



Introduzione alla System Dynamics

Alberto F. De Toni – Massimo Bearzi
Università degli studi di Udine

1

AGENDA

- Introduzione
- Principi base della System Dynamics
- Prospettive di analisi
- Approcci

2

AGENDA

- Introduzione
- Principi base della System Dynamics
- Prospettive di analisi
- Approcci

3

COS'È LA SYSTEM DYNAMICS

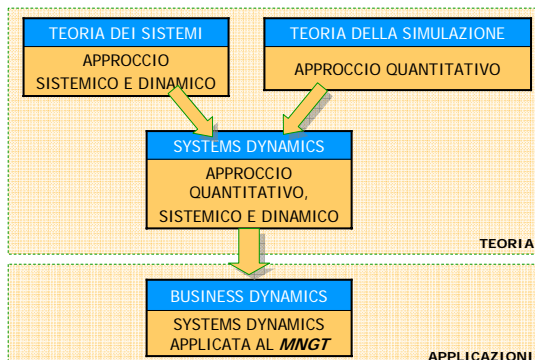
È una tecnica che consente di:

- *rappresentare i sistemi* come insiemi di più componenti che interagiscono tra di loro
- *analizzarne il comportamento dinamico*

Viene applicata mediante la realizzazione di **modelli di simulazione** che vengono fatti 'girare' su un apposito software.

4

Discipline, strumenti ed aree logiche



5

Cenni storici

- Nasce alla fine degli anni '50 presso il MIT di Cambridge (USA) ad opera di **J.W. Forrester**, che pubblica successivamente:
 - *Industrial dynamics* (1961)
 - *Urban dynamics* (1969)
 - *World dynamics* (1973)
- Si accresce nei contenuti teorici grazie alla corrente del **Pensiero Sistemico**, soprattutto con **P. Senge**:
 - *La quinta disciplina* (1990)
- Trova un'accurata organizzazione solo recentemente con **J.D. Sterman** (ancora MIT):
 - *Business dynamics: system thinking and modelling for a complex world* (2000)

6

AGENDA

- Introduzione
- Principi base della System Dynamics
 - CONCETTO DI SISTEMA
 - CAUSALITA' CIRCOLARE
 - ACCUMULI E FLUSSI
- Prospettive di analisi
- Approcci

7

AGENDA

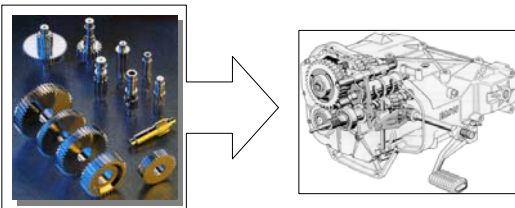
- Introduzione
- Principi base della System Dynamics
 - CONCETTO DI SISTEMA
 - CAUSALITA' CIRCOLARE
 - ACCUMULI E FLUSSI
- Prospettive di analisi
- Approcci

8

SISTEMA – definizione meccanica

« gruppo di elementi che operano insieme per un fine comune »

J.W. Forrester, "Principles of Systems", 1968

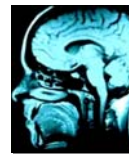


9

SISTEMA – definizione organica

« unità globale organizzata di interrelazioni fra elementi, azioni o individui »

E. Morin, "Il metodo. Ordine, disordine, organizzazione", 1983

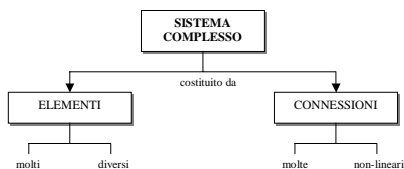


IL CERVELLO:

10¹¹ – 10¹² neuroni
 1.000 dendriti per neurone
 10¹² – 10¹³ connessioni (1.000 – 10.000 miliardi)

10

SISTEMA COMPLESSO



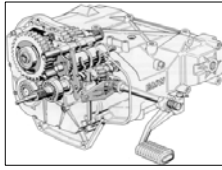
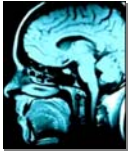
11

COMPLICATO vs COMPLESSO

	COMPLICATO	COMPLESSO
Etimologia	<i>cum plicum</i>	<i>cum plexum</i>
Approccio	analitico	sintetico
Soluzione	spiegato nelle sue pieghe	compreso nel suo insieme
Esempi	meccanismo	organismo

12

COME AFFRONTARE IL "COMPLESSO"



↓
COME AFFRONTARLI?

Per confrontarsi con i sistemi complessi bisogna utilizzare un **approccio sistemico**. Il complesso va compreso nel suo insieme, non spiegato nelle sue pieghe.

