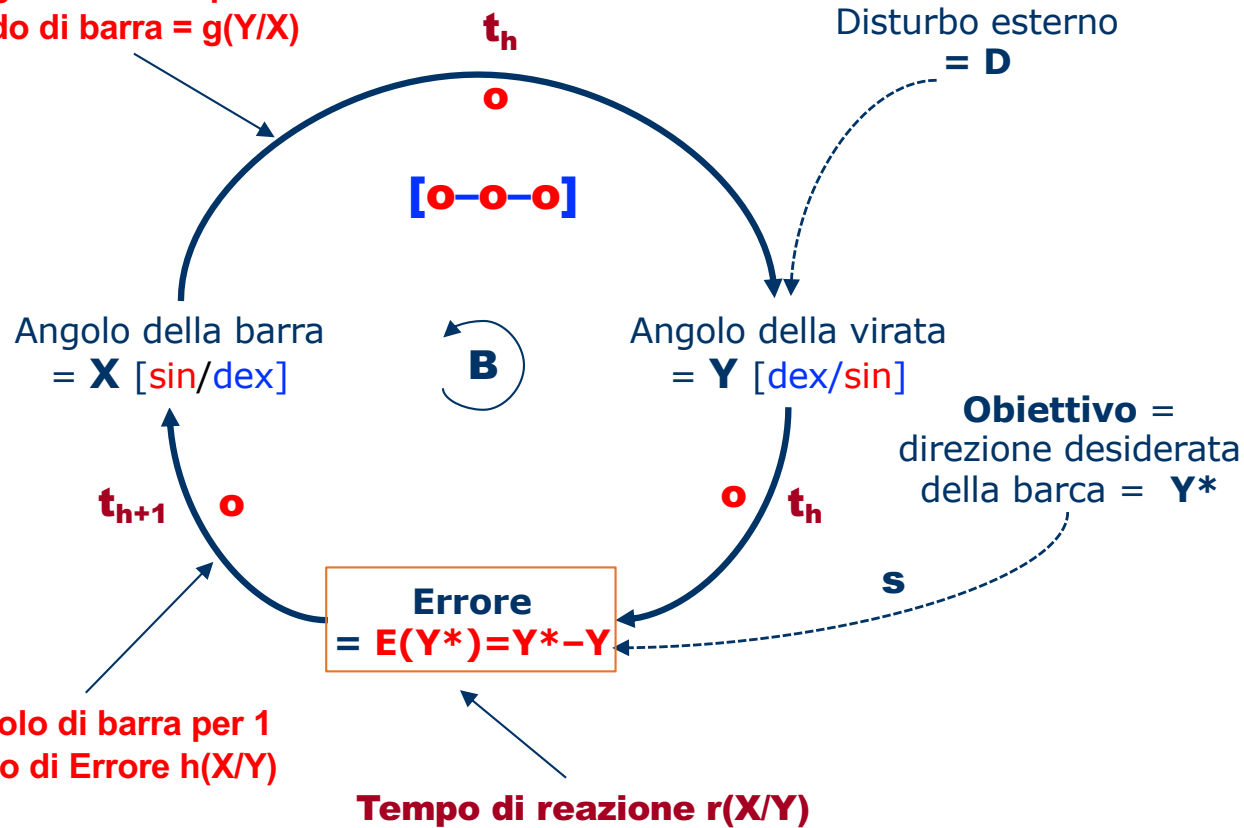
Se **X** aumenta allora **Y** diminuisce [senso «o»].
 Se **Y** diminuisce, allora **E** aumenta [senso «o»].
 Se **E** aumenta allora **X** diminuisce [senso «o»].
 Il loop di bilanciamento risulta del tipo [o-o-o].



Esempio 1 - Sistema di Controllo inverso

Barca con timone tradizionale a barra, a controllo manuale

Angolo di virata per 1 grado di barra = $g(Y/X)$

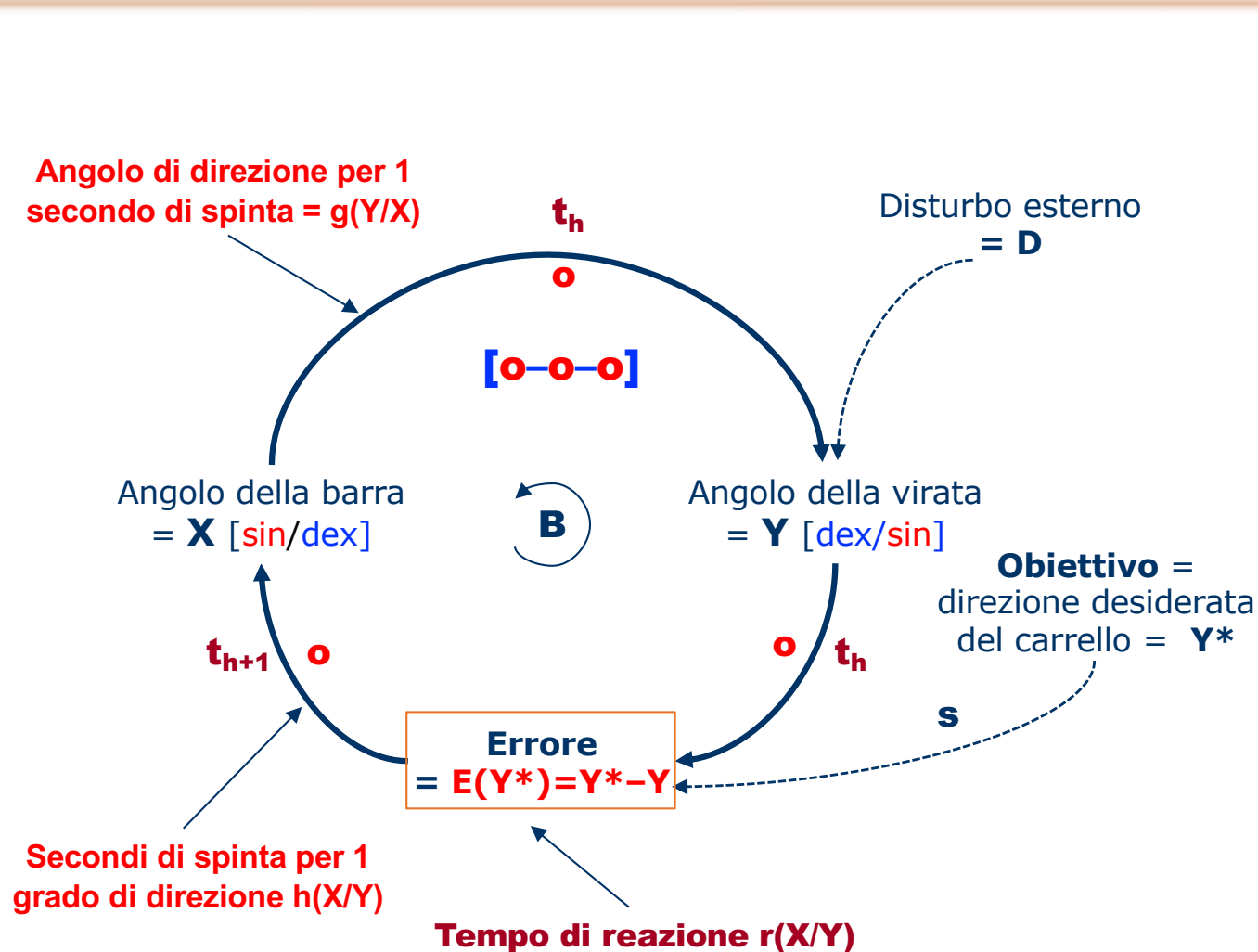


Il **controllo inverso** si osserva nella guida delle barche con **timone a barra**. Se la barca deve navigare in linea retta, allora la barra del timone è posizionata «al centro». Per la virata a **sinistra**, la barra del timone deve ruotare a **destra** e viceversa se la virata deve essere a destra. L'ampiezza della rotazione della barra dipende da quella della virata. Attuata la virata per l'angolo desiderato, la barra del timone è riposizionata «al centro».



Esempio 1 - Sistema di Controllo inverso

Carrello del supermercato



Se dobbiamo orientare a **destra** il **carrello al supermercato**, spingiamo con le mani sul lato **sinistro** della **barra**. Spingiamo con le mani la **barra a destra** se vogliamo che il carrello si orienti **a sinistra**. Se anziché spingere, **tirassimo** i lati della barra, otterremo lo stesso risultato: tirare la barra da un lato equivale a spingerla dall'altro.

L'**angolo di direzione** cambia in proporzione al **tempo di spinta** esercitato sulla barra



Tipologia dei sistemi di controllo

Sistemi manuali e cibernetici



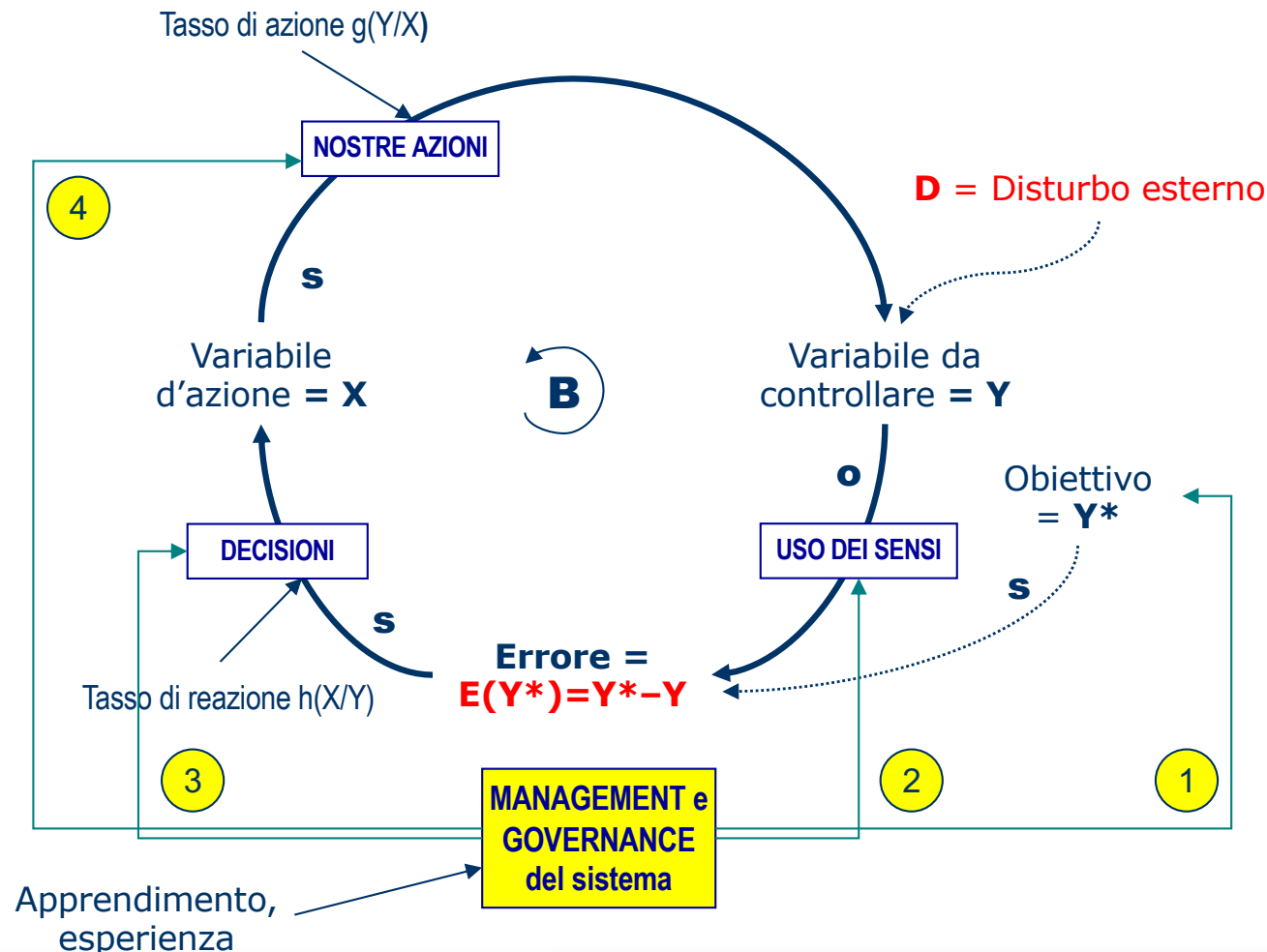
- **Nell'ambito del modello generale, si possono individuare due grandi classi di sistemi:**
 - **Sistemi a Controllo manuale – Per un osservatore esterno**, si definisce **manuale** o **non automatico** un **sistema di controllo** che operi **per tentativi**, in una successione di calcoli, decisioni, azioni e rilevazioni condotti **con interventi umani**, cioè dal **manager**. **Sono solitamente artificiali**, costruiti, in tutto o in parte, dall'uomo.
 - **Sistemi a Controllo automatico** o «**cibernetici**» – **Per un osservatore esterno**, si definisce **automatico** un Sistema di Controllo capace **di auto-funzionamento**, tramite una catena di controllo formata da **apparati meccanici, biologici o sociali** che si avviano e funzionano senza l'intervento di un **manager**. Sono in gran parte **automatici** i sistemi **naturali** e molti **sistemi artificiali**.
 - In effetti una gran varietà di sistemi, sia in tecnologia che nella natura vivente, segue lo schema retroattivo, ed è ben noto che, appunto per poter trattare questi fenomeni, Norbert Wiener ha introdotto la nuova disciplina della cibernetica. La teoria tenta di dimostrare che i meccanismi di natura retroattiva costituiscono la base del comportamento teleologico, ovvero dotato di fini, sia nella macchine costruite dall'uomo che negli organismi viventi e nei sistemi sociali (von Bertalanffy, 1971, p. 81).
 - Abbiamo deciso di chiamare l'intero campo della teoria del controllo e della comunicazione sia nella macchina che negli animali con il nome di cibernetica che deriva dal greco κυβερνήτης [kubernētēs] [così nell'originale] ovvero timoniere (Wiener, 1968, p. 35).



