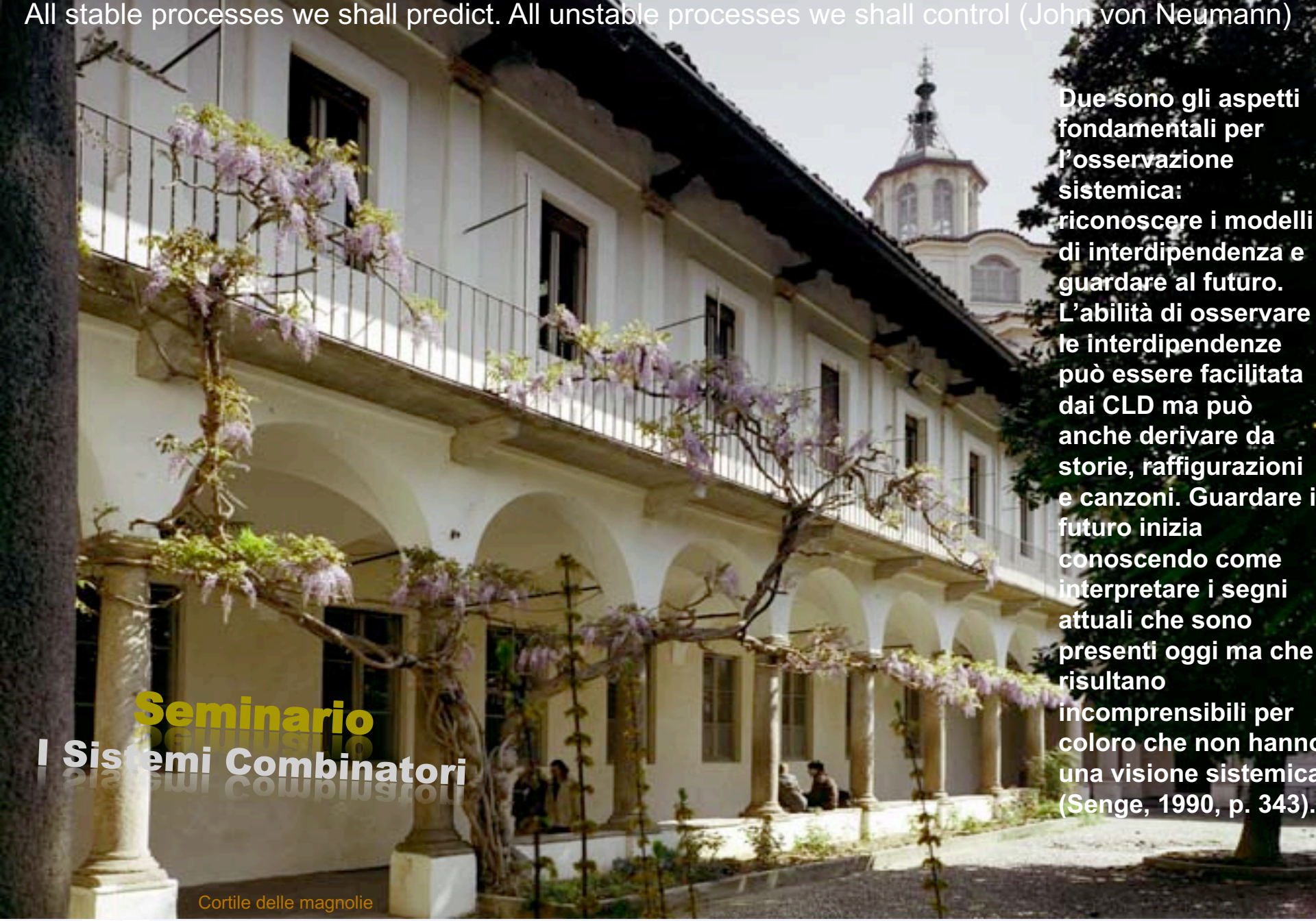
All stable processes we shall predict. All unstable processes we shall control (John von Neumann)



Due sono gli aspetti fondamentali per l'osservazione sistemica: riconoscere i modelli di interdipendenza e guardare al futuro. L'abilità di osservare le interdipendenze può essere facilitata dai CLD ma può anche derivare da storie, raffigurazioni e canzoni. Guardare il futuro inizia conoscendo come interpretare i segni attuali che sono presenti oggi ma che risultano incomprensibili per coloro che non hanno una visione sistemica (Senge, 1990, p. 343).

Seminario
I Sistemi Combinatori

Cortile delle magnolie

piero.mella@unipv.it

Par. 5.11

Sistemi combinatori
la struttura elementare

- Un **Sistema combinatorio** è una **collettività di Agenti** o elementi **simili** che non sono necessariamente interconnessi (in modo evidente) che produce un **effetto osservabile attribuibile alla collettività**.

- Gli **Agenti come singoli** agiscono **autonomamente** e :
  - sviluppano **micro comportamenti analoghi**,
  - che producono **micro effetti** osservabili (o immaginabili) di qualche specie (micro variabili).

- Gli **Agenti come collettività** :
  - sviluppano un **macro comportamento collettivo**, che deriva dalla **combinazione** dei **micro comportamenti** degli agenti,
  - che produce un **macro effetto** di qualche specie (macro variabile);

Primo Pilastro dei Combinatory Systems
Il micro-macro feedback

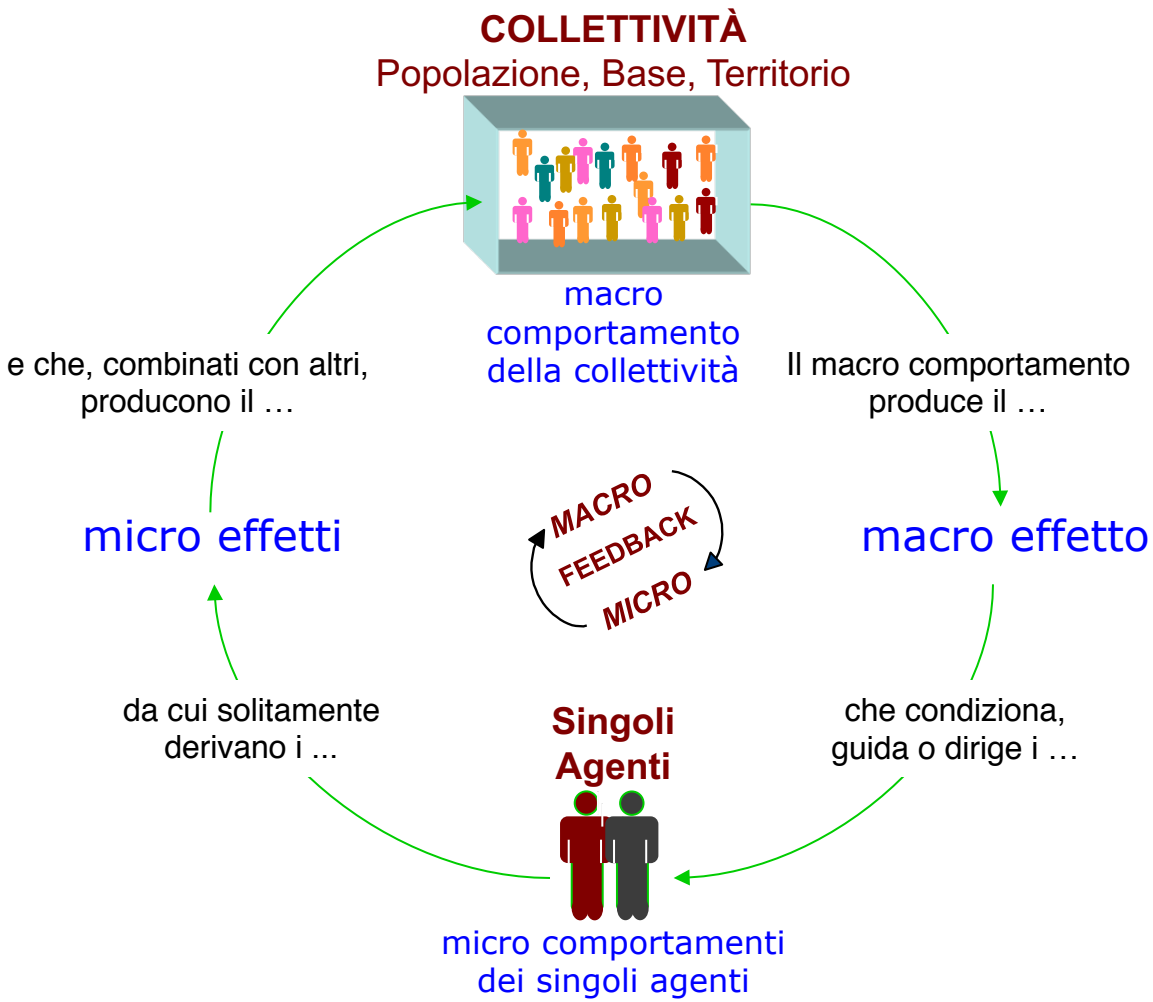
- Ciò che distingue i Sistemi Combinatori da altri sistemi è la connessione tra **micro** e **macro comportamenti**.
  - I **macro** comportamenti collettivi sono **formati** dai micro comportamenti.
  - I **micro** comportamenti sono **guidati** dal macro comportamento.

- Questa reciproca interazione viene definita:

  Micro-macro feedback

- e costituisce il **primo pilastro della Teoria**.