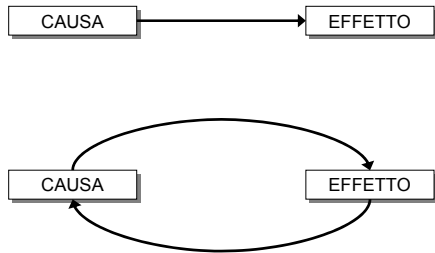
13

AGENDA

- Introduzione
- Principi base della System Dynamics
 - CONCETTO DI SISTEMA
 - CAUSALITA' CIRCOLARE
 - ACCUMULI E FLUSSI
- Prospettive di analisi
- Approcci

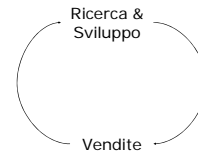
14

CAUSALITA' LINERARE vs CAUSALITA' CIRCOLARE



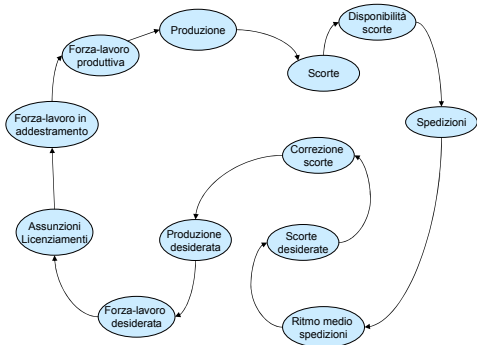
15

Un esempio di circolo causale



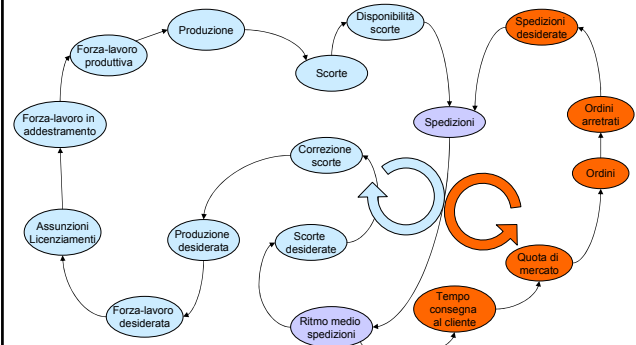
16

Un circolo causale può coinvolgere molte variabili

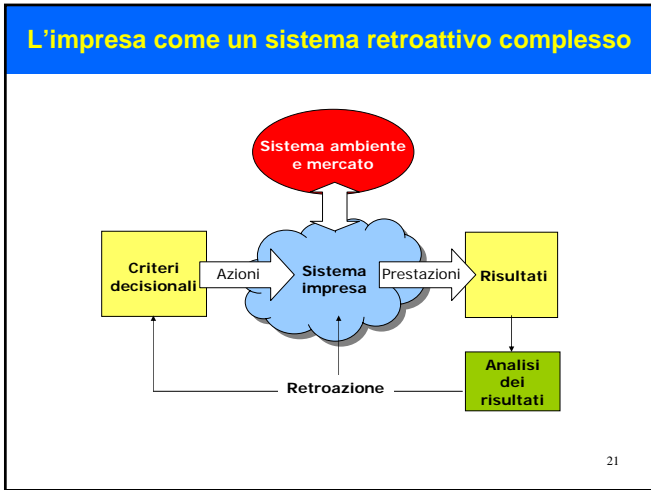
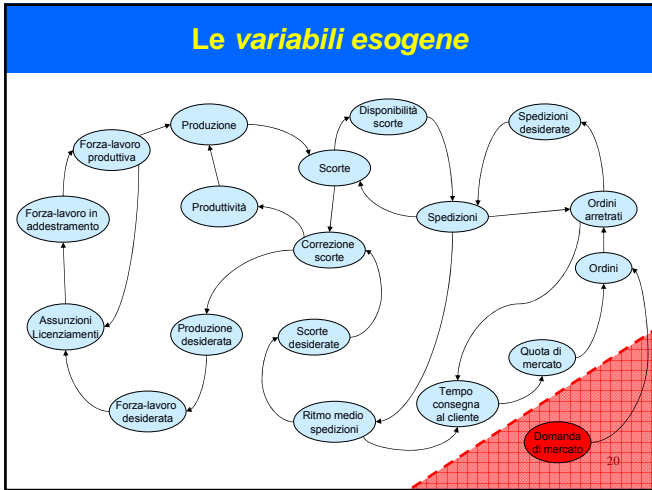
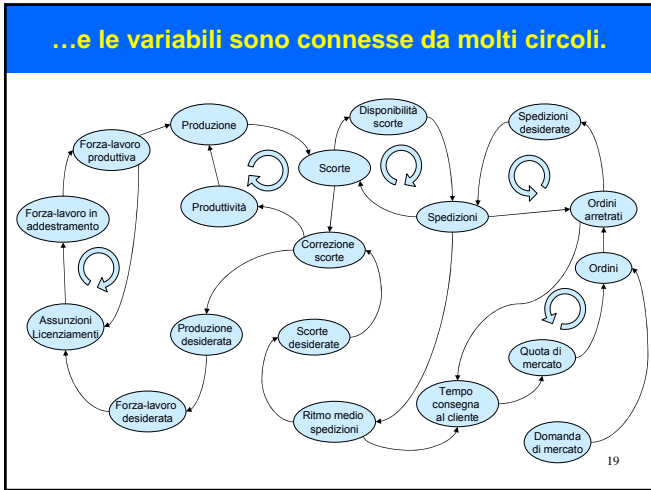