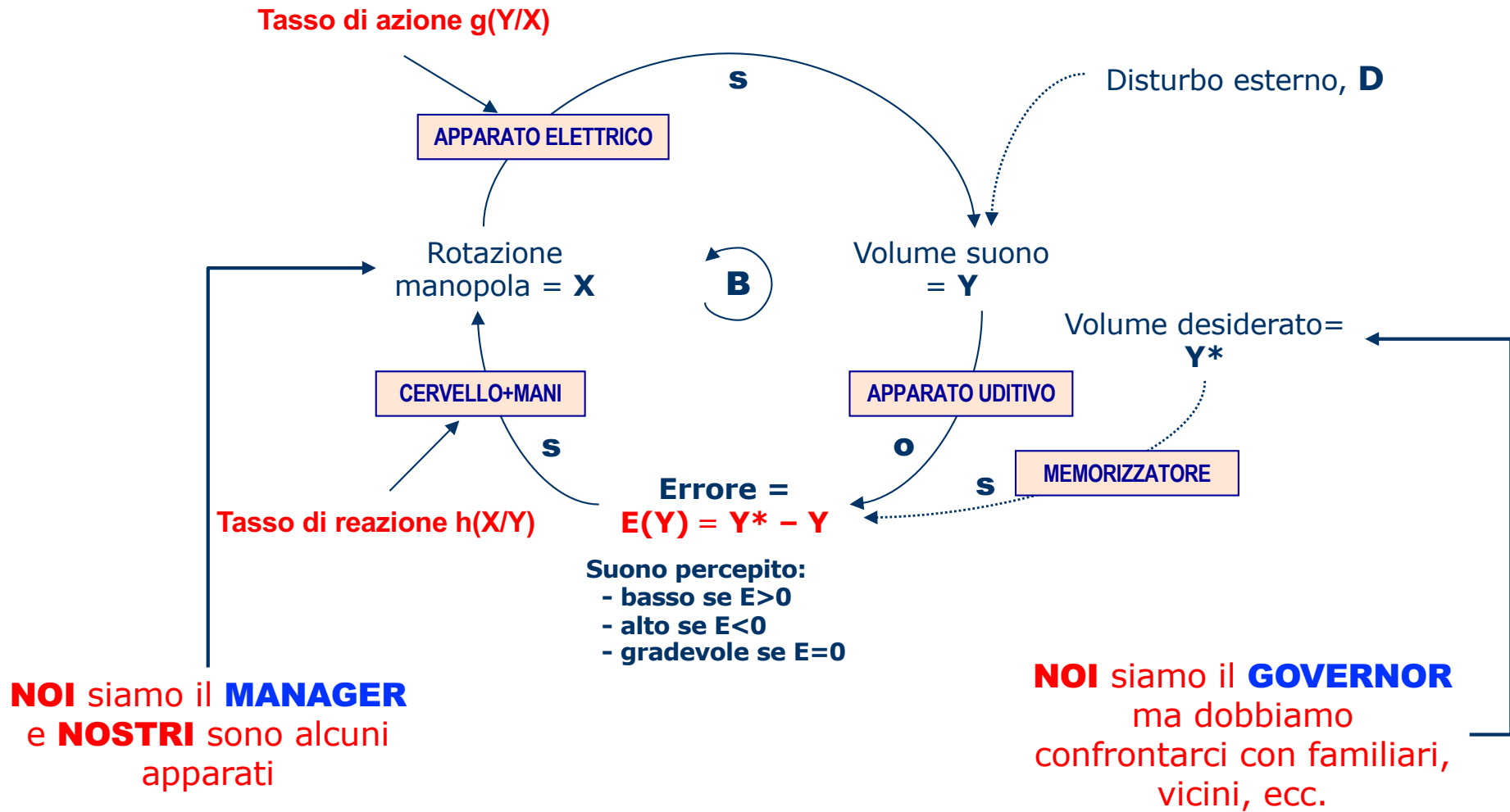
Forme di intervento umano nei Sistemi di Controllo



- La distinzione tra sistemi **manuali** o **automatici** non è semplice, perché l'intervento umano nei Sistemi di Controllo **artificiali** può assumere forme e intensità alquanto differenti come rappresentato dal modello seguente.

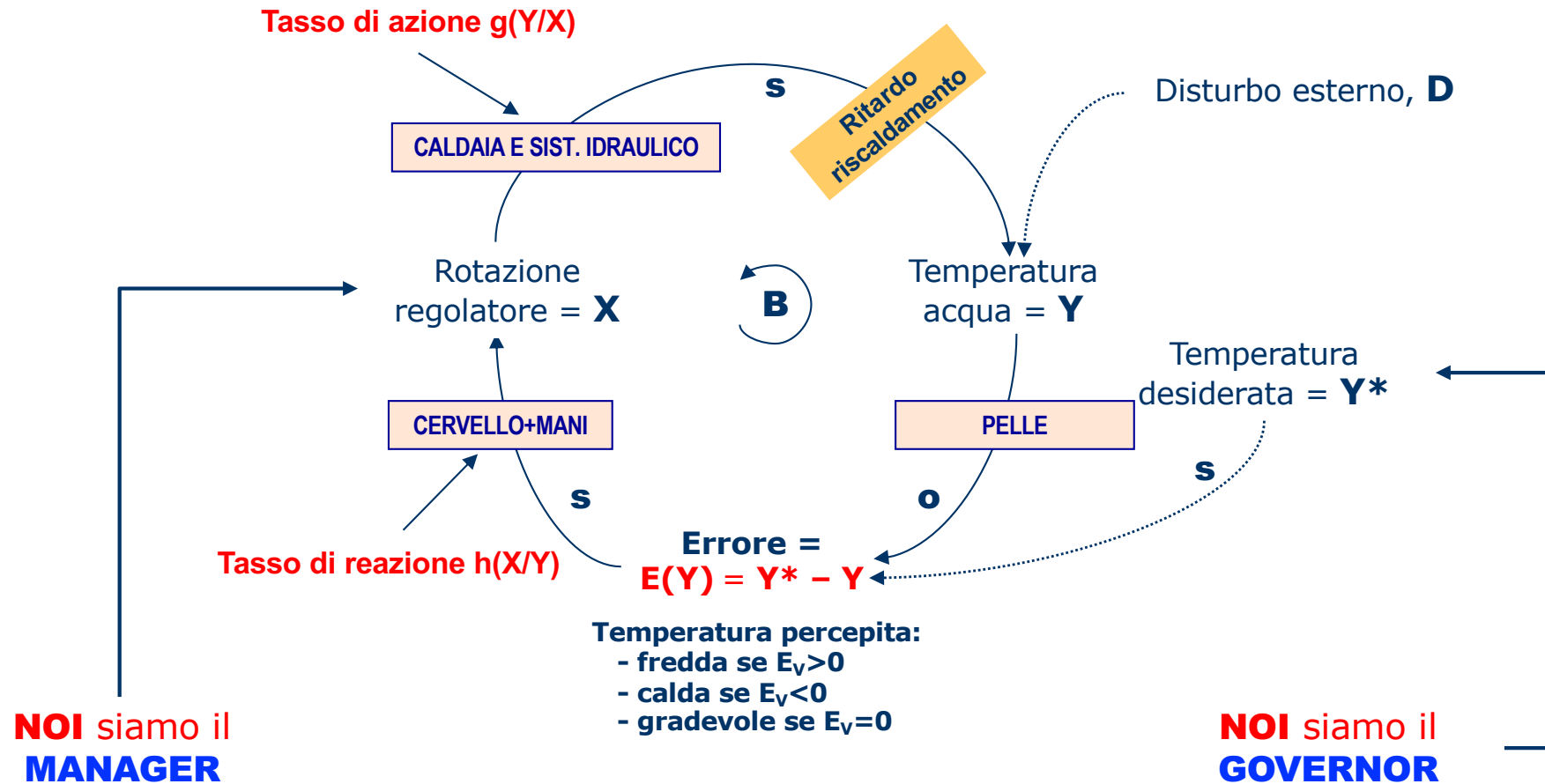


Sistema di controllo manuale Audio



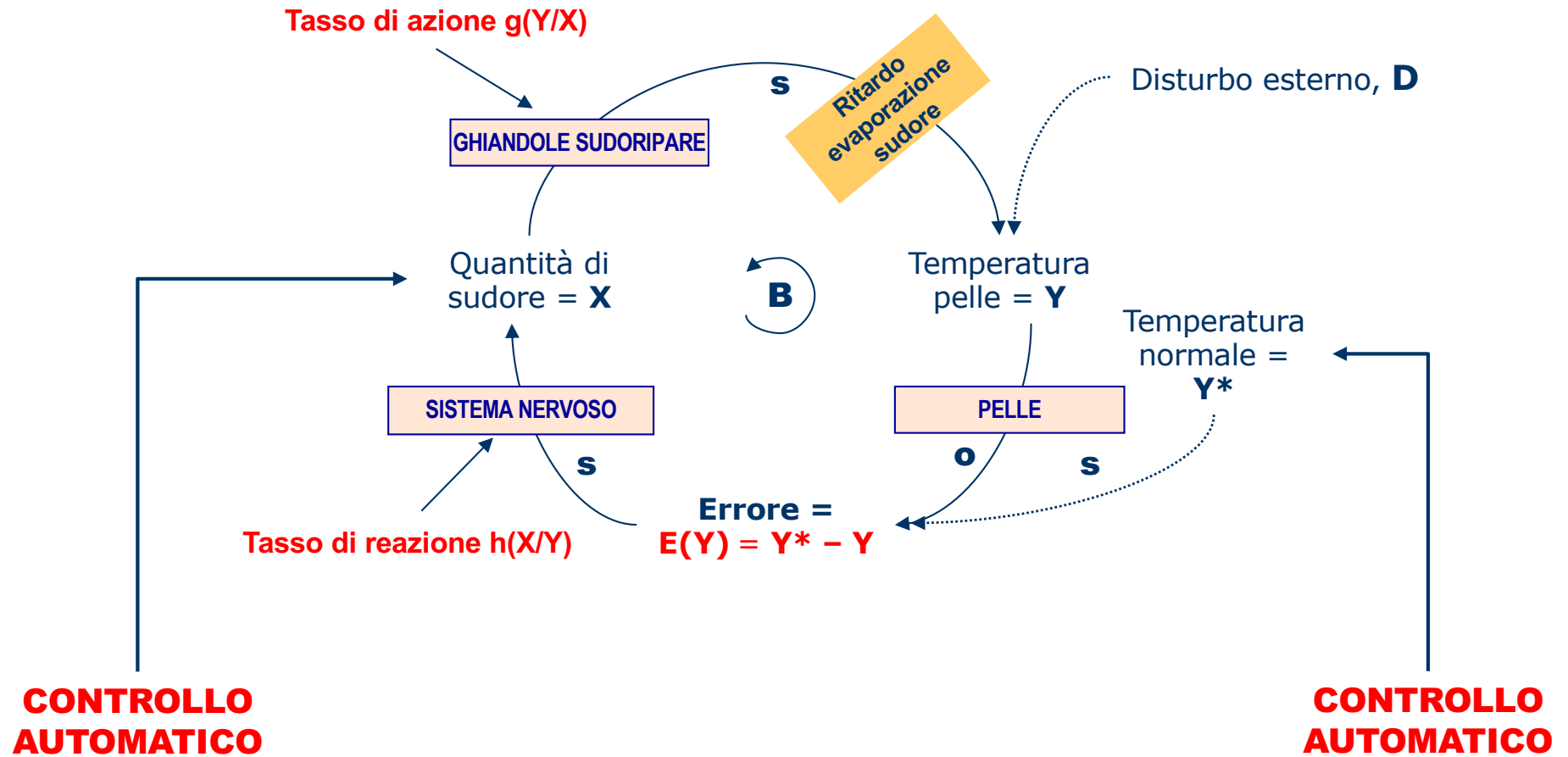
Sistema di controllo manuale

Doccia



Sistema di controllo cibernetico

Temperatura fisiologica con calore esterno



È un esempio di sistema «cibernetico» naturale.
Sudiamo anche senza volerlo.



Tipologia di controllo per natura e tipo di obiettivo

Goal seeking (obiettivo) e Constraint keeping (vincolo, limite)

