

Economia Aziendale Online[©]

N. 4/2008

“Systems Thinking e System Dynamics.

L'arte di capire la dinamica ed il controllo dei sistemi”

Piero Mella

Economia Aziendale Online[©]
International Business Review
Editor in Chief: Piero Mella
ISSN 1826-4719
Reg. Trib. Pavia - n. 685/2007 R.S.P.

Pavia, October, 2008
No. 4/2008

All the contents are protected by copyright.
No part can be copied without the Editor in Chief's and Author's permission.
Further information at: www.ea2000.it

Systems Thinking e System Dynamics. L'arte di capire la dinamica ed il controllo dei sistemi.

Piero Mella

University of Pavia (ITALY)
Faculty of Economics
27100 Pavia, Via San Felice, 5 – Italy
Phone: +39.0382 986229 - Fax (office): +39.0382 986228
E-mail: pmella@eco.unipv.it

Sommario – 1. Il Systems Thinking è la quinta disciplina – 2. Le cinque regole del Systems Thinking – 3. I sistemi del Systems Thinking – 4. I Causal Loop Diagrams – 5. I sistemi di controllo – 6. Gli archetipi sistemici – 7. Le leggi del Systems Thinking – 7.1. *I problemi di oggi derivano dalle soluzioni di ieri* - 7.2. *Più spingete avanti, più il sistema spinge indietro* – 7.3. *Prima di peggiorare il comportamento migliora* – 7.4. *La facile via d'uscita di solito riporta all'interno del problema* – 7.5. *La cura può essere peggiore della malattia* – 7.6. *Più rapido è più lento* – 7.7. *Causa ed effetto non sono strettamente connessi nel tempo e nello spazio* – 7.8. *Piccoli cambiamenti possono produrre grossi risultati* – 7.9. *Potete avere la torta e mangiarla – ma non subito* – 7.10. *Dividere un elefante in due non dà due elefantini* – 7.11. *Non ci sono colpe da attribuire* – 8. I principi del Systems Thinking applicato al Problem Solving – 9. System Dynamics – 10. La rilevanza dei sistemi di controllo – 11. La struttura dei sistemi di controllo – 12. Il management del sistema di controllo – 13. Sistemi di controllo nelle imprese – 14. La strategia di controllo – 15. Controllo a più leve e livelli – 16. Controllo a più leve e livelli nelle imprese – 17. Controllo multi obiettivo e politiche di controllo – 18. “Vedere l'impossibile” o “l'impossibile vedere” – 18.1. *Prima metafora. Lentezza temporale (boiled frog)* – 18.2. *Seconda metafora. Velocità processuale (ninfee, networking effect)* – 18.3. *Terza metafora. Distanza nello spazio (butterfly effect)* – 18.4. *Quarta metafora. Direzione osservativa (mono-directional view)* – 18.5. *Quinta metafora. Complessità strutturale (memory), computazionale e temporale.* – Riferimenti.

Abstract

To “understand the world” means, in fact, to be able to construct coherent and sense-making models of it which may allow us to acquire, update and transmit our knowledge. I believe that intelligence depends on the ability to construct such models.

Intelligent persons are those who learn quickly and effectively; they have the ability (innate or acquired) to construct, utilize and modify models; they can understand their interconnections and changes and always “know” what is happening and could happen in order to control events and successfully face the various situations in life, deciding in the most rational way how to solve problems.

I also believe that the most useful and effective models to strengthen our intelligence are system ones – developed following the logic of Systems Thinking – because such models can explore complexity, dynamics and change.

This paper aims to present the main ideas of Systems Thinking, which is considered not only as a technique but primarily as a discipline for efficient and effective thinking.

Keywords: *Systems Thinking, System Dynamics, Control Systems, Causal Loop Diagram, Stock&Flow Diagram, The fifth discipline, Archetypes.*

1 – Il Systems Thinking è la quinta disciplina

Il Systems Thinking è stato divulgato da Peter Senge nel volume *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the learning organization*. (Pubblicazione italiana: *La quinta disciplina*, 1992, cui farò riferimento per le citazioni).

Senge pone la seguente definizione:

«[...] le organizzazioni che apprendono [sono quelle] nelle quali le persone aumentano continuamente la loro capacità di raggiungere i veri risultati cui mirano; nelle quali si stimolano nuovi modi di pensare orientati alla crescita; nelle quali si lascia libero sfogo alle aspirazioni collettive, e nelle quali, infine, le persone continuano ad imparare come si apprende insieme.» (Senge, 1992: 3).

Secondo Senge, per costruire una learning organization occorrono contemporaneamente cinque discipline:

1. Padronanza Personale o Personal Mastery.

«La padronanza personale è la disciplina che consiste nel chiarire ed approfondire continuamente al nostra visione personale, per concentrare le nostre energie, nello sviluppare la pazienza e nel vedere la realtà in modo obiettivo. Come tale essa è una pietra angolare essenziale nelle organizzazioni che apprendono – il loro fondamento spirituale.» (Senge, 1992: 8). *“La disciplina della padronanza personale comincia con l’individuare le cose che veramente ci importano, per vivere la nostra vita al servizio delle aspirazioni più elevate.»* (Senge, 1992: 9).

2. Modelli Mentali o Mental Models.

«I ‘modelli mentali’ sono ipotesi profondamente radicate, generalizzazioni, o anche figure o immagini che influenzano il modo in cui comprendiamo il mondo e il modo in cui agiamo.» (Senge, 1992: 9). *“Lavorare con i modelli mentali è una disciplina che inizia ‘voltando lo specchio’ verso l’interno; imparando a scoprire le nostre rappresentazioni interne del mondo, a portarle in superficie e a tenerle sotto un rigoroso esame.»* (Senge, 1992: 10).

3. Visione condivisa o Vision.

«Se c’è un’idea sulla leadership che ha ispirato le organizzazioni per migliaia di anni, questa è la capacità di mantenere una visione condivisa del futuro che cerchiamo di creare.» [...] *“La pratica della visione condivisa implica la capacità di fare venire in superficie le ‘immagini del futuro’ condivise, che promuovono un impegno genuino e volontario, non l’acquiescenza.»* (Senge, 1992: 10).

4. Apprendimento di gruppo o Team-work.

« [...] vi sono esempi sorprendenti di come l’intelligenza del gruppo superi l’intelligenza dei singoli membri e di come i gruppi sviluppino capacità straordinarie di azione coordinata.» [...] *“La disciplina dell’apprendimento di gruppo inizia con il ‘dialogo’, la capacità*

dei membri di un gruppo di mettere in mora le ipotesi precedenti e di passare ad un genuino 'pensare in comune'. [...] *“La disciplina del dialogo comporta anche apprendere come riconoscere nei gruppi i modelli di interazione che compromettono l'apprendimento»* (Senge, 1992: 11).

5. Pensiero sistemico o System Thinking.

«La quinta disciplina è il pensiero sistemico, la visione sistemica. [...] E' per questo che il pensiero sistemico è la quinta disciplina. E' la disciplina che integra le discipline, fondendole in un corpo coerente di teoria e di pratica. [...] Senza un orientamento sistemico non si è motivati a guardare all'interrelazione tra le discipline. Stimolando ciascuna delle altre discipline, l'apprendimento sistemico ci ricorda continuamente che il tutto può essere maggiore della somma delle sue parti.» (Senge, 1992: 13).

Propongo due significative definizioni di Systems Thinking.

«Systems thinking is a discipline for seeing wholes, recognizing patterns and interrelationships, and learning how to structure those interrelationships in more effective, efficient ways.» (Senge & Lannon-Kim, 1991).

«Systems Thinking [is] a way of thinking about, and a language for describing and understanding, the forces and interrelationships that shape the behaviour of Systems. This discipline helps us see how to change systems more effectively, and to act more in tune with the larger processes of the natural and economic world.» (Senge et al., 1994: 6).

Vi sono anche altri termini per indicare questa logica di pensiero; Barry Richmond, uno dei massimi esperti in questa disciplina, è esplicito:

«Pensiero Sistemico, Approccio Sistemico, Dinamica Sistemica, Teoria Sistemica, e semplicemente Sistemi, non sono altro che pochi dei tanti termini comunemente adoperati per un campo di attività di cui molti hanno sentito parlare, molti ne sentono il bisogno, ma pochi comprendono realmente. [...] Siccome preferisco il termine Systems Thinking (Pensiero Sistemico) lo adopererò dappertutto per descrivere questo campo d'attività.» (Richmond, 2001, 2005).

Il Systems Thinking, proprio in quanto disciplina, deve essere appreso gradualmente, con l'esercizio, e perfezionato continuamente.

«Per “discipline” non intendo un “ordine nei comportamenti”, oppure “sistemi punitivi”, ma un corpo di teorie e di tecniche che per essere messo in pratica deve essere studiato e padroneggiato. Una disciplina è un percorso di sviluppo per acquisire certe abilità o competenze. Praticare una disciplina significa apprendere per tutta la vita. “Non si arriva mai”; si passa l'intera vita a padroneggiarla.» (Senge, 1992: 11-12).

Il Systems Thinking è una disciplina in quanto si propone di:

- allenarci ad osservare la realtà come composta di sistemi dinamici,
- fornirci modelli potenti di descrizione e di simulazione,
- migliorare le nostre capacità di formazione di conoscenza, cioè di apprendimento,
- sviluppare la nostra intelligenza.

«Stimolando ciascuna delle altre discipline, l'apprendimento sistemico ci ricorda continuamente che il tutto può essere maggiore della somma delle sue parti.» (Senge, 1992: 13).

2 - Le cinque regole del Systems Thinking

Nel suo magistrale lavoro, Peter Senge presenta il Systems Thinking in modo intuitivo ma non esplicita i principi logici che ne stanno alla base.

Penso che la struttura logica di questa disciplina possa essere compendiata in cinque fondamentali regole che il systems thinker deve cercare di seguire in ogni momento e che ho analizzato nel volume *Guida al Systems Thinking* (Il sole 24 Ore Ed., Milano, 2007)

La PRIMA REGOLA, per applicare la quale occorre un costante esercizio, è quella che impone di «vedere gli alberi e la foresta». Questa regola che sta alla base del pensiero sistemico può essere tradotta così: la Realtà è una *compenetrazione di sistemi*, di raggio sempre più ampio, che formano una struttura globale che genera un processo globale che non si può *capire* ponendoci solo all'esterno o solo all'interno di essa. Se vogliamo ampliare la nostra intelligenza, *dobbiamo sviluppare l'attitudine a "zoomare" tra parti e tutto e tra unita e componenti*. In questo senso, ritengo di poter affermare che questa PRIMA REGOLA del *pensiero sistemico* rappresenti l'attuazione del *pensiero olonico* (Mella, 2005).

La SECONDA REGOLA su cui si basa il Systems Thinking è forse più importante della precedente e richiede un'ancor più intensa disciplina in quanto ci impone di superare il nostro comune modo statico ed atomistico di "guardare" il mondo: «*non dobbiamo fermare la nostra osservazione su ciò che appare costante ma ricercare ciò che varia*». Dobbiamo *spostare la nostra attenzione* dagli oggetti del mondo alle *variabili* che connotano gli oggetti. Sembra facile ma non lo è. Occorre molta sensibilità, unita ad esperienza, per selezionare le variabili veramente significative. La SECONDA REGOLA implica un COROLLARIO altrettanto importante: *non dobbiamo limitarci ad esplicitare le variabili che riteniamo utili ma dobbiamo essere in grado di rilevare le variazioni che esse subiscono nel tempo*, misurandole con precisione, secondo una scala significativa.

La TERZA REGOLA del Systems Thinking può essere espressa come segue: «*se vuoi capire il mondo, cerca di individuare la causa delle variazioni nelle variabili che osservi*» individuando e specificando:

- 1) i *processi* che "producono" la dinamica delle variabili e le *macchine* (o strutture sistemiche) che "producono" quei *processi*;
- 2) le *variabili* che "attivano" quei processi (cause o input) e quelle che "derivano" dai processi (effetti o output).

Il Systems Thinking ammette che i processi produttori di variazioni possano essere pensati come black box, come scatole nere la cui struttura interna ed il cui funzionamento possano anche non essere noti. Ciò che veramente risulta indispensabile è cogliere il collegamento tra gli input e gli output di quei processi – svolti nella scatola nera – cercando di specificare le regole (leggi, funzioni, operazioni) secondo le quali le variazioni delle variabili di input provocano quelle delle variabili di output.

La QUARTA REGOLA del Systems Thinking può essere enunciata come segue: «*se veramente vuoi capire il mondo ed il suo cambiamento, non è sufficiente ragionare per cause ed effetti. Devi riconoscere che gli effetti possono a loro volta diventare cause delle loro cause, formando un loop, un legame circolare*». In altri termini, dobbiamo abbandonare il pensiero lineare (catene di cause e di effetti) ed abituarci ad individuare i loop che interconnettono le variabili trasformandole in un *tutto unitario* nel quale ciascuna determina le variazioni in qualche altra e, nello stesso tempo, è determinata da quelle. Il concetto di causa ed *effetto* che vale tra due (o più) variabili *concatenate* perde di significato quando le variabili sono connesse da uno o più *loop*. Il Systems Thinking *denomina* “sistema” un complesso unitario di *variabili interconnesse, dotato di una propria autonomia, del quale indaga, e rappresenta, la struttura logica*.

La QUINTA REGOLA può essere sintetizzata così: «*nel guardare il mondo, dobbiamo sforzarci di specificare sempre i confini del sistema che vuoi indagare*». I *confini* in realtà sono due: un confine *esterno*, che delimita il sistema quando si zooma dalle parti al tutto e uno *interno*, quando si zooma dal tutto alle parti. Non è facile individuare, o porre, i *confini* di un sistema; fortunatamente, quanto più ci si applica nella disciplina del Systems Thinking tanto più la soluzione di tale problema diventa agevole, quasi spontanea.

Da qui possiamo finalmente derivare il CONCETTO FINALE; il Systems Thinking rappresenta l'arte (la disciplina) di vedere gli *alberi* – singole variabili con il loro significato particolare – e la *foresta* – il *sistema* di quelle variabili interconnesse, con un suo autonomo significato trascendente, indagandone la *struttura logica* (e, se possibile, anche l'*operativa*).

