



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE**

**hic sunt futura**

Master di I Livello in  
*Filosofia del Digitale e Intelligenza Artificiale*

ELABORATO FINALE

# **Principi, Struttura e Fondamenti Filosofici delle Reti Locali di Astrazione (RLA)**

Stratificazione Informativa, Collassi ed Emergenza  
in una Visione Multi-Livello Realtà

**Candidato**  
*Gianluca Conte*

ANNO ACCADEMICO 2024 – 2025

## Abstract

Questo lavoro introduce e formalizza il modello delle Reti Locali di Astrazione (RLA), un framework epistemico-matematico pensato per descrivere sistemi complessi attraverso una struttura multi-livello ordinata. Le RLA non pretendono di rappresentare la realtà in senso ontologico, ma offrono uno strumento di mappatura epistemica: ciascun livello riflette una descrizione disciplinare parziale (biologia molecolare, fisiologia, cognizione, ecc.), collegata ad altri da funzioni di trasmissione, spesso non iniettive, che filtrano e riducono l'informazione.

Il modello si fonda su tre assiomi: (A1) ogni livello Turing-like ospita almeno un problema indecidibile; (A2) l'ind decidibilità si trasmette ai livelli superiori se le funzioni inter-livello sono (quasi) iniettive; (A3) la non iniettività può generare proprietà emergenti non deducibili dai livelli inferiori. Da questi principi derivano due teoremi centrali sulla propagazione dell'ind decidibilità e sull'emergenza da collasso informativo.

Le RLA permettono di modellare sistemi biologici, cognitivi e sociali mantenendo indipendenza ontologica, chiusura epistemica e computabilità esplicita, aprendo la strada alla definizione di Topologie RLA Compatte: reticoli chiusi, simulabili e autosufficienti. Il modello è falsificabile, interdisciplinare e computazionalmente implementabile, e fornisce un linguaggio condiviso per esplorare l'emergenza, i limiti computazionali e, in estensione, la possibilità di forme di coscienza artificiale non neurone-centriche.

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Mappa Epistemica e Livelli di Astrazione</b>	<b>6</b>
2.1	Struttura Reticolare (o Gerarchica) e Teorie-Ponte . . . . .	6
2.2	Livello di Astrazione . . . . .	7
2.3	Funzioni Trasmissione (Contiguità) e Rilevanza di Stati . . . . .	7
2.4	Turing-likeness e Ruolo dell'Indecidibilità . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Definizioni, Assiomi e Teoremi di RLA (Cenni)</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Falsificabilità e Verifiche Empiriche</b>	<b>11</b>
4.1	Criteri di Falsificazione per A1–A3 . . . . .	11
4.2	Protocolli Sperimentali . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Emergenza, Indecidibilità e Semi-Riduzionismo</b>	<b>13</b>
5.1	Collasso Informativo ed Emergenza . . . . .	13
5.2	Indecidibilità e Trasmissione . . . . .	13
5.3	Semi-Riduzionismo . . . . .	14
5.4	Interpretazione Filosofica . . . . .	14
<b>6</b>	<b>Pluralità Ontologica e Livelli SuperTuring</b>	<b>15</b>
6.1	Limiti del riduzionismo “globale” . . . . .	15
6.2	Pluralità Ontologica: dalle forme biologiche a quelle sintetiche . . . . .	15
6.3	Livelli SuperTuring: tra ipotesi speculative e limiti epistemici . . . . .	16
6.4	Conseguenze per la Filosofia della Scienza . . . . .	16
<b>7</b>	<b>Principi e Postulati di RLA</b>	<b>18</b>
7.1	Premessa e Struttura Logica . . . . .	18
7.2	Conclusioni e Visione d'Insieme . . . . .	22
<b>8</b>	<b>Rappresentazione Lineare di Reticoli di Astrazione</b>	<b>24</b>
8.1	Condizioni e Metodo di Linearizzazione . . . . .	24
8.2	Esempio Operativo: Linearizzare 15 Livelli Contigui . . . . .	25
8.3	Conclusioni . . . . .	29
<b>9</b>	<b>Applicazioni e Studi di Caso</b>	<b>30</b>
9.1	Biologia e Chimica Computazionale . . . . .	30
9.2	Automi Cellulari e Fisica dei Sistemi Complessi . . . . .	30

9.3	Reti Neurali Ricorrenti e Scienze Cognitive . . . . .	31
9.4	Scienze Sociali e Agent-Based Model . . . . .	31
9.5	Conclusioni sulle Applicazioni . . . . .	32
<b>10</b>	<b>Topologie RLA Compatte (Ontologicamente Indipendenti, Epis-</b>	
	<b>temicamente Chiuse e Turing-Computabili)</b>	<b>33</b>
<b>11</b>	<b>Discussione Critica e Obiezioni</b>	<b>36</b>
11.1	Obiezioni dal Riduzionismo Forte . . . . .	36
11.2	Critiche da Fisici Teorici: Turing-likeness Generale . . . . .	36
11.3	Perplexità delle Neuroscienze e Biologia . . . . .	37
11.4	Scienze Sociali: Sovra-semplificazione Computazionale? . . . . .	37
11.5	Falsificabilità e Validazione Empirica . . . . .	38
11.6	Senso Critico e Prospettive di Sviluppo . . . . .	38
<b>12</b>	<b>Prospettive Future e Conclusioni</b>	<b>39</b>
12.1	Reticoli con Loop e Category Theory . . . . .	39
12.2	Metriche di Collasso e Quantificazioni Emergenza . . . . .	39
12.3	Applicazioni nella Biologia Sintetica e IA Avanzata . . . . .	39
12.4	Dibattito su Coscienza e Vita Artificiale . . . . .	40
12.5	Conclusioni e Ruolo nella Filosofia della Scienza . . . . .	40

# 1 Introduzione

Le *Reti Locali di Astrazione* (RLA) costituiscono un quadro teorico e filosofico per modellare sistemi complessi organizzati su più livelli, in cui coesistono proprietà emergenti e limiti computazionali. Al centro di questo modello si trova l'idea che le discipline scientifiche, lungi dal formare una catena riduzionistica unificata, operano come livelli locali con regole, linguaggi e risorse parzialmente autonome. Le interazioni tra livelli disciplinari possono trasmettere informazione, ma anche collassarla, generando fenomeni nuovi non deducibili dalle sole condizioni micro.