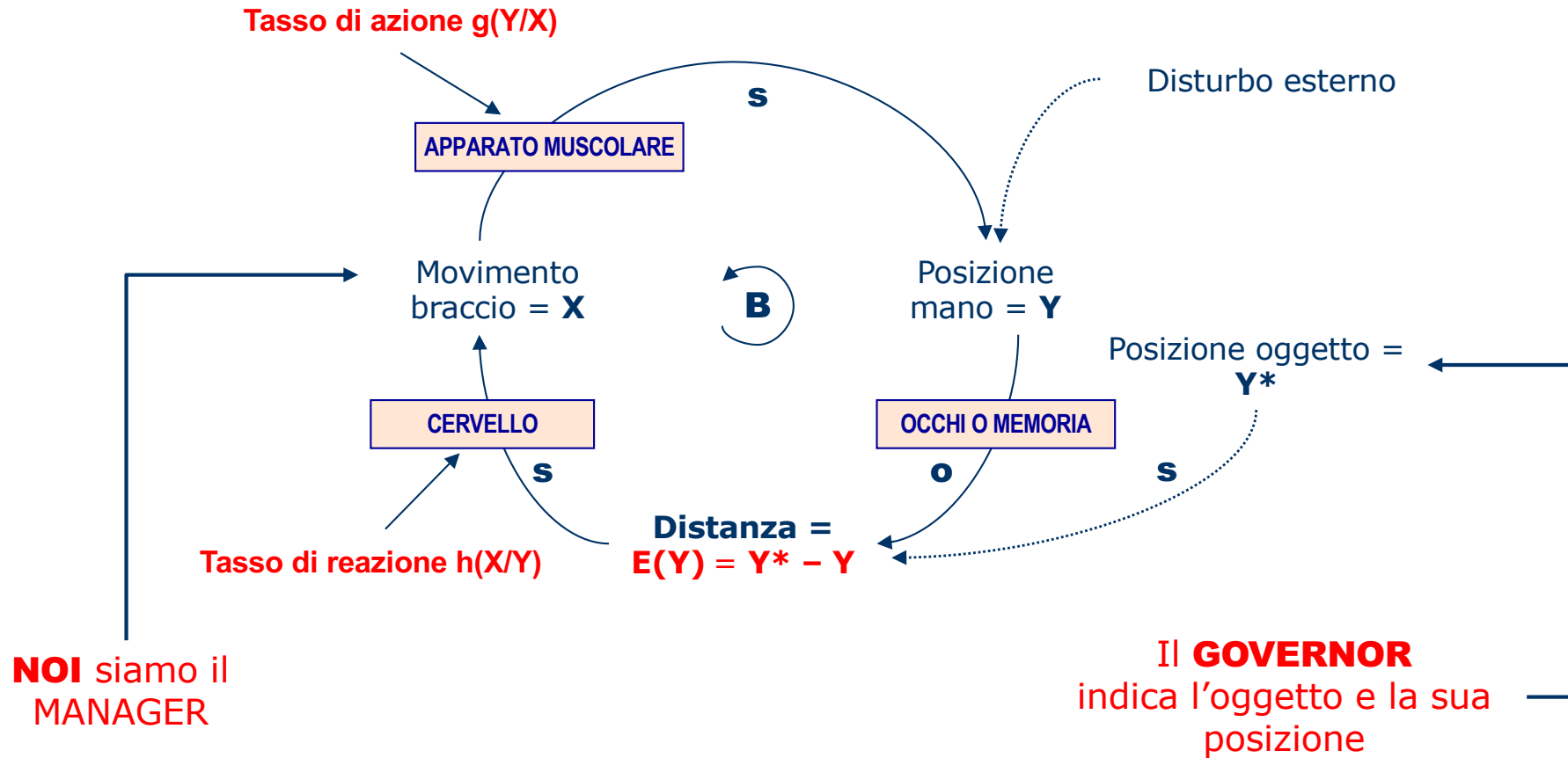


- Nell'ambito del modello generale, a seconda della **natura dell'obiettivo** si possono individuare **due grandi classi** di sistemi di controllo:
 - **Sistemi di Controllo quantitativi** nei quali Y è una **quantità misurabile**. Tra essi prevalgono i **Sistemi di raggiungimento** o **“Attainment CSs”**
 - **Sistemi di Controllo qualitativi** (Y è una qualità osservabile) tra cui prevalgono i **Sistemi di riconoscimento/identificazione** o **“Recognizing CSs”**
- A seconda del **tipo di obiettivo** si possono individuare **importanti grandi classi** di sistemi di controllo:
 - **Goal seeking** systems, o **sistemi di raggiungimento**, quelli nei quali Y^* rappresenta un **obiettivo** voluto dalla governance del sistema per esempio conseguire o un **risultato** o raggiungere o mantenere standard di **funzionamento**; in questa classe si possono includere i:
 - **Regulatory systems**, o **sistemi di regolazione**, quelli nei quali Y^* è un **valore** da mantenere nel tempo.
 - **Tracking Systems** o **Path Systems**, o **sistemi di tracciamento**, o **di percorso**, quelli nei quali Y^* è una **successione** o **traiettoria di valori**, comunque formata, cui la Y_t deve conformarsi.
 - **Constraint keeping** systems quelli nei quali Y^* rappresenta un **vincolo** o un **limite** da rispettare. Possono anch'essi essere **Regulatory** o **Path Systems**.