Il modello di base

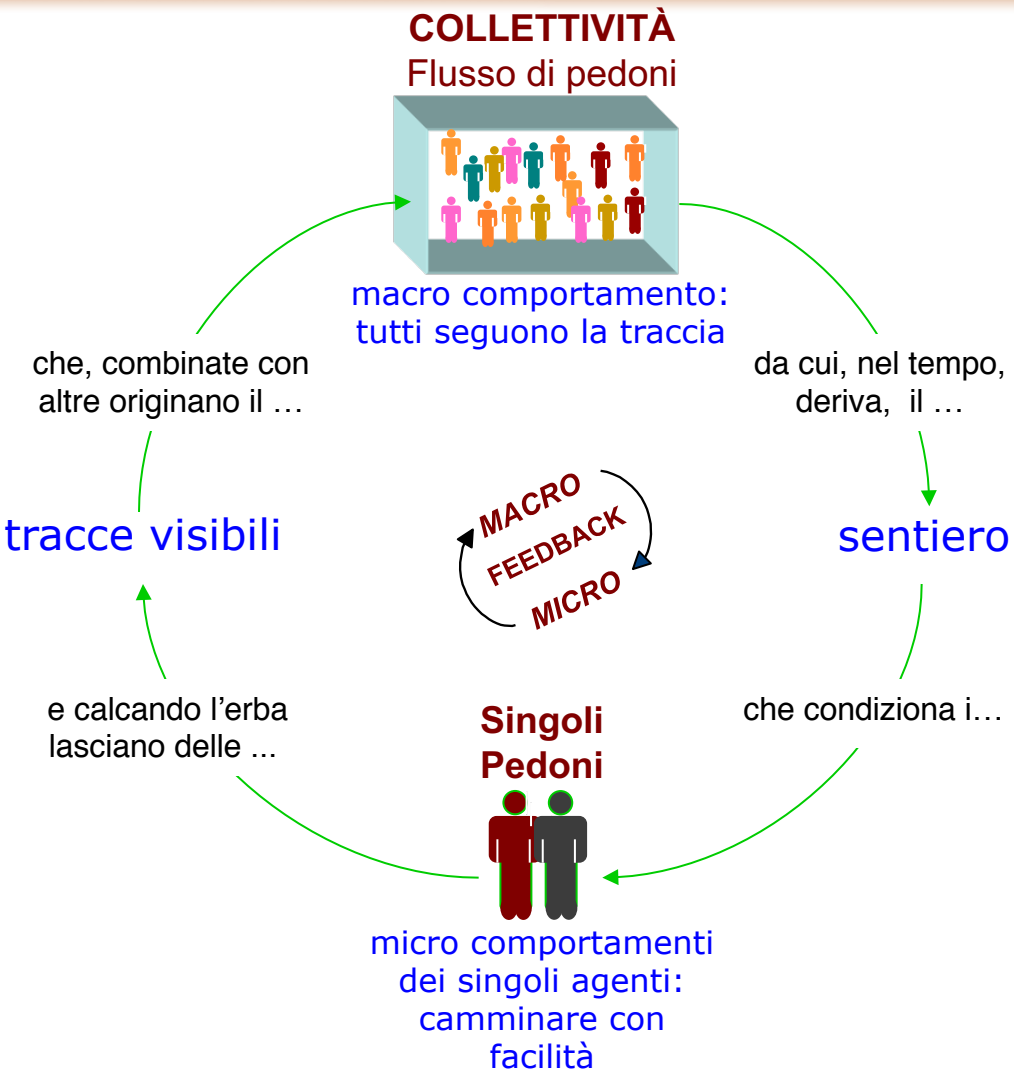


La natura dell'operazione di "combinazione"

- Questa operazione (da cui traggono il nome i sistemi combinatori) può essere definita in diversi modi; in particolare come:
  - la **somma** dei valori prodotti dai (o associati ai) micro comportamenti degli Agenti per ogni **t**;
  - il **valore medio** delle misure di performance degli Agenti;
  - il **valore massimo** di tali misure,
  - il **valore minimo**;
  - la **moda** . . .
  - ecc.

Esempio – Brusio in una sala affollata

Esempio – Si forma un sentiero



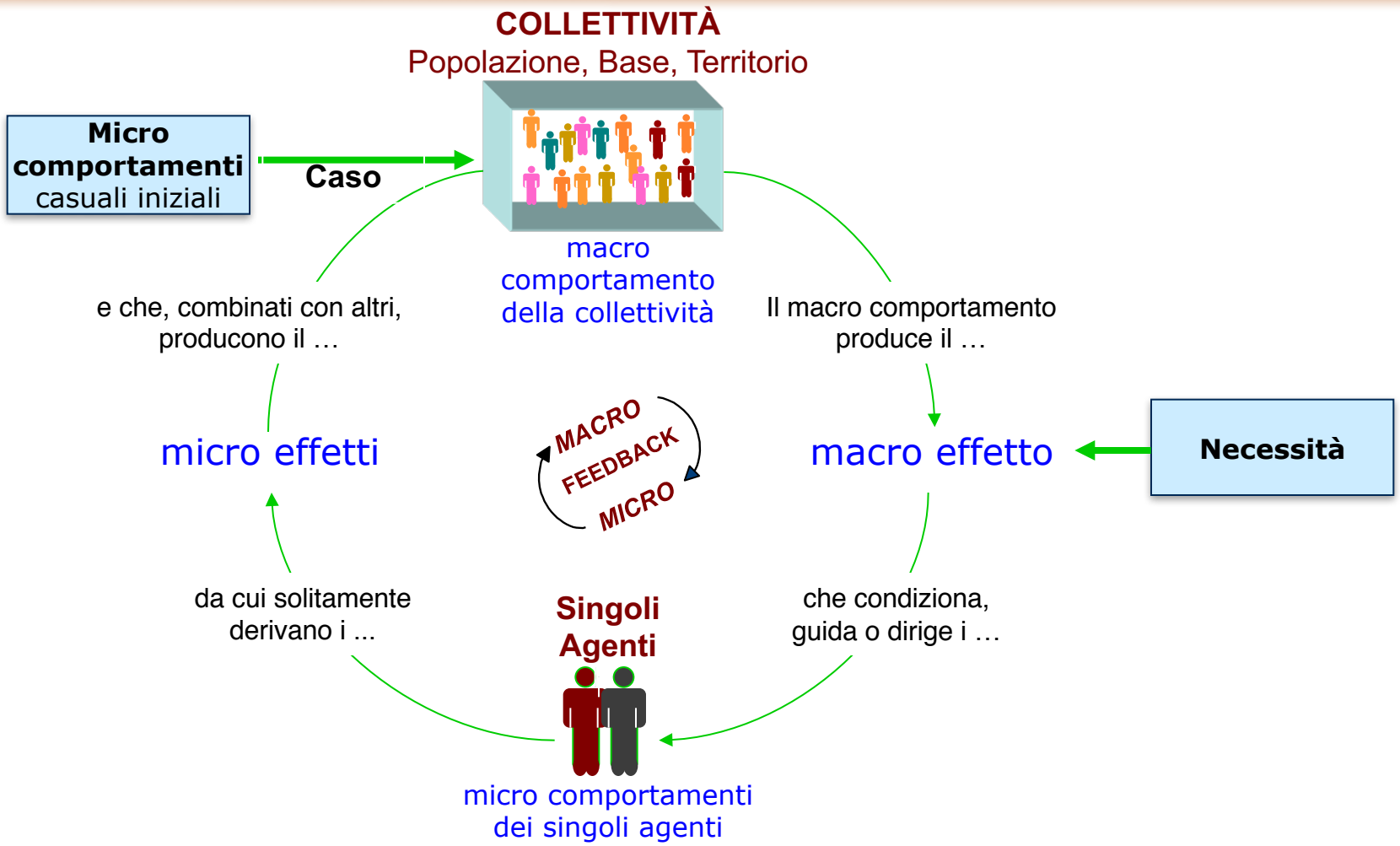
La mano invisibile

- **Due conseguenze** del micro-macro feedback:
  - il micro-macro feedback genera macro comportamenti (o effetti) “emergenti” attribuibili alla collettività e non derivabili dai “programmi operativi” seguiti dai singoli agenti;
  - il macro comportamento – ed il derivante macro effetto – dirige i successivi micro comportamenti, come se una “mano invisibile”, una Superiore Autorità, costringesse gli agenti della base ad uniformarsi ai macro comportamenti emergenti della collettività.
  - Non c’è nulla di strano o di misterioso: la mano invisibile non è altro che l’azione del **micro-macro feedback**.

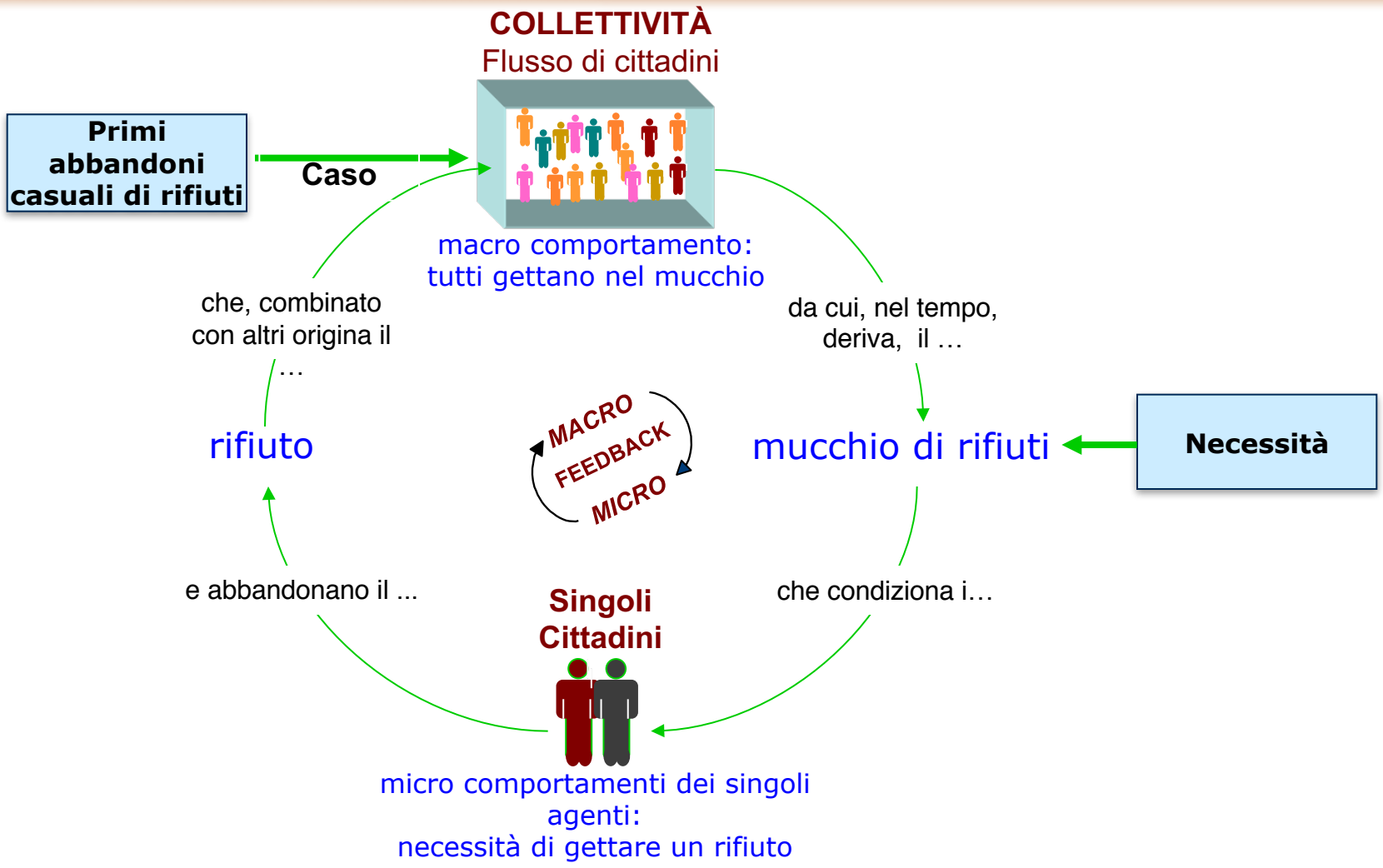
Secondo Pilastro- La congiunta azione di Caso e necessità

- Abbiamo osservato che **condizione necessaria** per la sussistenza di qualsivoglia Sistema Combinatorio è l'esistenza di un **feedback** tra micro e macro comportamenti o tra loro effetti.
- **Pur essendo necessaria, essa non è però sufficiente.**
- L'attivazione di un Sistema Combinatorio richiede un **input iniziale casuale**:
  - un adeguato numero di Agenti deve produrre inizialmente un numero di micro comportamenti sufficiente per raggiungere la **densità minima di attivazione**.
- La dinamica del sistema, avviata "**per caso**", continua "**di necessità**" fino a quando non si sia raggiunta la **densità massima di saturazione**.
- La **congiunta azione di "caso" e di "necessita"** rappresenta il **secondo pilastro della teoria**.