3 – I sistemi del Systems Thinking

È importante chiarire quali siano i sistemi indagati dal Systems Thinking e che tipo di modelli consenta di ottenere.

Per la sua logica intrinseca, che osserva un mondo di variabili e di variazioni il Systems Thinking considera prevalentemente *sistemi* dinamici, costruendo modelli di un mondo in *incessante movimento*, in continua *trasformazione* ed evoluzione. Tali sistemi non sono solo *dinamici* ma devono essere anche *sistemi ripetitivi* (grapeshot systems), in grado di ripetere nel tempo i loro processi, e *ricorsivi* in grado di interagire con se stessi nel senso che i loro *output*, in tutto o in parte, diventano i loro stessi *input* cosicché il sistema appare, in un certo qual senso, *chiuso* in se stesso per *ripetere* i propri processi in sequenza temporale.

Anche se non siamo abituati ad osservarli, i sistemi ricorsivi ci circondano; sono l'essenza tipica della natura; la vita stessa è *ricorsiva* nel suo tipico processo di nascita, riproduzione e morte, destinato a ripetersi più e più volte.

Gli squali si cibano di sardine, si riproducono e i loro figli mangeranno altre sardine nate da successivi atti riproduttivi. Le case automobilistiche, così come i produttori di computer, di pane,

di frutta, di indumenti e di ogni altro bene di consumo (che non duri all'infinito) sanno bene che non potrebbero vivere a lungo se i consumatori, ad intervalli più o meno ampi e regolari, non ripetessero i loro acquisti. Solo le Piramidi – come le montagne – sono (quasi) eterne e nessuno le distruggerebbe per costruirne di nuove!

Noi stessi siamo sistemi ricorsivi per quasi tutti i processi della nostra esistenza. Alla veglia succede il sonno per consentirci di affrontare un nuovo periodo di veglia che richiede ancora sonno; al lavoro succede il riposo, all'ufficio le vacanze, ad una scoperta una nuova ricerca. Non ci sarebbe corsa agli armamenti se alla produzione di armi, oggi, non seguisse l'incremento degli arsenali dei nemici, domani. E non si manterrebbero nel tempo le lingue se il loro insegnamento non fosse ripetuto dai genitori ai figli, generazione dopo generazione; non si pagherebbero tutti gli anni le tasse se non producessimo ogni anno nuovi redditi; non si manterrebbero nel tempo le faide se ad ogni offesa non seguisse una vendetta; e nemmeno aumenterebbe la temperatura media se giorno dopo giorno, anno dopo anno, non si ripetessero le emissioni di calore per l'uso di condizionatori e refrigeratori che portano (in teoria) ad un nuovo innalzamento della temperatura ... in un loop facilmente intuibile.

L'aver evidenziato che il Systems Thinking rende possibile (non certo facile: è una disciplina) “vedere” una realtà *interconnessa, dinamica e ricorsiva* ci consente di comprendere che i sistemi osservati dal Systems Thinking sono anche, normalmente, *sistemi (processi e macchine) con memoria* nel senso che agli stessi input, riferiti ad istanti differenti, corrispondono output differenti al termine del processo.

In termini tecnici, la memoria implica che la “macchina” che produce il processo possieda uno stato interno che funge da intermediario tra gli *input* e gli *output*.

Il sistema non può più essere semplicemente osservato tramite le variabili di *input* e di *output*; devono essere contemporaneamente considerate le *variabili di stato*.

La memoria è presente pressoché in tutti i processi fisici, biologici, psichici e sociali.

Contrariamente ad un sasso che rotola, vi è *memoria in un palla di neve* lanciata in un canale che, avvolgendosi su se stessa, ingloba sempre più neve, rotazione dopo rotazione, trasformandosi in una valanga. C'è memoria tra squali e sardine, il cui numero si regola, generazione dopo generazione, tenendo conto del numero di esemplari della generazione precedente. C'è memoria nelle popolazioni che trasmettono la loro lingua madre, generazione dopo generazione; o nei consumatori che preferiscono prodotti sempre nuovi; o nelle imprese, che fanno tesoro dei loro successi e cercano di evitare i vecchi insuccessi; o anche solo nel mio deposito bancario che accumula gli interessi anno dopo anno producendo sempre più elevati interessi; così come c'è memoria nella mia mente che si affatica fino ad avere necessità di sonno ristoratore, giorno dopo giorno; e sappiamo come proprio la memoria sia il motore delle faide eterne tra individui e popoli, del progresso scientifico e della ricerca di nuovi record.

Dobbiamo rendercene conto; non è un esercizio facile.

Possiamo generalizzare: un sistema è *con memoria* se la stessa sequenza di input produce differenti sequenze di output, a parità di condizioni iniziali; in tal senso, il suo comportamento è “non causale”.

Le ragioni di questo comportamento “non causale” devono essere ricercate nelle variabili più minute, di maggior dettaglio, che si interpongono tra *input* ed *output*, allungandone la relazione.

Il Systems Thinking è particolarmente sensibile ai *sistemi con memoria*; ci impone di considerare le connessioni tra variabili, zoomando sempre tra variabili di elevato livello, che *accumulano variazioni* nel tempo, e variabili di maggior dettaglio (stato), che *producono variazioni* nel tempo; ci impone di osservare le dinamiche derivanti dai processi ricorsivi e non semplicemente singole coppie di valori, considerando i loop e non semplicemente le connessioni causali pure.

4 – I Causal Loop Diagrams

Le relazioni di causa ed effetto tra le variabili possono essere semplicemente rappresentate tramite frecce che *correlino* inequivocabilmente le loro variazioni. La variabile *causa* (input) si scrive in *coda* alla freccia; la variabile *effetto* (output) in *testa* alla freccia).

In molti casi due variabili possono essere *collegate nelle due* opposte *direzioni*. È importante, pertanto, scegliere la *direzione* del legame tra le variabili proprio tenendo conto del fatto che il *legame causale* sottende processi diversi in ciascuna delle due opposte direzioni.

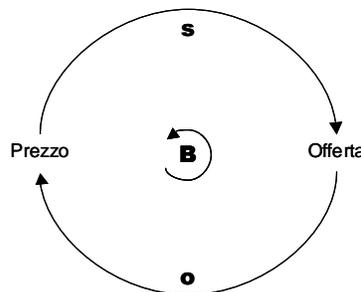
Tali possibili *doppie direzioni* nei collegamenti formano i più semplici modelli denominati Causal *loop* Diagram che interconnettono due variabili.

Per la comprensione del funzionamento di un sistema dinamico non è sufficiente rappresentare le connessioni tra le variabili che lo caratterizzano; è *necessario compiere un nuovo significativo passo*: comprendere il *senso delle variazioni* tra le variabili.

Due variabili hanno *stesso* senso (**S**) se ad incrementi o a diminuzioni della prima corrispondono, rispettivamente, incrementi o diminuzioni nella seconda. Hanno *opposto* senso (**O**) se ad incrementi o a diminuzioni nella prima corrispondono decrementi o incrementi nella seconda.

Il prezzo di un bene ha *senso* di variazione *opposta* rispetto ai volumi di produzione; ma i volumi di produzione hanno variazione *opposta* rispetto alla variazione del prezzo(*CLD 1*).

CLD 1

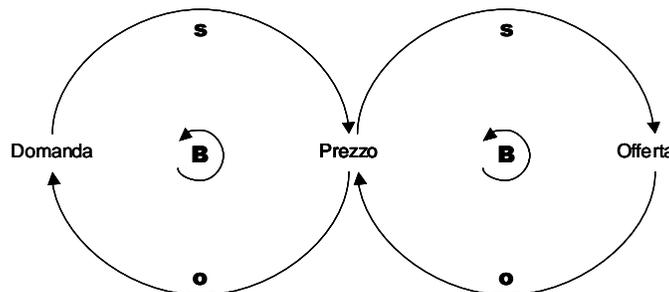


Il modello causale che lega prezzo e offerta dimostra come in successive ripetizioni del sistema, si produce un bilanciamento **[B]** tra le variabili; se il prezzo si riduce troppo, allora l'offerta si riduce; se l'offerta si riduce allora il prezzo torna ad aumentare.

Il *CLD 2* descrive al nota legge del mercato in concorrenza perfetta; il prezzo rappresenta la variabile cruciale che porta al bilanciamento tra domanda ed offerta.

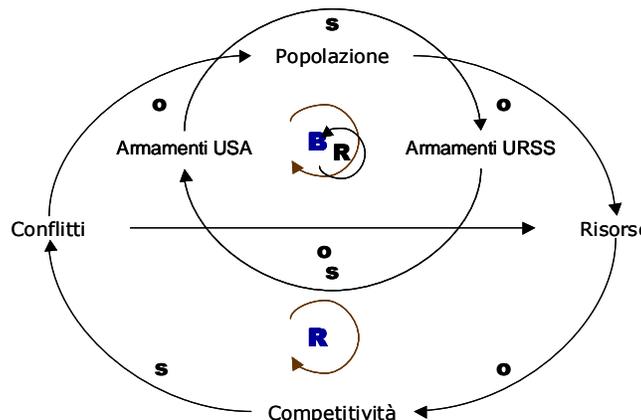
Il *CLD 3* rappresenta invece un *loop* di rinforzo **[R]** in quanto ciascuna delle variabili porta ad un incremento della seconda; in successive ripetizioni del processo, entrambe le variabili accentuano le loro variazioni.

CLD 2



Collegando numerose variabili ed individuando la direzione ed il senso di variazione, è possibile costruire modelli di ogni sistema dinamico ricordando sempre che è necessario *zoomare* per *analizzare più in dettaglio i processi* al fine di individuare e collegare altre variabili significative. Il *CLD 4* rappresenta un modello di sistema di lotta per la vita.

CLD 3



CLD 4

5 – I sistemi di controllo

Tra i diversi sistemi trattati dal Systems Thinking, i sistemi di controllo rappresentano una classe particolarmente utile.

Un sistema di controllo è costituito da una variabile d'azione, X , modificando la quale, in successivi cicli del sistema, si cerca di fare conseguire (obiettivo) o di mantenere (vincolo) un dato valore, X^* , di un'altra variabile controllata, Y . In entrambi i casi, la variabile X dovrà assumere, in successivi cicli del sistema, valori che non possono superare il vincolo o che devono tendere all'obiettivo (X^*). Quel che importa è comprendere che la dinamica dell'intero sistema non dipende tanto dal valore della X quanto dalla *distanza* tra X e X^* .

Possiamo rendere operativo quest'ultimo concetto semplicemente creando una nuova variabile $S_X = (X - X^*)$ che assume il significato di *scostamento* dal vincolo o dall'obiettivo e ci informa su "quanto manca a X^* ", oppure "di quanto abbiamo superato X^* ". Questa variabile può essere indicata con diversi sinonimi tra cui *scarto*, *deviazione* o "errore" e rappresentata anche come $\Delta_X = S_X$. Tutti i sistemi di controllo sono rappresentabili mediante circuiti di *bilanciamento*.

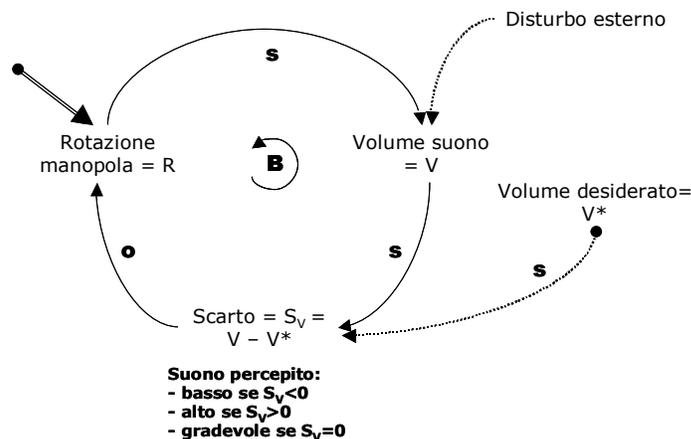
Il *CLD 5* presenta il sistema che ci permette di capire il processo che dobbiamo seguire per regolare il livello del suono del nostro stereo o del nostro televisore.

La Rotazione della manopola (R) rappresenta la *variabile d'azione* ed è indicata dalla freccia (sulla sinistra). Il Volume del suono (V) è la *variabile controllata*, da controllare in modo che raggiunga l'*obiettivo* del Volume desiderato (V^*).

Il controllo del sistema si attua con una successione di *decisioni* che imprimono impulsi alla R a seconda dello scostamento (S_V) del volume effettivo rispetto a quello desiderato.

Il sistema, una volta raggiunto l'obiettivo (V^*) di un suono gradevole, rimane stabile nel senso che nessun altro impulso viene successivamente attribuito alla Manopola, a meno che non muti V^* o che qualche *disturbo esterno*, sovrapponendosi al volume del suono, non renda necessaria una correzione.

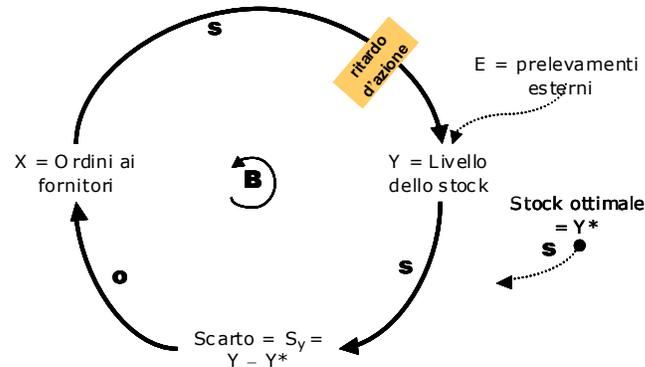
CLD 5



Quello precedente costituisce il più semplice modello di *sistema di controllo*, ma è in grado di rappresentare numerosi processi di regolazione. Sostituite "stereo" con "doccia", "Manopola" con "Miscelatore" e "Volume del suono" con "Temperatura dell'acqua" ed otterrete sempre lo

stesso sistema che sviluppa un processo del tutto equivalente. Il *CLD 6* rappresenta un sistema di controllo del magazzino.