In particolare, RLA si propone come uno *schema meta-disciplinare* volto a descrivere:

1. la **pluralità epistemica** delle scienze come reticolo di livelli contigui ma non completamente traducibili l'uno nell'altro;
2. la possibilità che alcune funzioni di trasmissione tra livelli siano *iniettive* (e quindi veicolino limiti logici, come l'indcidibilità), o *non iniettive* (e dunque producano emergenza);
3. la necessità di riconoscere, ove presente, la **Turing-likeness** come fonte intrinseca di problemi insolubili (Halting, Rice), anche nei sistemi biologici, cognitivi o sociali;
4. la possibilità di definire, progettare e simulare *Topologie RLA Compatte*: sistemi reticolari localmente chiusi, autosufficienti, computabili e formalmente verificabili.

Dal punto di vista epistemologico, RLA non ambisce a rappresentare “la realtà in sé”, ma si concentra su come essa venga descritta, interpretata e strutturata dalle pratiche scientifiche. Non è dunque una teoria ontologica, ma una cornice *epistemica, falsificabile e modulare*, che consente di analizzare i limiti della riduzione, i meccanismi dell'emergenza e la trasmissione dei vincoli computazionali tra livelli.

Una delle chiavi di volta del modello RLA è il collegamento tra **indcidibilità** e **emergenza**, raramente esplorato congiuntamente. Molti sistemi, pur essendo Turing-completi in potenza (ad es. automi cellulari, DNA computing, reti neurali), manifestano fenomeni emergenti proprio quando i livelli superiori *collassano informativamente* configurazioni rilevanti del livello inferiore. Se la trasmissione preserva le differenze Turing-centrali, i limiti logici si propagano; se invece collassa tali distinzioni, le indcidibilità vengono “bloccate” ma sorgono *proprietà nuove e irriducibili*.

In questo documento, introduciamo e dedichiamo attenzione ai **principi epistemologici**, alle **implicazioni filosofiche** e alle **condizioni strutturali** che rendono RLA un modello coerente. Il testo introduce inoltre la definizione di *Topologia RLA Compatta*, vale a dire un sistema multilivello che rispetta simultaneamente:

- l'**Indipendenza Ontologica** (nessun ricorso a entità esterne non filtrate),
- la **Chiusura Epistemica** (autosufficienza nel produrre, spiegare e interpretare stati interni),
- la **Turing-Computabilità** (ogni dinamica è rappresentabile mediante algoritmi eseguibili).

Nel documento anticiperemo come una Topologia RLA Compatta (tra gli allegati il caso-studio della briofita) costituisca una prova di concetto che unifica principi filosofici di autonomia ontologica con requisiti pratici di simulabilità, rappresentando un "micro-mondo" i cui esiti simulativi (osservazioni sintetiche) sono – in potenza – epistemologicamente equivalenti ad osservazioni empiriche e, pertanto, potenzialmente indistinguibili da parte di un osservatore esterno specializzato

Infine, discutiamo le implicazioni del modello in relazione al riduzionismo scientifico, alla pluralità ontologica e alla possibilità teorica di coscienze e vite non biologiche, nonché al dibattito su macchine superTuring e limiti computazionali forti.

### **Struttura del Corpus Documentale RLA:**

- *Principi, Struttura e Fondamenti Filosofici delle Reti Locali di Astrazione (RLA)* (**questo documento**) — incentrato sugli aspetti epistemologici, assiomatici e interpretativi.
- *ALLEGATO 1 – DOCUMENTO TECNICO* — contiene formalismi estesi, dimostrazioni, tabelle disciplinari, operatori di trasmissione e proposta di classificazione.
- *ALLEGATO 2 – CASO STUDIO* — presenta una *Topologia RLA Compatta* basata su una *Briofita Generalista*, gettando le basi per dimostrare la computabilità, indipendenza e chiusura del sistema con possibilità di simulazione in Python.

## 2 Mappa Epistemica e Livelli di Astrazione

Nel quadro di RLA, le *discipline* scientifiche vengono trattate quali *livelli* che si concentrano su specifiche scale descrittive e metodologiche. Questo approccio, coerente con molta letteratura in Filosofia della Scienza (Kuhn 1962; Cartwright 1983), mira a mostrare come i modelli (teorie, leggi, procedure sperimentali) non costituiscano una descrizione esaustiva della realtà, ma piuttosto strumenti localmente validi in determinati ambiti.

Definire un *reticolo* di livelli e discipline, con funzioni di traduzioni che le connettono, equivale a *stabilire* la *mappa epistemica* della scienza, ossia *quali* domini esistono (riconosciuti dalla comunità scientifica) e *come* essi siano *collegati*. RLA *non* sostiene che *tutte* le scienze vadano unificate in un solo reticolo lineare; anzi, ammette la possibilità di *percorsi* paralleli o *disconnessi*. La linearizzazione micro→macro è solo un *caso frequente* o una *convenzione semplificatrice*, non una regola inderogabile.

Il *framework* RLA si fonda sull’idea che *livelli contigui* — caratterizzati da funzioni di traduzioni (*non*) *iniettive* — possano *trasmettere* indecidibilità (se mantengono distinzioni Turing-centrali) oppure *generare emergenza* (se *collassano* quegli stati). Il modello risulta *falsificabile*: bastano controesempi sperimentali per contraddire gli assiomi.