Caso e necessità



Esempio – Cumulo di immondizia



Cumuli ovunque. Effetto di sistemi combinatori

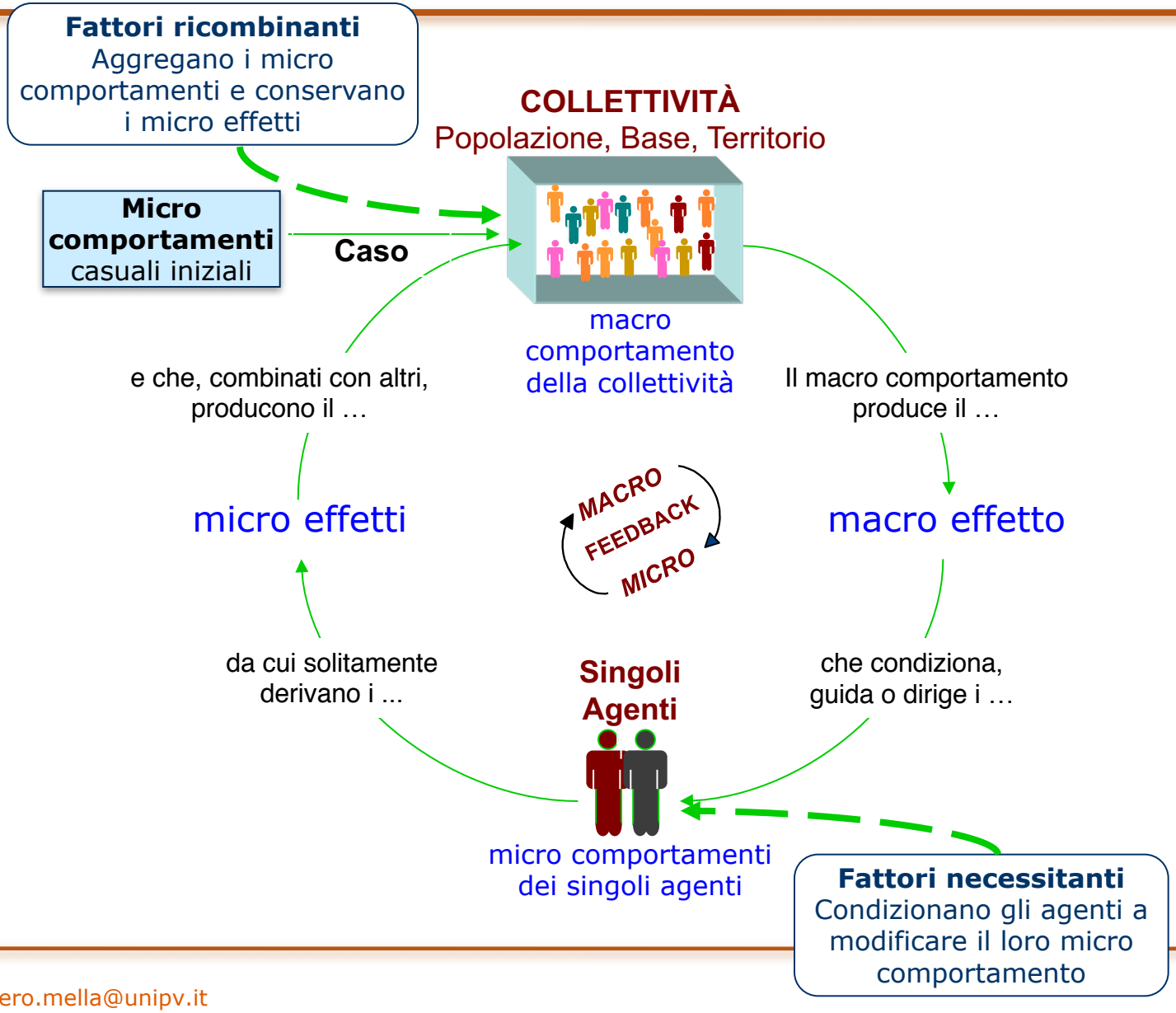
Tokyo

Pavia

Terzo Pilastro
Fattori necessitanti e ricombinanti

- Il **caso**, da solo, avvia il **micro-macro feedback** ma non è sufficiente a mantenerlo nel tempo.
- **Cosa alimenta nel tempo l'azione del micro-macro feedback?** Occorrono due insiemi di fattori definiti come **fattori necessitanti** e **fattori ricombinanti.**
- **Fattori necessitanti -** Sono i fattori che producono un vantaggio (o uno svantaggio) di qualche specie, "forzando" gli Agenti ad adattare il loro micro comportamento al macro comportamento o ai macro effetti del sistema (norme imperative, vincoli, condizionamenti, regole sociali, obblighi, imitazione, convinzioni, atti imitativi, ecc.).
- **Fattori ricombinanti -** Sono i fattori che consentono al Sistema, nel suo complesso, di ricombinare i micro comportamenti (o i micro effetti), allo scopo di produrre e di mantenere nel tempo il macro comportamento o il macro effetto (norme, vincoli, regole, convenzioni, algoritmi e programmi, condizioni ambientali, cultura, istituzioni, ecc.).
- **I fattori necessitanti e ricombinanti rappresentano il Terzo Pilastro della Teoria.**

Fattori necessitanti e ricombinanti



Quarto Pilastro.
I controlli ambientali

- I sistemi combinatori “esistono” in un ambiente. che può trovare utili o dannosi i macro e i micro effetti prodotti.

- Con opportune azioni di **rinforzo** e di **indebolimento**, l’ambiente può tentare di controllare il sistema combinatorio:
  - attuando un **macro-controllo** sul macro comportamento, e/o
  - attuando un **micro-controllo** sui micro comportamenti,
- affinché la dinamica del sistema si conformi ad un **modello-obiettivo** ritenuto utile.

- **Il controllo ambientale rappresenta rappresentano il Quarto Pilastro della Teoria.**

Macro e mic i ambientali

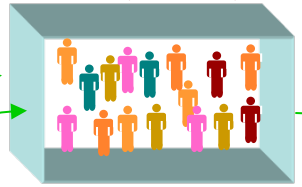
Controllo Macro
Azioni di rinforzo e di indebolimento sui fattori ricombinanti

Fattori ricombinanti
Aggregano i micro comportamenti e conservano i micro effetti

COLLETTIVITÀ
Popolazione, Base, Territorio

Micro comportamenti
casuali iniziali

Caso



macro comportamento della collettività

e che, combinati con altri, producono il …

Il macro comportamento produce il …

micro effetti

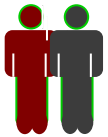
MACRO FEEDBACK MICRO

macro effetto

da cui solitamente derivano i ...

Singoli Agenti

che condiziona, guida o dirige i …



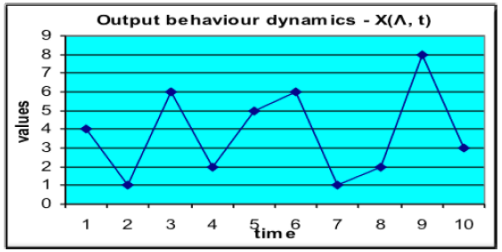
micro comportamenti dei singoli agenti

Fattori necessitanti
Condizionano gli agenti a modificare il loro micro comportamento

Controllo Micro
Azioni di rinforzo e di indebolimento sui fattori necessitanti

Micro e macro dinamiche prodotte da un sistema combinatorio

Macro dinamica della collettività



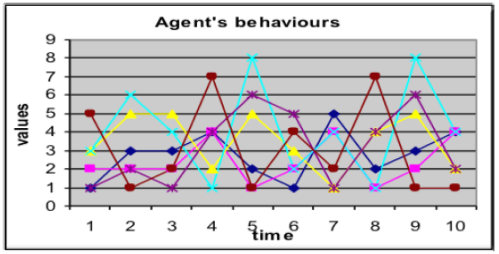
t_{h+1}

$X(t_h)$ o $E(t_h)$,

combinate insieme producono la

condiziona o dirige le

$x_i(t_h)$ o $e_i(t_h)$)



t_h

Micro dinamiche degli agenti

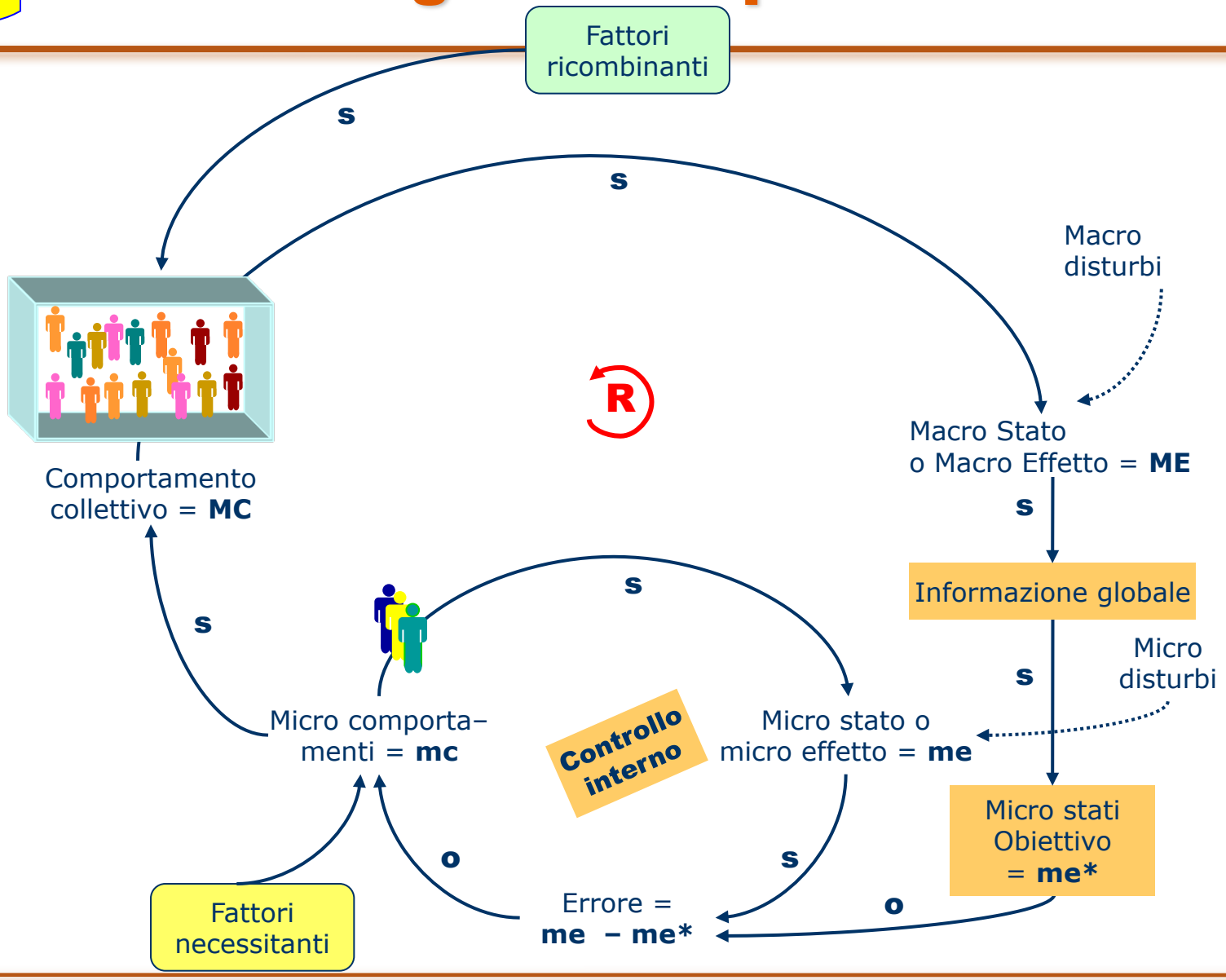
I Sistemi Combinatori di natura sociale

- Definiamo "**sociali**" i sistemi combinatori formati da **individui-agenti** in grado di **decidere** "razionalmente" i loro micro comportamenti.