CLD 6



6 – Gli archetipi sistemici

Nelle organizzazioni di qualunque specie, sia negli enti pubblici sia nelle imprese, si possono individuare strutture standard denominate ARCHETIPI SISTEMICI, generali modelli di relazioni che ricorrono di frequente in varie situazioni ed in ambienti differenti.

«Una delle intuizioni più importanti e potenzialmente più rafforzanti che provengono dal giovane campo del pensiero sistemico è che certi modelli di struttura ricorrono in continuazione. Questi “archetipi sistemici” oppure “strutture generiche” incorporano la chiave per imparare a vedere le strutture nelle nostre vite personali ed organizzative. [...] Poiché sono sottili, quando gli archetipi sorgono in una famiglia, in un ecosistema, in un servizio giornalistico, oppure in un'azienda, spesso più che vederli li si sente. Talvolta essi danno luogo ad una sensazione di déjà vu, un sospetto che questo schema di forze lo si è già visto prima. “Rieccolo” ci diciamo.» (Senge, 1992: 108).

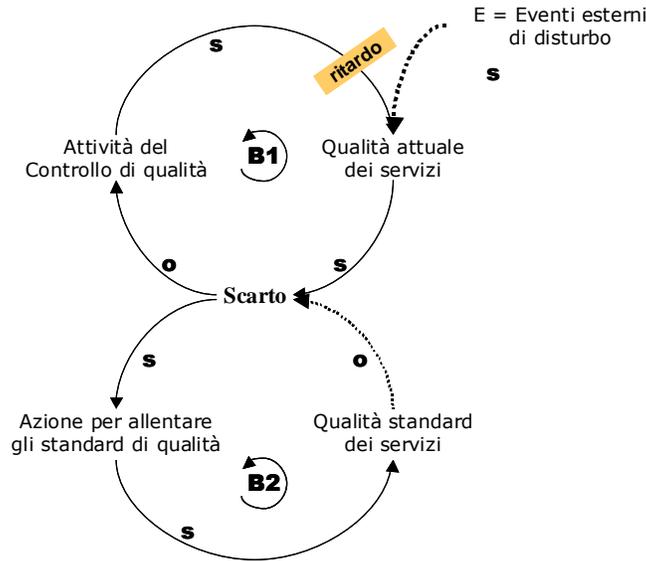
Lo scopo degli ARCHETIPI SISTEMICI è di aumentare rapidamente la capacità del manager-decisore di *vedere* i problemi sistemici, riconoscendone le strutture che li determinano; di abituarli ad affinare le percezioni, al fine di poter essere in grado di cogliere facilmente le strutture sistemiche che generano le situazioni problematiche e di cogliere l'*effetto leva* di quelle strutture per formulare soluzioni definitive.

Peter Senge denomina la soluzione definitiva che sfrutta le potenzialità della struttura del sistema e dei suoi *loop* – non limitandosi ad interventi sintomatici su singole variabili – come *effetto leva*.

«La linea dei profitti del pensiero sistemico è l'effetto leva – vedere in che modo le azioni e i cambiamenti nelle strutture possono portare a miglioramenti significativi durevoli. Spesso, l'effetto leva segue il principio dell'economia dei mezzi, secondo il quale i risultati migliori non derivano da sforzi su larga scala, ma da piccole azioni ben concentrate. I nostri modi non sistemici di pensare provocano tanti danni specifici perché ci portano continuamente a concentrarci sui cambiamenti a basso effetto leva: ci concentriamo sui sintomi di

stress più elevato. Correggiamo e miglioriamo i sintomi: ma sforzi del genere si limitano, quando va bene, a migliorare le cose a breve termine, e a peggiorarle a lungo termine.»
(Senge, 1990: 131).

CLD 7



Senge descrive 10 archetipi. Nel *CLD 7* ne presento uno particolarmente importante che dimostra come possa avvenire il degrado *della qualità nei servizi*, che si manifesta nelle imprese e nelle aziende non profit.

Esso fa riferimento diretto ai sistemi di controllo ed è denominato *Erosione degli obiettivi* (e-rodng goals), proprio perché descrive il pericolo che il controllore del sistema, percependo le difficoltà nel conseguire l'obiettivo, risponda aggiustando l'obiettivo – cioè riducendo le attese di performance del sistema – piuttosto che intervenire sulle condizioni operative che fanno sorgere il problema stesso.

7 – Le leggi del Systems Thinking

Tenendo conto degli archetipi sistemici – e, aggiungo io, delle leggi generali del Systems Thinking – Peter Senge ha compendiate alcune Leggi della Quinta disciplina che possono essere dedotte dalla logica stessa di funzionamento e di comportamento dei sistemi. Le leggi della Quinta disciplina, ormai diventate una pietra miliare, sono applicabili sia agli individui sia ai gruppi sia alle organizzazioni di ogni specie, ed alle imprese, in particolare (tutti i riferimenti sono al testo di Peter Senge, *La quinta disciplina*, edizione italiana, 1992).

7.1 - I problemi di oggi derivano dalle soluzioni di ieri

Secondo Senge, siamo spesso confusi circa le cause dei nostri problemi... quando avremmo solo bisogno di individuare le cause nelle soluzioni di precedenti problemi. Egli sostiene anche che le soluzioni erranee “di ieri”, che si sono limitate a spostare il problema da un settore ad un altro, spesso non sono riconosciute come cause di problemi “di oggi” poiché le persone che hanno “risolto” il problema in passato non sono quelle che si devono occupare del nuovo problema.

«Spesso non viene messo in evidenza il fatto che certe soluzioni si limitano a spostare i problemi da un punto del sistema ad un altro perché, a differenza del mercante di tappeti [che vedendo una gobba nel tappeto, prodotta da un serpentello che vi si era infilato, cercava di schiacciarla, provocando, semplicemente, lo spostamento del serpente], quelli che hanno risolto il primo problema non sono quelli che ereditano il problema nuovo.» (Senge, 1992: 66).

Insegnamento – Nella mappa causale occorre prefissare un punto di osservazione (start) e ricostruire sempre tutti i percorsi che hanno portato a quel punto.

7.2 - Più spingete avanti, più il sistema spinge indietro

Per quanti sforzi si facciano per cambiare lo stato di un sistema, proprio la presenza di processi di bilanciamento, produce risposte del sistema che bilanciano qualsiasi beneficio che scaturirebbe da un'azione di miglioramento.

«Il pensiero sistemico ha un nome per questo fenomeno: 'Retroazione compensativa' [o bilanciamento] che si verifica quando interventi ben intenzionati inducono il sistema a rispondere in modi che cancellano i benefici dell'intervento. Sappiamo tutti cosa vuol dire sentirsi di fronte a retroazione compensativa – più spingete avanti, più il sistema spinge indietro; più vi sforzate di migliorare le cose, più sembra che occorra aumentare gli sforzi. [...].» (Senge, 1992: 66).

«Quando i nostri sforzi iniziali falliscono nel generare miglioramenti durevoli, noi spingiamo “più forte” ... così rimaniamo ciechi nel vedere quanto stiamo contribuendo da soli alla creazione degli ostacoli.» (Senge, 1992: 68).

Insegnamento – Quando dobbiamo migliorare il valore di una variabile d'azione, dobbiamo dare un impulso $\Delta+X$ in qualche circuito di rinforzo, perché nei circuiti di bilanciamento si produrrà una variazione opposta $\Delta-X$ in quella stessa variabile in un tempo successivo.

7.3 - Prima di peggiorare il comportamento migliora

Questo fenomeno è stato più volte evidenziato nel testo.

«La retroazione compensativa comporta di solito un 'ritardo', uno scarto temporale tra il vantaggio a breve termine e lo svantaggio a lungo termine.”. “La retroazione compensativa arriva a perseguitarci solo alla fine. La parola chiave è 'alla fine'.» (Senge, 1992: 69).

Insegnamento – Dobbiamo sempre chiederci cosa succede alla fine [end] quando diamo un impulso ΔX ad una variabile [start], tenendo conto dei ritardi temporali del circuito. Non dobbiamo limitarci a curare i sintomi dei problemi, ma capire ed intervenire sul circuito che li produce.

7.4 - La facile via d'uscita di solito riporta all'interno del problema

Senge afferma che siamo, spesso, ancorati ad applicare soluzioni familiari ai problemi nuovi che si presentano, rimanendo attaccati a ciò che è a noi più noto. Coloro che continuano ad applicare soluzioni familiari fallendo nella modifica del problema fondamentale stanno dimostrando un pensiero non-sistemico.

«Sforzarsi sempre più duramente di applicare soluzioni familiari mentre i problemi di fondo permangono o peggiorano, è un indicatore affidabile di pensiero non sistemico – quello che spesso chiamiamo la sindrome del ‘quel che ci vuole qui è un martello più grosso’.»
(Senge, 1992: 69).

Insegnamento – Evitare le semplici relazioni di causa ed effetto tra due variabili X e Y ma sforzarsi di individuare i feedback costruendo un modello sistemico delle interrelazioni tra X e Y e tra Y e X, creando loop di ampiezza sempre maggiore.

7.5 - La cura può essere peggiore della malattia

Senge sostiene che le “soluzioni familiari” non siano solo inefficaci, ma, spesso, possono causare “dipendenza” e danni maggiori. La conseguenza più insidiosa di soluzioni non-sistemiche è rappresentata dal crescente bisogno di applicare tali soluzioni.

«A lungo termine la conseguenza più insidiosa dell'utilizzo di una soluzione non sistemica è il crescente bisogno di ulteriori dosi di essa. [...]»
«Il fenomeno dei miglioramenti a breve termine che portano alla dipendenza a lungo termine è talmente comune che tra i teorici dei sistemi ha il proprio nome: lo chiamano ‘transfert’.» (Senge, 1992: 70).

Insegnamento – Evitare di limitarsi alle relazioni circolari che coinvolgono solo poche variabili problematiche ma cercare di ampliare la mappa strutturale del sistema fino ad includere le variabili d'azione veramente significative.

7.6 - Più rapido è più lento

Senge constata che la nostra naturale tendenza è quella di produrre miglioramenti sempre più rapidi ed immediati. Quando la crescita diventa eccessiva, tuttavia, il sistema troverà il modo per ridurla autonomamente. Nelle organizzazioni ciò è particolarmente pericoloso perché il fenomeno della crescita troppo elevata potrebbe mettere a rischio l'organizzazione stessa.

«Per molti uomini e donne d'azienda americani il tasso di sviluppo migliore è rapido, più rapido, rapidissimo. Eppure, virtualmente tutti i sistemi naturali, dagli ecosistemi agli animali alle organizzazioni, hanno tassi di crescita ottimali. Il tasso ottimale è molto più lento del tasso di sviluppo più rapido possibile.» “... in teoria tutti i sistemi naturali ... hanno intrinsecamente tassi di crescita ottimali. Il tasso ottimale è decisamente inferiore al più elevato tasso di crescita possibile.» (Senge, 1992: 71).

Insegnamento – Se devi produrre un impulso nella Y accertati prima di tutto quali sono le variabili coinvolte e poi costruisci circuiti sempre più ampi, anche se sono lenti.

7.7 - Causa ed effetto non sono strettamente connessi nel tempo e nello spazio

Senge si chiede, retoricamente, “Perché questo è un problema?”. Nella maggior parte dei casi la risposta è che il problema deriva dal credere che la causa e l'effetto siano sempre strettamente correlati. Ci ricorda che la radice delle difficoltà che incontriamo nelle organizzazioni non è nei “problemi ricorrenti” o nei “malvagi avversari” ma deriva dal nostro erroneo modo di pensare non-sistemico. È la discrasia tra la vera natura della realtà ed il nostro pensiero su quella realtà. Ci dice che il primo passo per correggere quella discrasia consiste nello sbarazzarci della concezione per cui causa ed effetto siano strettamente correlati nello spazio e nel tempo.

«C'è uno scarto di base tra la natura della realtà dei sistemi complessi e i nostri modi di pensare a quella realtà. Il primo passo per correggere quello scarto è di abbandonare il concetto che la causa e l'effetto siano vicini nel tempo e nello spazio.» (Senge, 1992: 72).

Insegnamento – Occorre individuare il sistema che sta alle spalle del sintomo e che produce azioni di lungo termine e non limitarsi alle catene causali aperte più prossime al sintomo.

7.8 - Piccoli cambiamenti possono produrre grossi risultati

Mentre alcuni si riferiscono al pensiero sistemico come alla “scienza oscura” – poiché insegna che le soluzioni più ovvie non funzionano – Senge afferma che il Systems Thinking dimostra come piccole e mirate azioni possono generare miglioramenti significativi laddove opportunamente applicate ... un concetto, questo, chiamato “leverage”.

La difficoltà in questo consiste nel fatto che le soluzioni associate alla leva più efficace non siano quelle più ovvie alle persone che si trovano all'interno del sistema.

Le soluzioni che sfruttano meglio l'effetto leva non sono spesso “vicine nello spazio e nel tempo ai ... sintomi del problema.”.

«Il pensiero sistemico dimostra ... che azioni limitate, ma ben orientate, possono talvolta produrre miglioramenti significativi e durevoli, se vengono applicate nel punto giusto. I teorici dei sistemi chiamano questo principio 'l'effetto leva'. ... L'unico problema è che ... i cambiamenti derivanti da un elevato effetto leva di solito ... non sono 'vicini nel tempo e nello spazio'» (Senge, 1992: 73).

Insegnamento – “Imparare a vedere le strutture sottostanti anziché gli eventi” – Imparare a riconoscere gli archetipi sistemici – Pensare in termini di processi e non di istantanee.

7.9 - Potete avere la torta e mangiarla – ma non subito

Senge afferma che spesso vediamo le nostre scelte come “o... o...”, in termini di esclusione di una soluzione per preferirne un'altra. Occorre, tuttavia, riconoscere che le scelte “o...o...” sono il prodotto del pensiero statico; la vera leva risiede nel vedere come si possano realizzare entrambe le possibilità nello stesso tempo.

«Molti dilemmi apparenti ... sono sottoprodotti del pensiero statico. Essi appaiono come scelte rigide – o/o – perché pensiamo a ciò che è possibile in un dato momento del tempo.» (Senge, 1992: 75).

«Qualche volta, i dilemmi più ingarbugliati, se osservati dal punto di vista sistemico, non sono per niente dei dilemmi. Essi sono artefatti di 'istantanee', anziché pensiero per processi» (Senge, 1992: 74).