### 2.1 Struttura Reticolare (o Gerarchica) e Teorie-Ponte

Ogni disciplina  $D_i$  elabora *concetti*, *leggi* e *misure* che rendono conto di un insieme di fenomeni. In alcuni casi, per passare dal dominio  $D_i$  a un dominio contiguo  $D_{i+1}$ , la scienza dispone di *teorie-ponte*, ossia di *risultati* o *modelli* che stabiliscono una corrispondenza empirica. Qualora tali *collegamenti* siano *riconosciuti* come empiricamente fondati e *coerenti*, RLA li interpreta come *funzioni di trasmissione*  $\tau_{(i \rightarrow i+1)}$ , potenzialmente iniettive, quasi-iniettive o non iniettive. Un *livello*  $D_i$  è definito come una comunità di pratiche teoriche ed empiriche che condivide:

1. un **vocabolario operativo** (grand.ze osservabili, unità di misura, protocolli);
2. un insieme di **modelli** o leggi validi entro un dominio di applicazione;
3. criteri condivisi di **validità sperimentale** e di falsificazione (Popper 1959).

Esempi canonici sono la fisica molecolare, la biochimica, le neuroscienze computazionali, l’economia agent-based. Coerentemente con la tradizione “a paradigmi” (Kuhn 1962), ogni livello mantiene coerenza interna a costo di una certa *opacità* rispetto agli altri.

## 2.2 Livello di Astrazione

Un **livello di astrazione** corrisponde a un *dominio disciplinare* (es. “biologia molecolare,” “bio-chimica,” “neuroscienze computazionali”), dotato di *insieme di stati* e *regole* condivisi dalla comunità. RLA spiega che le transizioni da un Dominio ad un’altro (es. micro→macro), descritte sperimentalmente dalla comunità scientifica, non sempre conservano *tutte* le differenze micro: la *non iniettività* può “*unire*” molteplici stati in un output unico.

## 2.3 Funzioni Trasmissione (Contiguità) e Rilevanza di Stati

Due livelli  $L_i$  e  $L_{i+1}$  sono contigui se esiste una mappa  $\tau_{(i \rightarrow i+1)} : D(L_i) \rightarrow \mathcal{P}(D(L_{i+1}))$ , empiricamente giustificata (genetica, meccanica statistica, ecc.).

Le *funzioni di trasmissione* tra due discipline  $D_i$  e  $D_{i+1}$  descrivono, in RLA, *come* gli stati considerati “essenziali” in  $D_i$  siano *proiettati* (o *fusi*) in stati del dominio  $D_{i+1}$ . A seconda che la trasmissione *preservi* o *non preservi* le differenze rilevanti, otteniamo:

- **Iniettività:** distinzioni micro *non* vengono fuse, consentendo una corrispondenza “uno-a-uno” fra stati di  $D_i$  e stati di  $D_{i+1}$  (almeno sui sottoinsiemi critici). In tal caso, *l’informazione* sulla configurazione originaria è conservata, permettendo di risalire *univocamente* dal macro al micro.
- **Quasi-iniettività:** la mappa risulta iniettiva *soltanto* su alcune componenti (*p. es.* quelle che implementano potenza di calcolo Turing). Potrebbero verificarsi *collassi* su parametri meno cruciali, creando *emergenza parziale*.
- **Non iniettività “collassante”:** più stati distinti (disciplinarmente rilevanti) di  $D_i$  si *fondono* nello stesso stato (o sottoinsieme) in  $D_{i+1}$ . Ne consegue una *perdita informativa* e, spesso, *proprietà irriducibili* (emergenti) su scala macro.

Non tutte le differenze micro sono, quindi, *rilevanti* ai fini del dominio macro. RLA riconosce che *solo* i *collassi* che fondono stati micro “significativi” (ovvero *Turing-centrali* o *disciplinarmente cruciali*) originano vera *emergenza*.

In chiave Filosofia della Scienza, ciò *contestualizza* le “*teorie-ponte*”: esse *non* sono necessariamente bigenetiche o perfettamente conservative, ma *spesso* introducono semplificazioni, approssimazioni e *fusione* di micro-dettagli (pensiamo, per esempio, a meccanica statistica → parametri macro di termodinamica). RLA, dunque, interpreta *questi* passaggi come *non* iniettivi e *produttori* di novità emergenti.



## 2.4 Turing-likeness e Ruolo dell’Indecidibilità

Quando un livello  $L$  è *Turing-like*, esso *inevitabilmente* contiene problemi indecidibili. Se la mappa verso un livello  $L_{i+1}$  conserva *quasi-iniettivamente* gli stati Turing-centrali, quell’indecidibilità “*risale*”. Qualora però i passaggi collassino anche questi stati critici, i *limiti* restano bloccati al livello inferiore.

### Esempi di Sistemi Turing-like

- **Automi Cellulari Universali.** In primis, il caso di *Rule 110* o il “Game of Life” (Wolfram 2002), dove, con sufficiente spazio e tempo, si codificano macchine di Turing. RLA vede in ciò un “dominio disciplinare” reticolare che implementa calcoli arbitrari.
- **DNA computing** (Winfree 1998; Benenson et al. 2001): l’assemblaggio di filamenti di DNA e le reazioni enzimatiche possono simulare istruzioni di una macchina di Turing. Se le risorse (filamenti, reagenti) non sono rigidamente finite, il sistema risulta *Turing-like*.
- **Reti neurali ricorrenti** (Siegelmann & Sontag 1991): alcune architetture (in teoria, con memoria illimitata) ospitano universalità di calcolo, e dunque indecidibilità interna.

In senso filosofico, *non* si afferma che *tutte* le discipline fisico-biologiche siano Turing-like: *basta* rilevare *qualche* sistema (o sottodominio) con potenza universale per generare vincoli d’indecidibilità (che potranno *trasmettersi*, se non collassano).