- Per gli **Agenti**, il **macro effetto del sistema** può essere interpretato come un'**informazione globale autoprodotta** che assume il ruolo di **obiettivo dinamico** nel controllo del loro **micro comportamento**.

- Gli **Agenti,** agendo **egoisticamente**, con le loro **decisioni individuali**:
  - **"allineano"** i loro **micro** comportamenti, al **macro** comportamento/effetto del sistema, producendo nuovi **micro** effetti ...
  - ... che, **ricombinati insieme**, modificano il **macro** comportamento/effetto ...
  - ... rendendo **ricorsivamente** necessario un nuovo **micro** comportamento da parte degli agenti ...
  - ... modificando **ricorsivamente** il macro comportamento/effetto,
  - ecc.
  - in un continuo **micro-macro feedback.**

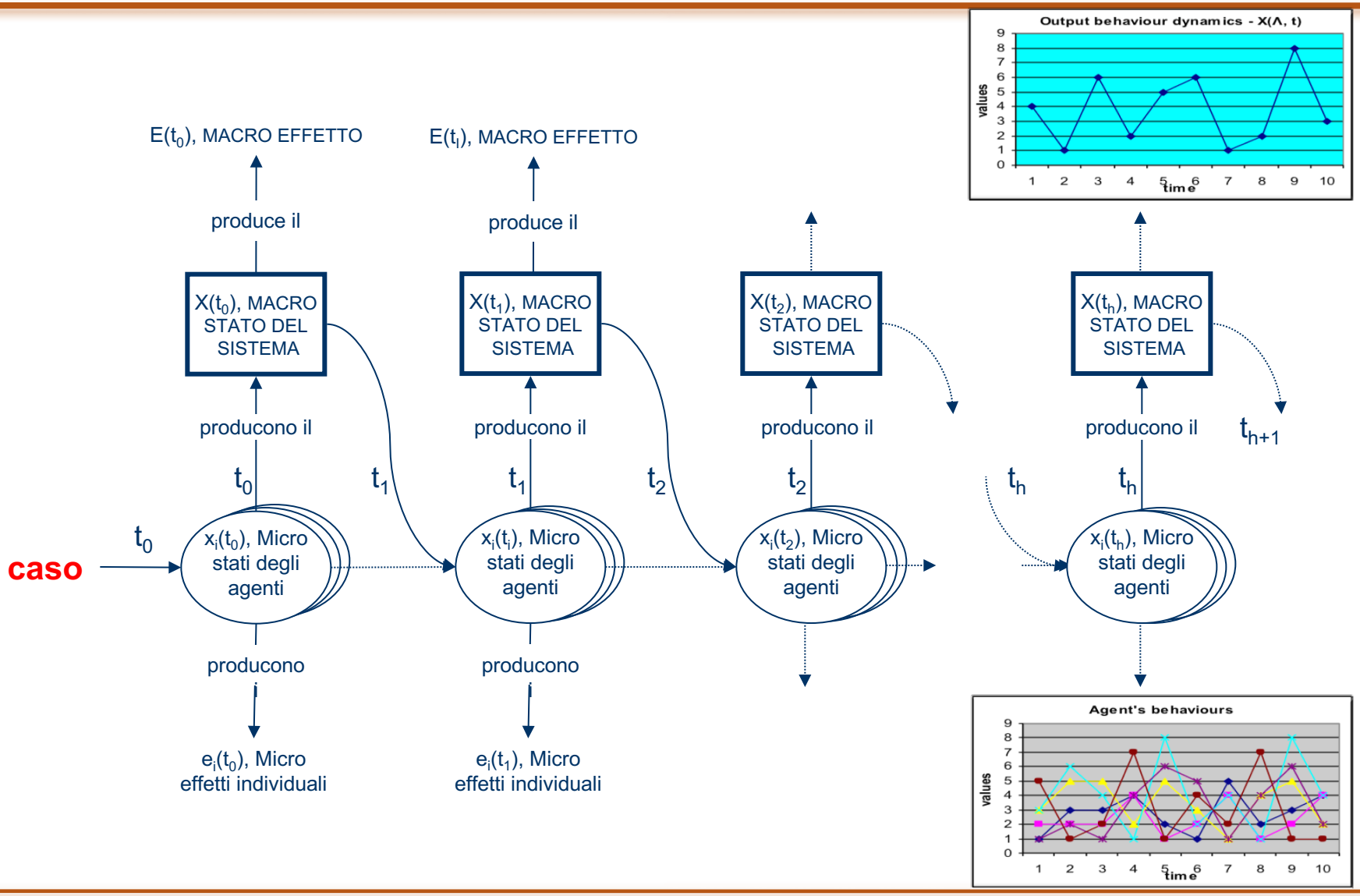
Modello generale qualitativo



Tre modelli per i Sistemi Combinatori

- I Sistemi Combinatori possono essere rappresentati con tre specie di modelli.
- **Modelli qualitativi** che rappresentano i CLD dei sistemi.
- **Modelli euristici**: esplicitano, in linguaggio corrente, le regole di funzionamento del sistema e descrivono I tre elementi fondamentali:
  - il **micro comportamento** e i fattori necessitanti,
  - il **macro comportamento** e i fattori ricombinanti,
  - l'azione del **micro-macro feedback**.
- **Modelli di simulazione** che costruiscono **Automi combinatori** in grado di simulare sia i micro sia i macro comportamenti del sistema

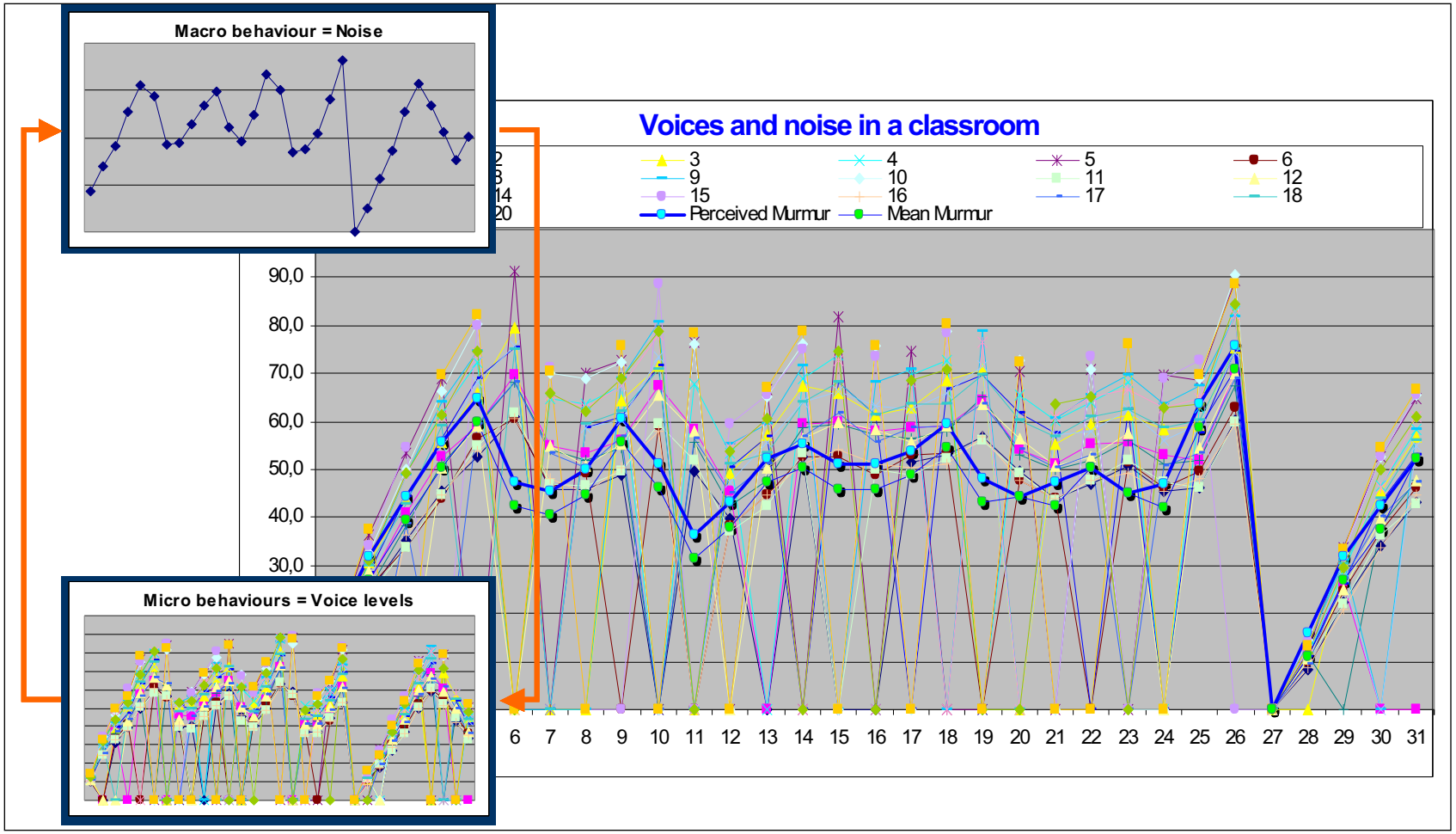
Sistema Combinatorio come Automa Combinatorio



Modus operandi di un automa combinatorio mono dimensionale

	Analytical state										Synthetic state
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	Average
t_0	0	0	0	10	0	15	0	0	0	0	"chance" → 2.5
t_1	2	1	0	11	2	15	1	1	2	1	3.6
t_2	4	3	1	12	4	16	3	3	3	3	5.2
t_3	6	5	2	13	6	17	5	5	5	5	6.9
t_4	8	7	2	13	8	17	7	6	6	6	8
t_5	9	8	4	13	9	18	8	7	7	7	9
t_6	10	9	5	13	10	18	9	8	8	8	9.8
t_7	11	11	6	14	11	19	11	10	9	9	11.1
t_8	13	13	7	15	13	19	12	12	11	11	12.6
t_9	14	14	9	16	14	20	14	14	13	13	14.1
t_{10}	16	16	10	17	16	20	16	16	15	15	15.7
t_{11}	17	17	11	18	18	21	17	17	17	17	17

Sistemi d'ordine - Automa combinatorio
Voce-brusio in un locale affollato



Cinque classi di sistemi combinatori

- Malgrado la varietà dei fenomeni prodotti, osservandone i macro effetti possiamo classificare i sistemi combinatori in cinque ampie classi di equivalenza:
  - Sistemi di **accumulazione**,
  - Sistemi di **diffusione**,
  - Sistemi di **inseguimento**,
  - Sistemi di **ordine**,
  - Sistemi di **miglioramento & progresso**.