Insegnamento – Occorre pensare a processi ripetitivi che si sviluppano nel tempo. Se vi sono variabili contrapposte, cercare la variabile che le connette così che si possano modificare entrambe con opportuni loop di rinforzo.

7.10 - Dividere un elefante in due non dà due elefantini

Senge dichiara che le organizzazioni, come gli organismi viventi, hanno un'integrità ... le loro caratteristiche dipendono dall'intero.

Afferma che per comprendere la maggior parte dei problemi manageriali sia necessario individuare l'intero sistema che determina i problemi. Avverte che vedere gli "elefanti interi" non significa che ogni aspetto organizzativo possa essere compreso solo guardando l'intera organizzazione.

Alcuni possono essere compresi indagando le principali funzioni, mentre altri richiedono l'analisi delle forze critiche del sistema all'interno di un'area funzionale. La maggior parte delle architetture organizzative limitano le persone nel vedere le interazioni.

«I sistemi viventi sono sistemi completi. Il loro carattere dipende dall'insieme. Lo stesso vale per le organizzazioni; per capire le più difficili questioni manageriali è necessario vedere l'intero sistema che genera quelle questioni.» (Senge, 1992: 75).

«Il principio chiave, detto 'principio del limite del sistema' è che le interazioni da esaminare sono quelle più importanti per la questione in esame, indipendentemente dai limiti organizzativi formali.» (Senge, 1992: 76).

Insegnamento – Il sistema non ha confini interni ma solo confini esterni. Dividere il sistema in sottosistemi è possibile ma occorre sempre interconnettere i sottosistemi per ricostruire l'intero sistema.

7.11 - Non ci sono colpe da attribuire

Senge sostiene che tendiamo ad attribuire le colpe per i nostri problemi alle circostanze esterne. Il Systems Thinking afferma che non esiste un "fuori", che siamo parte di un sistema che include le cause dei problemi. Quindi, la cura risiede nelle nostre relazioni con il nostro "nemico".

«Il pensiero sistemico dimostra che non c'è un esterno; che tanto voi quanto la causa dei vostri problemi siete parte di un unico sistema. La cura risiede nel vostro rapporto con il vostro 'nemico'.» (Senge, 1992: 77).

Insegnamento – Se osserviamo un problema allora abbiamo un problema. Cerchiamo di trovare la soluzione e di non essere noi stessi parte del problema.

8 – I principi del Systems Thinking applicato al Problem Solving

Il Systems Thinking appare congeniale al Problem Solving. Ritengo utile presentare alcuni principi indicando anche gli archetipi ad essi collegati.

REGOLA GENERALE: *non dobbiamo limitarci a considerare i problemi quali sintomi indesiderati di cause immediate da scoprire e da eliminare (soluzione sintomatica) quanto, piuttosto, quali effetti indesiderati del funzionamento di qualche sistema che occorre riconoscere, specificare e controllare (soluzione definitiva).*

Primo principio: applica il pensiero sistemico prima di tutto per evitare che sorgano problemi.

ARCHETIPO DELLE SOLUZIONI CHE FALLISCONO: *nell'affrontare determinati problemi possono essere adottate strategie risolutive urgenti e di breve periodo che tuttavia generano conseguenze impreviste – la cui manifestazione sarà successiva – e che rendono necessario un continuo riaggiustamento della soluzione.*

Secondo principio: *non fermarti al sintomo ma applica il Systems Thinking per riconoscere la vera natura del problema ed evitare le soluzioni sintomatiche che – non risolvendo il problema, ma solo eliminando i sintomi – spesso lo aggravano.*

ARCHETIPO DEL TRANSFER: in presenza di un sintomo, le soluzioni sintomatiche possono ritardare la ricerca del problema e l'adozione di soluzioni definitive; tale ritardo può portare ad effetti collaterali che ulteriormente ostacolano la ricerca di soluzioni di lungo periodo; il pensiero sistemico favorisce ed accelera la ricerca della soluzione definitiva.

Terzo principio: *nel Problem Solving è necessario considerare la decisione sempre nell'ambito di qualche processo sistemico – che caratterizza una data situazione individuale od organizzativa – del quale è necessario specificare la rete dei processi mediante la costruzione di un significativo Causal Loop Diagram.*

Quarto principio: *il sintomo non è “il” problema perché “il” problema è nella struttura del sistema e nella sua dinamica.*

Quinto principio:

nella soluzione dei problemi sistemici, non accontentarti di soluzioni sintomatiche ma ricerca la leva sistemica-strutturale che può produrre l'effetto leva più incisivo;

se le leve sistemiche sono molteplici, devi scegliere la più efficiente, quella che può produrre i massimi effetti con il minimo sforzo;

per attivare la leva strutturale prescelta, individua la leva decisionale più efficace (variabile d'azione), tenuto conto della durata necessaria per produrre l'effetto voluto;

la scelta della leva strutturale e delle leve decisionali, nonché l'intensità delle azioni per modificarne i valori, deve derivare da un'attenta costruzione, interpretazione e valutazione della mappa causale del sistema.

Sesto principio: *se vuoi risolvere un problema modificando la struttura del sistema, oppure introducendo nuovi programmi che rimodulano i processi, poni attenzione:*

1. *alle modifiche che possono innescare una dinamica di espansione o di riduzione; nessuna espansione o riduzione si mantiene a lungo nel tempo; ogni circuito di rinforzo produce sempre un circuito di bilanciamento che, nel lungo periodo, può anche invertire il senso della dinamica;*
2. *alle modifiche che bilanciano una dinamica di espansione o di riduzione; ogni bilanciamento genera processi contrastanti che possono prevalere e fare riprendere la dinamica, spesso con segno invertito.*

ARCHETIPO DELLA PREFERENZA ATTUALE: le preferenze di vantaggi a breve termine superano quelle di vantaggi a lungo termine e, simmetricamente, agli svantaggi a breve termine sono preferiti gli svantaggi a lungo termine.

Settimo principio: cerca di non commettere mai due (o più volte) lo stesso errore.

ARCHETIPO DELLA EROSIONE DEGLI OBIETTIVI: il manager-decisore, percependo le difficoltà nel conseguire l'obiettivo (sintomi), spesso risponde "aggiustando" l'obiettivo – cioè riducendo le attese di performance del sistema – piuttosto che intervenendo sulle condizioni operative che fanno sorgere il problema stesso.

ARCHETIPO DEL SUCCESSO A CHI HA SUCCESSO: si tende ad assegnare maggiori risorse a chi ha avuto successo nell'impiegarle. Il soggetto che riceve più risorse, aumenta le probabilità che le sue migliori performance, rispetto ad altri soggetti si mantengano stabili nel tempo, così che un iniziale assegnazione di risorse produce un differenziale di performance permanente.

ARCHETIPO DELLA TRAGEDIA DELLE RISORSE COMUNI: quando due o più soggetti fruiscono di una risorsa comune, la risorsa, prima o poi, si esaurirà.

ARCHETIPO DEL LIMITE ALLA CRESCITA: nulla cresce all'infinito. Ogni processo di crescita, che si avvale di una condizione di crescita disponibile in quantità limitata, è destinato prima o poi ad esaurirsi.

ARCHETIPO DELLA INSUFFICIENZA DI INVESTIMENTI: quando la crescita è rallentata dalla progressiva saturazione della capacità produttiva, e tale saturazione potrebbe essere a sua volta eliminata con investimenti aggiuntivi in capacità, solitamente la saturazione della capacità inibisce anche i nuovi investimenti.

ARCHETIPO DEGLI AVVERSARI ACCIDENTALI: quando due o più soggetti cooperano per il successo reciproco, contemporaneamente o successivamente all'azione di collaborazione e di supporto del reciproco successo, i soggetti mettono in atto azioni per perseguire il successo personale, individuale, ostacolando a vicenda e deprimendo le performance collettive ed individuali.

9 – System Dynamics

La costruzione dei *Causal Loop Diagram* è un passo fondamentale per “vedere” e capire i sistemi che agiscono attorno a noi e che interagiscono con il nostro comportamento. Poiché il Systems Thinking, per sua natura, considera i sistemi dinamici, è naturale sviluppare tecniche di simulazione per cercare di rappresentare numericamente e graficamente le successioni dei valori generati dall'azione del sistema studiato, come nei tentativi perseguiti nel Paragrafo precedente.

Il Systems Thinking, nella sua *espressione quantitativa*, volta alla simulazione, è comunemente noto come studio della dinamica dei sistemi dinamici o (Dynamic) *System Dynamics*, disciplina che si fa unanimemente risalire a Jay Forrester con il suo fondamentale testo *Industrial Dynamics* (Forrester 1961).

In un recente articolo, il Fondatore così la definisce:

«Dynamic System dynamics is a professional field that deals with the complexity of systems. System dynamics is the necessary foundation underlying effective thinking about systems. System dynamics deals with how things change through time, which covers most of what most people find important. System dynamics involves interpreting real life systems into computer simulation models that allow one to see how the structure and decision-making policies in a system create its behavior.» (Forrester, 1999).

Il metodo del System Dynamics appare chiarito dallo stesso Forrester:

«System dynamics combines the theory, methods, and philosophy needed to analyze the behavior of systems in not only management, but also in environmental change, politics, economic behavior, medicine, engineering, and other fields. System dynamics provides a common foundation that can be applied wherever we want to understand and influence how things change through time. The system dynamics process starts from a problem to be solved – a situation that needs to be better understood, or an undesirable behavior that is to be corrected or avoided. The first step is to tap the wealth of information that people possess in their heads. [...] System dynamics uses concepts drawn from the field of feedback control to organize available information into computer simulation models.»: (Forrester, 1991: 5).

Poiché System Dynamics e Systems Thinking sono discipline che coprono lo stesso campo del sapere, viene il dubbio di quale possa essere considerata originaria e quale derivata.

Il Systems Thinking rappresenta una generalizzazione del System Dynamics oppure il System Dynamics è una specializzazione operativa del Systems Thinking? Non si deve ricercare se sia nato prima l'uovo o la gallina: la risposta si trova nel sito della System Dynamic Society:

«What is the relationship of Systems Thinking to System Dynamics? Systems thinking looks at exactly the same kind of systems from the same perspective. It constructs the same Causal-Loop-Diagram. But it rarely takes the additional steps of constructing and testing a computer simulation model, and testing alternative policies in the model.».

10 – La rilevanza dei sistemi di controllo

Tra i vari risultati che il Systems Thinking ci consente di ottenere, quello forse più importante riguarda la capacità di farci capire, spiegare e simulare come agiscono i *sistemi di controllo*, senza i quali il “mondo” stesso – inteso come sistema di variabili interrelate – probabilmente non esisterebbe. Una cosa è certa: senza l'azione dei milioni e milioni di sistemi di controllo, a vari livelli gerarchici, non potrebbe esistere la vita stessa, tanto quella monocellulare quanto, a maggior ragione, quella degli organismi, dell'uomo come individuo, delle organizzazioni, della società e degli ecosistemi.

Il Systems Thinking ha il grande merito di chiarire che i sistemi di controllo non sono solo quelli attivati dall'uomo, ma devono essere necessariamente presenti in ogni aspetto della natura, là dove è necessario impedire che il valore di certe variabili superi dati limiti o là dove tali valori sono posti sotto forma di obiettivi. Senza entrare nei dettagli della storia del pensiero sistemico, ricordo che la prima e, senz'altro, più nota sistematizzazione della teoria dei sistemi di controllo è stata quella di Norbert Wiener, il fondatore della Cibernetica, definita come la scienza del controllo (e della guida) dei sistemi. Il testo di Wiener era, infatti, intitolato: *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*. «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 $\chi\upsilon\beta\epsilon\rho\nu\eta\tau\eta\tau$ ovvero *timoniere*. La scelta di questo termine è dovuta al riconoscimento che abbiamo inteso dare al fatto che il primo significativo scritto sui meccanismi a feedback è un articolo sui regolatori (*governors*) pubblicato da Clerk Maxwell nel 1868 [...]» (Wiener, 1968: p. 35).

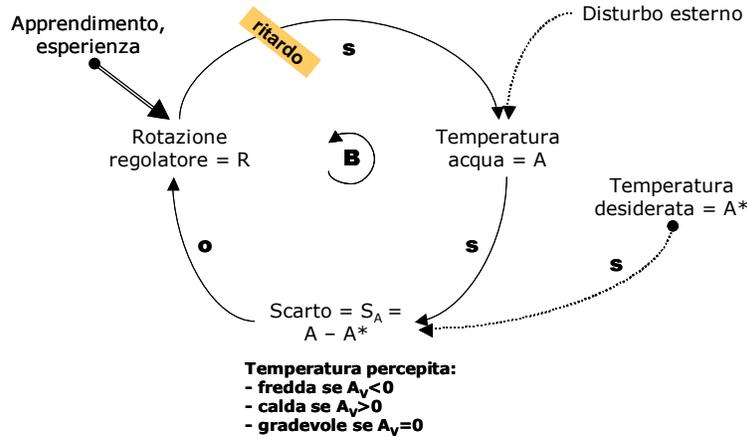
11 – La struttura dei sistemi di controllo

Per rappresentare la struttura logica dei Sistemi di Controllo, già considerati in un precedente paragrafo, voglio prendere le mosse dal *Causal Loop Diagram* che rappresenta un sistema di controllo che tutti abbiamo sperimentato: la regolazione della temperatura dell'acqua della doccia per mantenere un valore gradevole (obiettivo).

Se percepiamo l'acqua fredda, ruotiamo la leva del miscelatore (primo impulso), come nel modello indicato nel *CLD 8*.

Quando l'acqua segue un percorso piuttosto lungo, dalla caldaia alla doccia, è necessario qualche secondo “ Δt ” perché la temperatura si adegui; il freddo è sgradevole e non siamo pazienti; ruotiamo ancor di più il regolatore (secondo impulso) e, finalmente, trascorso un intervallo “ Δt ”, la temperatura diventa piacevole, quale risposta alla prima rotazione del miscelatore (primo impulso); trascorso, però, un altro intervallo, si produce l'effetto del secondo impulso e l'acqua inizia a scottare. Ci precipitiamo ad invertire la rotazione del regolatore con la conseguenza che potremmo produrre una variazione troppo accentuata con conseguente fuoruscita di acqua gelata, come tutti sappiamo.