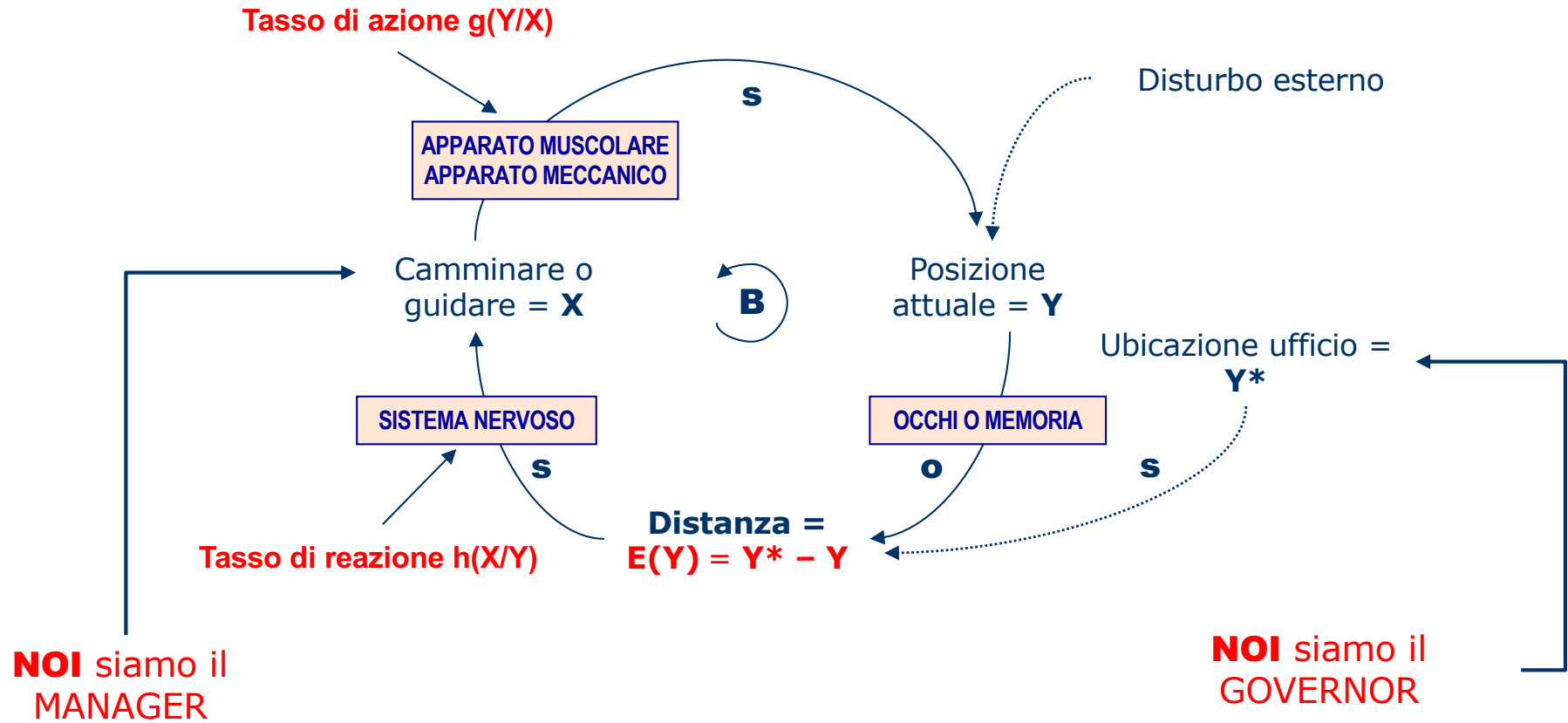
Sistema di Raggiungimento

Afferrare un oggetto

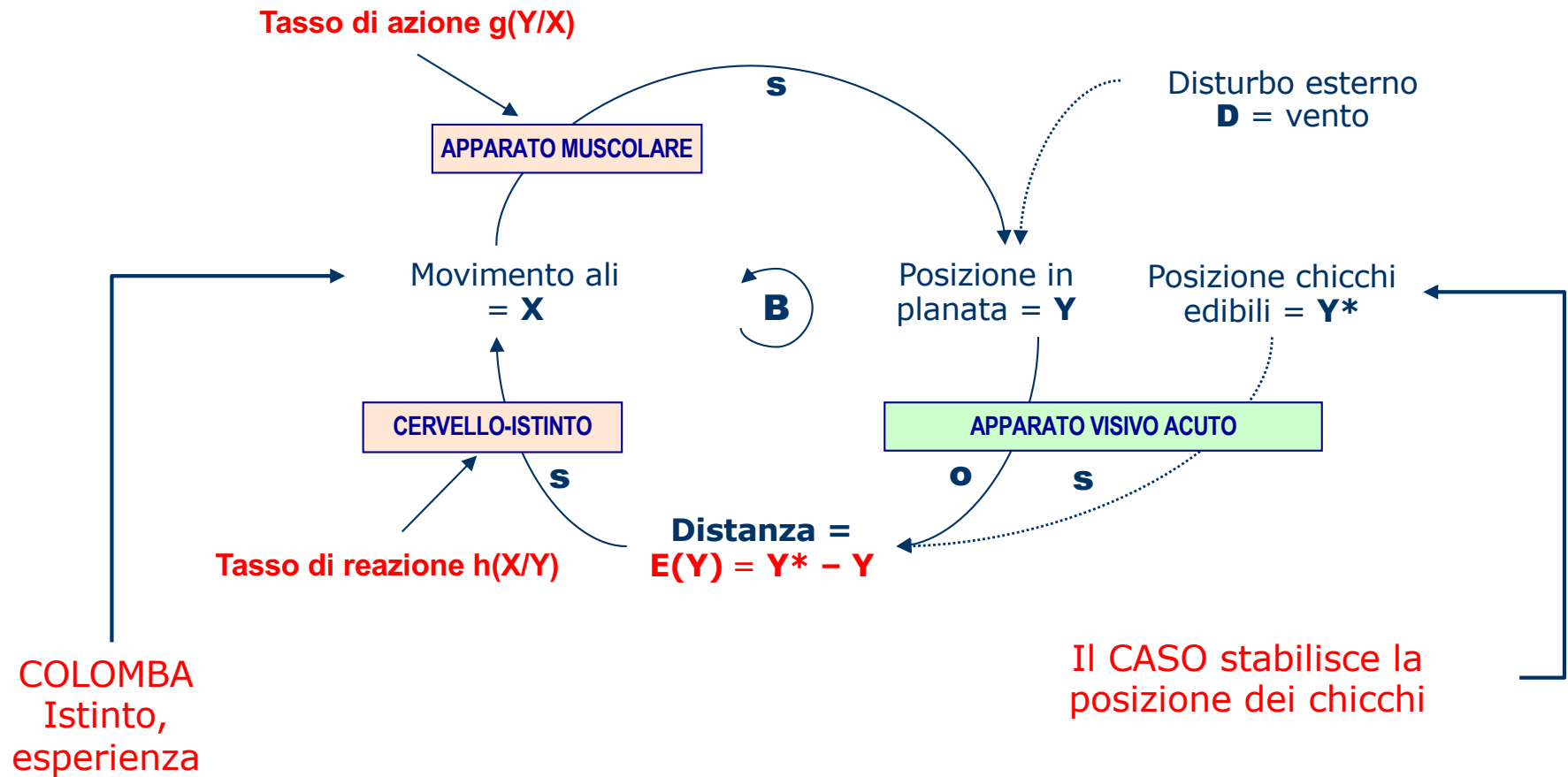


Sistema di Raggiungimento

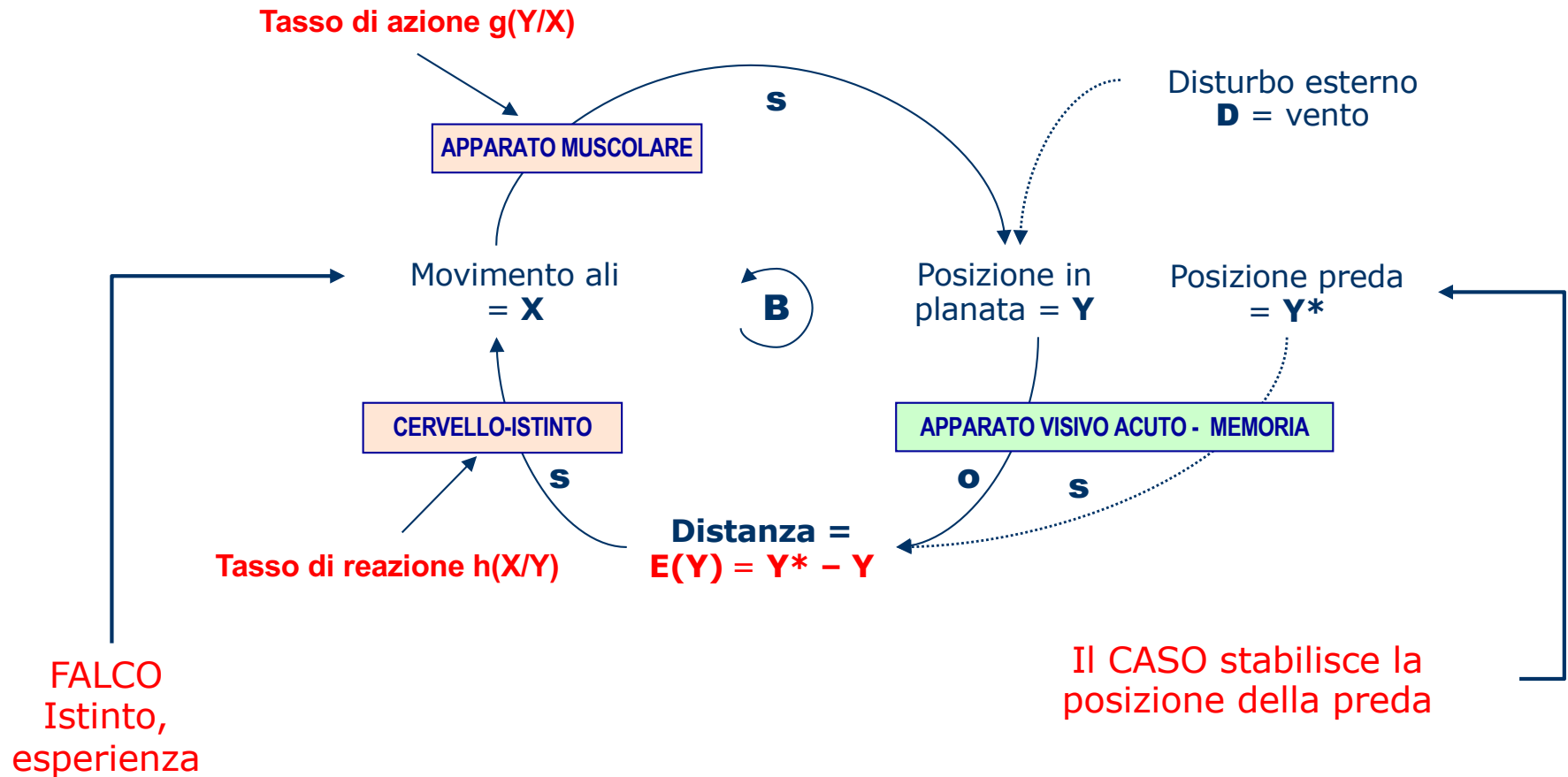
Raggiungere l'ufficio



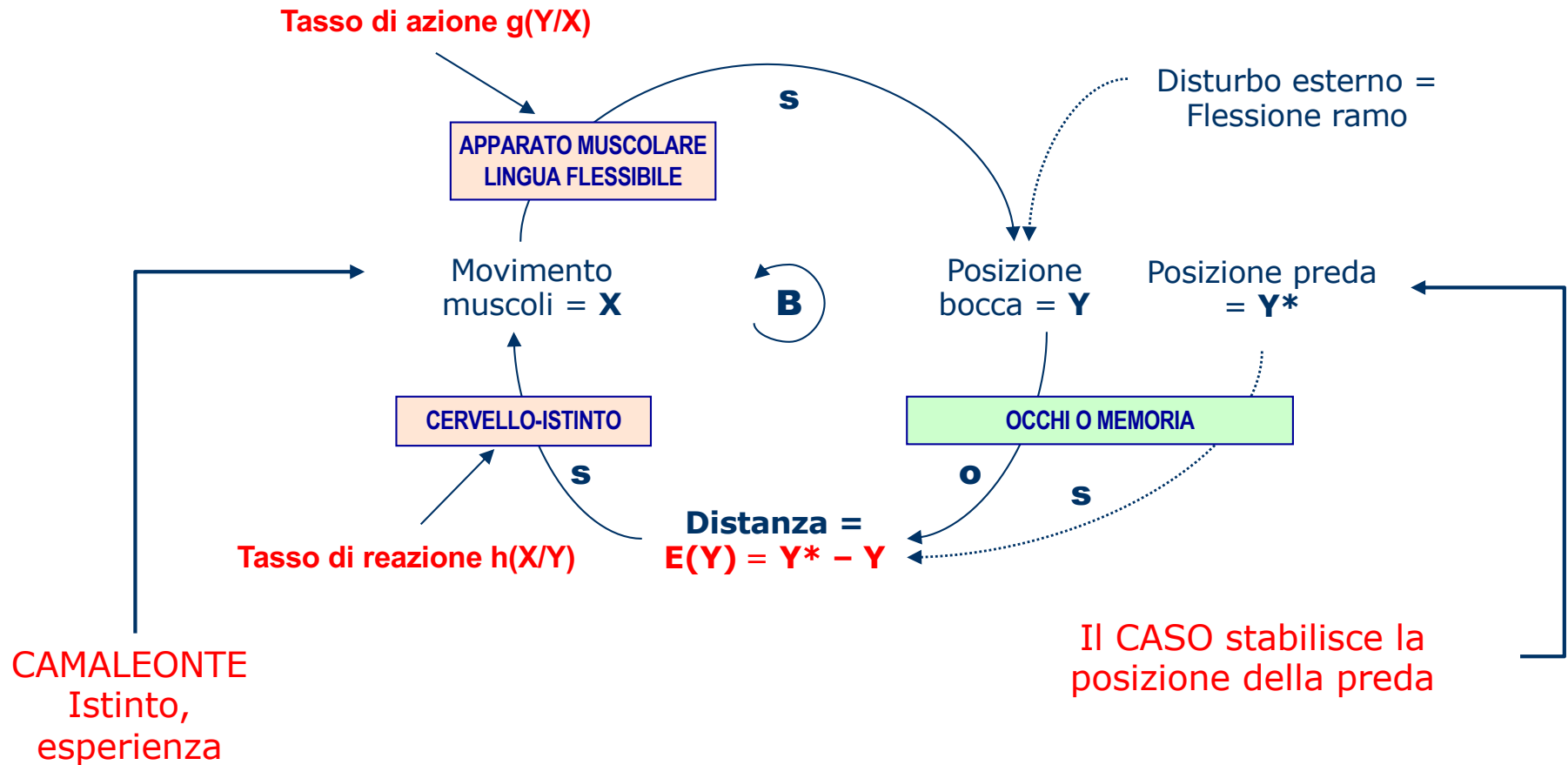
Sistema di Raggiungimento Colomba



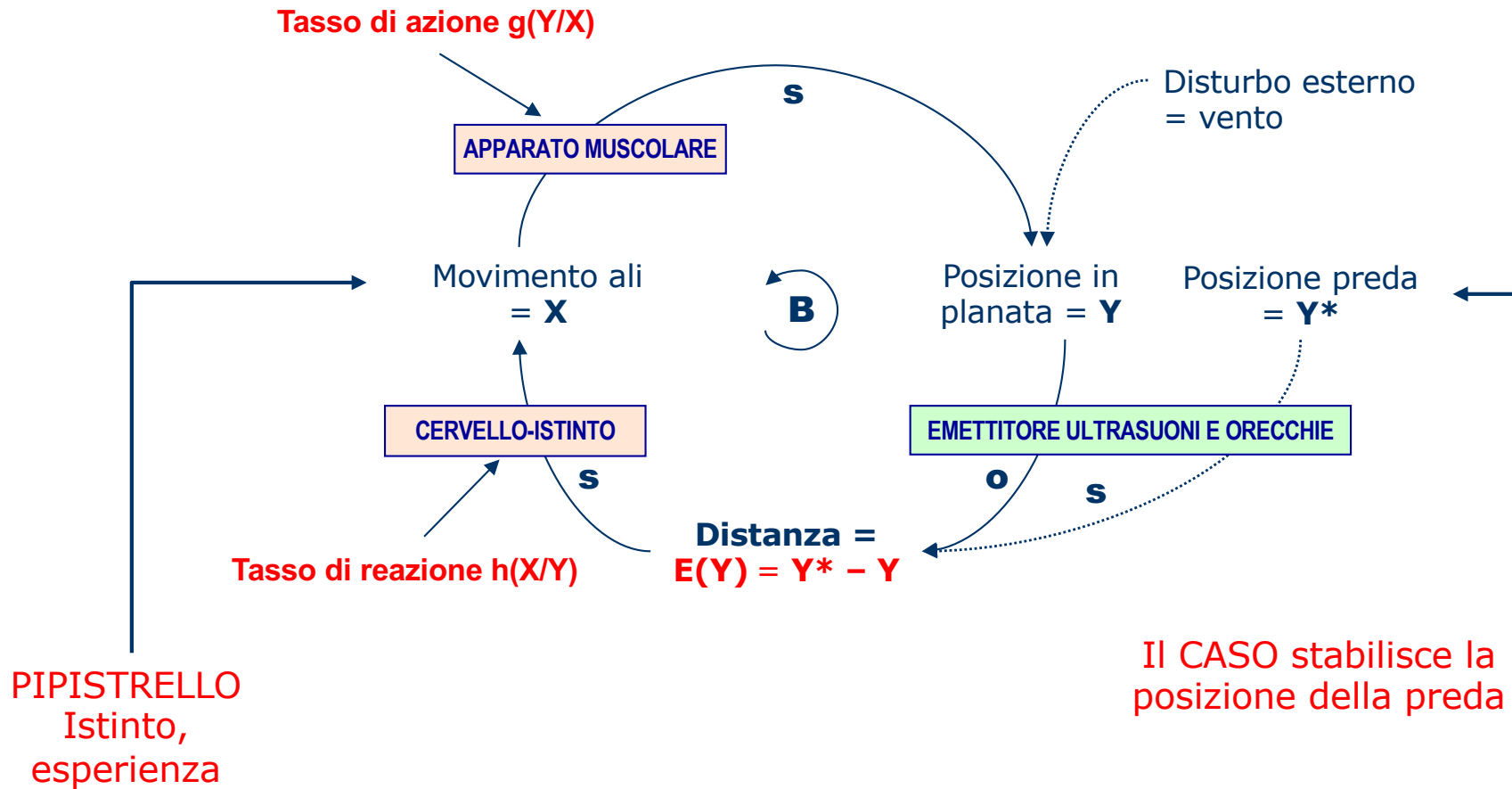
Sistema di raggiungimento Falco



Sistema di raggiungimento Camaleonte

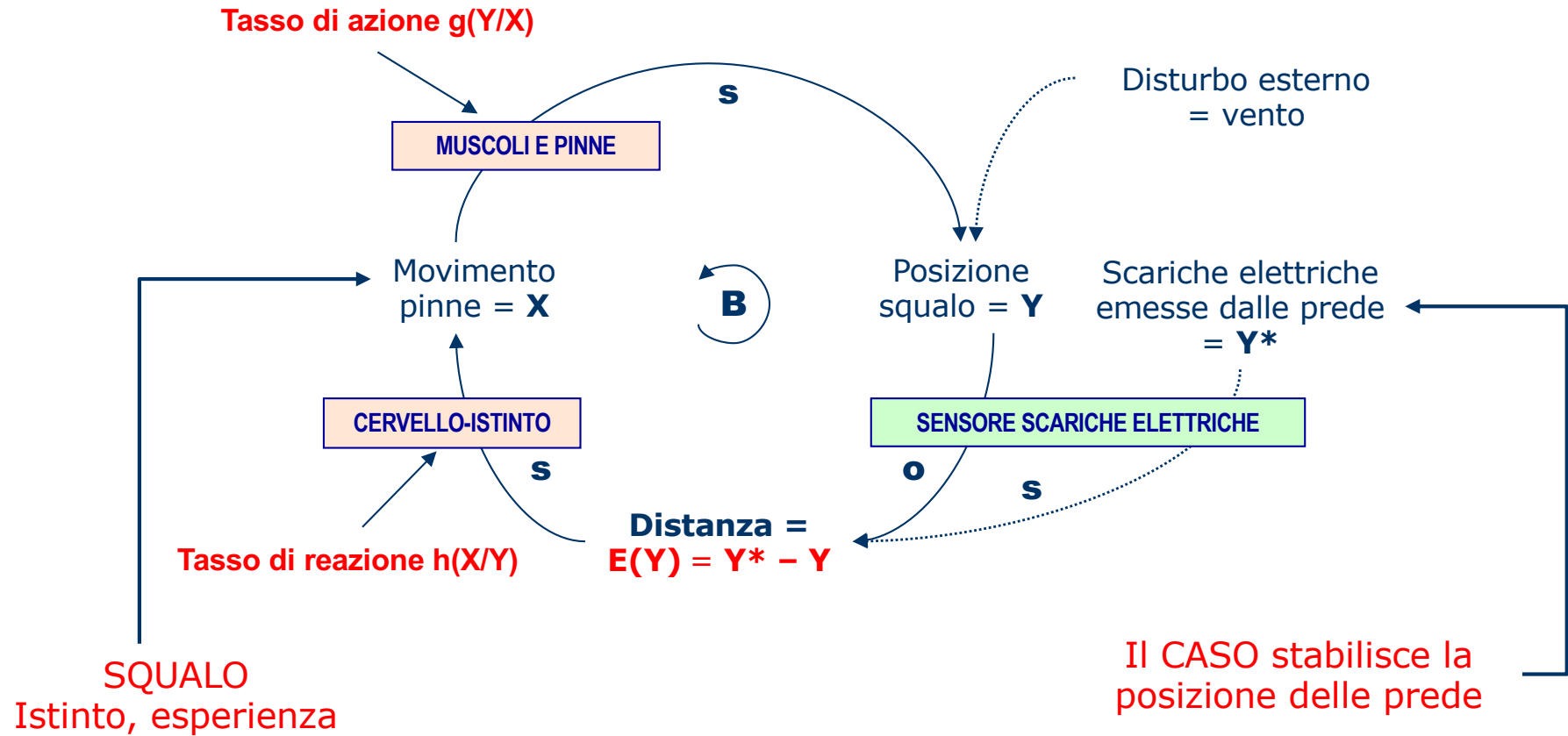


Sistema di raggiungimento Pipistrello



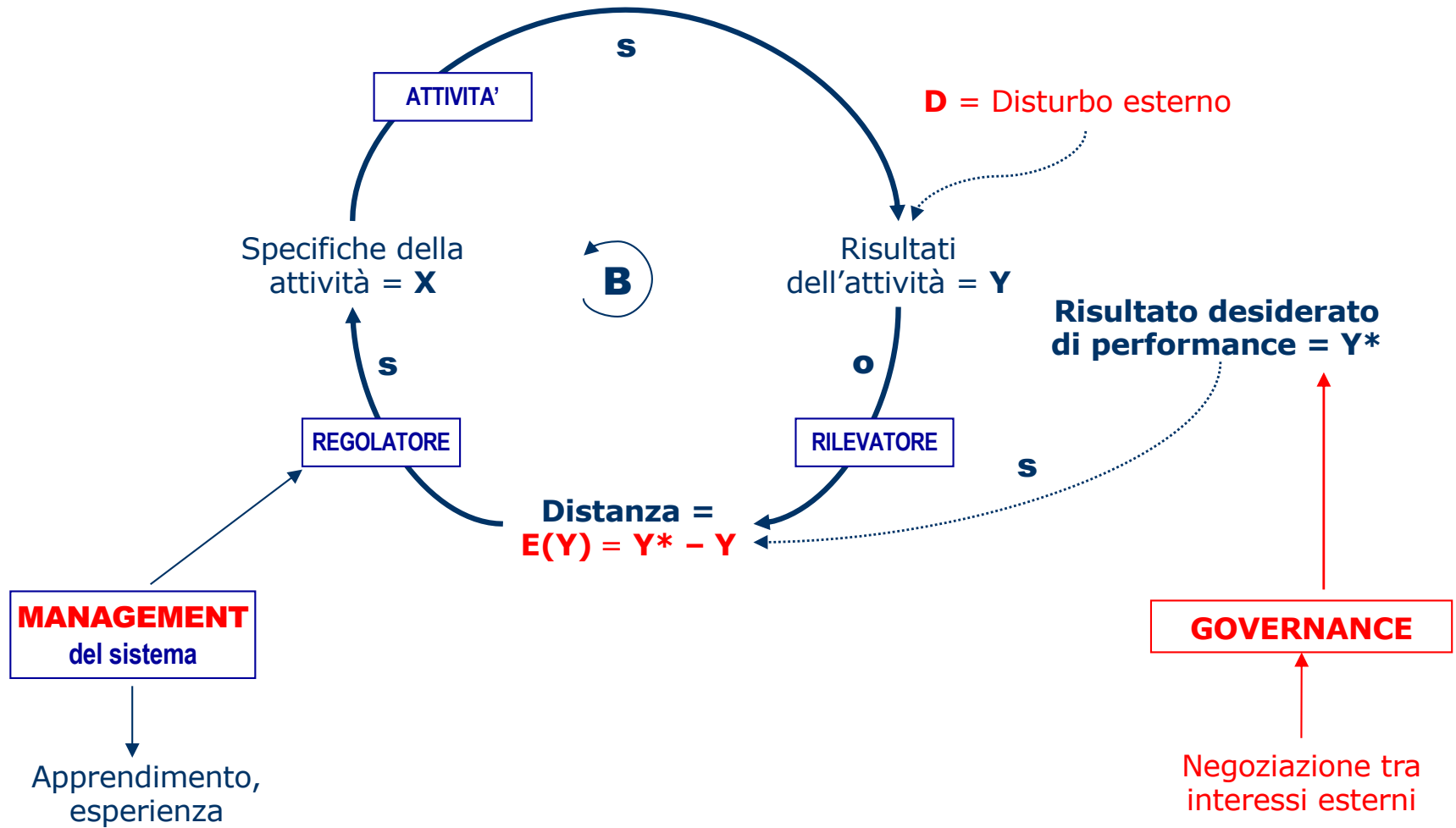
Sistema di raggiungimento

Squalo bianco



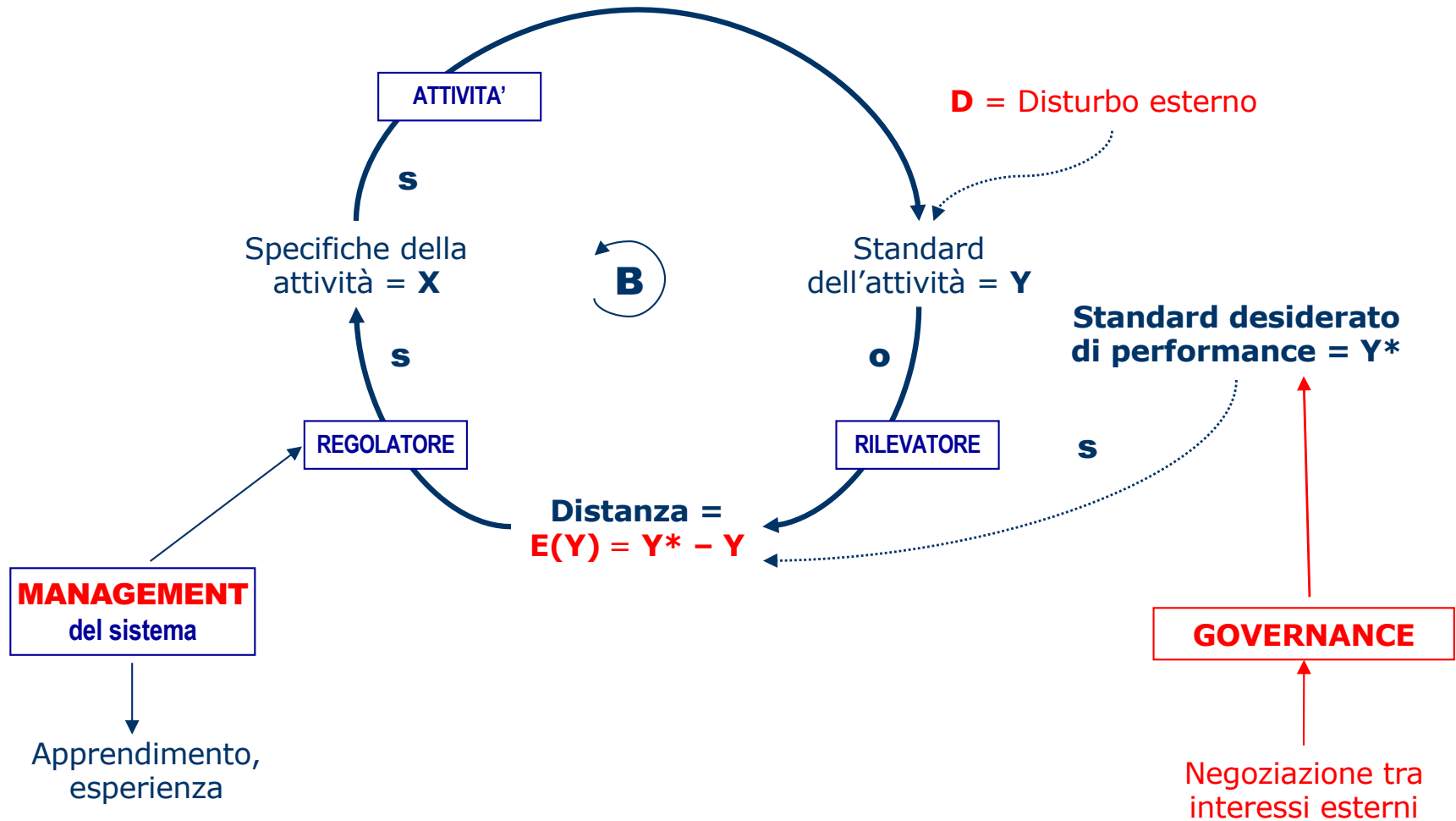
Sistema di Raggiungimento

Risultati di un'attività



Sistema di Raggiungimento

Standard di un'attività



Uno sguardo all'evoluzione biologica dei Sistemi di Controllo



- L'evoluzione biologica ha portato al progressivo miglioramento dei Sistemi di Controllo della vita mediante un progressivo miglioramento degli **apparati biologici** della catena di controllo degli esseri viventi.
 - Evoluzione degli **effettori** e, in particolare di:
 - Apparati di movimento (arti, pinne, ecc.)
 - Apparati per afferrare (denti, becco, mani, chele, ecc.)
 - Evoluzione dei **rilevatori** e, in particolare di:
 - Apparati sensori tattili, olfattivi, uditivi, visivi, e molti altri ancora
 - Apparati di memorizzazione (evoluzione del cervello)
 - Evoluzione dei **regolatori** e, in particolare dei regolatori coscienti (cervello, da reattivo a capacità decisionali attive).
- **Tutti gli esseri viventi devono nutrirsi ma raggiungono il cibo in forme diverse:**