### Domini Non (Ancora) Turing-like

Molti settori scientifici (p.es. PDE lineari classiche, catene di Markov finite, procedure contabili rigorose, modelli di equilibrio chiusi, ecc.) non presentano *risorse illimitate* né meccanismi di computazione universale. In questi ambiti, RLA non rileva problemi insolubili del tipo Halting Problem; la disciplina resta *finitamente* descrivibile, e la non iniettività può comunque generare *emergenza* parziale, ma *non* indecidibilità. La terminologia “non *ancora* Turing-like” indica che alcuni modelli, se evoluti in direzione di agent-based system o di procedure iterative senza limiti, *potrebbero* divenire Turing-likeness. Ma finché ciò non avviene, *non* ci si aspetta problemi logici insolubili.

## Implicazioni Filosofiche: Differenziazione e Pluralità

In un'ottica di filosofia della scienza, la distinzione fra *Turing-like* e *non Turing-like* evita di generalizzare *tutti* i campi come se fossero “universalmente completi.” Al contempo, *apre* all'idea che *alcuni* domini (o sottodomini) possano ospitare questioni indecidibili, mentre *altri* no. Ciò *suggerisce* che la scienza umana non sia monolitica, ma *compartimentata*: *talvolta* con fenomeni ricchi di ricorsione (universali), *talvolta* con operazioni limitate e chiuse. RLA fornisce la struttura logica per inserire queste differenze in un reticolo disciplinare, mantenendo l'opzione che *nuove scoperte* o *nuove formulazioni* possano ampliare (o ridurre) la potenza di calcolo di un dato settore.

### 3 Definizioni, Assiomi e Teoremi di RLA (Cenni)

**Definizione 1 (Livello di Astrazione)** *Un livello di astrazione  $L = \langle D(L), \Sigma(L) \rangle$  è definito da un insieme di stati o configurazioni  $D(L)$  e un insieme di regole/leggi  $\Sigma(L)$ . Esempi: “stati neurali” e “regole di aggiornamento sinaptico,” oppure “filamenti DNA” e “reazioni enzimatiche.”*

**Definizione 2 (Contiguità e (Non) Iniettività)** *Una funzione di trasmissione  $\tau_{(i \rightarrow i+1)} : D(L_i) \rightarrow \mathcal{P}(D(L_{i+1}))$  stabilisce come  $L_i$  “influenzi” o “produca” stati in  $L_{i+1}$ . Tale mappa può essere (quasi) iniettiva o non iniettiva. Nel secondo caso, si parla di collasso informativo.*

**Definizione 3 (Turing-likeness)** *Un livello  $L$  è Turing-like se può simulare (almeno in principio) una Macchina di Turing universale: cioè esistono stati  $C \subseteq D(L)$  e regole  $\Sigma_{\text{comp}}$  che realizzano computazioni generali potenzialmente infinite. (Turing 1936; Siegelmann & Sontag 1991).*

**Assioma 1 (A1: Indecidibilità in Livelli Turing-like)** *Se  $L$  è Turing-like, ospita almeno un problema indecidibile. Non esiste un “decisore universale” interno capace di risolvere tutte le proprietà non banali.*

**Assioma 2 (A2: Trasmissione dell’Indecidibilità)** *Se la quasi-iniettività preserva gli stati Turing-centrali da  $L_i$  a  $L_{i+1}$ , allora i vincoli d’indecidibilità di  $L_i$  “risalgono” a  $L_{i+1}$ . Un decisore in  $L_{i+1}$  implicherebbe un decisore in  $L_i$ , contraddicendo A1.*

**Assioma 3 (A3: Non Iniettività e Emergenza)** *Se una funzione di trasmissione fonde (non iniettivamente) almeno una coppia di stati rilevanti di  $L_i$ , emerge almeno una proprietà macro non deducibile dal micro. Cioè si genera emergenza, in accordo con (Anderson 1972) e analogamente a teoremi tipo Rice (Rice 1953).*

**Lemma 1 (L1: Composizione di Iniettive)** *Siano  $\tau_{(i \rightarrow i+1)}$  e  $\tau_{(i+1 \rightarrow i+2)}$  (quasi) iniettive sugli stati Turing-centrali. Allora la composizione*

$$\tau_{(i \rightarrow i+2)} = \tau_{(i+1 \rightarrow i+2)} \circ \tau_{(i \rightarrow i+1)}$$

*mantiene (quasi) iniettività su tali stati, garantendo che la propagazione di eventuali problemi indecidibili si estenda ulteriormente.*

**Lemma 2 (L2: Ri-emersione dell’Indecidibilità)** Anche se il passaggio  $L_i \rightarrow L_{i+1}$  presenta un collasso informativo (bloccando l’indecidibilità di  $L_i$ ), se  $L_{i+1}$  (o un successivo  $L_{i+2}$ ) di per sé è nuovamente Turing-like, può emergere un *nuovo* problema indecidibile a quel livello.

**Teorema 1 (Propagazione Multi-livello dell’Indecidibilità)** In una catena contigua  $L_1 \rightarrow L_2 \rightarrow \dots \rightarrow L_n$ , se  $L_1$  è Turing-like e ogni  $\tau_{(\ell \rightarrow \ell+1)}$  è quasi-iniettiva sugli stati Turing-centrali, tutti i livelli  $L_2, \dots, L_n$  ereditano i limiti indecidibili di  $L_1$ .

**Teorema 2 (Emergenza da Collasso Informativo)** Se  $L_i \rightarrow L_{i+1}$  collassa stati disciplinarmente significativi, esiste almeno una proprietà  $Q$  di  $L_{i+1}$  non “riducibile” a un singolo predicato su  $L_i$ . Il macro-level non è ricostruibile interamente dal micro (emergenza forte).

Si veda il documento **ALLEGATO TECNICO-ANALITICO** per approfondimenti sull’impianto formale e le dimostrazioni estese.