CLD 8



Facendo riferimento al CLD 8, osserviamo che possiamo caratterizzare *ogni* sistema di controllo, *senza ritardi*, con *quattro variabili e tre costanti* fondamentali.

Iniziamo con le quattro variabili:

1. la variabile “Y”, che rappresenta la *variabile da controllare*, l’output, quella della quale interessa ottenere una dinamica che caratterizza il comportamento dell’intero sistema;
2. la variabile “X”, cioè la *variabile d’azione*, l’input, sulla quale si deve intervenire per modificare la “Y”;
3. la variabile “ $S_Y = Y - Y^*$ ”, che assume il significato di deviazione (errore, scarto) tra i valori della “Y” e l’obiettivo “ Y^* ”;
4. la variabile “E” che indica i possibili disturbi esterni (“E” potrebbe essere anche una costante di disturbo).

Esaminiamo ora le 3 costanti:

- a. l’obiettivo “ Y^* ” – oppure il vincolo “ Y^o ” – indica il valore che la variabile da controllare deve raggiungere e possibilmente mantenere;
- b. il *tasso d’azione* “ $g(Y/X)$ ” indica la variazione della Y per ogni unità di variazione della X;
- c. il *tasso di reazione* “ $h(X/Y)$ ” indica la variazione della X per ogni unità di variazione della Y; solitamente si pone “ $h = 1/g$ ”, in tutti i casi in cui – come nella doccia – l’effetto della variazione in aumento o in diminuzione della “X” produce effetti inversi sulla “Y”; in questo caso il sistema appare perfettamente *simmetrico* al controllo; osservo, esplicitamente, che il sistema si può controllare anche se “ $h \neq 1/g$ ”.

Sulla base di questo insieme minimale di variabili e di costanti, possiamo scrivere il *modello euristico* tramite il quale si sviluppano le equazioni ricorsive che descrivono il comportamento del sistema attraverso la dinamica delle sue variabili:

- all’istante ($t=0$) si assegna il valore X_0 alla variabile d’azione;

– all'istante ($t=0$), impiegando il tasso d'azione "g", si determina il primo valore Y_0 della variabile da controllare:

$$Y_0 = X_0 g + E_0 \quad [1]$$

– nel successivo istante ($t=1$) si determina l'errore ($S_Y = Y_0 - Y^*$)

– sempre all'istante ($t=1$) si corregge la variabile d'azione sottraendo il fattore di correzione calcolato con il *tasso di reazione* "h", secondo l'equazione:

$$X_1 = X_0 - (Y_0 - Y^*)h \quad [2]$$

– poiché non vi sono *ritardi*, sempre a ($t=1$) si calcola il nuovo valore della variabile da controllare, con l'equazione:

$$Y_1 = X_1 g + E_1 \quad [3]$$

– procedendo ricorsivamente, agli istanti ($t=n$) e ($t=n+1$) si calcolano i nuovi valori di Y e di X con le equazioni:

$$Y_n = X_n g + E_n \quad [4]$$

$$X_{n+1} = X_n - (Y_n - Y^*)h \quad [5]$$

– il sistema raggiunge un *equilibrio stabile* quando lo scarto ($Y_n - Y^*$) si annulla e la variabile da tenere sotto controllo raggiunge e mantiene il valore obiettivo;

– la stabilità può essere durevole ma la Legge dell'impermanenza (Mella, 2007: Cap. 2, Par. 6) fintantoché non sopraggiunge qualche perturbazione E_n che impone nuovi aggiustamenti.

Questi elementi sono da soli sufficienti a caratterizzare il modello generale di sistema di controllo senza ritardi secondo la simbologia del Systems Thinking.

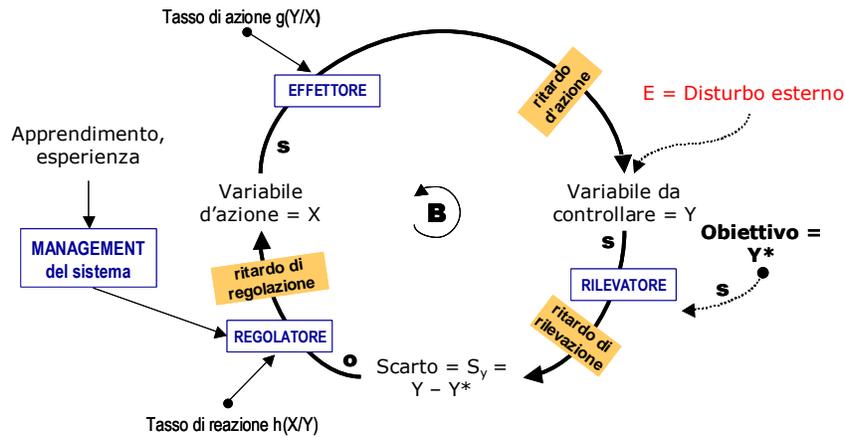
Nel *CLD 9* ho voluto inserire anche le tre fondamentali "macchine" generatrici dei processi che, di fatto, producono la variazione nelle variabili e che costituiscono il *sistema fisico* sotto controllo:

1) l'EFFETTORE che rappresenta l'*apparato* (naturale o artificiale) che, di fatto, consente di trasformare una variazione nella X nella corrispondente variazione della Y, tenuto conto del tasso d'azione "g" e dei valori della variabile di disturbo "E";

2) il RILEVATORE che costituisce l'*apparato* fondamentale per misurare il valore della Y, confrontarlo con l'obiettivo Y^* (o il vincolo Y^o) e determinare lo scarto; senza il calcolo accurato dello scarto non vi può essere regolazione della X;

3) il REGOLATORE che rappresenta l'*apparato* in grado di "azionare" la variabile d'azione, cioè di sceglierne il nuovo valore tenuto conto dello scarto, secondo il tasso di reazione "h".

CLD 9



Questi tre *apparati* – insieme con i processi attuati – costituiscono la CATENA DI CONTROLLO del sistema.

Nel CLD 9 ho completato il modello indicando anche i tre possibili ritardi che agiscono a tutti gli stadi della catena di controllo; solo se tutti e tre sono nulli, il sistema è senza ritardo:

- a) il ritardo più frequente è il *ritardo d'azione* che agisce rallentando la risposta della Y ad un impulso della X; esso dipende dall'EFFETTORE;
- b) il secondo è il *ritardo di rilevazione*; è un ritardo subdolo in quanto agisce sulla percezione e sulla misurazione dell'errore; se l'errore non viene rilevato prontamente, il regolatore può produrre un nuovo dannoso impulso nella X;
- c) il terzo è il *ritardo di regolazione* che si manifesta quando il regolatore non risponde prontamente all'errore.

Questi ritardi sono generali e sempre in agguato nei sistemi di ogni tipo; spesso non ci accorgiamo della loro presenza in quanto il sistema ammette una certa *tolleranza* nel proprio funzionamento così che lievi asincronie tra le variazioni nelle variabili non influiscono in modo sensibile sul suo comportamento.

12 – Il management del sistema di controllo

Vorrei riflettere sul meccanismo di REGOLAZIONE la cui funzione è di decidere quale nuovo valore (o variazione) assegnare alla variabile d'azione, tenuto conto dell'entità dell'errore, per consentire al sistema di conseguire i propri obiettivi.

Definisco **MANAGER** del sistema il soggetto (individuo o gruppo o organizzazione) che, con le sue decisioni, influisce sul **REGOLATORE** per variare la “X” al fine di modificare la “Y” tramite l'EFFETTORE, supponendo che il funzionamento di tali *apparati* sia invariante nel tempo.

A volte il manager influisce direttamente anche sul **REGOLATORE** e sull'*apparato* di RILEVAZIONE. In questo caso manager diventa parte integrante del sistema.

L'attività del manager – il MANAGEMENT – si fonda pertanto su appropriate conoscenze (unite a sufficiente esperienza) dell'intera catena di controllo; tali conoscenze devono consentirgli di giudicare l'adeguatezza degli obiettivi da conseguire, di dominare il funzionamento dell'EFFETTORE, di attuare le procedure sul RILEVATORE per determinare l'errore e per quantificare i ritardi, oltre che padroneggiare i meccanismi operativi del REGOLATORE.

Un sistema di controllo il cui MANAGER è parte integrante della CATENA DI CONTROLLO è un *sistema cibernetico* (o a regolazione automatica). In esso, nessun intervento di MANAGEMENT deriva dall'esterno se non quelli necessari per individuare i tre parametri fondamentali: "Y*", "g" ed "h". Il sistema è autosufficiente nel produrre la propria dinamica volta al raggiungimento dell'obiettivo; il controllo, in questo caso, è anche denominato *ad anello chiuso* o mediante *feedback automatico*. Se il MANAGER è *esterno* alla CATENA DI CONTROLLO, essendo separato dal REGOLATORE, allora il sistema è *regolato dall'esterno*; il controllo si definisce anche *ad anello aperto* o con *feedback non automatico*.

Sotto la doccia siamo noi i MANAGER della gestione della temperatura; il sistema di controllo è *non automatico*. Nel nostro ufficio la temperatura è regolata automaticamente, mediante un termostato del quale stabiliamo la temperatura desiderata (obiettivo); il sistema è cibernetico.

13 – Sistemi di controllo nelle imprese

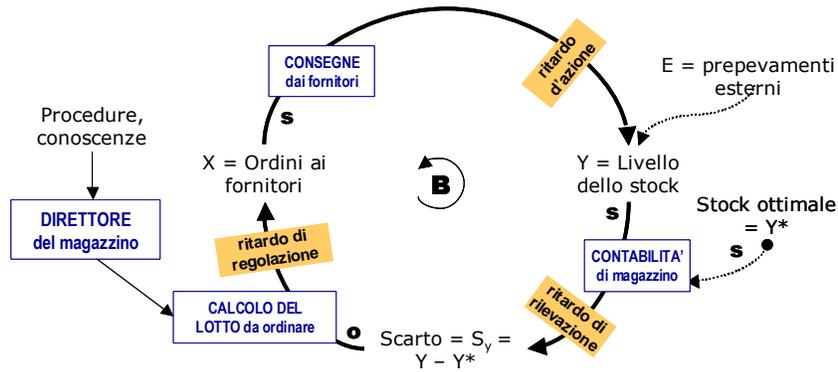
Se applichiamo i concetti del Systems Thinking, possiamo anche rilevare che una parte considerevole dei *processi* elementari di gestione possono essere osservati come *sistemi di controllo* elementari rappresentabili con il modello generalizzato nel *CLD 9*. Tali processi sono gestiti da *manager* a vari livelli della scala gerarchica dell'organizzazione, ciascuno responsabile del controllo dell'efficienza del proprio processo.

Il *CLD 10*, per esempio, rappresenta il modello per tenere sotto controllo un magazzino di un componente da acquistare da fornitori esterni. In esso ho indicato, per semplicità, anche i processi, oltre che le variabili implicate in essi.

Il Livello dello stock si incrementa per le consegne dai fornitori che seguono, con un ritardo, gli Ordini lanciati (variabile di controllo) dal direttore o responsabile del magazzino che rappresenta il *manager* del sistema. Rilevato lo scarto tra lo Stock ottimale e il Livello dello stock, il manager determina il Lotto da ordinare, con calcoli accurati che tengono conto dei costi di riordino e di stoccaggio, utilizzando, per es., la Formula di Wilson, e lancia l'ordine.

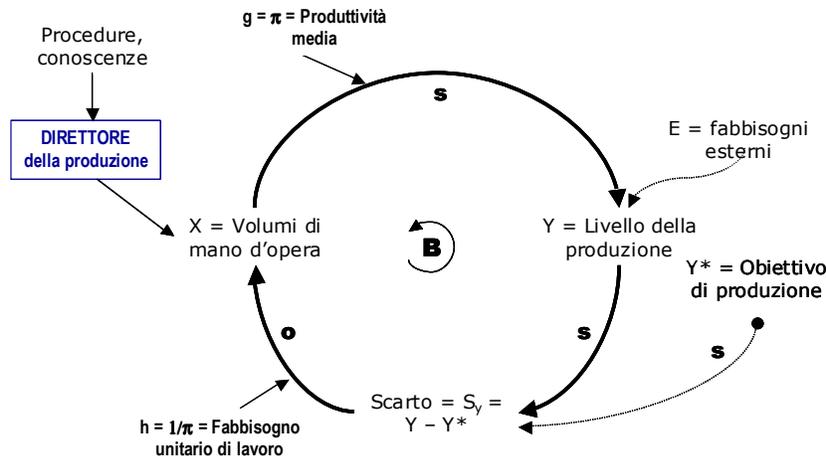
I Prelevamenti esterni rappresentano la variabile che riduce il livello degli stock e che rende necessaria la ricostituzione delle scorte.

CLD 10



Il CLD 11 evidenzia, in forma più snella, ma del tutto equivalente, che adatteremo sempre nel seguito (non sono indicati i nomi dei processi), un sistema di controllo nell'ambito della produzione, quando i processi produttivi richiedono mano d'opera (il modello si applica, in modo perfettamente equivalente, per ogni materia o componente).