 - Viventi il cui nutrimento è un **obiettivo fisso** (viventi che si nutrono di vegetali o di animali che non si muovono)
 - Viventi il cui nutrimento è un **obiettivo dinamico** (viventi che si nutrono di prede animali che si muovono per sfuggire al predatore)
 - Viventi il cui cibo è un **flusso casuale** (che non si spostano e attendono che il cibo arrivi a loro: vegetali, molti animali acquatici)
- L'uomo si è evoluto: da **cacciatore** (cibo come obiettivo dinamico, faticoso da raggiungere) è diventato **coltivatore** e **allevatore** (cibo come obiettivo fisso).





“Recognizing CSs”

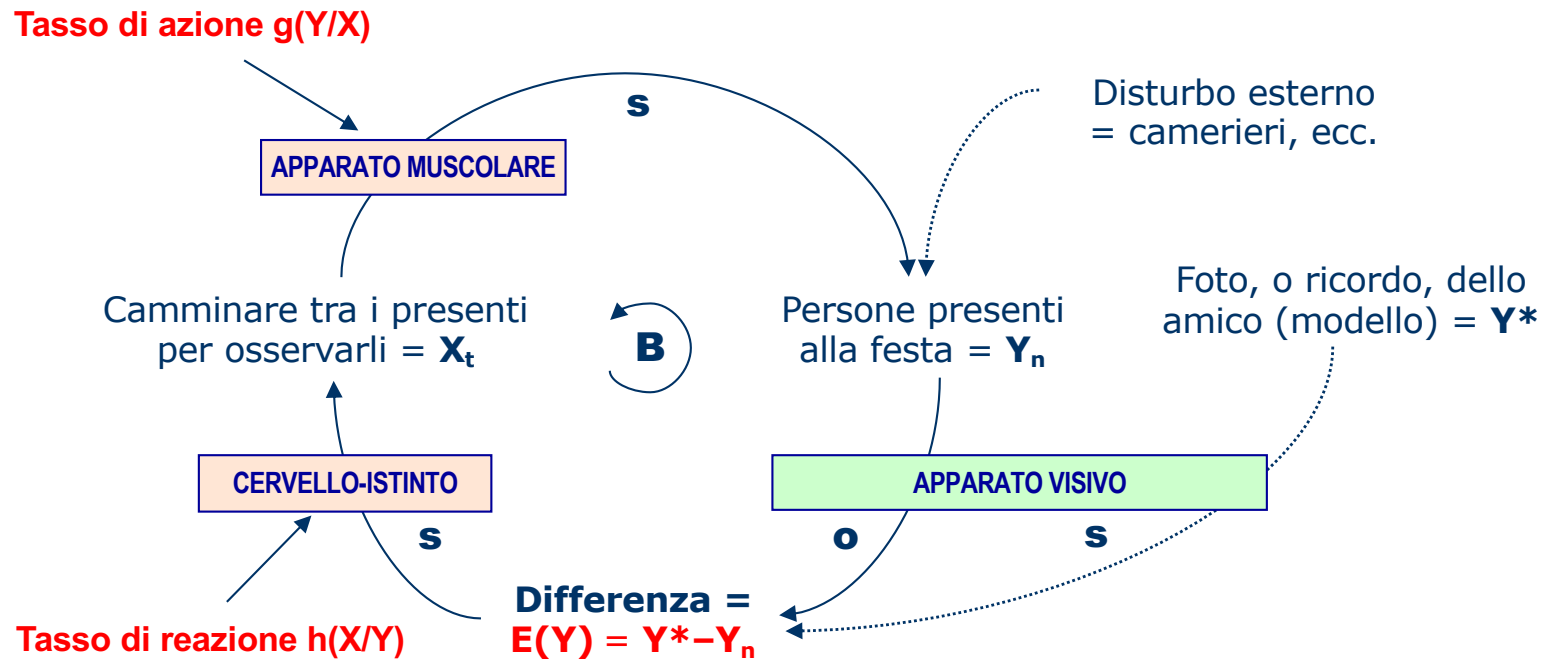
Sistemi di Individuazione: Riconoscimento e Identificazione

- Definisco **di individuazione** un Sistema di Controllo qualitativo che consente di **riconoscere** o di **identificare** un oggetto.
 - Di norma **il riconoscimento** risponde alla domanda **“DOV’È?”** l’oggetto che si vuole riconoscere?
 - Di norma **l’identificazione** risponde alla domanda **“COS’E’?”** l’oggetto che si vuole riconoscere?
- **Riconoscimento:**
 - Y^* = «un **modello**» del quale dobbiamo individuare **l’oggetto da riconoscere**
 - Y_t = «un insieme di **oggetti**» che si possono osservare per **riconoscere** quello corrispondente al modello. **«DOV’E? l’oggetto?»**
- **Identificazione:**
 - Y^* = «un **oggetto** da identificare»
 - Y_t = «un insieme di **modelli**» tra i quali vi è quello corrispondente all’oggetto da identificare. **«CHE oggetto È?»**
- La distinzione non sempre è netta. Preferisco il termine generale:
Individuazione = Riconoscimento o Identificazione