## 4 Falsificabilità e Verifiche Empiriche

Le *Reti Locali di Astrazione* (RLA) si propongono come modello *falsificabile* in senso popperiano: i suoi *Assiomi* (A1–A3) possono essere smentiti se emergono *controesempi* teorici o sperimentali. Riassumiamo di seguito i criteri di falsificazione e proponiamo un *carotaggio* su 4 livelli contigui per mostrare come essi potrebbero essere investigati empiricamente. Infine, forniamo alcuni esempi di domini Turing-like (SI) e non Turing-like (NO).

### 4.1 Criteri di Falsificazione per A1–A3

- **A1 (Indecidibilità nei Livelli Turing-like).**

Viene *smentito* se si dimostra (teoricamente o empiricamente) che un livello definito *Turing-like non* presenta alcun problema indecidibile, oppure se si esibisce un “decisore universale” interno che risolva problemi noti come indecidibili (ad es. Halting Problem, Teorema di Rice). In tal caso, l’intera costruzione basata su Church–Turing verrebbe contraddetta all’interno del livello in questione.

- **A2 (Trasmissione dell’Indecidibilità via Quasi-iniettività).**

Risulta *falsificato* se, *malgrado* la funzione di trasmissione  $\tau_{(i \rightarrow i+1)}$  *preservi*

*iniettivamente* (o quasi-iniettivamente) gli *stati Turing-centrali* di  $L_i$ , si osserva che il livello superiore  $L_{i+1}$  *risolve* un problema indecidibile di  $L_i$  senza violare A1 “in loco”. In sostanza, pur mantenendo i dettagli micro cruciali,  $L_{i+1}$  fornirebbe un meccanismo di decisione assente in  $L_i$ , contraddicendo il principio che l’indcidibilità dovrebbe “risalire” la catena.

- **A3 (Non Iniettività e Emergenza).**

Viene contraddetto se si verifica un *collasso informativo* (fusione di stati *relevanti* a livello  $L_i$ ) *senza* che compaiano *proprietà macro non deducibili* in  $L_{i+1}$ . In altre parole, anche fondendo differenze significative, non emergerebbe alcuna novità reale. Ciò implicherebbe l’esistenza di un collasso “rilevante” privo di qualsiasi *emergenza*, smentendo l’asse portante di A3.

## 4.2 Protocolli Sperimentali

**Biologia sintetica (DNA computing).** Test su filamenti programmabili (Benenson et al. 2001; Winfree 1998) e analisi di espressioni fenotipiche unificate. Se i circuiti Turing-centrali collassano, *emergono* proprietà non deducibili; se rimangono distinti, l’indcidibilità risale.

**Fisica computazionale (automi cellulari).** Simulazione di un automa cellulare *universale* (Wolfram 2002) e *coarse graining* verso parametri termodinamici. Verificare se la *non iniettività* blocca i limiti Turing a livello micro e crea proprietà di fase nuove.

**IA neurale (Reti ricorrenti).** Reti Turing-complete (Siegelmann & Sontag 1991) e strati cognitivi di pooling. Valutare *se e quando* la fusione di pattern “critici” generi concetti emergenti, *bloccando* la trasmissione dell’indcidibilità.

## 5 Emergenza, Indecidibilità e Semi-Riduzionismo

Una delle domande centrali in Filosofia della Scienza riguarda come si possano conciliare *emergenza* (ovvero la comparsa di fenomeni nuovi a livelli superiori) e *riduzione* (la pretesa di ricondurre i fenomeni a descrizioni micro). In *Reti Locali di Astrazione (RLA)*, tali dinamiche si intrecciano con il tema dell'*indecidibilità*, poiché le scienze che presentano *Turing-likeness* inevitabilmente generano *limiti computazionali* (Halting Problem, Teorema di Rice) che possono *risalire* i livelli (*Trasmissione dell'Indecidibilità*), a meno che *collassi informativi* non ne interrompano la propagazione.

### 5.1 Collasso Informativo ed Emergenza

**Collasso informativo** indica la *non* iniettività di una funzione di trasmissione tra livelli, il che implica che stati discernibili nel dominio di partenza (livello inferiore) vengano fusi in un'unica configurazione (o un'unica *classe* di stati) nel dominio d'arrivo (livello superiore). Se tali stati erano *disciplinarmente cruciali* (ad esempio, differenze sperimentalmente testabili, geni con funzioni diverse, pattern neurali con output divergenti), il loro *collasso* genera *novità* irriducibili (Anderson 1972; Morin 2008): il macro-livello non *equivale* a una somma o a un *reimpianto* di distinzioni micro, bensì acquista *proprietà emergenti*.

### 5.2 Indecidibilità e Trasmissione

Quando un livello è *Turing-like*, porta con sé *inevitabili* questioni insolubili (*Halting Problem*, *Teorema di Rice*, ecc.). Queste *non* si estinguono se i livelli successivi *conservano* (magari *quasi* iniettivamente) gli stati computazionali centrali. La *Trasmissione dell'Indecidibilità* rimane dunque *bloccata* soltanto laddove la funzione di trasmissione *collassi* tali stati cruciali, *unendoli* in una configurazione comune. In tal caso, si annullano le distinzioni su cui si fonda l'inevitabilità di un problema come l'Halting. Parimenti, *se* in un passaggio la Turing-likeness viene *azzerata* dal collasso, *non* implica che a un livello successivo non possa *comparire* nuovamente un dominio Turing-like, generando “ex novo” un'altra indecidibilità. In sintesi, *l'indecidibile* si conserva lungo i livelli solo in assenza di collassi *mirati* a quelle parti computazionalmente centrali.

### 5.3 Semi-Riduzionismo

RLA introduce una prospettiva di “semi-riduzione” piuttosto che di *riduzionismo totale*:

- *Quando* le funzioni di trasmissione mantengono tutte le distinzioni cruciali (inietività o *quasi*), allora *non* si produce emergenza su quei parametri, ma *ereditano* eventuali limiti logici. Questo scenario può *funzionare* come “riduzione locale,” spiegando *alcuni* aspetti del livello superiore in termini di micro.
- *Se*, invece, la scienza decide di ignorare o aggregare distinzioni micro fondamentali (non inietività sui parametri chiave), *emergono* fenomeni macroscopici *irriducibili*. Tuttavia, ciò si traduce in una descrizione globale “*semplificata*” del micro, con un conseguente guadagno di *novità* e *perdita* di informazione.