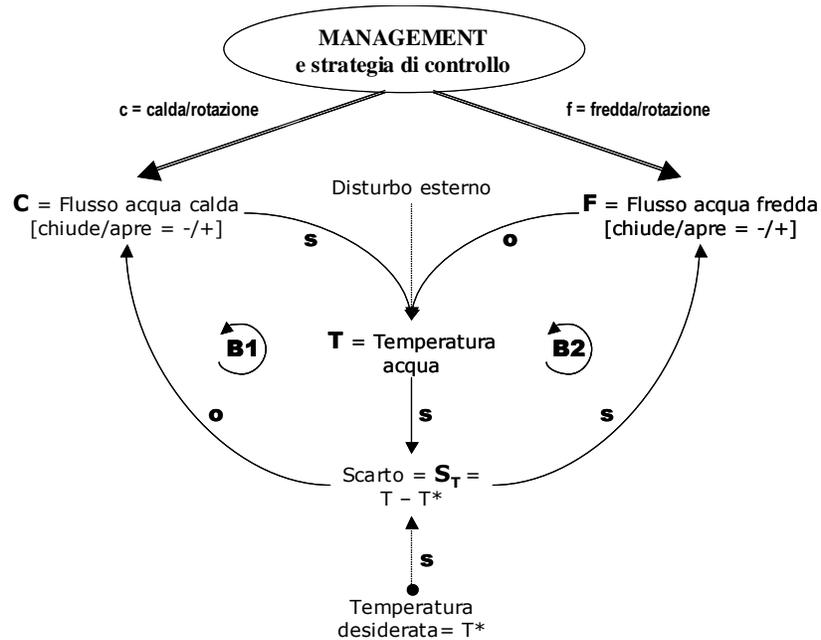
CLD 11



Il responsabile della produzione – che rappresenta il *manager* del sistema – considerati gli Obiettivi di produzione desiderati, tenuto conto dei Fabbisogni esterni da soddisfare, determina i Volumi di mano d'opera secondo i dati del Fabbisogno unitario medio di lavoro (quanto lavoro necessario per un'unità di prodotto) e successivamente, sulla base della Produttività media (quanto prodotto è ottenuto per unità di lavoro), si quantifica il Livello della produzione.

Il CLD 12 espone il modello del sistema che regola il controllo di un dato Parametro tecnico di qualità (per es., lo spessore di un laminato, la densità di un composto, ecc.). Il responsabile del controllo di qualità – il manager del sistema – rilevato uno scarto tra Valore del parametro e Valore ottimale, regola i Parametri produttivi dei macchinari che svolgono il processo (per es., la distanza tra due rulli di laminazione, i flussi di componenti da miscelare).

CLD 13



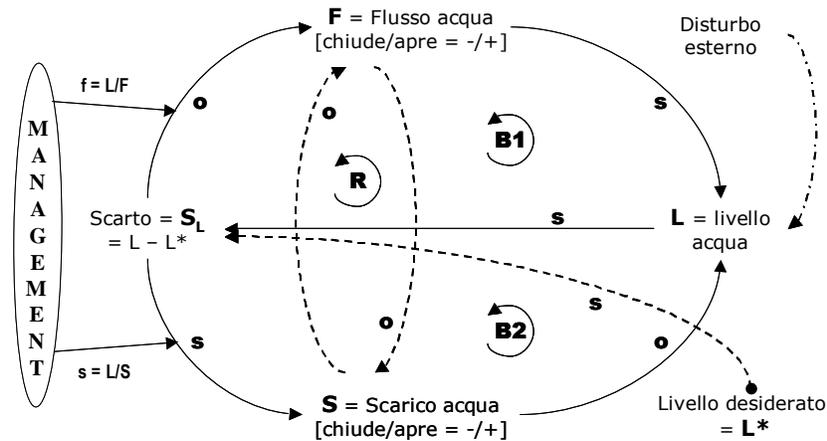
Sostituendo (X_1 a C), (X_2 a F) e (Y a T), il CLD 13 diventa un modello generale di sistema di controllo a due “leve” indipendenti la cui regolazione dipende dalla strategia di controllo del management.

Il più semplice esempio di sistema di controllo con due variabili dipendenti è quello che regola il livello dell’acqua di una vasca (L) mediante le due “leve” di controllo rappresentate dalla rotazione del rubinetto del Flusso d’acqua (F) e dall’ampiezza dell’Apertura del foro di scarico come raffigurato nel CLD 14.

Appare del tutto intuitivo che quando c’è un afflusso, perché si apre il rubinetto, non ci può essere contemporaneamente lo scarico (a meno di qualche svista); parimenti, quando l’acqua viene fatta defluire è del tutto inutile aprire il rubinetto di afflusso; pertanto, in questo sistema di controllo è necessario agire sul rubinetto e sul foro di scarico in senso opposto, fino alla chiusura di uno dei due. Proprio per indicare questo vincolo, ho inserito nel CLD 14 la coppia di frecce tratteggiate di senso “o” che, collegando le due variabili F ed S, formano il terzo loop di rinforzo che ho indicato con [R].

Sostituendo (X_1 a F), (X_2 a S) e (Y a L), tale CLD diventa un modello generale di sistema di controllo a due “leve” dipendenti che non possono essere liberamente regolate dal manager ma che devono essere “manovrate” in senso opposto.

CLD 14



15 – Controllo a più leve e livelli

Per ampliare la logica dei sistemi di controllo, consideriamo un istruttivo sistema a tre “leve” che ben conosciamo: un’automobile (“macchina” che svolge un processo) il cui guidatore (manager) voglia controllare la velocità di crociera (variabile da controllare) pur al variare della pendenza della strada e di altre variabili di disturbo esterne.

Come indicato nel *CLD 15*, il guidatore, per controllare la velocità, (V) ha a disposizione tre “leve”: l’acceleratore (A), il freno (F) e il cambio delle marce (C). Le “leve” acceleratore e freno sono *vincolate*; è assolutamente inutile – anzi, pericoloso – accelerare e frenare contemporaneamente; il cambio di marcia può, invece, sommarsi all’azione su A e su F . È esperienza comune che si agisce sul cambio solo quando l’azione delle altre due “leve” si rivela insufficiente.

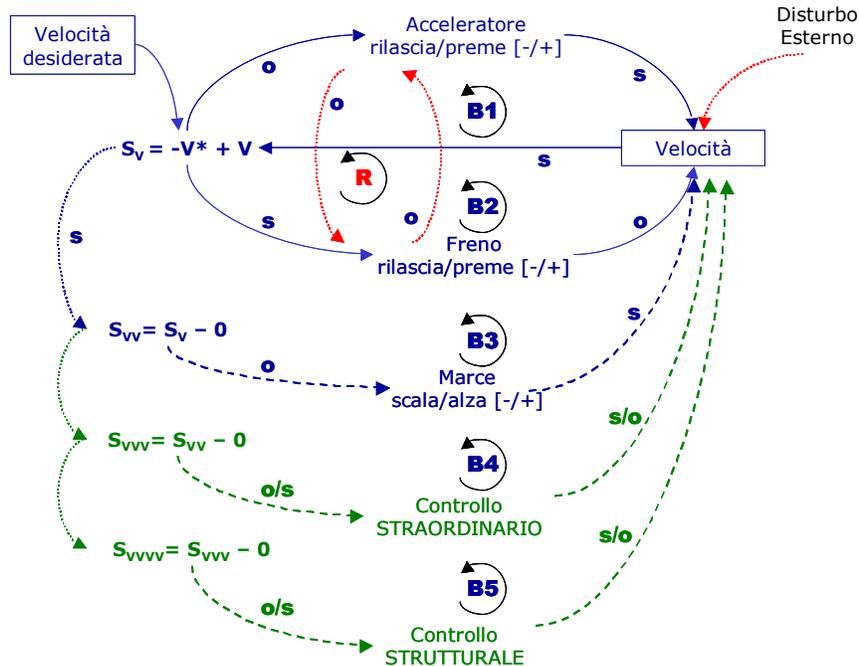
Quando la velocità è troppo elevata (rispetto alla forma della strada o ad un limite di velocità) la strategia migliore è quella di manovrare prima la “leva” A (si riduce a zero la pressione sull’acceleratore); in un secondo momento, si manovra la “leva” F (cioè si preme il freno) e, successivamente ancora, la “leva” C (si scala la marcia).

Se, incontrando una salita, il guidatore si accorge che la velocità si è ridotta di troppo, azzera la pressione sul freno, preme sull’acceleratore e inserisce una marcia appropriata.

Differenti guidatori possono, tuttavia, avere diverse preferenze di comportamento; anziché prima frenare e poi scalare la marcia, qualcuno potrebbe preferire prima scalare la marcia e poi frenare (se non si corre il rischio di rompere il motore).

In questo esempio ritorna, innanzitutto, il problema della *strategia di management*: stabilire l’ordine dell’azione sulle leve conoscendo (tramite l’esperienza diretta o le indicazioni del manuale del veicolo) sia il tasso di variazione di ciascuna leva sulla velocità, sia i tassi inversi di manovra delle leve in funzione dell’entità dello scarto.

CLD 15



L'esempio ci consente anche un'altra *conclusione generale*: nel caso di controllo tramite variabili molteplici, le “leve” possono avere priorità di azione diversa in relazione alla supposta durata del periodo necessario per il controllo, cioè in relazione al *ritardo* nella “risposta alla manovra”.

Il manager deve stabilire la *strategia ottimale* tenendo conto del *ritardo* dell'azione per decidere l'*ordine di manovra* delle leve di controllo.

Freno ed acceleratore sono “leve” di *primo ordine* per un *controllo di primo livello* in quanto sono pressoché senza ritardo e la loro manovra deve essere attuata per prima; l'azione sul cambio può essere considerata ad effetto ritardato (anche se non di molto) e quindi tale leva appare di *secondo ordine* per un *controllo di secondo livello*. Ho impiegato nel modello il simbolo $S_{vv} = S_v - 0$ per indicare lo scostamento di secondo livello che si produce quando il conducente si accorge che l'azione sulle leve di primo ordine non ha annullato lo scostamento S_v . Pertanto occorre un'altra leva (il cambio) per annullare S_{vv} quando il suo valore non è pari a zero.

Se anche il cambio non fosse sufficiente – e si manifestasse uno scostamento di terzo livello, $S_{vvv} = S_{vv} - 0$ – si potrebbero intraprendere altre azioni quali procedere a zig-zag, oppure dirigere le ruote sulla ghiaia, fino anche allo sfregamento della fiancata contro un muro; in casi estremi, il guidatore potrebbe ritenere addirittura preferibile arrestarsi rudemente contro un albero piuttosto che precipitare nella scarpata.

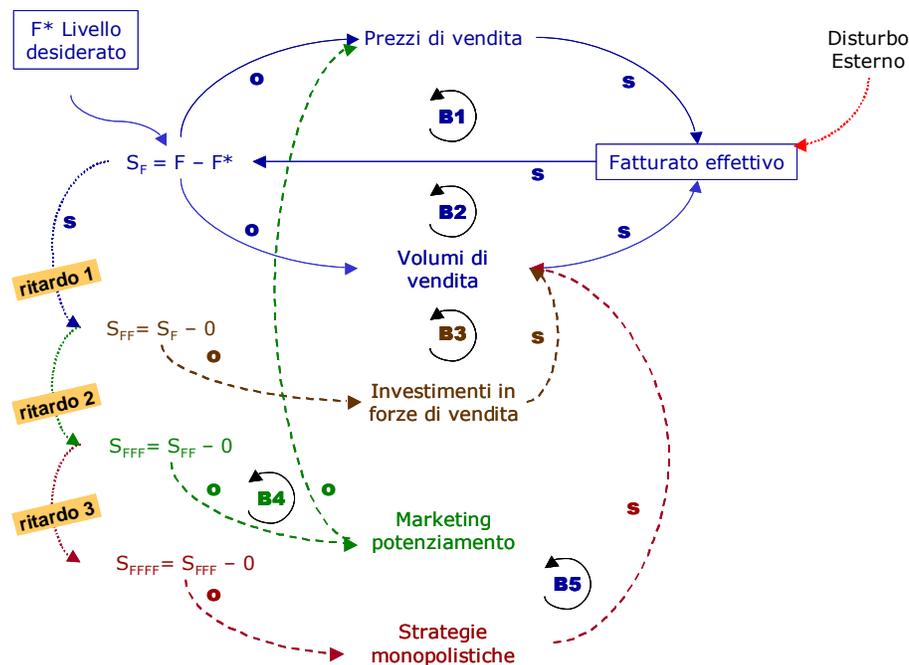
Gli altri interventi (l'ordine in cui sono indicati nel *CLD 16* è puramente indicativo) sono di più lungo termine e strutturali.

Gli Investimenti in tecnologia e quelli di Ristrutturazione dei processi si suppone producano un risparmio di fattori di produzione; quelli per modificare il mix dei fornitori, mettendoli in competizione o ricercando condizioni migliori, si suppone incidano sul livello dei Prezzi di approvvigionamento.

È intuibile che questi interventi strutturali di ampio respiro difficilmente possano incidere direttamente sul budget; tuttavia, il modello del *CLD 16* è così generale da trovare applicazione anche in ipotesi di altre forme di programmazione e di controllo: pianificazione, target costing, *activity based costing* ed altri ancora.

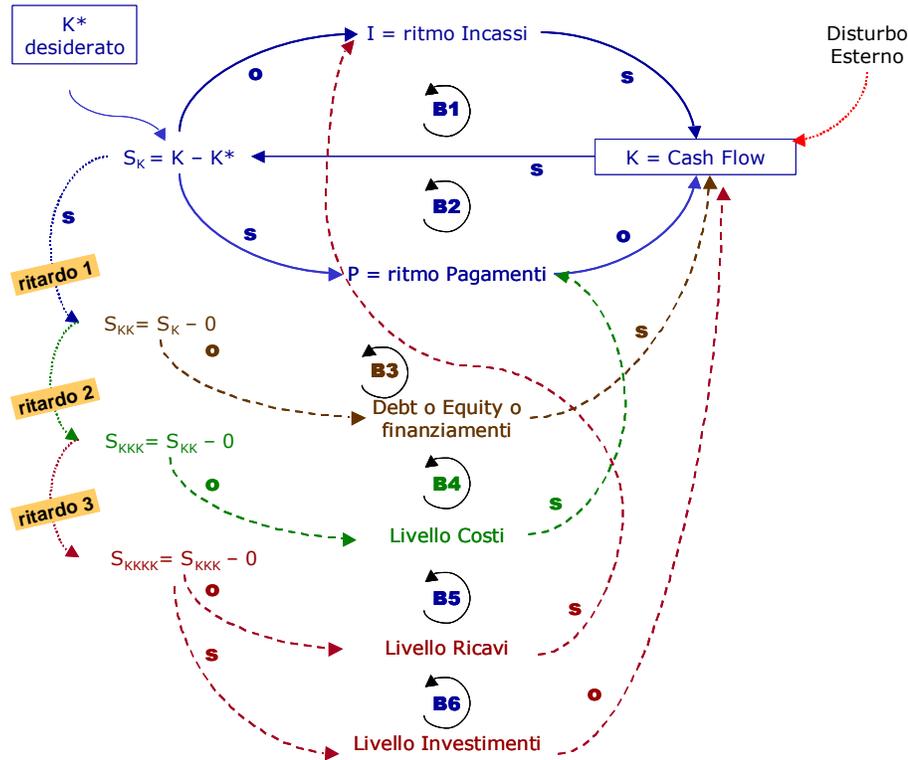
Il *CLD 17* traccia il modello del sistema di controllo dei ricavi, indicati come Fatturato di vendita, rispetto ai volumi desiderati. Anche in questo caso, sono previsti vari livelli di intervento: il controllo operativo si articola sulle variabili Prezzi di vendita e Volumi di vendita.