17

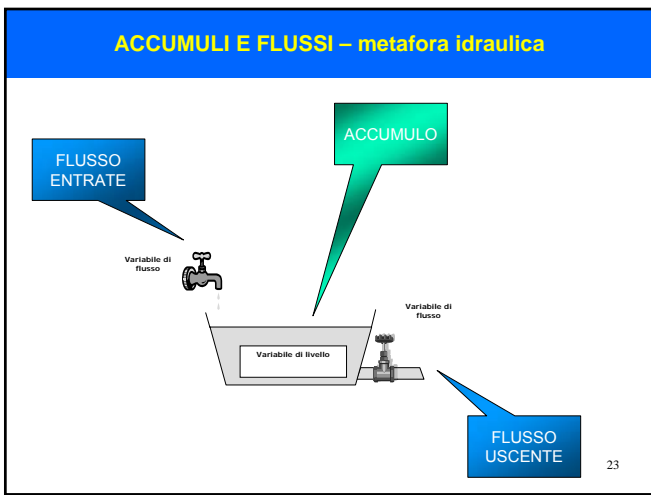
I circoli causali possono concatenarsi



18



- AGENDA**
- Introduzione
 - Principi base della System Dynamics
 - CONCETTO DI SISTEMA
 - CAUSALITA' CIRCOLARE
 - ACCUMILI E FLUSSI
 - Prospettive di analisi
 - Approcci
- 22



ACCUMILI E FLUSSI – notazioni grafiche e definizione

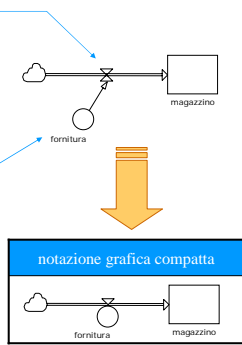
SIMBOLO	SIGNIFICATO
Stock	Variabile di livello
→	Flussi in entrata e in uscita
∩	Regolatore di flusso
⊙	Sorgenti o pozzi del sistema (confini)

24

ACCUMULI E FLUSSI – uso delle notazioni grafiche

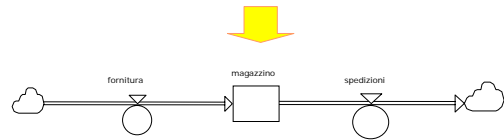
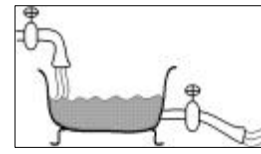
un accumulo può variare solo a causa dei flussi

al flusso corrisponde una variabile effettiva



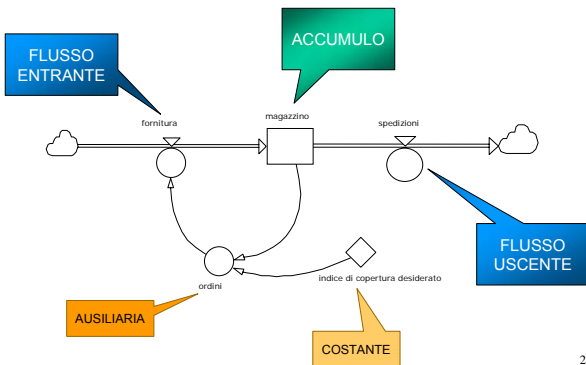
25

ACCUMULI E FLUSSI – la metafora idraulica ... strutturata



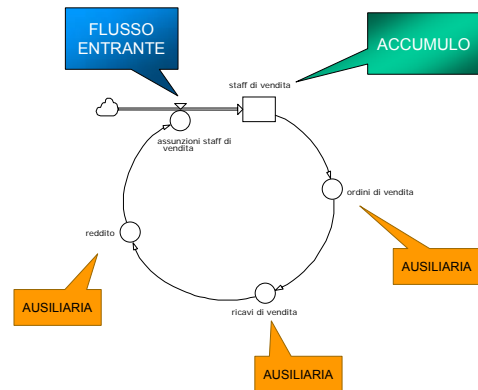
26

ACCUMULI E FLUSSI – il magazzino



27

ACCUMULI E FLUSSI – le vendite



28

AGENDA

- Introduzione
- Principi base della System Dynamics
- Prospettive di analisi
 - PROSPETTIVA DINAMICA
 - PROSPETTIVA SISTEMICA
 - PROSPETTIVA STRUTTURALE
- Approcci