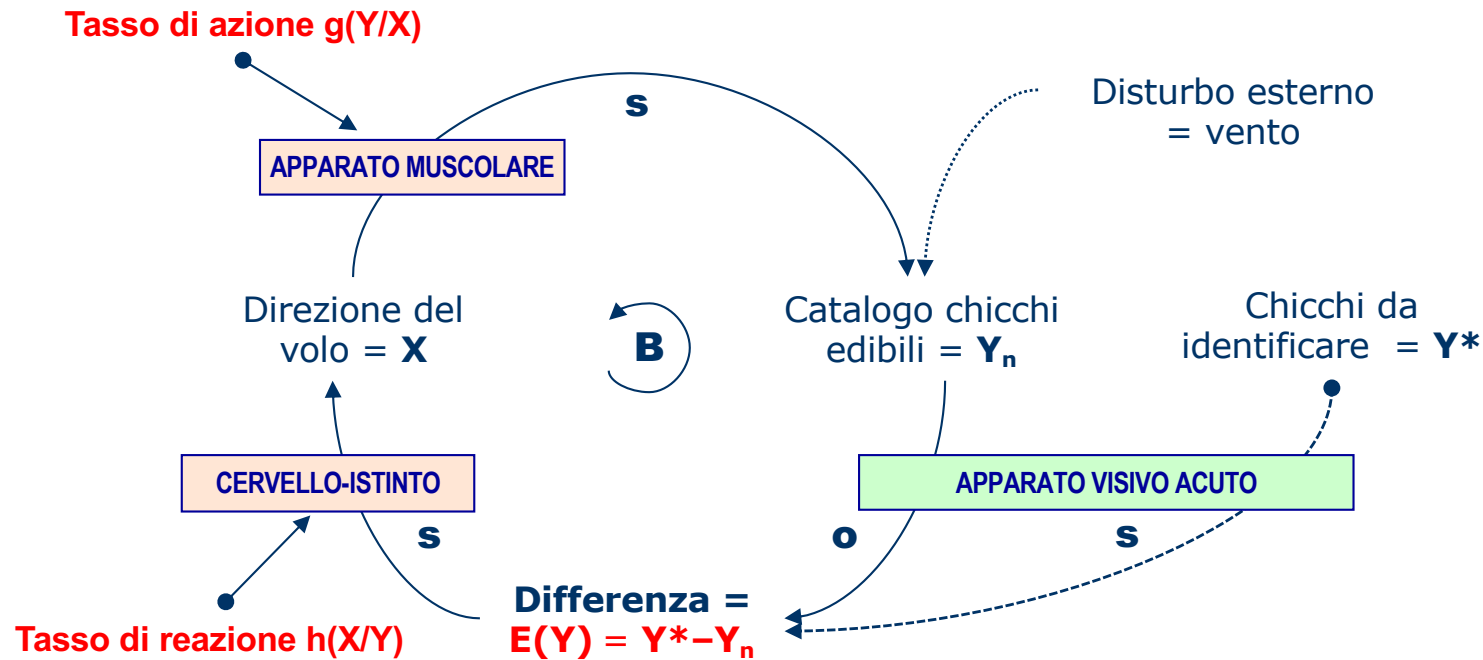
Sistema di Riconoscimento

Riconoscere un Amico alla festa



Sistema di Identificazione

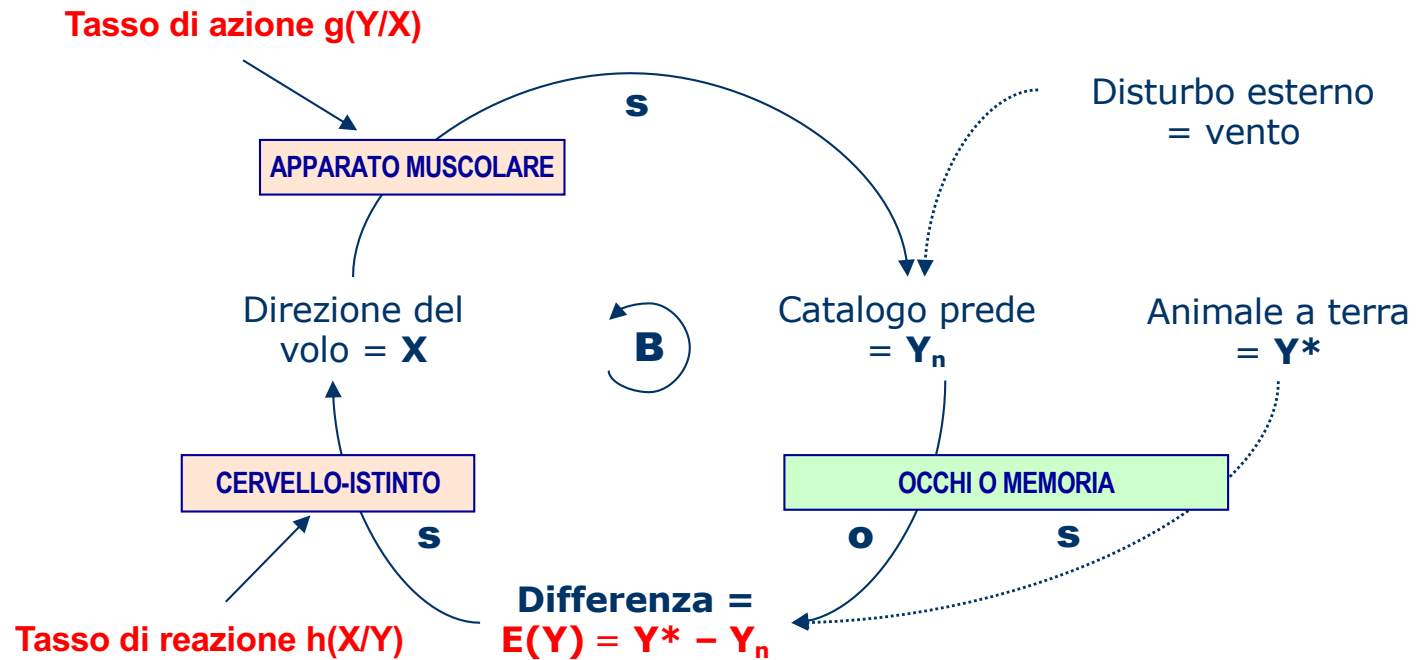
Colomba in cerca di cibo



Normalmente quando si cerca il cibo, alla Identificazione segue il Raggiungimento. Il sistema della **Colomba** è a **obiettivo fisso**.



Sistema di Identificazione Falco

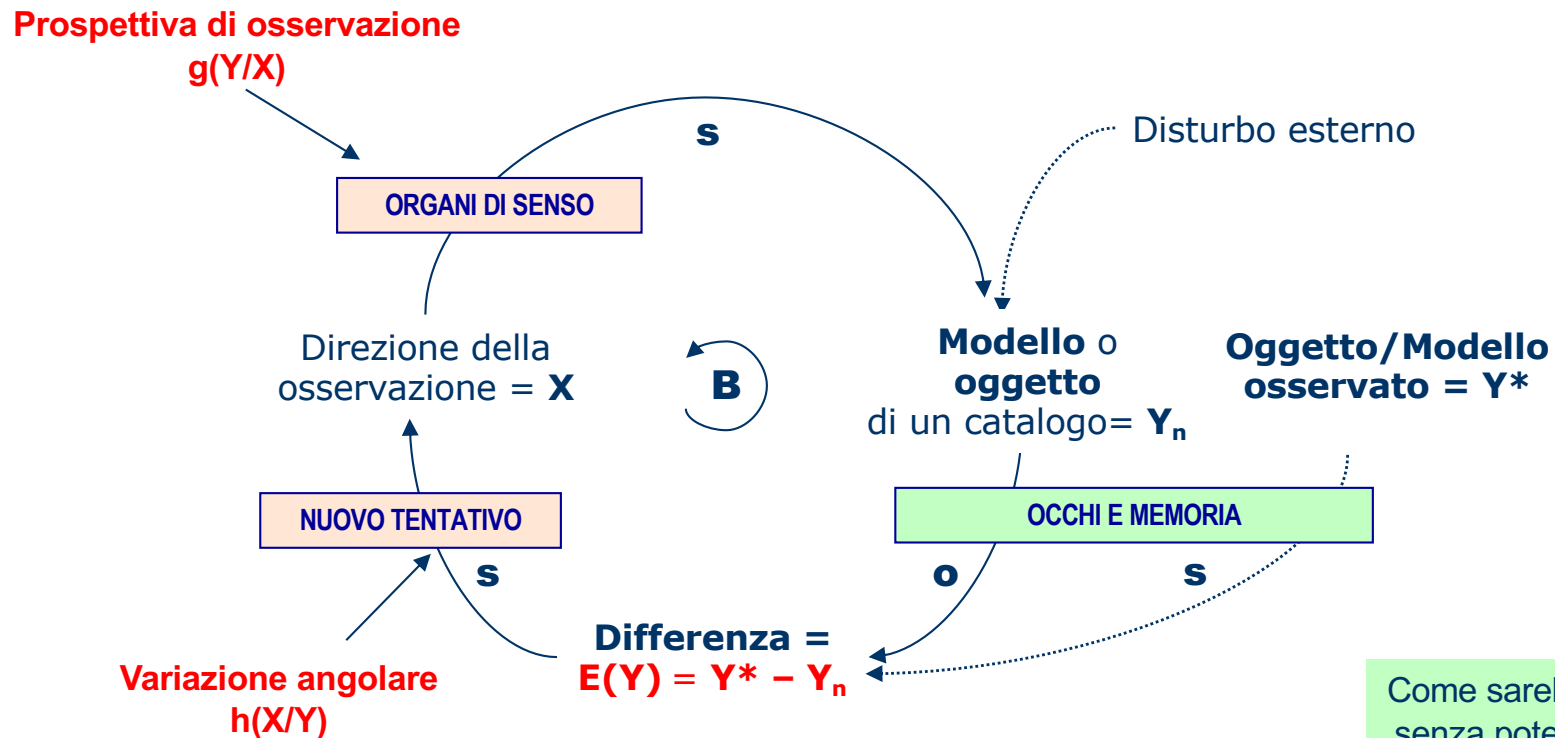


Normalmente quando si cerca il cibo, alla Identificazione segue il Raggiungimento. Il sistema del **Falco** è a **obiettivo dinamico**.



La potenza dei Sistemi di Individuazione

Volti, voci, espressioni, oggetti

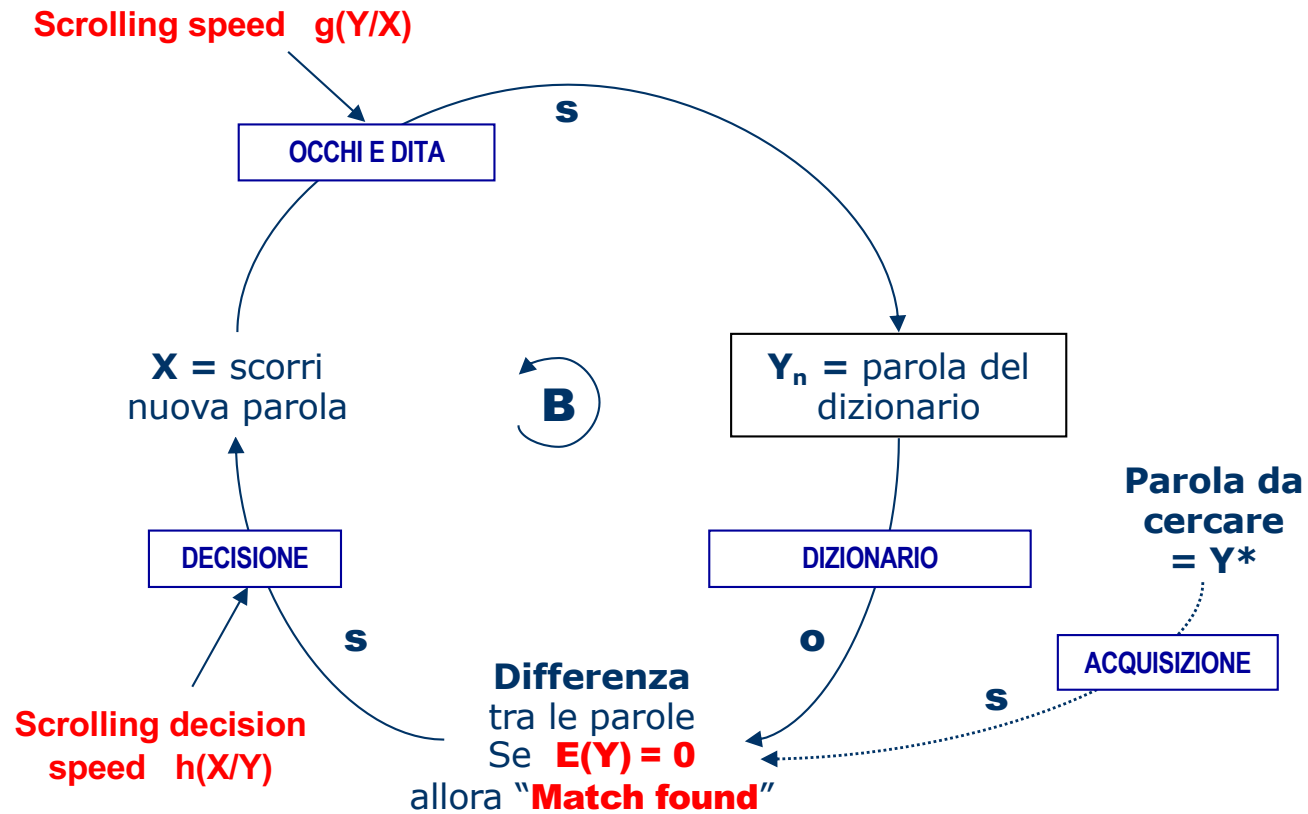


Come sarebbe la nostra vita senza potere riconoscere o individuare le persone, gli oggetti, le parole, ecc?
Anche gli animali che vivono in colonie devono poter riconoscere i loro cuccioli ma anche i competitors e i predatori.