CLD 17



Le altre variabili d'azione consentono un controllo strutturale di medio lungo periodo; in particolare (l'ordine è indicativo) il potenziamento delle Forze di vendita e l'elaborazione di Strategie monopolistiche – o, comunque, in grado di rafforzare il vantaggio di dimensione – incidono sui Volumi di vendita; le azioni di Marketing che si traducono nel potenziamento delle relative variabili (pubblicità, promozione, sconti, packaging, ecc.), incidono sui Prezzi di vendita.

CLD 18



A prima vista, sembra impressionante l’analogia tra il modello di controllo dei Costi del CLD 16 e quello di controllo dei Ricavi del CLD 17; non c’è da stupirsi: i *manager* dei due sistemi di controllo “guidano automobili” che rappresentano analoghi sistemi di variabili con connessioni simili; non è un caso, in quanto un’impresa è una “macchina” che attua trasformazioni economiche nelle quali i costi sono gli input ed i ricavi gli output; tale macchina è (quasi) simmetrica rispetto ai suoi input ed ai suoi output.

Pertanto, il sistema logico dal quale trovano formazione i costi è analogo a quello dal quale dipendono i ricavi; mutano unicamente le variabili che contraddistinguono tali sistemi.

Il CLD 18 presenta il sistema di controllo del cash flow di breve periodo (K) che si origina dai cash inflow connessi ai ricavi, cioè gli Incassi (variabile I), detratti i cash outflows derivati dai costi, cioè i Pagamenti (variabile P).

17 – Controllo multi obiettivo e politiche di controllo

Tutti gli esempi presentati nel paragrafo precedente hanno una caratteristica in comune: pur potendo agire su molteplici “leve”, il *manager* teneva sotto controllo una sola *variabile obiettivo*: la temperatura o il livello dell’acqua, la velocità, i costi, i ricavi e così via.

È giunto il momento di fare evolvere ulteriormente i nostri modelli e considerare il caso ancor più generale di sistemi di controllo nei quali il *manager* debba controllare, contemporaneamente, diverse variabili cui sono assegnati determinati valori-obiettivo.

Vorrei prendere le mosse dal caso più emblematico: il controllo di un aereo per raggiungere una certa destinazione.

Il *manager* di questo sistema è, ovviamente, il pilota (insieme allo staff di terra) che deve tenere sotto controllo molteplici variabili obiettivo operative che caratterizzano il volo. Tre sono le fondamentali: la direzione, la velocità e l'altitudine di volo: *solo il mantenimento del loro controllo per tutta la durata del volo consente al pilota di raggiungere l'obiettivo finale rappresentato dalla destinazione del volo.*

Il modello di sistema di controllo di un aereo in volo non è molto complicato da comprendere, come dimostra il *CLD 19*. Qualunque sia l'aereo, comunque siano strutturati i meccanismi di controllo (motore, alettoni, timoni, ecc.), il sistema di controllo, nelle variabili fondamentali, è sempre lo stesso: pilotare significa controllare una "macchina" complessa secondo un sistema di controllo che nelle sue variabili essenziali appare semplice e facilmente comprensibile.

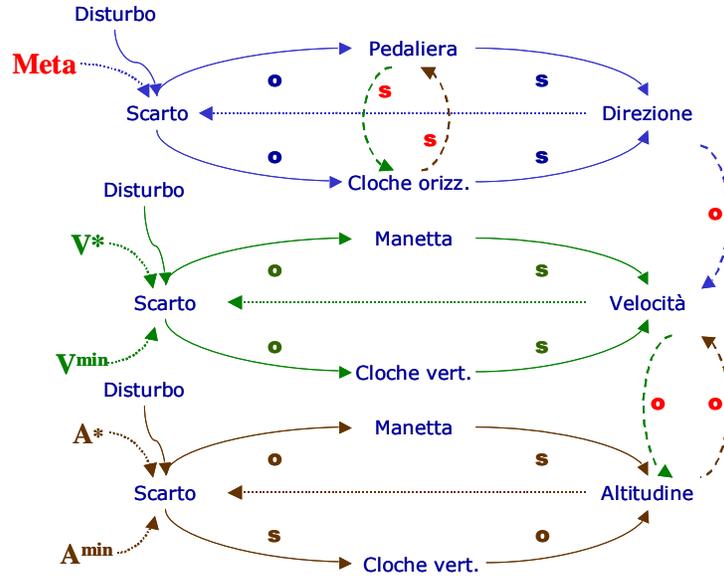
Il pilota-*manager* deve rispettare le regole ed i vincoli indicati nel *CLD 19*, nel rispettarli, può tenere comportamenti molto vari: per perdere rapidamente quota, potrebbe tirare la manetta (togliere giri all'elica) e contemporaneamente spingere la cloche, acquistando velocità; volendo, potrebbe aumentare contemporaneamente velocità e quota, spingendo la Manetta in una misura superiore a quella necessaria per aumentare solamente la quota.

Osservo, esplicitamente, che il modello di controllo di un aereo differisce da quelli presentati nei paragrafi precedenti per una caratteristica fondamentale: *la contemporanea presenza di diversi obiettivi parziali* (Direzione, Velocità, Altitudine) *che devono essere controllati contemporaneamente* dal manager-pilota, agendo sulle specifiche variabili di controllo, per condurre il velivolo verso la Meta prefissa.

In molte circostanze, il pilota deve decidere un ordine di priorità degli obiettivi da controllare. In caso di deviazione dalla rotta, per presenza di vento laterale, potrebbe correggere innanzitutto la Direzione e, successivamente regolare l'Altitudine; oppure potrebbe mantenere la rotta attuale e ricercare una Quota migliore; in caso di vento contrario, potrebbe privilegiare il controllo della Velocità mantenendo la rotta attuale, oppure potrebbe cercare di mantenere la Velocità deviando dalla rotta per evitare il vento contrario; in caso di vento in coda, potrebbe mantenere costante la Manetta ad anticipare l'arrivo; oppure ridurre la Manetta per sfruttare la "spinta" del vento mantenendo l'ora di arrivo; o, ancora, deviare dalla rotta per rispettare la puntualità, senza ridurre la Manetta. Se all'orizzonte si profilasse un forte temporale, il pilota potrebbe decidere di proseguire la rotta attuale, pur sapendo che l'attraversamento dei cumuli temporaleschi non favorirebbe certo il comfort dei passeggeri, oppure potrebbe decidere di aggirare il temporale, deviando la

rotta ma aumentando, contemporaneamente, la Manetta per evitare il ritardo; oppure, ancora, guadagnare quota e sorvolare i cumuli del maltempo.

CLD 19



Insomma, il *manager*-pilota, prima del volo (e solo eccezionalmente durante il volo) deve individuare un ordine di importanza degli obiettivi, cioè stabilire una *politica di controllo*.

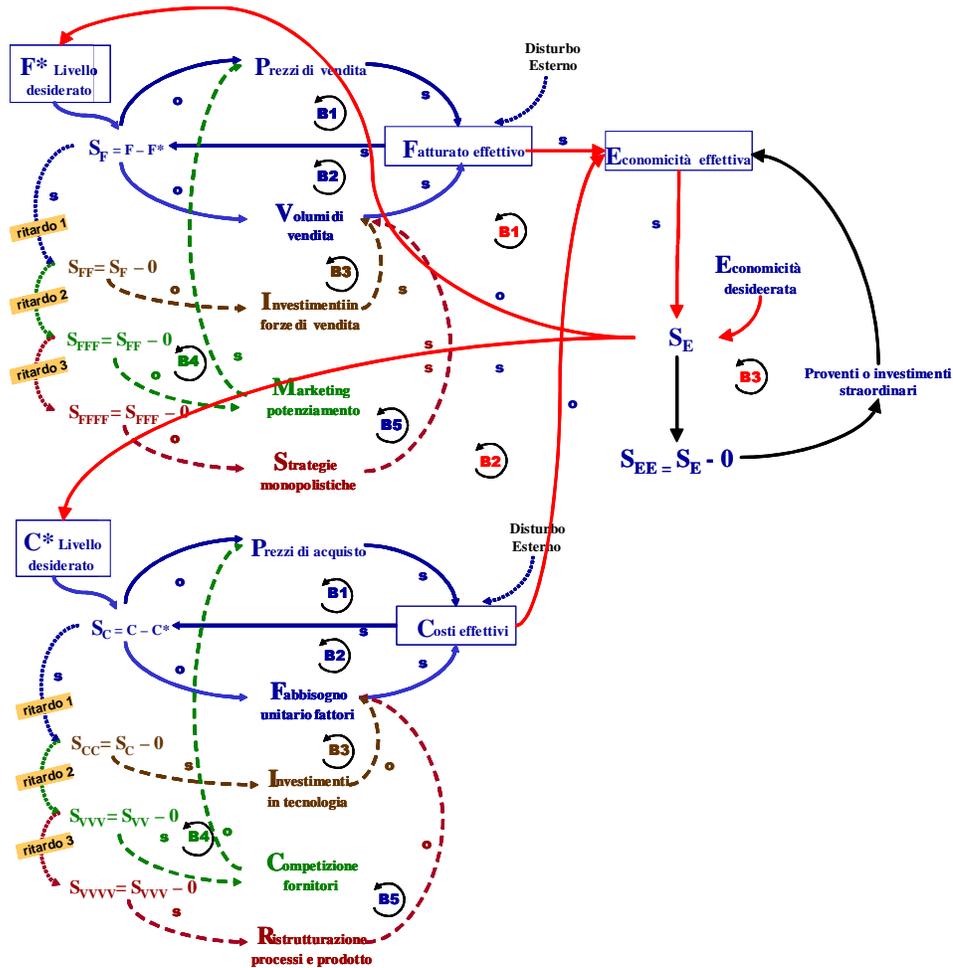
Proprio in quanto definisce la priorità delle variabili da controllare, cioè degli obiettivi, la *politica* di controllo differisce dalla *strategia* del controllo che, invece, come sappiamo, concerne la scelta delle variabili di controllo, vale a dire, delle “leve” da manovrare per conseguire la *politica* prescelta.

È dunque delineato il modello generale del controllo: il sistema può essere controllato solo se si specifica l’insieme degli obiettivi da perseguire e se sono contemporaneamente disponibili sufficienti “leve” di controllo, tra loro compatibili e coordinate. Il *manager* preposto al controllo deve specificare antecedentemente, o nel corso dell’attività del sistema, tanto la *politica da conseguire* quanto la *strategia per conseguirla*.

Il controllo, inteso come concreto *management* per indirizzare il sistema verso i propri obiettivi (secondo la *politica* scelta) è sempre un’attività “on line”, cioè *concomitante* alla dinamica del sistema. Se la *politica* e la *strategia* sono definite prima che abbia inizio la traiettoria, il controllo si definisce *antecedente*. Se sono definite durante l’evoluzione della traiettoria, il controllo si definisce *sussequente*.

È possibile ora riferire alle imprese il sistema di controllo multi-obiettivo delineato per l’aereo.

CLD 20



Rimanendo a livello generale, possiamo convenire che la Meta finale – che deve essere conseguita anno dopo anno – sia un dato livello di economicità, come indicato nel CLD 20 che, per quanto richiederebbe ulteriori zoomate sia verso il particolare sia verso il generale, ci consente comunque di capire come, di fatto, anche le imprese possano, e debbano, essere pilotate dal management verso obiettivi definiti di economicità.

Tale attività svolta dal management è nota, negli studi di management, proprio con il termine di *controllo di gestione* (Mella, 1997).

A seconda dell'orizzonte temporale considerato, che condiziona la scelta delle “leve” di controllo manovrabili, il *controllo di gestione* sviluppa il sistema di controllo sia elaborando una *politica* (lungo termine), per fissare la priorità degli *obiettivi*, sia mettendo a punto la *strategia* (controllo a medio e lungo termine) nell'ambito della prescelta politica, sia impiegando i *budget* (controllo a breve termine).

18 – “Vedere l'impossibile” o “l'impossibile vedere”

I modelli elaborati dal Systems Thinking atti a cogliere il *dinamismo*, la *ripetitività*, la *ricorsività* e la *memoria*, sono gli strumenti con i quali possiamo tentare di capire come si evolveranno le situazioni, di anticipare il futuro e “vedere prima”, *prevedere*, ciò che ancora non possiamo “guardare”, per prepararci a ciò che potrebbe influire sulla nostra esistenza e, soprattutto di controllare i processi della nostra esistenza.

Non dobbiamo, tuttavia, caricare il Systems Thinking di poteri taumaturgici, di capacità metafisiche, di attese ideali o esagerate.

Dobbiamo essere realisti.

In molte situazioni, per quanti sforzi ed energie possiamo dedicare, la costruzione di modelli sistemici efficaci non appare possibile, o viene fortemente ostacolata da alcune condizioni che rendono pressoché “*impossibile vedere*” la realtà nelle sue connessioni e nelle sue dinamiche.

Utilizzando brevi metafore, voglio fare un cenno a cinque di queste condizioni che *ostacola-no* il nostro pensiero sistemico nel capire e nel controllare il mondo:

- 1) lentezza temporale (boiled frog),
- 2) velocità processuale (ninfee, networking effect),
- 3) distanza nello spazio (butterfly effect),
- 4) direzione osservativa (mono-directional view),
- 5) complessità strutturale (memory), computazionale e temporale.

18.1 - *Prima metafora. Lentezza temporale (boiled frog)*,

Si racconta che nei laboratori di biologia venga fatto questo esperimento.

Una rana viva viene buttata in una pentola di acqua bollente. Se non si tramortisce subito, la rana, con un grande sforzo, per quanto ustionata, riesce a saltare fuori.