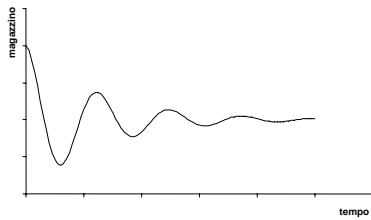
29

AGENDA

- Introduzione
- Principi base di System Dynamics
- Prospettive di analisi
 - PROSPETTIVA DINAMICA
 - PROSPETTIVA SISTEMICA
 - PROSPETTIVA STRUTTURALE
- Approcci

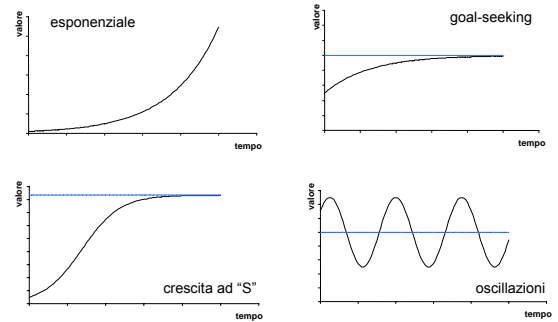
30

EVOLUZIONI TEMPORALI



31

COMPORAMENTI FONDAMENTALI



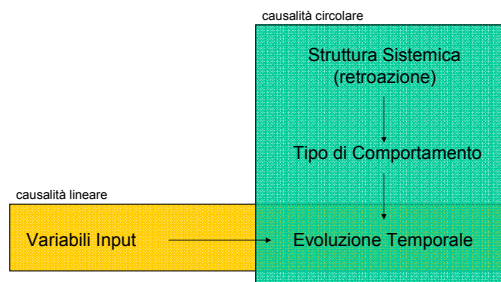
32

AGENDA

- Introduzione
- Principi base della System Dynamics
- Prospettive di analisi
 - PROSPETTIVA DINAMICA
 - PROSPETTIVA SISTEMICA
 - PROSPETTIVA STRUTTURALE
- Approcci

33

PENSIERO SISTEMICO



34

Legami causali

$$X \longrightarrow Y$$

Siamo in presenza di un legame causale quando una variabile X influenza un'altra variabile Y

35

Polarità dei legami causali

$$X \xrightarrow{+} Y$$

un legame è *positivo* se:

$$\frac{\partial y}{\partial x} > 0$$

- una variazione del valore di X produce una variazione del valore di Y nella stessa direzione

$$X \xrightarrow{-} Y$$

un legame è *negativo* se:

$$\frac{\partial y}{\partial x} < 0$$

- una variazione del valore di X produce una variazione del valore di Y nella direzione opposta

36

Circuiti positivi e circuiti negativi

Circuiti positivi

Circuiti negativi

legame positivo

+

legame negativo

-

Circolo positivo

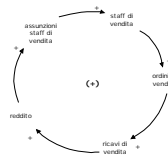
(+)

Circolo negativo

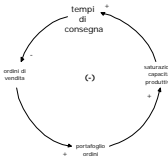
(-)

37

Circuiti auto-rafforzanti e auto-bilanciati



Circolo positivo o auto-rafforzante



Circolo negativo o auto-bilanciante

38

altre notazioni

Circuiti negativi (auto-bilanciati)

Circuiti positivi (auto-rafforzanti)

legame positivo

s → variazione nello stesso verso

legame negativo

o → variazione in verso opposto

Circolo auto-bilanciante

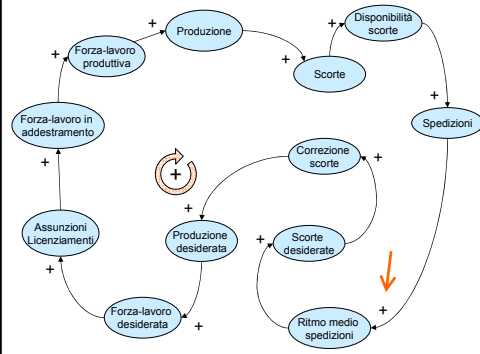
(B)

Circolo auto-rafforzante

(R)

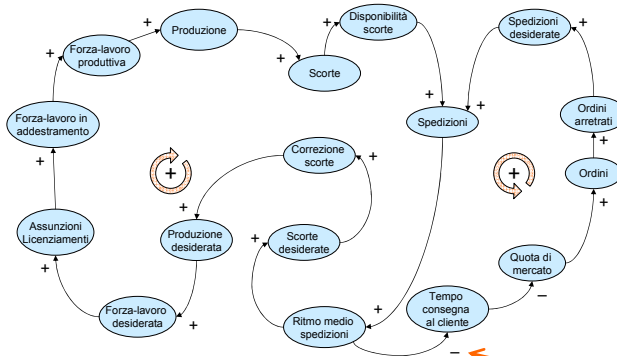
39

Introducendo le polarità..