Gli interessati ad approfondire i Sistemi Combinatori possono consultare il volume: Piero Mella, Combinatory Systems Theory, Springer, 2017.

Sistemi di accumulazione
Modello euristico

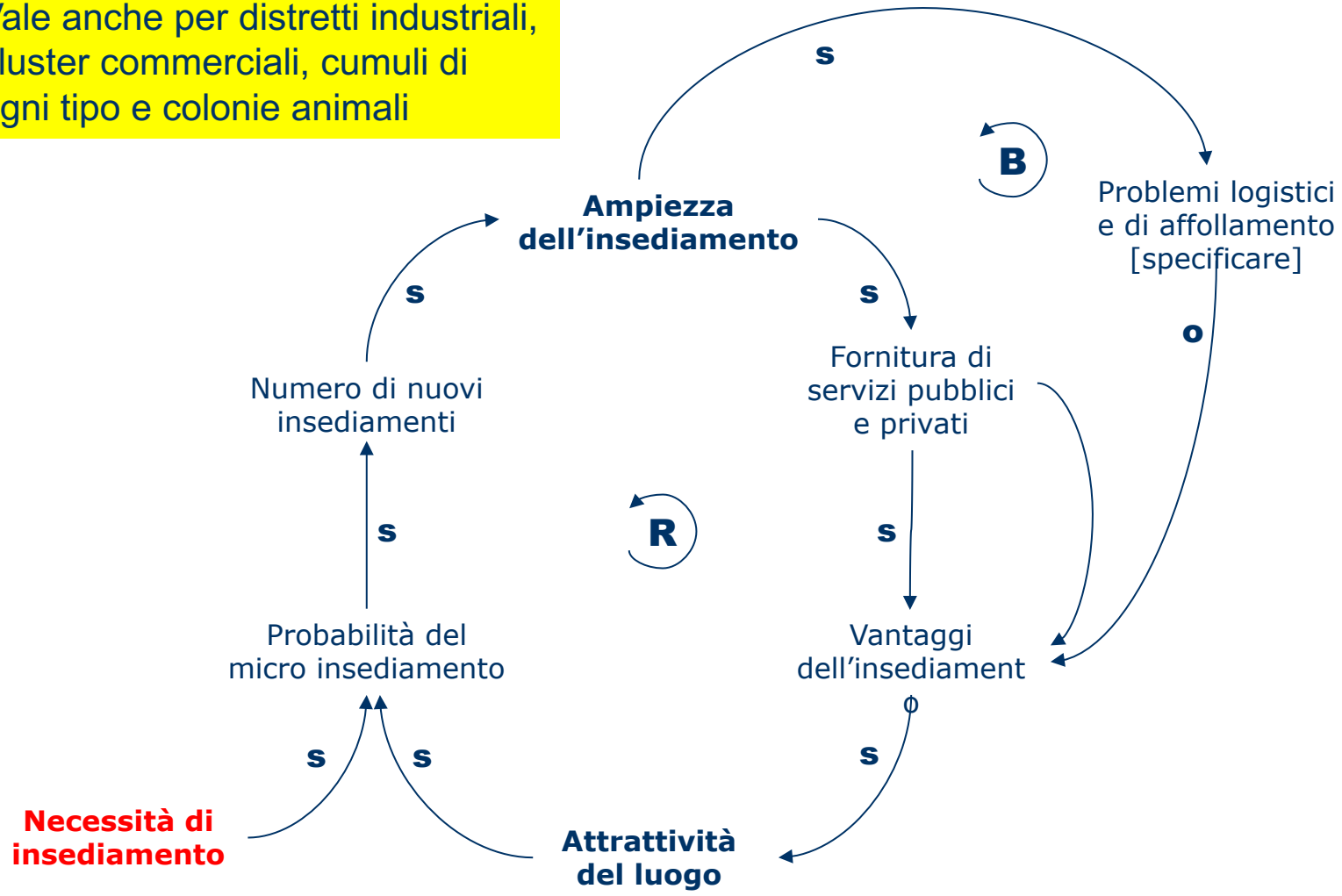
- REGOLA MICRO = FATTORE NECESSITANTE: se devi accumulare qualche oggetto con altri analoghi (micro comportamento), cerca cumuli già fatti perché ciò ti dà un vantaggio o riduce qualche svantaggio (fattore necessitante);

- REGOLA MACRO = FATTORE RICOMBINANTE: l'ambiente conserva gli oggetti accumulati o non riesce ad eliminarli e mantiene i vantaggi dell'accumulo; tutti accumulano (macro comportamento) e si forma un cumulo (macro effetto) di qualche specie;

- FEEDBACK MICRO-MACRO: più il cumulo (macro effetto) è grande più incentivo c'è all'accumulo (micro comportamenti) di oggetti (micro effetti); l'accumulo collettivo (macro comportamento) porta ad un cumulo sempre più grande.
- **Vale per insediamenti urbani e distretti industriali, cluster commerciali, folle e assembranenti umani, nuvole di pesci, stormi di uccelli, branchi, cumuli di ogni tipo e colonie animali.**

Sistemi di accumulazione
Formazione di un insediamento urbano

Vale anche per distretti industriali, cluster commerciali, cumuli di ogni tipo e colonie animali



Modello di si cumulazione

MACRO CONTROL
The abandonment of waste is prohibited. Removal of garbage

Recombining factors. The collectivity/territory does not remove the accumulated garbage

Collectivity
territory - population

Initial leaving of refuse

Chance

Collectivity's accumulation

… and produce all together the *macro* behavior

The collectivity's behavior **by necessity** produces the **…**

Add new objects to accumulation

MACRO
FEEDBACK
MICRO

Accumulation that grows

Who, observing where accumulation is larger ...

Individual Agents

… which is **the global information** that **conditions**

Individual Agents' accumulation

External information

The need for accumulating represents the **necessitating factor** that obliges the …

Micro Control
Incentives or disincentives to agents for accumulating

Sistemi di diffusione
Modello euristico

- REGOLA MICRO = FATTORE NECESSITANTE: se vedi che un «carattere» (o oggetto o comportamento) è diffuso allora per te è «utile» possederlo o dannoso non possederlo (fattore necessitante) e devi cercare di acquisirlo;

- REGOLA MACRO = FATTORE RICOMBINANTE: l'ambiente o la collettività conservano i «caratteri» diffusi e mantengono l'utilità del possesso del «carattere»; quanto più alta è l'utilità dell'acquisizione da parte degli individui tanto più il «carattere» si diffonde nella collettività;

- FEEDBACK MICRO-MACRO: maggiore diffusione (macro effetto) implica maggiore volontà di una acquisizione (micro effetto); l'acquisizione singola (micro comportamento) amplia la diffusione collettiva (macro comportamento).
- **Vale anche linguaggi, religioni, usi, costumi, abitudini, stereotipi, credenze, riti e ogni altro fattore culturale, nonché per epidemie e pandemie.**

Sistemi di diffusione di un carattere Moda

Vale anche linguaggi, religioni, usi, costumi, abitudini, stereotipi, credenze, riti e ogni altro fattore culturale, nonché per epidemie e pandemie

Modello di diffusione

MACRO CONTROL
Social approval or disapproval, incentives or repression

Recombining factors. The collectivity preserves the diffused object and maintains its utility

Collectivity
territory - population

Initial random forms of diffusion

Chance

Collectivity spreads diffusion

… and all together produce the *macro* behavior

The collectivity's behavior **by necessity** produces the **…**

Acquire the diffused object

MACRO FEEDBACK MICRO

Trait that spreads

Agents, observing which is the most diffused object ...

Individual Agents

… which is **the global information** that conditions the

Individual Agent's desire to acquire

External information

Seeing that an "object" is diffused, the need to acquire and possess it is the **necessitating factor** that drives …

Micro Control. Information, publicity, etc. encourage or discourage individual agents from acquiring or imitating

Sistema di diffusione
le Torri di Pavia

Sistemi d'ordine
Modello euristico

- REGOLA MICRO = FATTORE NECESSITANTE: vi sono vantaggi nel mantenere un ordine e svantaggi nel romperlo; se vuoi acquisire i vantaggi o evitare gli svantaggi cerca di coordinarti per mantenere l'ordine o per conseguirlo, come indicato dalle regole che stabiliscono l'ordine;

- REGOLA MACRO = FATTORE RICOMBINANTE: quanto più si mantiene l'ordine tanto più aumentano i vantaggi di coordinarsi per mantenerlo e gli svantaggi nel romperlo;

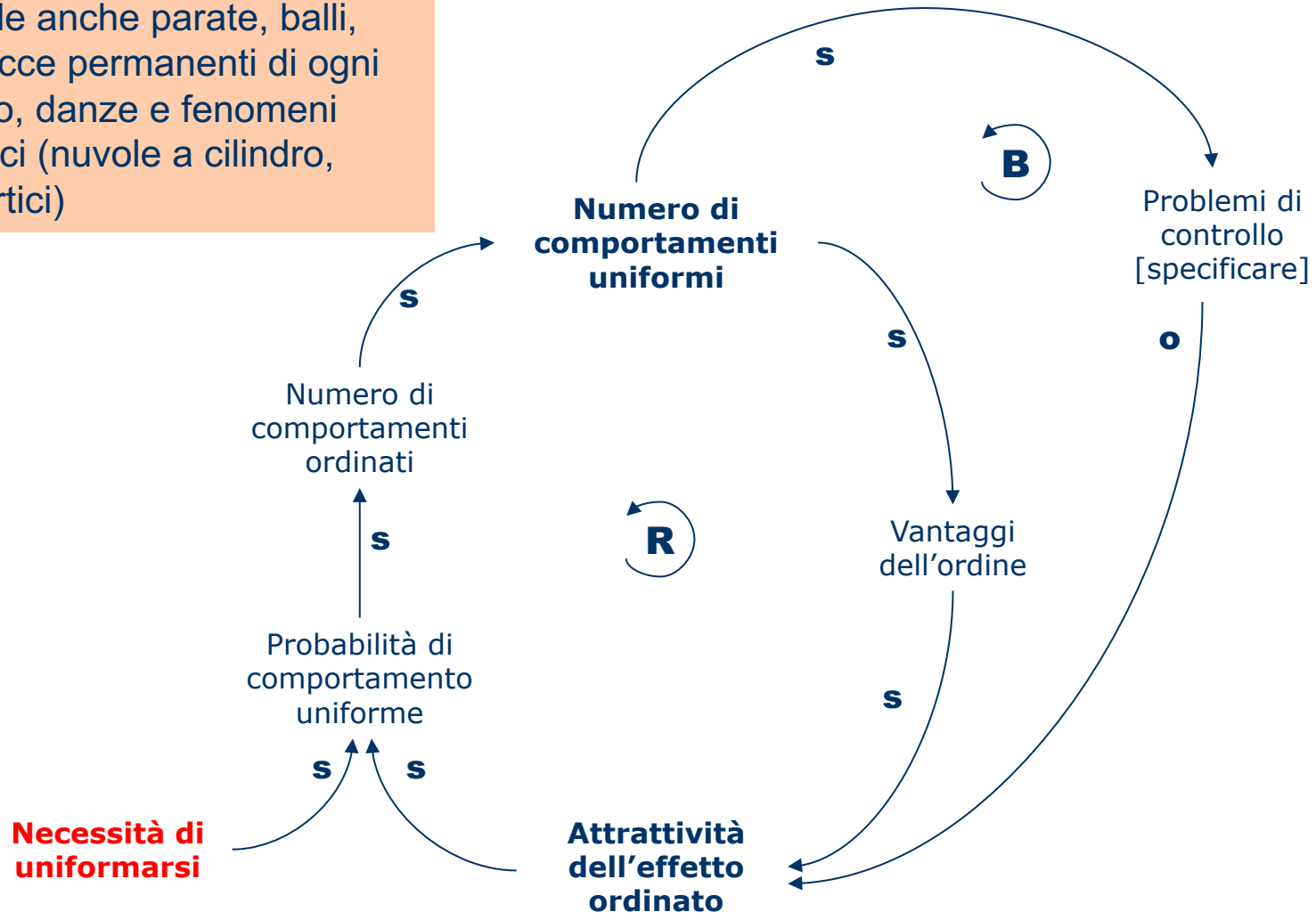
- FEEDBACK MICRO-MACRO: l'ordine (macro effetto) genera la convenienza a mantenere l'ordinamento e a rispettare le regole da parte dei singoli (micro comportamenti); tutti mantengono un comportamento coordinato (macro comportamento).