Una seconda rana viene immersa in una pentola di acqua fredda, sotto la quale è accesa una fiamma che scalda l'acqua lentamente. La rana dapprima sente freddo ma, con il graduale aumento della temperatura dell'acqua, le sembra di stare in Paradiso e si crogiola beata nell'acqua tiepida. La temperatura sale ma la rana – che non sa nulla di pentole, fiamme e ricercatori che la osservano – cerca di resistere al calore, sperando forse che l'acqua ritorni alla temperatura ideale. Ma, inesorabilmente, il calore si fa insopportabile e decide di saltar fuori. Le sue membra sono intorpidite dal calore e non le danno la spinta necessaria; quasi sempre, dopo un paio di tentativi falliti, la rana rimane nell'acqua e viene lessata (boiled frog).

Insegnamento: vi sono fenomeni così *lenti* che spesso non riusciamo a percepirli.

Il Systems Thinking impone di considerare con particolare cautela le piccole e lente variazioni nelle variabili perché ad esse si possono associare fenomeni vitali che, se non colti nel momento in cui si avviano, potrebbero provocare conseguenze catastrofiche. Riconosciamo facilmente l'azione negativa della “rana bollita” nell'incapacità dei *policy maker* di percepire e controllare i

fenomeni di inquinamento, disboscamento, variazioni climatiche, immigrazione o spopolamento, criminalità, diffusione di sostanze stupefacenti, e così via; ma anche nell'incapacità dei *manager* di imprese di percepire la lenta ascesa dei concorrenti, la lenta perdita di quote di mercato, il lento percorso dei prodotti verso le fasi calanti del loro ciclo di vita, il lento logoramento del clima organizzativo.

Regola operativa: amplificare i segnali deboli, proiettando le variazioni lente in un orizzonte futuro di ampiezza adeguata.

18.2 – Seconda metafora. Velocità processuale (ninfee, networking effect),

Si racconta che un contadino avesse nella sua proprietà un laghetto ricco di pesci, in riva al quale pescava nei giorni di festa. Un giorno, passando di lì, vide nel laghetto una ninfea. Non ci fece molto caso. Un paio di giorni dopo vide quattro ninfee. Ne fu compiaciuto. Il laghetto stava diventando un bel posto non solo per pescare ma anche per qualche picnic, allietato dai fiori. Dopo una settimana vide che le ninfee erano diventate numerose e pensò: «*devo decidermi a fare pulizia, perché altrimenti i pesci soffriranno*». Nei giorni successivi fu impegnato in varie attività e quando ripassò davanti al laghetto vide che era per metà occupato dalle ninfee. Poiché doveva completare i lavori in altri campi pensò: «*tra qualche giorno dovrò proprio tagliare un po' di ninfee*». Ma era troppo tardi. Le ninfee raddoppiavano il loro numero ogni notte e il giorno seguente esse coprivano l'intero laghetto, facendo moria di pesci. Quando il contadino tornò dovette dire addio alla passione per la pesca.

Insegnamento: vi sono fenomeni così rapidi – solitamente di accumulazione e di propagazione – che non ci consentono di “vederne” l'evoluzione se non quando questa ha prodotto i propri effetti sul sistema.

Un tipico caso in cui è difficile, se non impossibile, *vedere la dinamica* di un sistema è il cosiddetto *networking effect* che opera soprattutto nei *network* di elementi che propagano qualche informazione, o effetto, a velocità troppo elevata per essere osservata.

Un elemento inizia la propagazione a due o più altri ad esso collegati; questi, a loro volta, la propagano ad altri elementi del *network*, così che, come nella fissione nucleare, si sviluppa una dinamica così rapida da non poter essere osservata mentre si produce, ma solo quando si “vede” l'effetto globale che, solitamente, presenta aspetti indesiderabili.

Sembra proprio di sentire l'aria, così magistralmente resa da Rossini, ne *Il barbiere di Siviglia*: «*La calunnia è un venticello - Un'auretta assai gentile - Che insensibile sottile - Leggermente dolcemente - Incomincia a sussurrar. [...] Alla fin trabocca, e scoppia, - Si propaga si raddoppia - E produce un'esplosione - Come un colpo di cannone, - Un tremuoto, un temporale, [...]* » (atto primo).

Regola operativa: di fronte alla rapidità delle dinamiche delle variabili non c'è molta difesa; l'unica regola è quella di cercare di individuare, con la massima rapidità, la regola di crescita del sistema e il *network* delle interconnessioni tra gli elementi che lo costituiscono.

18.3 – Terza metafora. Distanza nello spazio (*butterfly effect*),

Si racconta che il battito delle ali di una farfalla in Brasile potrebbe provocare una tromba d'aria nel Texas e che molti tifoni nel mar dei Caraibi potrebbero essere provocati dal battito d'ali di farfalle che svolazzano inconsapevolmente in una valle degli Urali.

Il termine *butterfly effect* deriva dal fisico Edward Lorenz che nel 1979 affermò che se le teorie dei sistemi complessi e del caos fossero corrette, un battito d'ali di una farfalla sarebbe sufficiente ad alterare il corso del clima, anche per sempre (www.nemesi.net/farf.htm).

A volte questo effetto è noto anche come *Turing effect* in quanto Alan Turing esprimeva analogo concetto affermando che lo spostamento di un singolo elettrone per un milionesimo di centimetro, a un momento dato, grazie ad una catena lunghissima di cause ed effetti, potrebbe dare origine ad avvenimenti molto diversi, come l'uccisione di un uomo un anno dopo, a causa di una valanga, o la sua salvezza (Turing, 1950).

Insegnamento: vi sono sistemi così complessi – costituiti da un elevatissimo numero di variabili concatenate tramite *loop nidificati* entro altri *loop* – che anche un'insignificante variazione in una di queste variabili è sufficiente per produrre effetti enormemente amplificati in altre, in tempi e luoghi lontani. Il problema non è di “vedere” gli effetti finali (trombe d'aria e tifoni) ma quello di percepire le variazioni minute e distanti nel tempo.

Regola operativa: non limitarsi a guardare la “foresta” – l'intero sistema – ma *zoomare* in profondità verso gli “alberi”, i loro “rami” e “rametti” – le parti costituenti – considerando variabili sempre più minute dalle quali potrebbe partire la variazione iniziale dagli effetti difficilmente prevedibili, prodotti dalle interconnessioni ai livelli sempre più ampi.

Non dimenticare di “vedere” l'azione dei *loop* di interconnessione nei fenomeni ricorsivi. Mentre Lorenz e Turing “vedono” solo in una direzione, il Systems Thinking si deve spingere oltre, sfruttando il potere dell'*Uroboros*, domandandosi non solo se le farfalle, battendo le ali, provocheranno l'alterazione del clima, ma anche se l'alterazione del clima non potrebbe provocare l'estinzione delle farfalle; ed allora, quali battiti d'ali produrrebbero nuovi tifoni?

18.4 – Quarta metafora. Direzione osservativa (*mono-directional view*),

Si racconta che il sindaco di un ridente paese di montagna fosse disperato. Tutti i pomeriggi, all'incirca alla stessa ora, la strada che da valle saliva verso la cima si riempiva improvvisamente di automobili che formavano una coda di molti chilometri in lentissimo movimento che poi, altrettanto repentinamente, scompariva.

Si misero all'opera i tecnici del comune per rilevare i flussi di traffico. Stranamente, il numero di veicoli mediamente transitanti per minuto era maggiore, e di molto, in altre ore della giornata; eppure sulla strada non si formavano code. Per chiarire il misterioso comportamento del flusso furono dislocati osservatori lungo tutta la strada, ad intervalli regolari.

Sorpresa! Tutti i pomeriggi, alla stessa ora, un'automobile, con a bordo due maturi coniugi, percorreva la strada ad andatura normale; quando giungeva in prossimità della cima, rallentava, tenendo una velocità bassissima per un paio di chilometri; facendo da “tappo” per gli automobilisti che seguivano, causavano la coda; riprendendo la normale andatura, il traffico veniva smaltito.

Convocato dal sindaco, l'anziano autista dichiarò: «*Non so nulla delle code di cui parlate. Io non ne ho mai incontrate. Percorriamo questa strada da settimane e quando siamo in cima rallentiamo perché non ci stanchiamo mai di ammirare il panorama delle vette sempre innevate. Mi creda: non ho mai incontrato code.*». Non avendo riscontrato infrazioni, al sindaco non rimase che allargare la strada con una corsia di sorpasso, in prossimità della cima, costruendo anche una piazzola di sosta per ammirare il panorama.

Insegnamento: spesso “guardiamo” in una sola direzione e non riusciamo a “vedere” le variabili che si manifestano alle nostre spalle o in altre direzioni; a volte, addirittura, preferiamo ignorarle. Più in generale, chi è dentro la foresta e guarda solo gli “alberi” non riesce a “vedere” la foresta. Solo dall'esterno la “foresta”, il sistema, ci appare in tutte le sue interconnessioni.

Chi deforesta per ricavare terreno coltivabile per la propria sopravvivenza (guardare avanti) non vede – o non vuole vedere – i danni provocati all'ecosistema (guardare indietro). Sostituite “disboscare” con “cacciare balene”, “ammucchiare rifiuti”, “costruire dighe sui grandi fiumi”, ecc. ecc. ed otterrete sempre lo stesso risultato: chi “guarda” solo avanti non “vede” dietro di sé.

Regola operativa: il Systems Thinking, imponendo di *zoomare* ponendosi all'esterno del parziale sistema osservato, e di ricercare i *loop* con gli altri sottosistemi, aiuta a superare questo impedimento alla corretta osservazione sistemica. Ciò che il pensiero sistemico non potrà mai evitare è la volontà di girare consapevolmente lo sguardo altrove, per non “vedere”.

18.5 – Quinta metafora. Complessità strutturale (memory), computazionale e temporale.

Si racconta che molti brillanti laureati in cibernetica avessero chiesto al celebre cibernetico Ross Ashby di fermarsi nel suo Dipartimento per lavorare con lui.

Per scegliere i più motivati, Ashby diede loro un semplice automa, costituito da un contenitore con pile, dotato di due pulsanti on/off e due lampadine, con pochissimi stati interni, chiedendo loro di ripresentarsi il giorno seguente, ma solo se avessero saputo fornire una descrizione corretta di ciò che accadeva alle lampadine premendo i pulsanti on/off in tutte le possibili combinazioni.

Il giorno dopo quasi tutti tornarono. Mostratosi soddisfatto, sottopose loro un secondo automa con un numero più elevato di stati interni, invitandoli a ripresentarsi dopo una settimana, se fossero stati nel frattempo in grado di costruire la descrizione.

Si ripresentarono in pochi ed essi ricevettero un terzo automa, una “macchina” ben più impegnativa, con molteplici input e dai numerosi stati interni, con l'invito a ritornare con la descrizio-

ne, questa volta senza porre limiti di tempo. Uno solo ritornò dopo molte settimane ed il Maestro, incredulo, gli chiese se avesse completato la descrizione.

Il perseverante candidato scosse la testa sconsolato, affermando: «*Non penso sia logicamente impossibile descrivere questo automa ma ritengo che nessun essere umano ci riuscirebbe in una sola vita.*». Ashby, soddisfatto, lo invitò nel suo Dipartimento perché quel giovane aveva colto l'insormontabile problema della *complessità dei sistemi con memoria*.

Insegnamento: anche sistemi dalla struttura semplice presentano una complessità intrinseca quando sono sistemi con una memoria; gli *stati interni* che formano la memoria disaccoppiano gli *input* dagli *output* producendo catene di cambiamenti di stato che possono estendere oltre ogni possibilità il numero e la lunghezza temporale dei calcoli necessari per descriverlo. Il Systems Thinking, del resto, come sappiamo, deve affrontare spesso tali difficoltà e si trova impotente nel “vedere” una “foresta” della quale non si possono “guardare” gli alberi.

Regola operativa: l'unica regola da seguire è quella di specificare il *confine* del sistema che, in questo caso, è rappresentato dai limiti dell'*approssimazione accettabile* nel correlare la dinamica degli *output* a quella degli *input*. In ogni caso, qualunque tecnica per cercare di “guardare” all'interno della *black box* deve essere utilizzata.

References

- Forrester J. W. (1991). System Dynamics and the Lessons of 35 Years, Sloan School of Management, M.I.T., at: <http://sysdyn.clexchange.org/sdep/papers/D-4224-4.pdf>
- Forrester J. W. (1999). System Dynamics: the Foundation Under Systems Thinking. Sloan School of Management. MIT Cambridge, MA 02139: at: <http://sysdyn.clexchange.org/sdep/papers/D-4828.html>
- Forrester, J. W. (1961). Industrial Dynamics. Waltham, MA: Pegasus Communications.
- Mella P. (2007). Guida al Systems Thinking, Il Sole24Ore, Ed., Milano.
- Mella P. (1997). Dai sistemi al pensiero sistemico. FrancoAngeli Ed., Milano.
- Mella P. (1997b). Il controllo di gestione. Utet, Torino.
- Richmond B. (2000). The “thinking” in Systems Thinking. Seven essential skills, Pegasus Communications, Inc., Waltham.USA.
- Richmond B. (2001). An Introduction to Systems Thinking with ithink. At: www.hps-inc.com
- Richmond B. (2005). Il pensiero sistemico. Quattro domande chiave sul Systems Thinking. Economia Aziendale web, 272005: at: <http://www.ea2000.it/file%20per%20numero2-2005/2-05richmond.pdf>
- Senge P., & Lannon-Kim C. (1991). The Systems Thinker Newsletter, V.2, N.5. P.O. Box 1281, Kendall Square, Cambridge, MA.
- Senge P., Kleiner A., Roberts C., Ross R., Smith B. (1994). The fifth discipline Fieldbook, Boubleday, Random House Inc., New York.
- Senge, P.M. (1990). The Fifth Discipline: The Art and Practice of the learning Organization. NewYork: Doubleday /Currency. (Trad. It.: La quinta disciplina. Sperling & Kupfer, Milano, 1992).

Wiener N. (1948). *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Cambridge, Mass., M.I.T. Press, 1948 (Trad. It.: *La Cibernetica*, Mondadori, Milano, 1968).