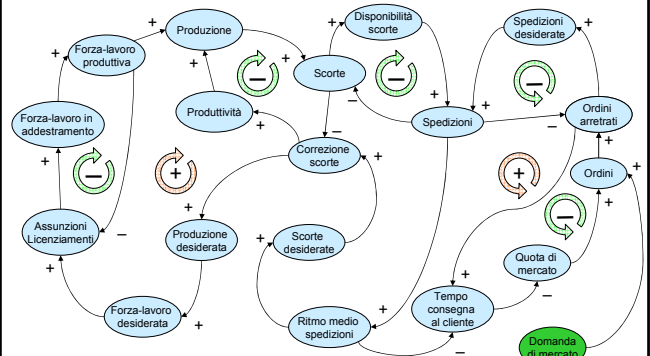
40

Introducendo le polarità..



41

.. ottengo la MAPPA CAUSALE



42

ARCHETIPI

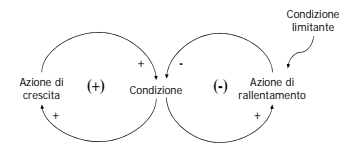
L'**archetipo** è una struttura retroattiva generica, illustrata da una mappa causale, che riesce a descrivere un tipo di situazione che compare frequentemente in diversi settori.

Descriviamone alcuni.

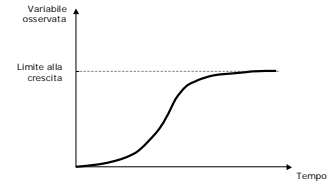
43

Un archetipo molto ricorrente: "limiti alla crescita"

Prospettiva sistemica

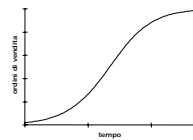
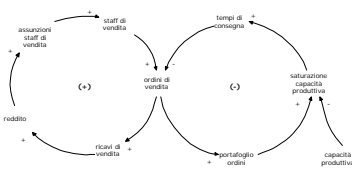


Prospettiva dinamica



44

Esempio di "limiti alla crescita"



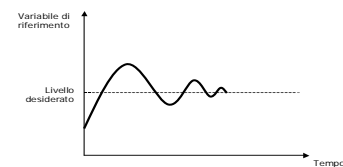
45

archetipo : "riequilibrio tra processo e ritardo"

Prospettiva sistemica



Prospettiva dinamica



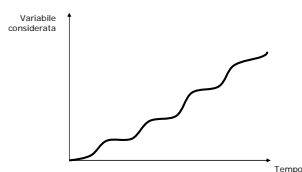
46

archetipo : "soluzioni che falliscono"

Prospettiva sistemica



Prospettiva dinamica



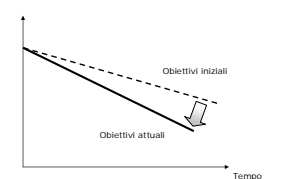
47

archetipo : "erosione degli obiettivi"

Prospettiva sistemica



Prospettiva dinamica



48

archetipo : "Escalation"

Prospettiva sistemica

Prospettiva dinamica

49

archetipo : "successo a chi ha successo"

Prospettiva sistemica

Prospettiva dinamica

50

AGENDA

- Introduzione
- Principi base della System Dynamics
- Prospettive di analisi
 - PROSPETTIVA DINAMICA
 - PROSPETTIVA SISTEMICA
 - PROSPETTIVA STRUTTURALE
- Approcci

51

Dalla mappa causale alla mappa strutturale

dalla mappa causale...

... alla mappa strutturale

... RICONOSCENDO ACCUMILI, FLUSSI E AUSILIARIE ...

52

Dalla mappa strutturale al modello di simulazione

ricavi di vendita = ordini · prezzo

assunzioni staff = (% invest. staff) · reddito

... al modello di simulazione

dalla mappa strutturale ...

... ESPLICITANDO QUANTITATIVAMENTE LE RELAZIONI ...

53

In particolare l'equazione per ogni accumulo sarà del tipo :

$$A(t_1) - A(t_0) = \int_{t_0}^{t_1} A'(t) dt = \int_{t_0}^{t_1} [IN(t) - OUT(t)] dt$$

54

Riassumendo ...