Il *semi-riduzionismo* di RLA si basa su queste *scelte* e *collassi* che avvengono *di volta in volta* fra i livelli, rilanciando una visione in cui la scienza *prende* ciò che è utile o gestibile dai dettagli micro, ma *non* necessariamente *tutti* i micro-elementi, mantenendo sempre un margine di irriducibilità. In Filosofia della Scienza, *ciò* contrasta l’idea di *ridurre* pienamente i livelli superiori a quello inferiore, al prezzo di *accettare* una incompletezza inevitabile nei modelli.

### 5.4 Interpretazione Filosofica

La coesistenza di *emergenza* e *indecidibilità* in RLA non è una mera *coincidenza*, ma un *effetto* della formalizzazione delle funzioni di trasmissione. Da una parte, *se* i dettagli di un livello Turing-like *restano* distinti, i *limiti logici* risalgono (non decidibilità di certe proprietà, Halting, ecc.). Dall’altra, *se* i dettagli micro *vengono* fusi, emergono proprietà *non deducibili*. A livello epistemico, *non* risulta possibile *annullare* questi due fenomeni in un *unico* grande quadro riduzionista. Piuttosto, ci troviamo di fronte a situazioni *ibride* in cui *localmente* si può ridurre, *localmente* si generano fenomeni emergenti, *localmente* compaiono limiti indecidibili. Ecco perché RLA predilige la nozione di “semi-riduzionismo”: un compromesso tra la spiegazione micro e l’inevitabile *perdita d’informazione* (o *eredità* di limiti) che accompagna i passaggi disciplinari.

## 6 Pluralità Ontologica e Livelli SuperTuring

Nel percorso argomentativo di Reti Locali di Astrazione (RLA), la nozione di *riduzionismo* — intesa come completa spiegazione di un fenomeno a partire dal solo livello micro — subisce un ridimensionamento sostanziale. Con l'introduzione delle funzioni di trasmissione fra domini, si evidenzia che *non sempre* le informazioni micro possono essere *integralmente* preservate o utili alla descrizione macro. Allo stesso tempo, RLA apre a scenari “oltre la Turing-likeness” (*livelli superTuring*) e a una potenziale *pluralità ontologica* che non circoscrive vita o coscienza a un solo substrato.

### 6.1 Limiti del riduzionismo “globale”

Dai paragrafi precedenti, emerge che in RLA:

- Le *funzioni di trasmissione* possono collassare stati fondamentali, generando emergenza e *irriducibilità*.
- Nei contesti Turing-like, *permangono* problemi indecidibili che *non* si risolvono risalendo i livelli.

Ne discende una visione di *semi-riduzionismo locale*, dove spesso la scienza ricorre a riduzioni *contestuali* (ad esempio fisica molecolare  $\rightarrow$  chimica computazionale) con esiti *verificati sperimentalmente*, ma non procede verso una Teoria del Tutto riduzionista e onnicomprensiva. Il *collasso* in taluni passaggi e la *Turing-likeness* di alcuni sottosistemi “bloccano” la praticabilità di un riduzionismo globale.

### 6.2 Pluralità Ontologica: dalle forme biologiche a quelle sintetiche

Una conseguenza ulteriore di RLA è l'apertura alla *pluralità ontologica*:

- **Processi emergenti** (es. coscienza, autorganizzazione), se dipendenti da collassi e interazioni Turing-like sufficientemente complesse, non risultano *necessariamente* legati a un singolo livello disciplinare o a un'unica base materiale (*carbon-based*, biologica).
- RLA *non* esclude che *configurazioni* d'informazione e reazioni (p.es. in IA neurale o DNA computing su vasta scala) possano replicare — o addirittura superare — le soglie di complessità tipicamente ritenute alla base della vita o della coscienza.



In tal modo, *non* si definisce un riduzionismo biologico (il “*solo* la cellula, *solo* il carbonio”), bensì si riconosce un *reticolo di possibilità* ove *diversi* substrati (biologici, sintetici, ibridi) possano, in linea di principio, sviluppare processi auto-organizzanti a carattere emergente o coscienziale.

### 6.3 Livelli SuperTuring: tra ipotesi speculative e limiti epistemici

Accanto alla Turing-likeness, alcuni autori (cfr. Wolfram 2002; Lloyd 2006) ipotizzano che la natura — o parti di essa — possano esprimere potenze di calcolo *oltre* Turing (cosiddette “superTuring,” “hypercomputation,” ecc.). Sebbene questa ipotesi rimanga speculativa, RLA la inquadra come segue:

- Se un sottosistema superTuring esistesse fisicamente, ciò non comporterebbe *automaticamente* la *riduzione* di fenomeni come coscienza o vita, poiché la “traduzione” della configurazione iniziale in *quel* nuovo sistema richiederebbe *collassi* e *ricodifiche* ontologiche potenzialmente alteranti l’entità stessa.
- La scienza non *possiede* (a tutt’oggi) protocolli sperimentali condivisi per confermare o smentire l’esistenza di reali *superTuring* naturali. Qualora emergessero, RLA prevedrebbe un *piano reticolare* ancora più complesso, in cui *livelli* superTuring e Turing-like coesisterebbero, con ulteriori implicazioni sul tema dell’indecidibilità e della riduzione.