- **Vale per parate, balli, tracce permanenti di ogni tipo, danze e fenomeni fisici (nuvole a cilindro, vortici)**

new

Sistemi d'ordine
Sentiero

Vale anche parate, balli, tracce permanenti di ogni tipo, danze e fenomeni fisici (nuvole a cilindro, vortici)



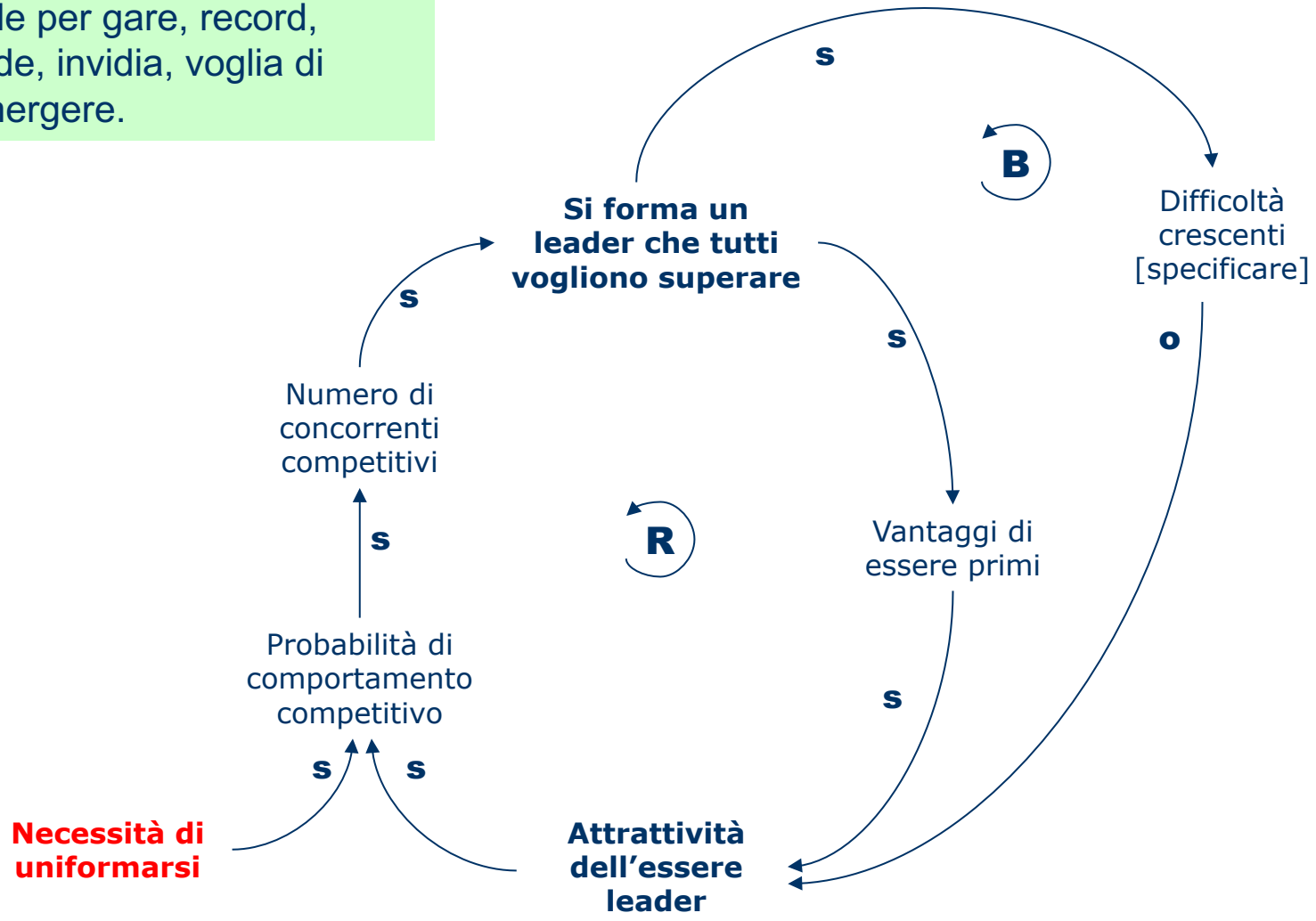
Sistemi di inseguimento

- REGOLA MICRO = FATTORE NECESSITANTE: se c'è un obiettivo cerca di conseguirlo; se c'è un limite, cerca di superarlo; se un altro individuo ti supera, recupera lo spazio perso (gap negativo); se sei alla pari con lui, cerca di avvantaggiarti; se sei in testa, cerca di mantenere o di aumentare il vantaggio (gap positivo);
- REGOLA MACRO = FATTORE RICOMBINANTE: la collettività riconosce validità all'obiettivo e considera negativamente il limite; quanto più gli individui cercano di superare il limite, tanto più aumenta la probabilità di superamento, con vantaggio per chi riesce a superarlo; e ciò incentiva l'inseguimento;
- FEEDBACK MICRO-MACRO: se tutti cercano di superare il limite (macro comportamento), allora esso si innalza (macro effetto) annullando il vantaggio di chi l'aveva in precedenza raggiunto (micro effetto); e ciò impone ai singoli di superare il limite (micro comportamento).
- **Vale per gare, record, faide, invidia, voglia di emergere, pensiero sicentifico, ecc.**.

new

Sistemi di inseguimento

Vale per gare, record, faide, invidia, voglia di emergere.



Sistemi guimento

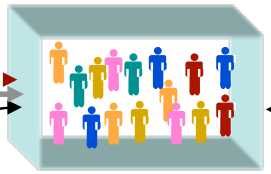
MACRO CONTROL
Lowering or raising of limits

The **recombining factors** preserve and emphasize the limit

Collectivity
territory - population

The **Initial** limit or objective is determined

Chance



Collectivity assesses the new level

Agents' behaviors are "combined" to produce the *macro* behavior

The collectivity's behavior **by necessity** produces higher performance **…**

Attempt to exceed the limit

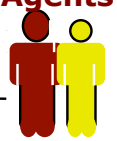
MACRO
FEEDBACK
MICRO

Limit that grows

Who, observing the "gap" between results and new levels of limits or objectives ...

Individual Agents

… which is **the global information** that **conditions**



Individual Agent's challenges

External information

The need to achieve an objective or exceed a limit are the **necessitating factors** that condition the …

Micro Control
Incentives or disincentives to exceeding limits

Sistemi di miglioramento & progresso

- E' la classe più rilevante.
- Esempi: inseguimento di primati e di record. Progresso scientifico e tecnico. Aumento della qualità dei beni, miglioramento del benessere, ecc.
- Questi sistemi sono un mix dei precedenti
  - Il micro-macro feedback opera per produrre un **progresso** nello stato complessivo della collettività (secondo giudizi di valore comunemente accettati).
  - Il progresso deriva dal perseguimento di obiettivi di **miglioramento individuale** da parte degli Agenti (incremento di qualche parametro considerato utile, favorevole, positivo), ma nello stesso tempo spinge alla ricerca di nuovi livelli di miglioramento.

Sistemi di miglioramento & progresso

- REGOLA MICRO = FATTORE NECESSITANTE: se il livello del tuo parametro di miglioramento è inferiore al livello del parametro di progresso del sistema – cioè che esiste un gap negativo tra il tuo stato e quello degli altri – cerca di migliorare per ridurre il gap e, se possibile, cerca di arrivare a un gap positivo; se percepisci un gap positivo, cerca ulteriori miglioramenti per incrementare la deviazione a te favorevole;

- REGOLA MACRO = FATTORE RICOMBINANTE: il sistema deve essere in grado di rilevare il miglioramento individuale e di adeguare il parametro di progresso alla media (o, più in generale, alla combinazione) delle misure di miglioramento individuali;

- FEEDBACK MICRO-MACRO: il miglioramento individuale (micro effetto) innalza il parametro che misura il progresso collettivo (macro effetto); ciò porta alla formazione di gap positivi e negativi che spingono i singoli a migliorarsi per aumentarli (se positivi) o per eliminarli (se negativi).

Mode i di miglioramento e progresso

MACRO CONTROL. Incentives or disincentives to progress. Institutional structures for research

Recombining factors. Taking notice of the individual improvement and adjust the progress parameter. Praising the progress and rewarding the agent's improvement

Collectivity
territory - population

First random improvements

Chance

Collectivity produces progess

… The micro behaviors are "recombined" to produce the *macro* behavior …

The collectivity's behavior **by necessity** produces **…**

Attempt to improve

MACRO FEEDBACK MICRO

Progress which is advantageous

Agents evaluate the "gap with respect to other agents" and ...