Mappa Causale

Mappa Strutturale

Modello di Simulazione

$staff_t = staff_{t-1} + I \cdot assunzioni(t) - R \cdot ricavi$
 $ricavi = ordini \cdot prezzo$
 $assunzioni = \% \text{ invest} \cdot staff$; $reddito$

+
Accumuli e Flussi

+
Equazioni di struttura

55

AGENDA

- Introduzione
- Principi base della System Dynamics
- Prospettive di analisi
 - PROSPETTIVA DINAMICA
 - PROSPETTIVA SISTEMICA
 - PROSPETTIVA STRUTTURALE
- Approcci
 - INTERPRETATIVO
 - PROGETTUALE

56

AGENDA

- Introduzione
- Principi base della System Dynamics
- Prospettive di analisi
 - PROSPETTIVA DINAMICA
 - PROSPETTIVA SISTEMICA
 - PROSPETTIVA STRUTTURALE
- Approcci
 - INTERPRETATIVO
 - PROGETTUALE

57

FASI DELL'APPROCCIO INTERPRETATIVO

1. Individuo il problema manifestatosi (evoluzione inaspettata di una variabile) e identifico le variabili che costituiscono il sistema (cioè la frontiera del sistema)
2. (Individuo l'archetipo che contempla l'evoluzione in questione)
3. Deduco la mappa causale che descrive il problema
4. Esplicito la mappa strutturale ed il modello di simulazione
5. Validazione del modello

58

FASI DELL'APPROCCIO INTERPRETATIVO

1. Individuo il problema manifestatosi (evoluzione inaspettata di una variabile) e identifico le variabili che costituiscono il sistema (cioè la frontiera del sistema)
2. (Individuo l'archetipo che contempla l'evoluzione in questione)
3. Deduco la mappa causale che descrive il problema
4. Esplicito la mappa strutturale ed il modello di simulazione
5. Validazione del modello

59

APPROCCIO INTERPRETATIVO : fase 1

problema

Assunzioni staff di vendita
Staff di vendita
Ricavi
Reddito
Tempi di consegna
Capacità produttiva
Portafoglio ordini
Saturazione capacità produttiva

Ordini di vendita

variabili sistemiche

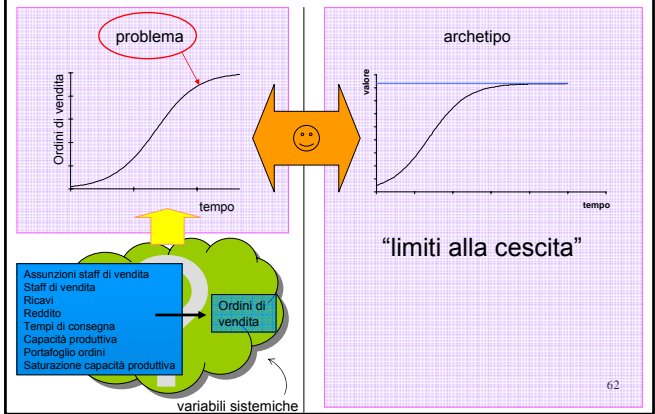
60

FASI DELL'APPROCCIO INTERPRETRATIVO

1. Individuo il problema manifestatosi (evoluzione inaspettata di una variabile) e identifico le variabili che costituiscono il sistema (cioè la frontiera del sistema)
2. (Individuo l'archetipo che contempla l'evoluzione in questione)
3. Deduco la mappa causale che descrive il problema
4. Esplicito la mappa strutturale ed il modello di simulazione
5. Validazione del modello

61

APPROCCIO INTERPRETRATIVO : fase 2



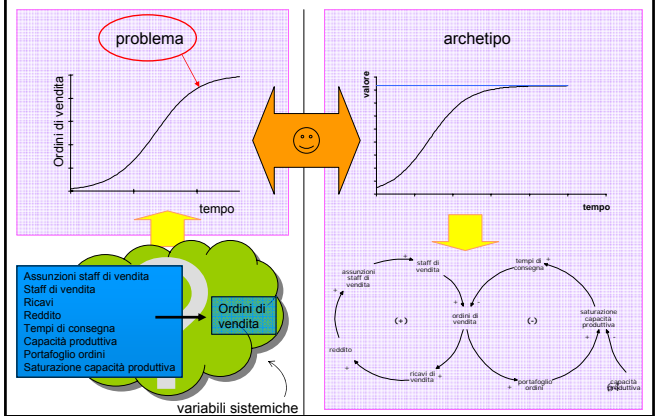
62

FASI DELL'APPROCCIO INTERPRETRATIVO

1. Individuo il problema manifestatosi (evoluzione inaspettata di una variabile) e identifico le variabili che costituiscono il sistema (cioè la frontiera del sistema)
2. (Individuo l'archetipo che contempla l'evoluzione in questione)
3. Deduco la mappa causale che descrive il problema
4. Esplicito la mappa strutturale ed il modello di simulazione
5. Validazione del modello