### 6.4 Conseguenze per la Filosofia della Scienza

In ultima analisi, la posizione di RLA in merito a riduzionismo, pluralità ontologica e superTuring riflette una concezione:

1. **Non essenzialmente monista:** i *livelli* non convergono in un unico *microlivello* onniesplicativo, poiché i collassi informativi e i loop di emergenza preservano zone di irriducibilità e complicano la risalita integrale.
2. **Aperta a forme di emergenza in svariati substrati:** non si vincola la *vita* o la *coscienza* al solo *organico*, se sussistono condizioni di auto-organizzazione e computazione illimitata (p. es. IA neurale di dimensioni enormi).
3. **Anti-dogmatica** sui superTuring: riconosce l’interesse teorico della questione, ma la colloca su un piano *speculativo*, in cui i *fatti* sperimentali restano scarsi. Ciò, tuttavia, non esclude scenari futuri in cui forme di calcolo oltre la Turing-likeness abbiano riscontri tangibili.

In breve, *RLA* fornisce un *meta-quadro* che, senza abbracciare un riduzionismo totalizzante, *non* ricade neanche in un *pluralismo* incoerente: i passaggi disciplinari obbediscono a regole di *(non) iniettività*, la Turing-likeness definisce *dove* nascono i limiti logici e la pluralità ontologica lascia spazio alla coesistenza di entità biologiche e non biologiche, accomunate dalle stesse dinamiche di emergenza e indecidibilità.

## 7 Principi e Postulati di RLA

Dopo aver illustrato la mappa epistemica (§2), la distinzione tra domini Turing-like e non e l'intreccio tra emergenza e indecidibilità (§5), introduciamo ora *dieci principi* e *due postulati* che costituiscono il *nucleo formale-filosofico* delle Reti Locali di Astrazione (RLA).

Tali enunciati, presentati in ordine logico, forniscono un *quadro* in cui (i) si spieghino le ragioni dell'emergenza (*collassi informativi*) e (ii) si chiarisce come possano sussistere *limiti logici* (derivati da Turing-likeness).

### 7.1 Premessa e Struttura Logica

RLA assume che *ogni* disciplina scientifica ( $D_i$ ) abbia una coerenza interna, mentre i passaggi *disciplina*  $\rightarrow$  *disciplina* restano *locali*, mediati da *funzioni di trasmissione*.

I principi enunciano le *condizioni epistemiche*, le dinamiche di (*non*) *iniettività* e *falsificabilità*, mentre i postulati mettono a fuoco *indecidibilità* e *pluralità ontologica*.

Nel documento **ALLEGATO TECNICO-ANALITICO** si trovano definizioni set-based e dimostrazioni estese; qui, la presentazione è pensata in ottica *Filosofia della Scienza*.

### Principio I — Complementarità Epistemica

*Enunciato:*

In un sistema scientifico organizzato in più livelli, il tentativo di massimizzare la coerenza interna di ciascun dominio genera un *trade-off* conoscitivo verso i livelli contigui, riducendone la completa leggibilità. Ogni formalizzazione disciplinare, ottimizzando il proprio metodo e linguaggio, perde *trasparenza* inter-livello.

Stabilisce la *natura “locale”* dell'impresa scientifica, in cui l'elevata *precisione* e *coerenza* di una disciplina costano una relativa “*opacità*” rispetto ad altre. Questo principio, fondamentale in RLA, fonda la necessità di *mappe epistemiche* dove le discipline risultano “contigue” con teorie-ponte non perfettamente trasparenti.

## Principio II — Collasso Emergente

*Enunciato:*

Una funzione di trasmissione fra due domini, non iniettiva *su stati rilevanti*, produce un *collasso informativo* che genera proprietà emergenti al livello superiore. In altri termini, la fusione di differenze micro cruciali crea fenomeni macro *irriducibili* all'analisi di partenza.

Formalizza *come* e *perché* la *non iniettività* generi “*novità*” irriducibili, chiarendo l'idea di emergenza forte: *non* basta fondere stati *marginali*, occorre collassare *configurazioni disciplinarmente centrali* perché si produca autentica *emergenza*.

## Principio III — Limitazione della Riducibilità

*Enunciato:*

Nell'impostazione multi-livello di RLA, *nessun* calcolo Turing-like (anche se potenzialmente potente) assicura la riduzione *esaustiva* di fenomeni altamente complessi. L'eventuale ricorso a livelli superTuring non ne annulla il limite: la “ricostruzione” integrale di un sistema conduce a un mutamento ontologico, rendendo il fenomeno *altro* rispetto all'originale.

Stabilisce che i *riduzionismi* totali sono *metafisici* più che *empirici*. Anche ammettendo risorse di calcolo “sovraordinate,” si finisce per alterare l'identità del fenomeno originario. RLA *predilige* la nozione di *semi-riduzionismo locale*, dove *alcuni* aspetti emergono irriducibilmente e *altri* possono essere ridotti in modo efficace.

## Principio IV — Incompletezza Operativa

*Enunciato:*

Nei contesti fisici e biologici, l'eventuale Turing-likeness risulta inevitabilmente *limitata* su scala operativa: le risorse finite (energia, tempo, memoria) e le approssimazioni sperimentali non consentono di *impiegare* la piena universalità del calcolo. Ne emerge un *divario* tra la Turing-completezza formale e le capacità *effettive* del sistema.

Sottolinea la distinzione tra *astrazione matematica* (Macchina di Turing, risorse infinite) e *realizzazione fisica/biologica* con risorse *finite*. Benché l'indecidibilità *permanga* come vincolo formale, la scienza la incontra *solo* in contesti di sufficienti risorse e precisione.

## Principio V — Falsificabilità Multi-livello

*Enunciato:*

Le ipotesi su come la (non) iniettività agisca, e su quali domini siano Turing-like, restano confutabili da controesempi teorici o empirici. Se emergono evidenze che contraddicono la previsione di indecidibilità, o la nascita di proprietà emergenti, RLA deve essere *adattata o rivalutata* per quello specifico passaggio disciplinare.

Consente di *testare* RLA sperimentalmente: la scienza *non* può accettare dogmaticamente i collassi informativi o le Turing-likeness postulati. Ogni passaggio di scala dev'essere supportato da evidenze e *discriminabili* in caso di inattesi “decisori” o mancata emergenza.