Individual Agents

… this is **the global information** that **conditions** …

Individual Agent's desire to improve

External information

Necessitating factors. Desire not to be less advanced or to maintain the benefits

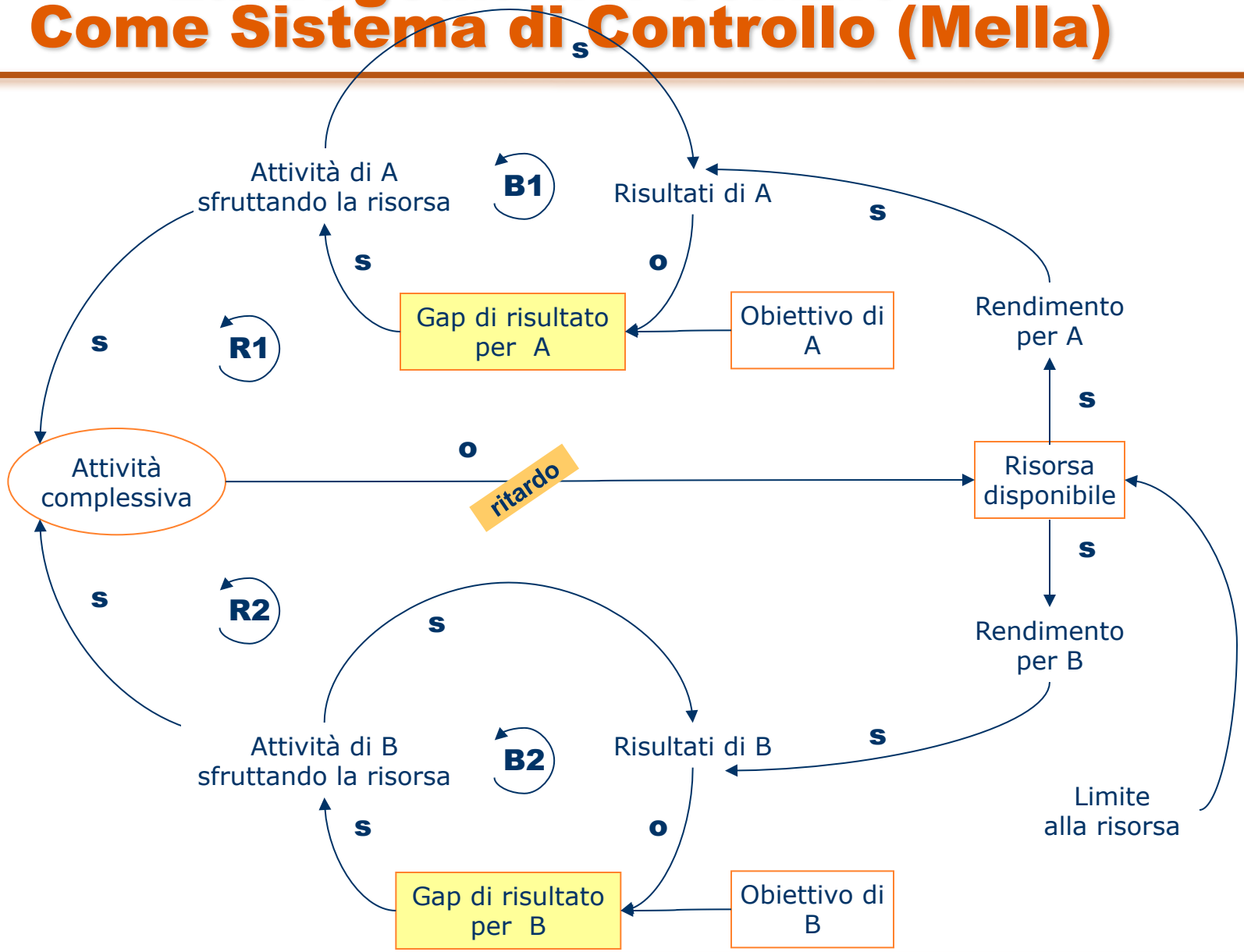
Micro Control. Incentive or disincentive to improvement. Reward for merits, etc.

La tragedia dei Commons

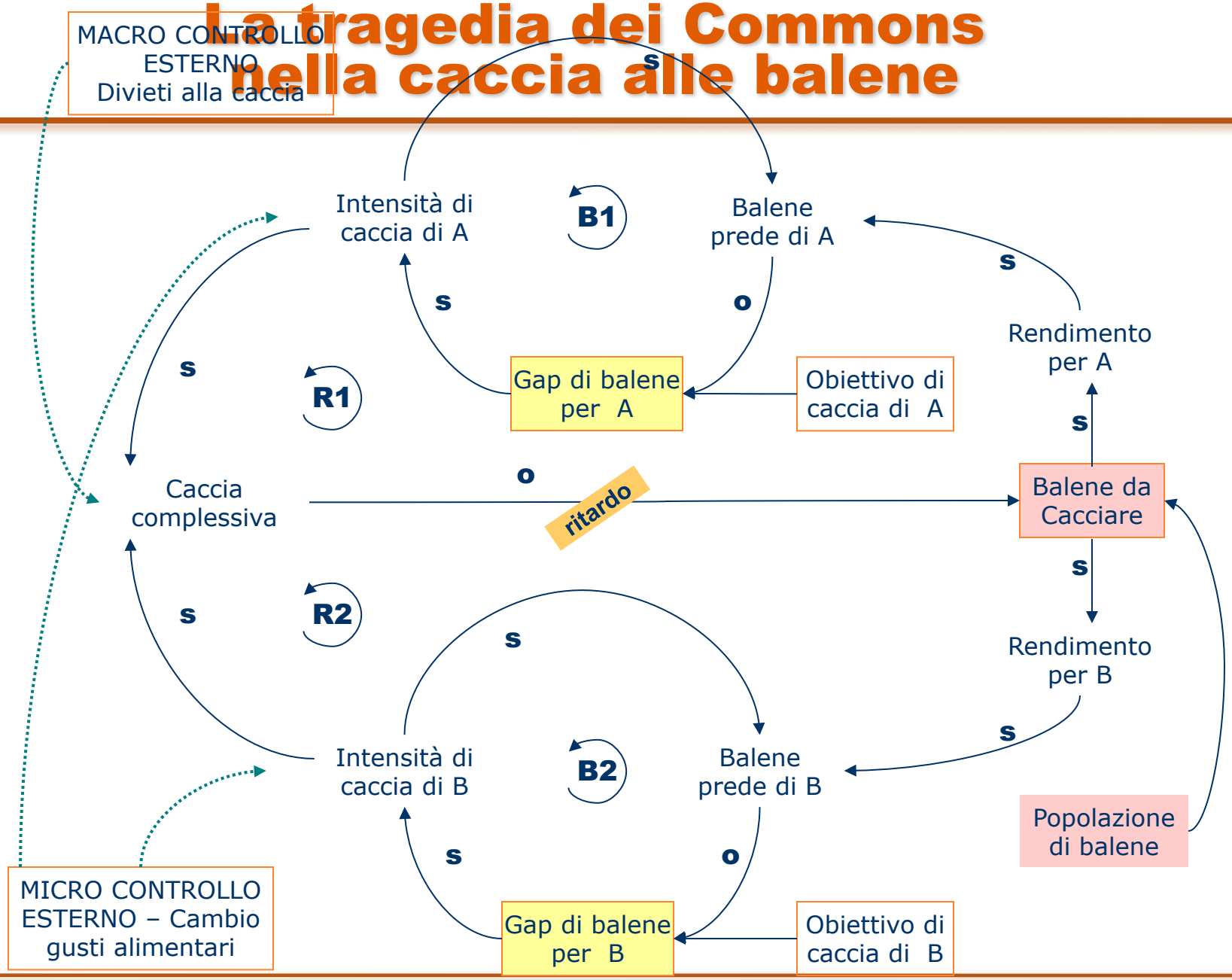
- Un particolare **Sistema Combinatorio** che presenta effetti collettivi negativi è quello che produce l'esaurimento di una risorsa scarsa, non rinnovabile, per la quale vi è libertà di appropriazione e d'uso.

- Esso descrive, **in altra forma**, la **Tragedia delle risorse comuni**, o Tragedia dei Commons (**Tragedy of the Commons**) –, utile per comprendere molti fenomeni di estinzione o di esaurimento dovuti all'azione di collettività.

La tragedia dei Commons Come Sistema di Controllo (Mella)