63

APPROCCIO INTERPRETRATIVO : fase 3

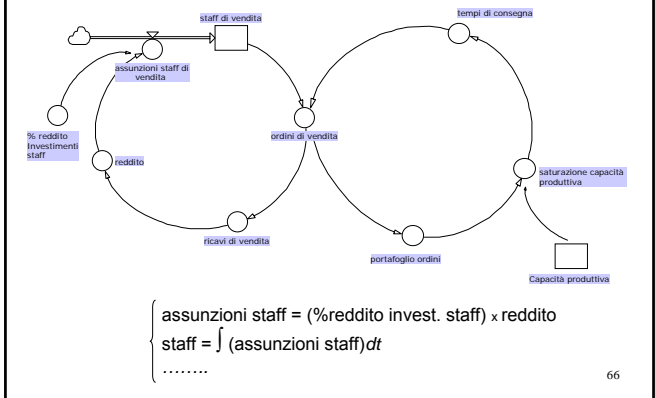


FASI DELL'APPROCCIO INTERPRETRATIVO

1. Individuo il problema manifestatosi (evoluzione inaspettata di una variabile) e identifico le variabili che costituiscono il sistema (cioè la frontiera del sistema)
2. (Individuo l'archetipo che contempla l'evoluzione in questione)
3. Deduco la mappa causale che descrive il problema
4. Esplicito la mappa strutturale ed il modello di simulazione
5. Validazione del modello

65

APPROCCIO INTERPRETRATIVO : fase 4



66

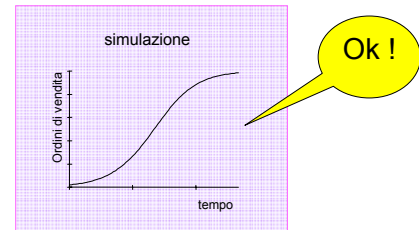
FASI DELL'APPROCCIO INTERPRETRATIVO

1. Individuo il problema manifestatosi (evoluzione inaspettata di una variabile) e identifico le variabili che costituiscono il sistema (cioè la frontiera del sistema)
2. (Individuo l'archetipo che contempla l'evoluzione in questione)
3. Deduco la mappa causale che descrive il problema
4. Esplicito la mappa strutturale ed il modello di simulazione
5. Validazione del modello

67

APPROCCIO INTERPRETRATIVO : fase 5

la simulazione con il modello deve sovrapporsi ai dati precedentemente rilevati



68

Il problema della validazione dei modelli

- **TEST DI STRUTTURA** finalizzato a verificare la validità della struttura di un modello e delle ipotesi che sono state utilizzate per costruirlo;
- **TEST DI COMPORTAMENTO** finalizzato alla valutazione della corrispondenza tra i comportamenti esibiti dal modello e i comportamenti reali del sistema oggetto di analisi;
- **TEST SULLE IMPLICAZIONI DEGLI INTERVENTI ADOTTATI** focalizzati sull'abilità di un modello di suggerire politiche di intervento su un determinato sistema. Questa tipologia di test è la più aderente alla filosofia pragmatica.

69

Test di struttura

- Verifica dei parametri
- Verifica della struttura
- Test di "condizioni estreme"
- Test di adeguatezza dei confini del modello
- Test di consistenza dimensionale

70

Test di comportamento

- Test di riproduzione del comportamento:
Generazione dei sintomi
- Test di riproduzione del comportamento:
Riproduzione della frequenza e della fase relativa.
- Test di riproduzione del comportamento:
Multiple - mode
- Test di riproduzione del comportamento:
Test delle caratteristiche del comportamento
- Test di predizione dei comportamenti
- Test di predizione degli eventi
- Etc ...

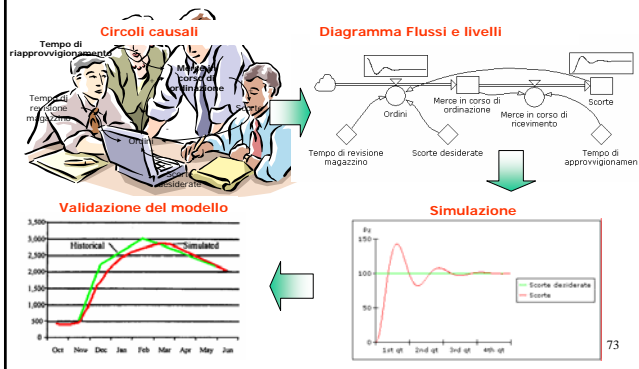
71

Test sulle implicazioni degli interventi

- Test delle implicazioni sul sistema studiato
- Test di predizione degli effetti degli interventi
- Test sull'adeguatezza dei confini
- Test sulla sensitività delle prescrizioni

72

In definitiva, l'approccio interpretativo...