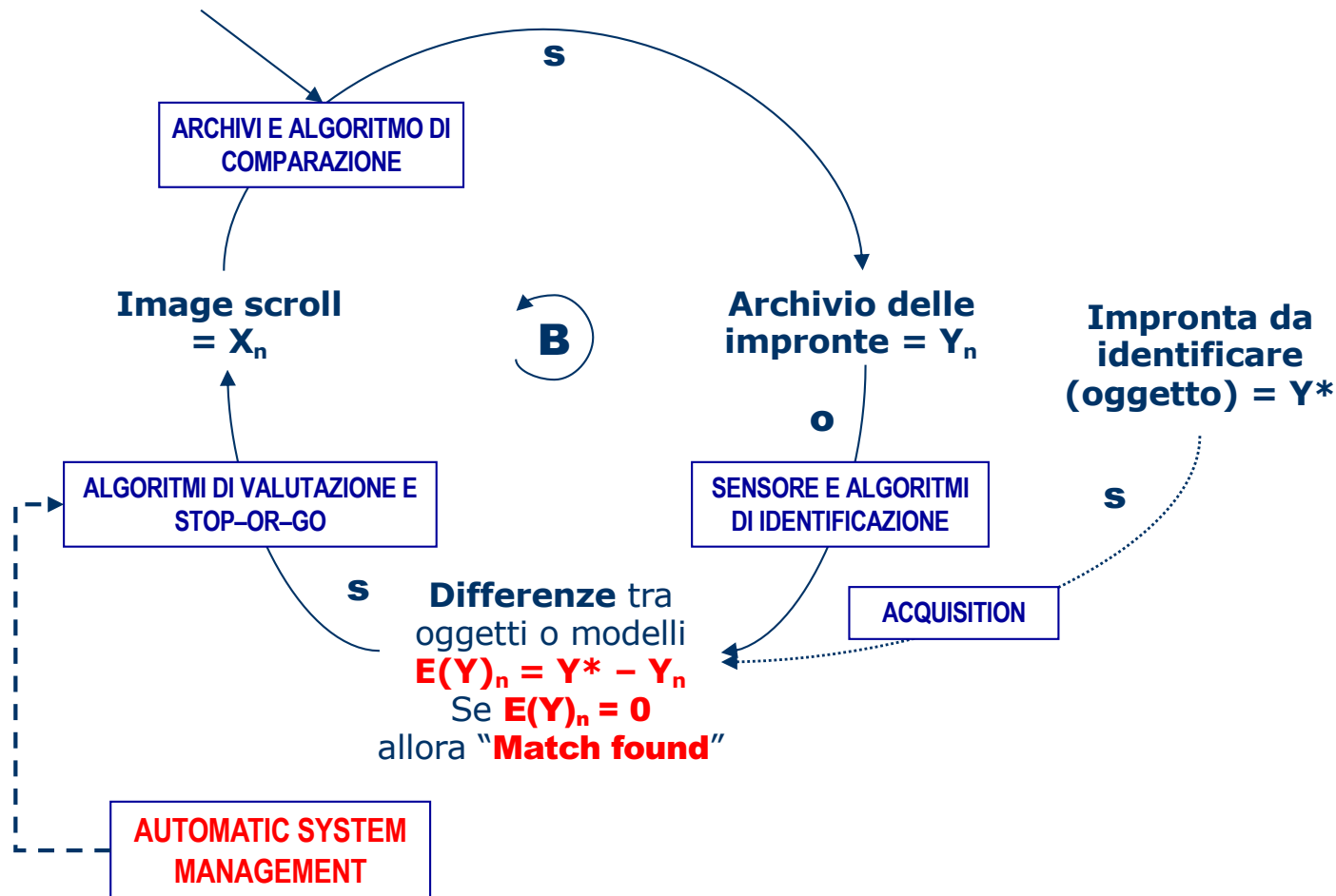
Sistema di riconoscimento

Parole nel dizionario



Sistema di identificazione Impronte digitali

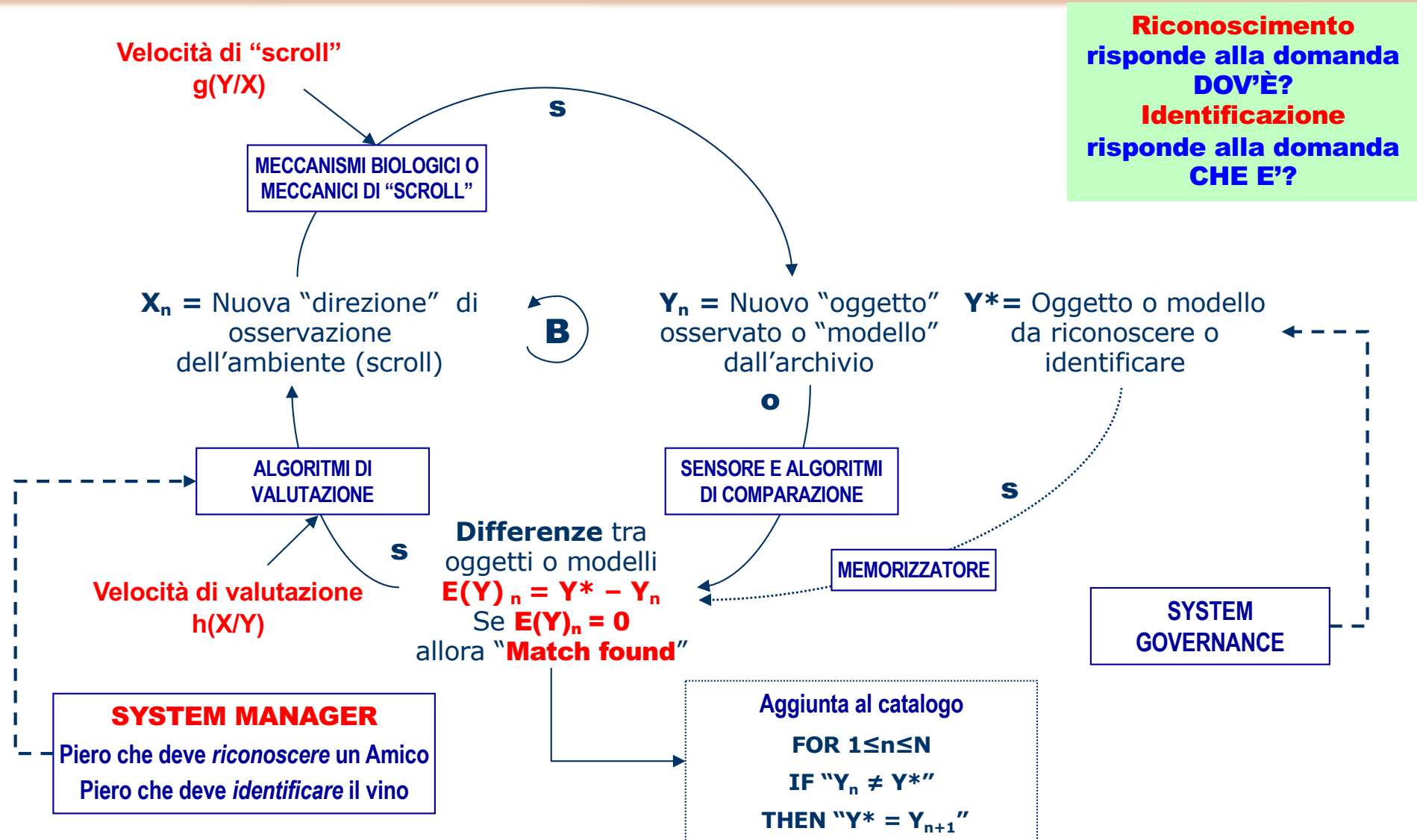
Precisione and velocità $g(Y/X)$





Modello generale

Sistemi di Individuazione Riconoscimento e Identificazione



La nostra vita è resa possibile da un potente Sistema di identificazione naturale: il sistema immunitario



- Il **sistema immunitario** ha la funzione di proteggere l'organismo dall'aggressione degli agenti patogeni.
- Tenta di **identificare** e di **neutralizzare** tutte le sostanze estranee all'organismo, gli **antigeni**, virus o batteri.
 - Riesce a identificare in modo **altamente specifico** milioni di **antigeni diversi** anche solo per minime variazioni della loro composizione.
 - La difesa è basata sull'azione dei **linfociti** che producono gli **anticorpi**, proteine a forma di Y, che **identificano** gli **antigeni** e si legano ad essi facilitando il lavoro dei **macrofagi** che procedono alla loro distruzione.
 - Quando la identificazione fallisce, l'organismo subisce l'aggressione degli antigeni e spesso muore.
 - Quando la capacità di **identificazione** viene meno, possono derivarne le cosiddette malattie autoimmuni(tarie).
 - **Per saperne di più:**
 - <https://www.marionegri.it/magazine/sistema-immunitario>
 - <https://www.my-personaltrainer.it/fisiologia/sistema-immunitario.html>



Tipologia dei sistemi controllo

Sistemi di guida e di arresto

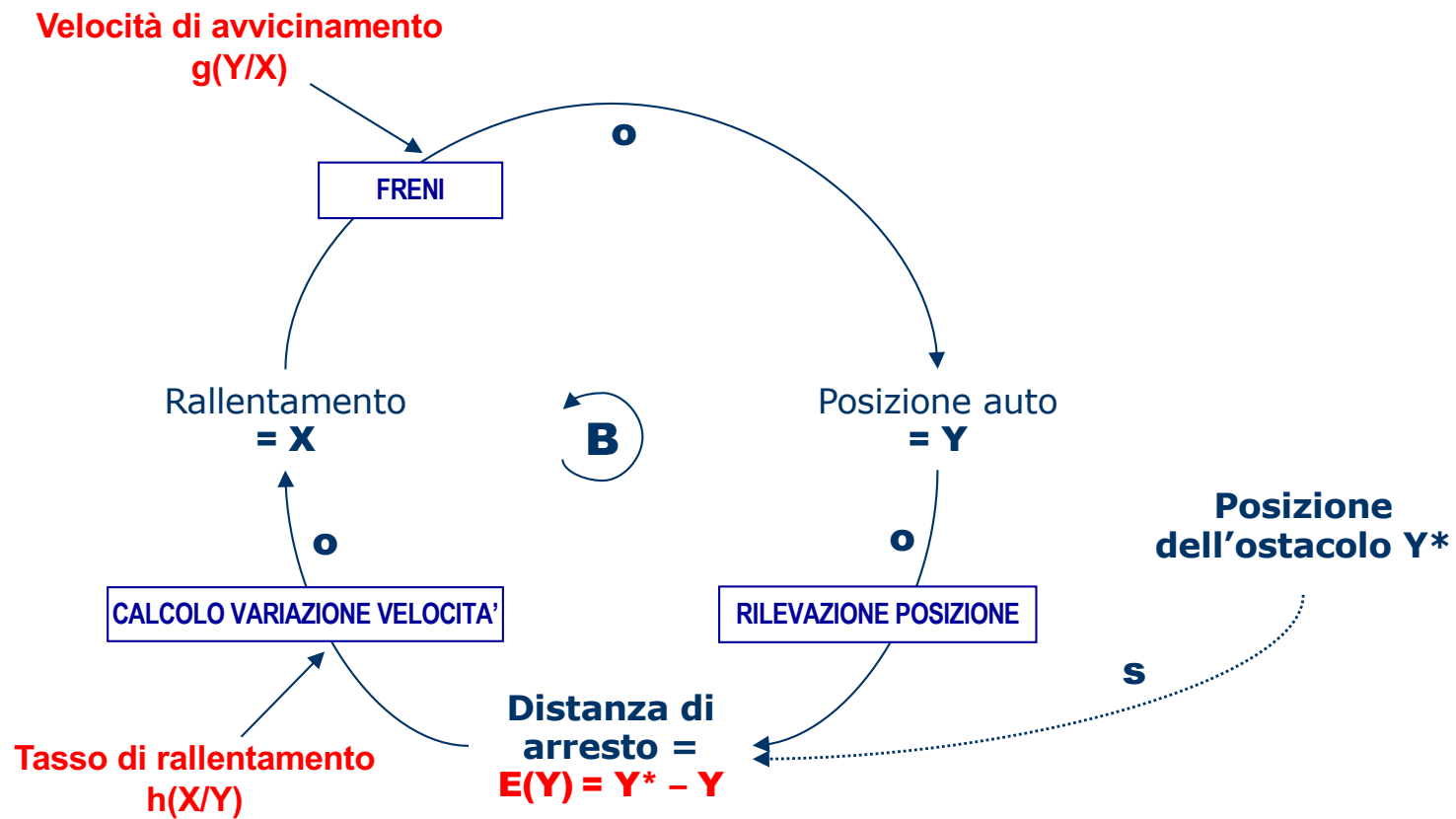


- **Sistemi di guida**: sono quelli «normali», nei quali la Y_t può «oscillare» attorno a Y^* , o per errore del manager nel determinare la Y_t o per il sopraggiungere di disturbi, Y_t .
- Lo **scarto** può cambiare di segno.
 - Sono anche denominati “**sistemi di andata e ritorno**” («**steering control systems**»).
- **Sistemi di arresto**, o «di sola andata»: l’obiettivo può essere raggiunto «da un solo lato» e la Y_t non può superarlo.
 - L’Errore non può cambiare di segno; si può solo azzerare.

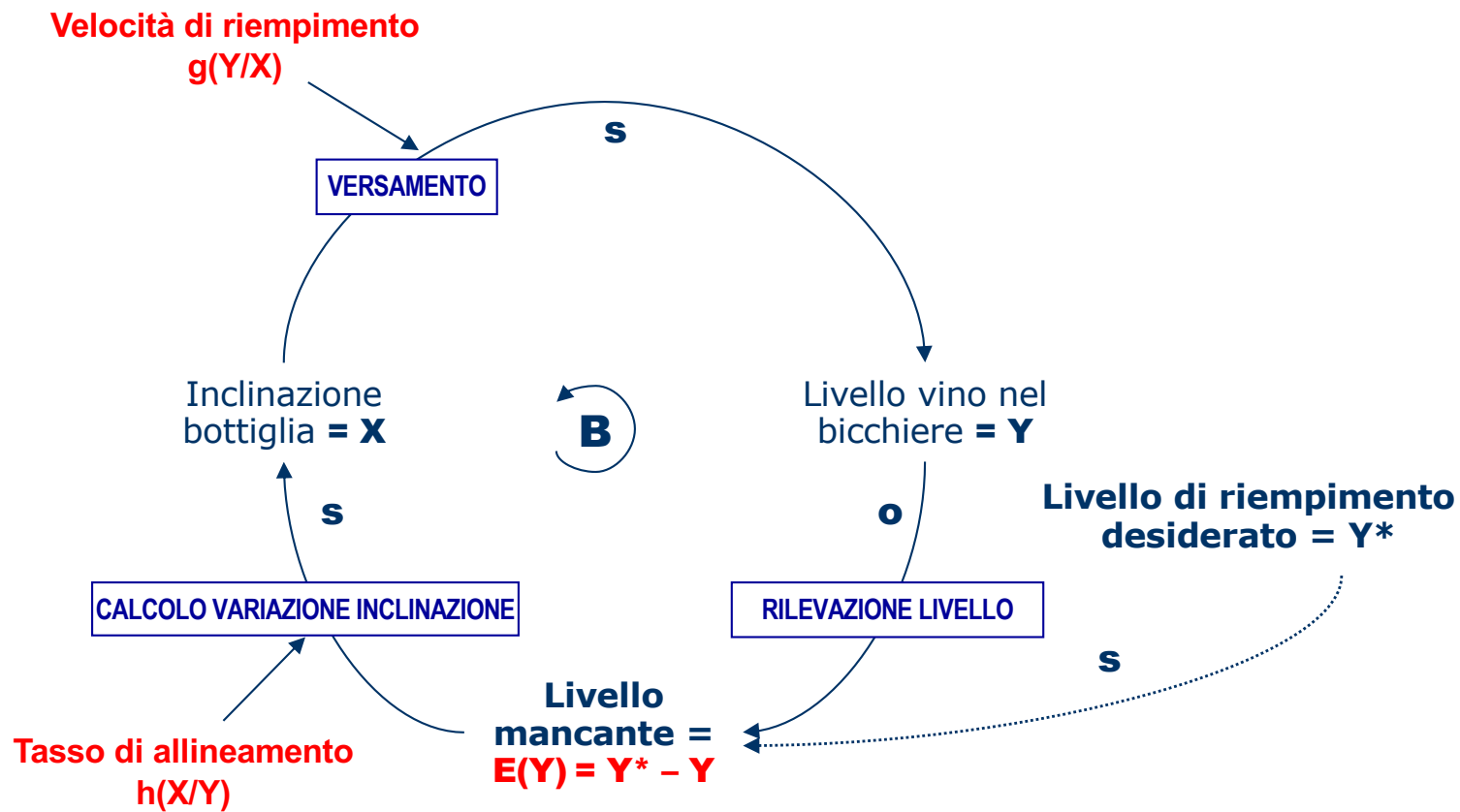


Sistema di arresto

Arrestare l'automobile



Sistema di arresto Versare il vino



Sistemi ad obiettivo dinamico

Sistemi «evolutivi» e «di fuga»



- Sono **Tracking Systems** con **obiettivi dinamici**.
- L'obiettivo Y^* varia nel tempo, così che diventa una variabile Y_t^* .
- Se $Y_{t+1}^* = F(Y_t^*)$ allora il sistema è **evolutivo** e **di miglioramento**.
 - L'obiettivo varia **indipendentemente** da Y_t .
 - Il sistema mantiene il controllo di Y_t^* anche se questo evolve nel tempo.
 - È **tipico dei sistemi viventi e sociali nella fase di sviluppo**.
- Se $Y_{t+1}^* = F(Y_t^*, Y_t)$ allora il sistema è di **fuga e inseguimento**.
 - In effetti, se Y_t cerca di annullare la distanza da Y_t^* , l'obiettivo cambia nel tempo, allora, per un osservatore esterno sembra che la Y_t cerchi di inseguire Y_t^* e che questo, a sua volta, “analizzi” la dinamica di Y_t e adegui i propri valori ai valori di questa, cercando di “fuggire” dal tentativo di essere raggiunto.
 - **Caratterizza i sistemi prede-predatori e di escalation**.