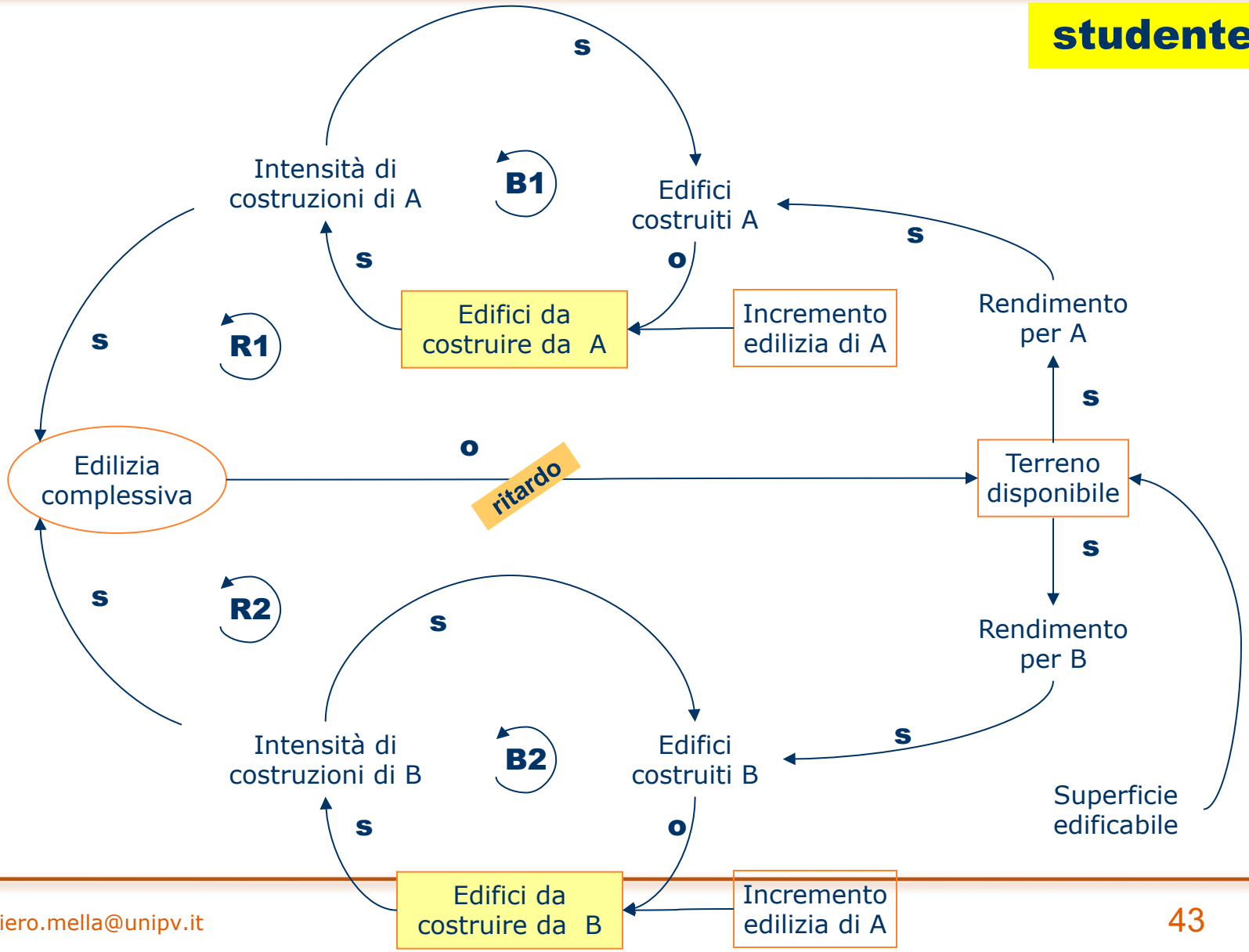


La tragedia dei Commons nella caccia alle balene



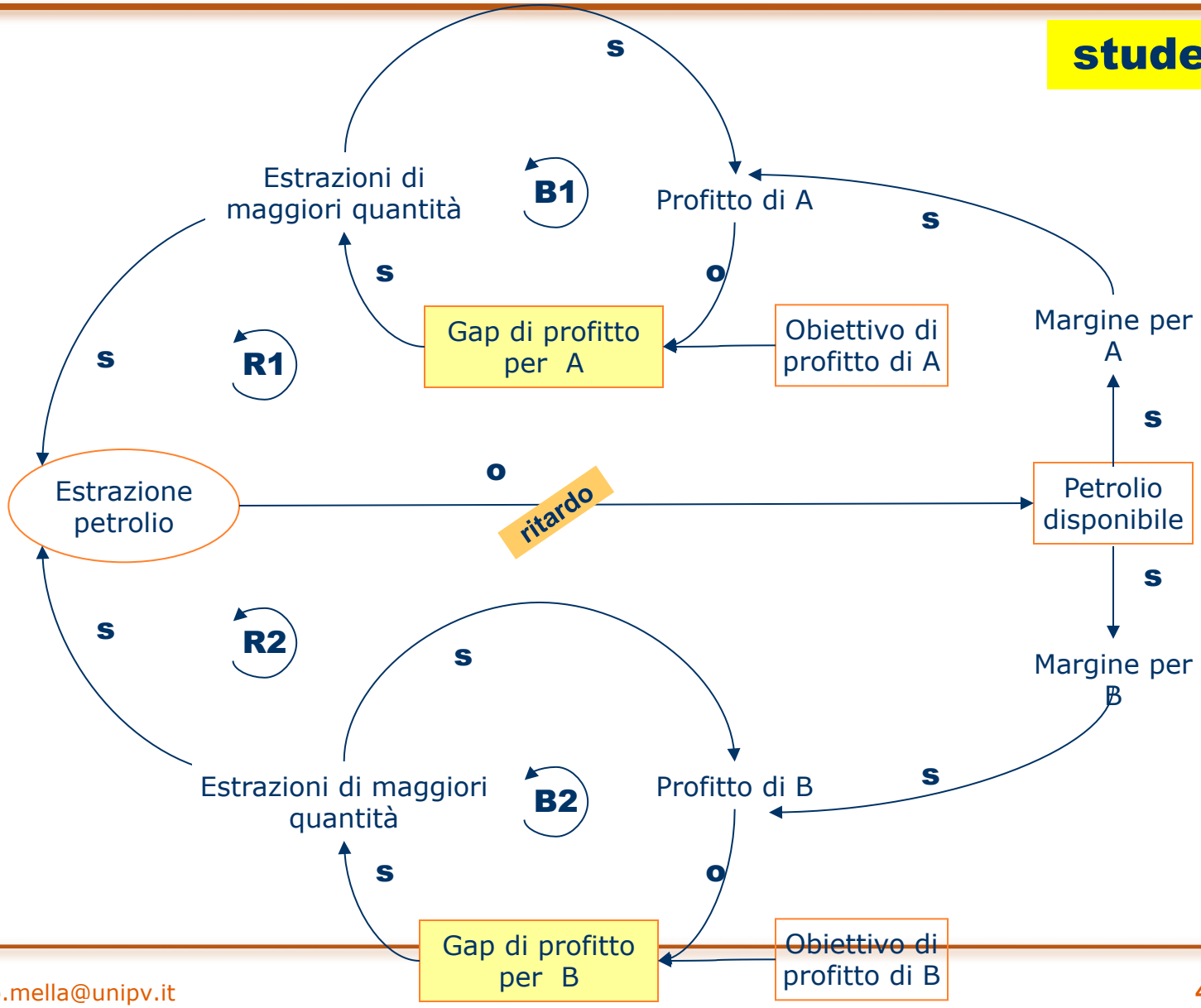
La tragedia dei Commons
Esaurimento terreno edificabile

studente



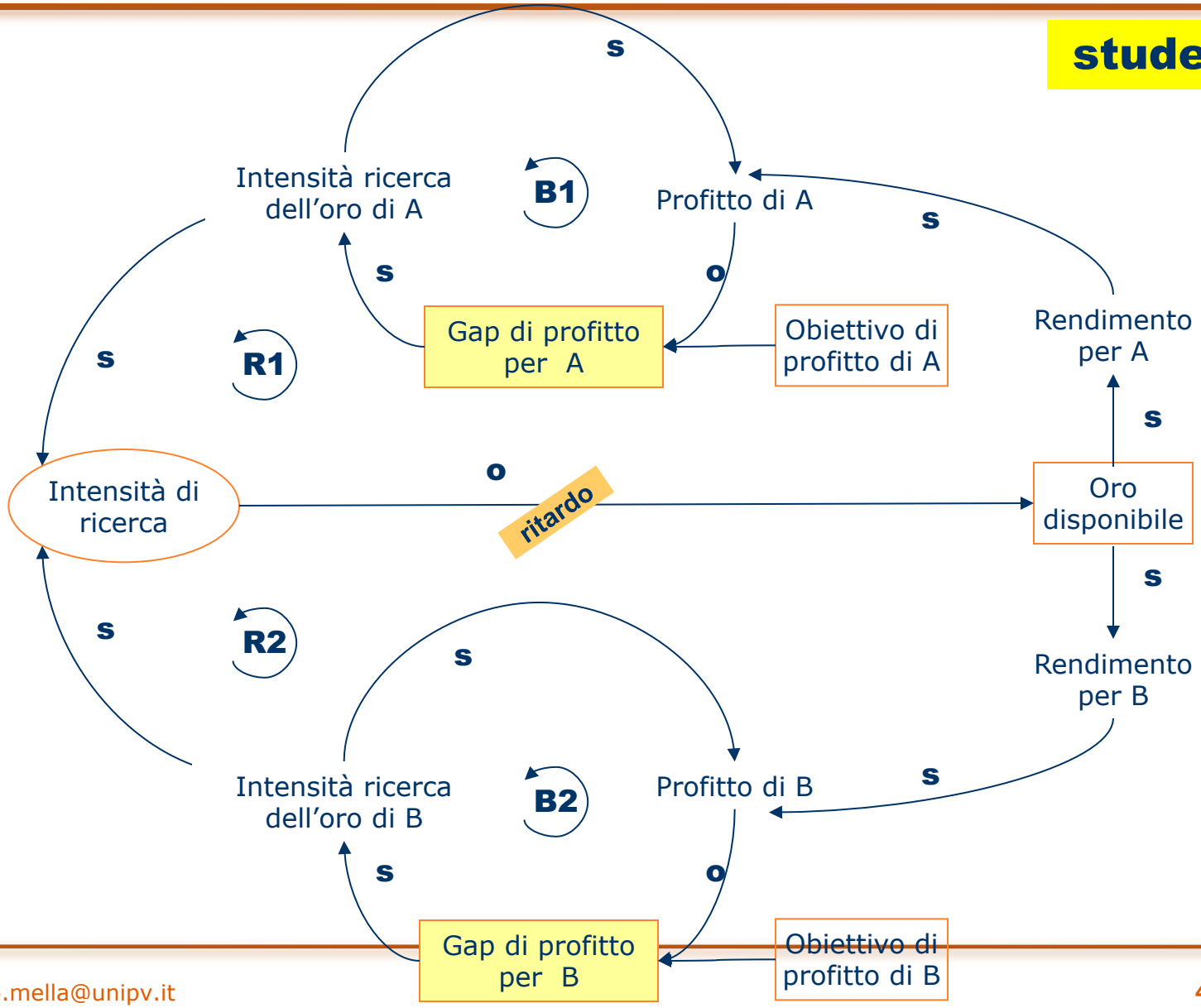
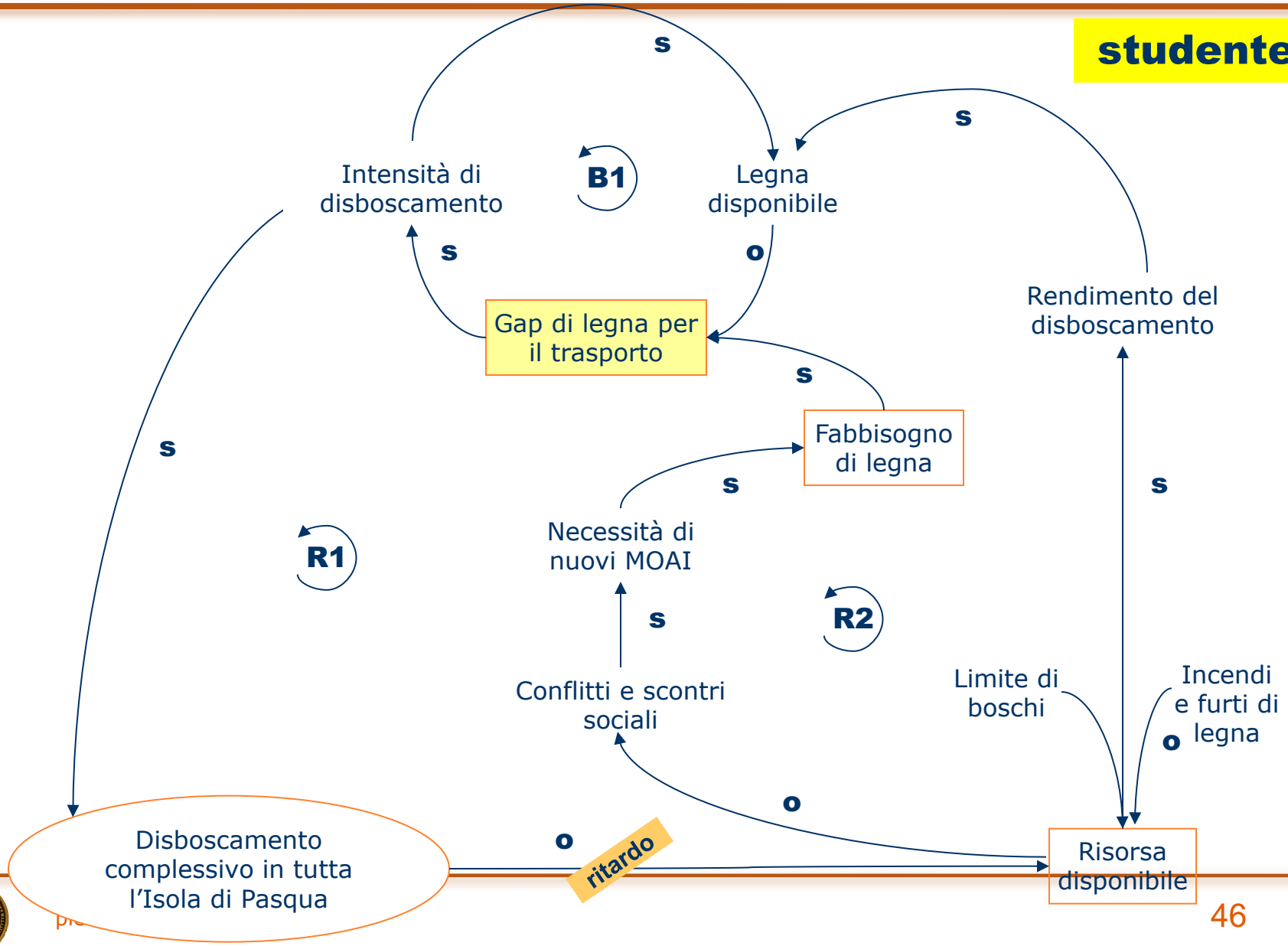
La tragedia dei Commons
Esaurimento petrolio

studente



La tragedia dei Commons
Esaurimento giacimenti

studente



La tragedia dei Commons
Tragedia Isola di Pasqua