Il problema della validità esterna

- L'utilità di un modello System Dynamics risiede nel fatto che esso costituisce una sorta di laboratorio dove eseguire esperimenti per comprendere il comportamento di un sistema.
- Questi esperimenti sono fondamentali per anticipare possibili risposte del sistema e sviluppare nuovi interventi per governare al meglio la realtà complesse. Per poter confidare nei risultati ottenuti è auspicabile che il modello sia quanto più possibile aderente al sistema reale e questo problema viene in parte risolto proprio dai test di validazione.

74

AGENDA

- Introduzione
- Principi base della System Dynamics
- Prospettive di analisi
 - PROSPETTIVA DINAMICA
 - PROSPETTIVA SISTEMICA
 - PROSPETTIVA STRUTTURALE
- Approcci
 - INTERPRETATIVO
 - PROGETTUALE

75

FASI DELL'APPROCCIO PROGETTUALE

1. Considero il modello
2. Classifico i possibili comportamenti futuri delle variabili esogene (in un orizzonte temporale prestabilito) → *SCENARI*
3. Individuo diverse ipotesi sulle leve interne preposte all'ottenimento di un risultato → *POLICY*
4. Valuto l'impatto delle leve nei vari scenari e scelgo le migliori

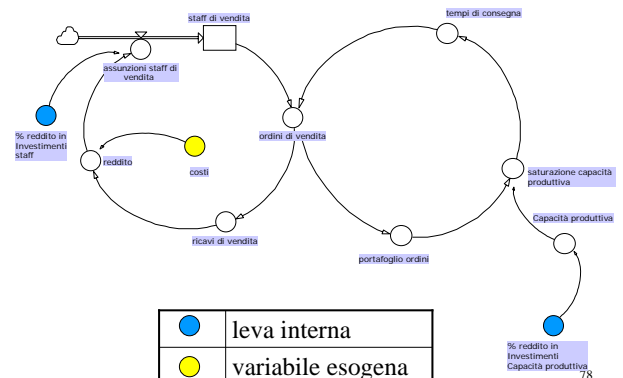
76

FASI DELL'APPROCCIO PROGETTUALE

1. Considero il modello
2. Classifico i possibili comportamenti futuri delle variabili esogene (in un orizzonte temporale prestabilito) → *SCENARI*
3. Individuo diverse ipotesi sulle leve interne preposte all'ottenimento di un risultato → *POLICY*
4. Valuto l'impatto delle leve nei vari scenari e scelgo le migliori

77

APPROCCIO PROGETTUALE : fase 1



FASI DELL'APPROCCIO PROGETTUALE

1. Considero il modello
2. Classifico i possibili comportamenti futuri delle variabili esogene (in un orizzonte temporale prestabilito) → *SCENARI*
3. Individuo diverse ipotesi sulle leve interne preposte all'ottenimento di un risultato → *POLICY*
4. Valuto l'impatto delle leve nei vari scenari e scelgo le migliori

79

APPROCCIO PROGETTUALE : fase 2

SCENARI	costi +10%		
	costi +5%		
	costi cost.		

80

FASI DELL'APPROCCIO PROGETTUALE

1. Considero il modello
2. Classifico i possibili comportamenti futuri delle variabili esogene (in un orizzonte temporale prestabilito) → *SCENARI*
3. Individuo diverse ipotesi sulle leve interne preposte all'ottenimento di un risultato → *POLICY*
4. Valuto l'impatto delle leve nei vari scenari e scelgo le migliori

81

APPROCCIO PROGETTUALE : fase 3

	POLICY		
	% reddito inv. staff 5%	% reddito inv. staff 2%	% reddito inv. staff 0%
SCENARI	costi +10%		
	costi +5%		
	costi cost.		

personale ← investimenti → capacità produttiva

82

FASI DELL'APPROCCIO PROGETTUALE

1. Considero il modello
2. Classifico i possibili comportamenti futuri delle variabili esogene (in un orizzonte temporale prestabilito) → *SCENARI*
3. Individuo diverse ipotesi sulle leve interne preposte all'ottenimento di un risultato → *POLICY*
4. Valuto l'impatto delle leve nei vari scenari e scelgo le migliori

83

APPROCCIO PROGETTUALE : fase 4

	POLICY		
	% reddito inv. staff 5%	% reddito inv. staff 2%	% reddito inv. staff 0%
SCENARI	costi +10%		
	costi +5%		
	costi cost.		

84