Sistemi interferenti

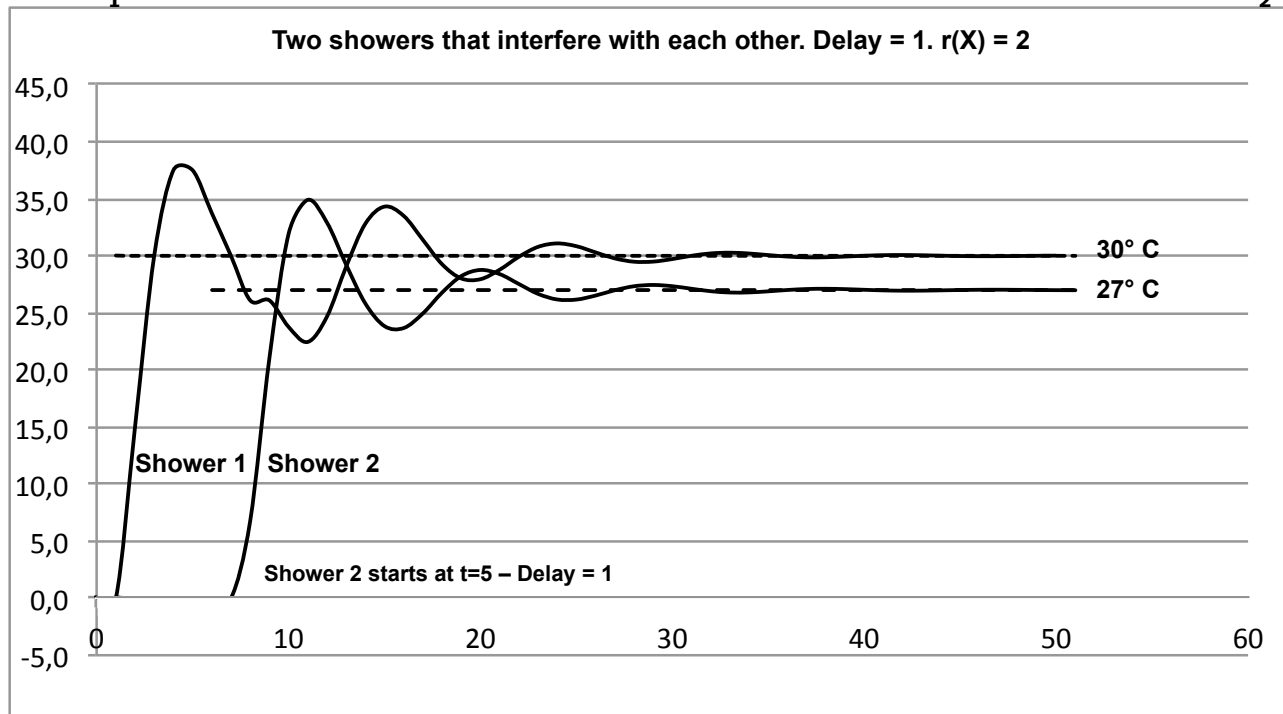
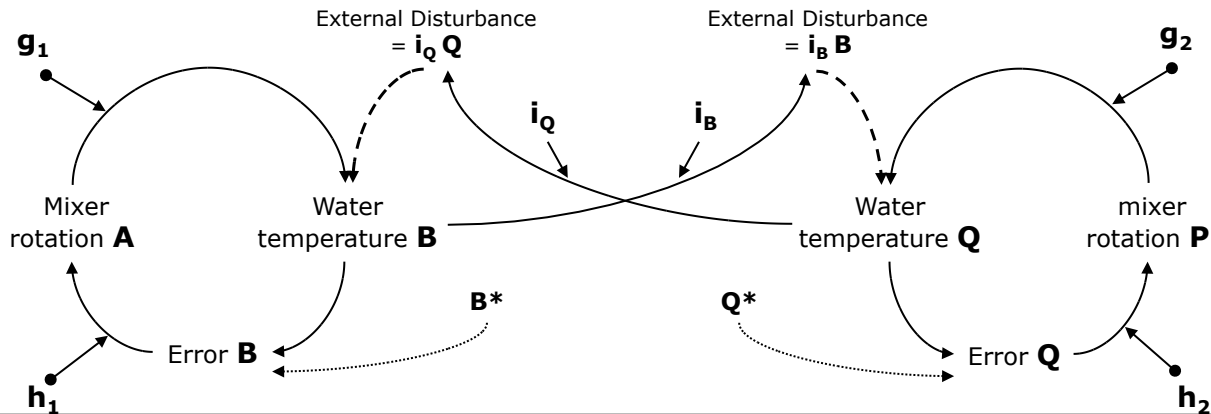


- **Due** (o più) Sistemi di Controllo, **A** e **B**, sono **collegati** se la dinamica di $Y_t(\mathbf{A})$ di un sistema dipende non solo dai valori di $X_t(\mathbf{A})$ ma anche da $Y_t(\mathbf{B})$ [specificando opportunamente t].
- Due sistemi **collegati** sono anche **interferenti** se il collegamento è **reciproco**.
- Il modo più semplice di pensare ai collegamenti e alle interferenze è quello di considerare i valori di un Sistema (opportunamente pesati) come i **disturbi** dell'altro sistema, e viceversa.
 - Se vi sono **ritardi**, i due sistemi interferenti possono presentare **dinamiche oscillatorie**, anche impressionanti, **sia** nelle $Y_t(\mathbf{A})$ **sia** nelle $Y_t(\mathbf{B})$.
 - La presenza di un **Tempo di reazione** $r_x > 1$ tende a facilitare il conseguimento di Y_t^* in entrambi i sistemi.
- La prima delle figure seguenti, espone le dinamiche delle temperature di due docce con obiettivi di temperatura differenti; la dinamica oscillatoria, che si produce per un **ritardo = 1** si attenua avendo posto un tempo di reazione, $r_x = 2$.
- La seconda figura evidenzia le dinamiche delle temperature di tre docce, anch'esse con un **ritardo = 1** e un tempo di reazione $r_x = 2$.
- I fenomeni di interferenza e le dinamiche oscillatorie sono frequenti nelle reti dei gasdotti, negli effetti della somministrazione contemporanea di diversi farmaci, nelle reti stradali, ecc.



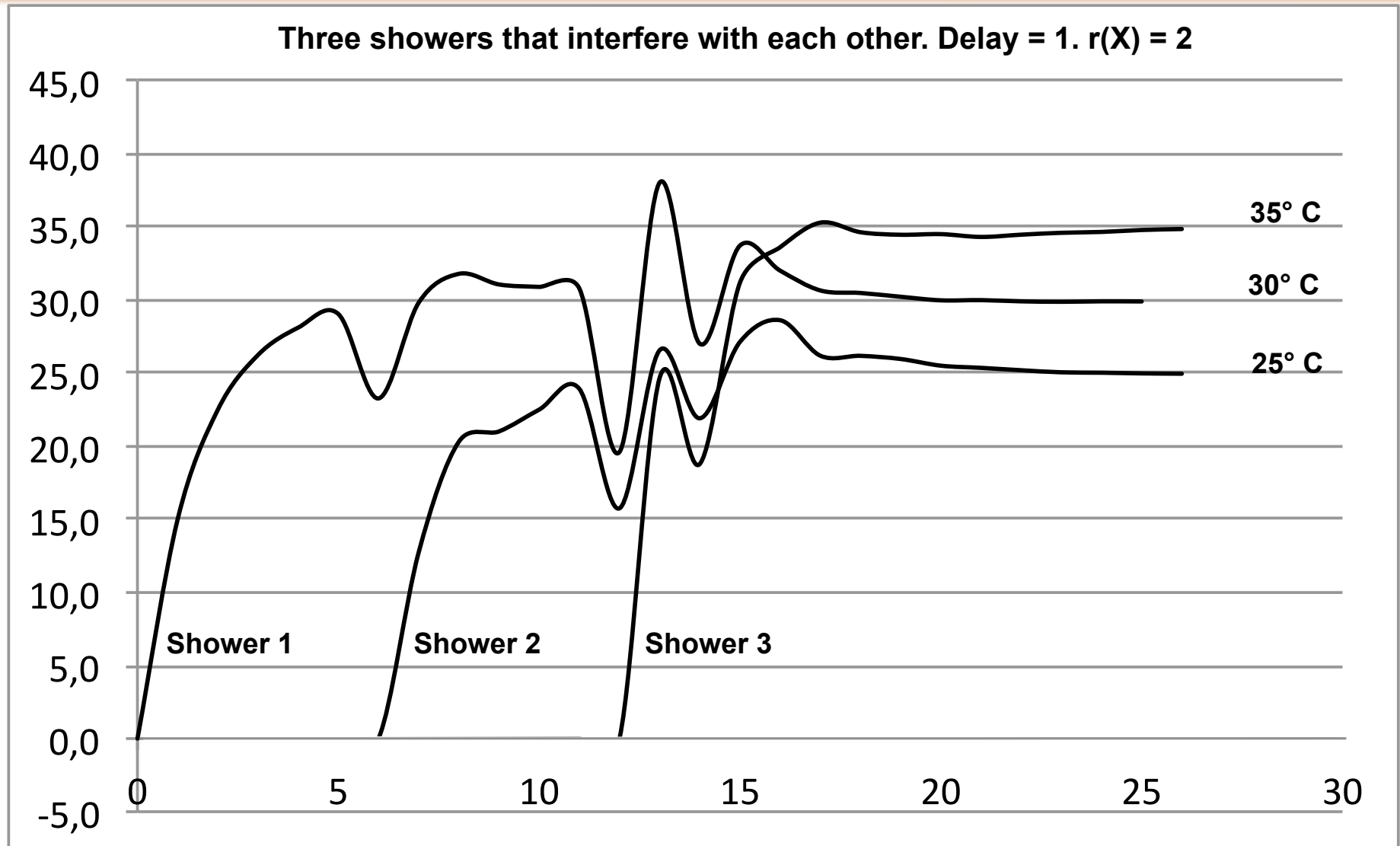
Sistemi interferenti

Due docce interferenti



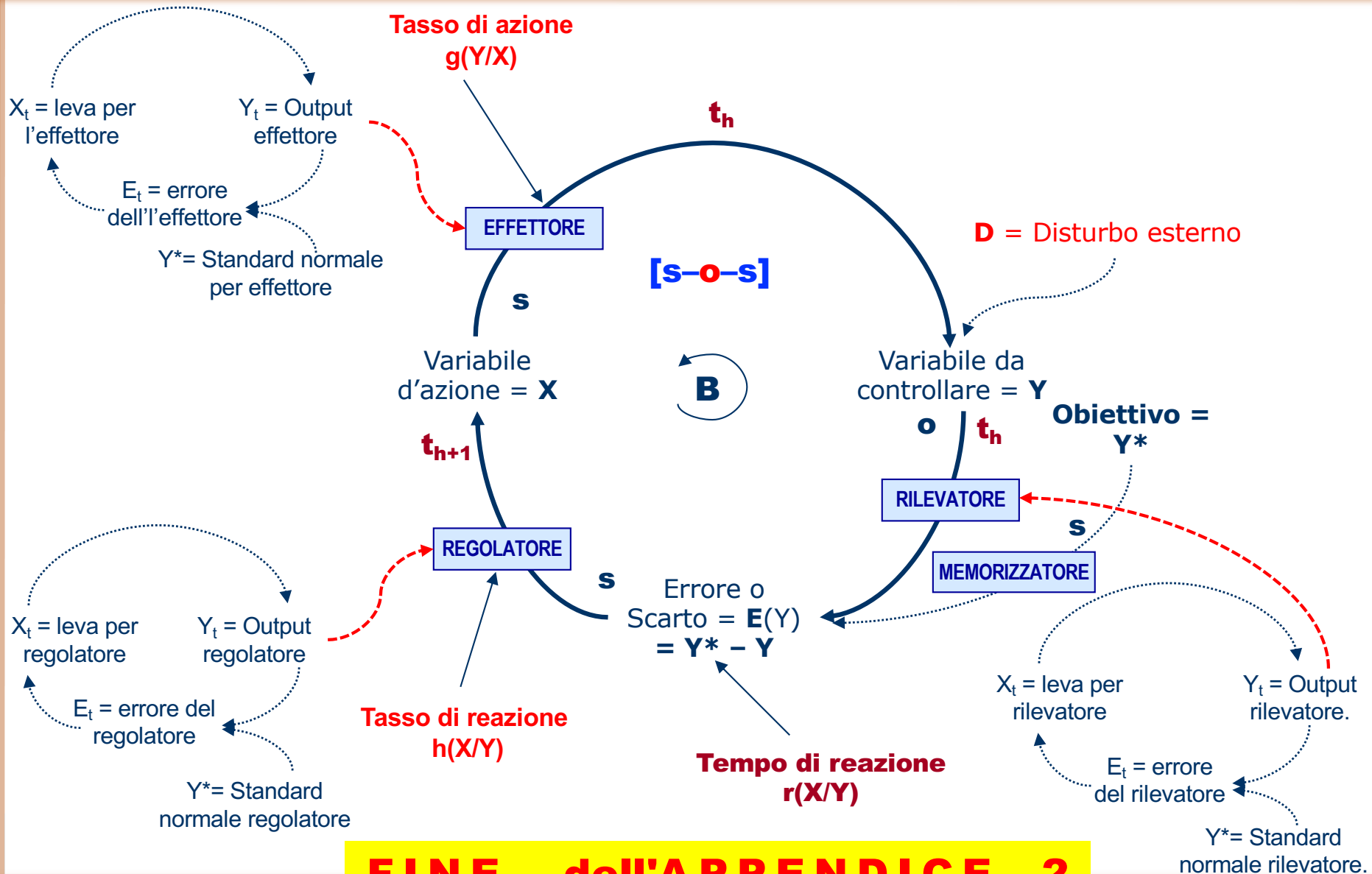
Sistemi interferenti

Tre docce interferenti



Sistema di Controllo a diversi livelli

Sistema con controlli interni sul funzionamento degli apparati



FINE dell'APPENDICE 2