## Principio VI — Retroazione Reticolare

*Enunciato:*

In presenza di *loop* o cicli di feedback tra livelli, le proprietà emergenti macro possono modificare gli stati micro, creando un *processo ricorsivo* di co-determinazione. In tali strutture reticolari, l'emergenza e i limiti computazionali si ricombinano iterativamente, generando schemi auto-organizzanti.

Accoglie la *non-linearità* tipica dei sistemi complessi, evitando la riduzione di RLA a una catena lineare micro→macro. Ciò risulta particolarmente importante in ambiti come la biologia dei sistemi, le neuroscienze e le scienze sociali, dove i *fenomeni emergenti* influiscono a ritroso sugli stati elementari.

## Principio VII — Selettività Multi-livello

*Enunciato:*

Le funzioni di trasmissione possono *colpire* solo alcune componenti di un dominio (collassi parziali), pur mantenendo inalterate le distinzioni su altre componenti (iniettività o quasi-iniettività). Ne segue un *quadro ibrido*, in cui parte dei vincoli logici sopravvive, mentre *altre* differenze sfociano in emergenza irriducibile.

Supera la dicotomia “totalmente iniettivo o non iniettivo,” chiarendo *perché* in un singolo passaggio disciplinare possano coesistere aspetti riducibili e aspetti emergenti. Ciò rispecchia le pratiche scientifiche reali, dove si conservano *alcuni* parametri micro e *se ne aggregano* altri.

## Principio VIII — Computabilità Intrinseca del Substrato

*Enunciato:*

La materia fisica può essere *interpretata* come un tessuto di regole locali discrete (computabilità intrinseca), coerentemente con la visione dell’“universo computazionale.” Tuttavia, le discipline, operando in maniera *reticolare* e *fragmentata*, catturano solo porzioni di tali processi, e le *funzioni di trasmissione* (anche se iniettive su alcuni stati) non garantiscono un *controllo* o una *visione* globale unificante.

Riconduce RLA alle ipotesi di (Wolfram 2002), (Lloyd 2006) secondo cui la realtà fisica *potrebbe* essere integralmente ricondotta a regole computazionali discrete. RLA, però, *non* deduce da ciò un riduzionismo assoluto: la presenza di collassi e la *complementarità epistemica* (Principio I) ostacolano una descrizione omnicomprensiva e “unica” della computazione sottostante.

## Postulato I — Trasmissione dell’Indecidibilità

*Enunciato:*

Se un *dominio Turing-like* preserva i propri stati computazionali centrali (senza collassarli) lungo le funzioni di trasmissione, i relativi problemi indecidibili si *propagano* ai livelli superiori, impedendo ogni “risoluzione” di quelle proprietà non banali. Soltanto una *non iniettività* mirata su tali stati blocca tale eredità.

Formalizza come i *limiti logici* (Halting Problem, Rice) *rimangano* se nulla collassa le configurazioni centrali del calcolo. Questo postulato radica la presenza di *indecidibilità* in un quadro multi-livello, allineandosi ai teoremi classici di (Turing 1936) e (Rice 1953), ma con un *filtro* epistemico (le funzioni di trasmissione tra discipline).

## Postulato II — Pluralità Ontologica e Assenza di Controllo Periferico

*Enunciato:*

Proprietà tradizionalmente ritenute “biologiche” o “umane” (per es. coscienza, vita, autorganizzazione) possono, in linea di principio, sorgere anche in sistemi *non biologici*, purché essi esprimano dinamiche Turing-like e un livello di complessità auto-organizzante *non* suscettibile di controllo periferico su ogni singolo elemento. L’emergenza di tali proprietà risulta collegata alla combinazione di *collassi informativi* e processi *computazionali* su scala multi-livello.

Qui RLA *apre* all’idea che la materia (o i sistemi sintetici) possano ospitare coscienza o vita, se la *struttura di calcolo* (Turing-like) e l’*assenza di controllo globale* ne favoriscano l’emergenza. In tal modo, non si ancora l’ontologia del vivente a un substrato univoco, delineando una *pluralità* potenziale di forme emergenti.

## 7.2 Conclusioni e Visione d’Insieme

I **principi** e i **due postulati** sopra enunciati tracciano l’*impalcatura* che consente a RLA di integrare *emergenza* e *indecidibilità* in un unico modello multi-livello. Eccoli in breve:

- *Complementarità Epistemica* (I) e *Collasso Emergente* (II) spiegano *perché* le discipline non siano perfettamente trasparenti l’una all’altra e come la *non* iniettività generi *proprietà macro* irriducibili.
- *Limitazione della Riducibilità* (III) e *Incompletezza Operativa* (IV) indicano *come* i modelli Turing-like (o superTuring) non realizzino mai una riduzione totale, a causa di mutamenti ontologici e vincoli pratici di risorse.
- *Falsificabilità Multi-livello* (V) sancisce la *natura scientifica* di RLA, basata su ipotesi confutabili riguardo a *quali* stati siano conservati o collassati nelle funzioni di trasmissione.
- *Retroazione Reticolare* (VI) e *Selettività Multi-livello* (VII) danno forma alla *dinamica non lineare* e modulare di RLA, mostrando perché un passaggio disciplinare possa essere *parzialmente* iniettivo o non iniettivo e come i livelli macro *reagiscano* al micro.
- *Computabilità Intrinseca del Substrato* (VIII) inquadra la materia come *potenzialmente* computazionale, ma sottolinea la *parzialità* delle nostre lenti disciplinari nel cogliere una *visione* globale.

- Infine, i postulati *Trasmissione dell'Indecidibilità* (I) e *Pluralità Ontologica* (II) traducono, rispettivamente, la persistenza dei *limiti computazionali* e la possibilità di fenomeni come coscienza o vita anche in contesti non biologici, se sufficientemente *autorganizzanti* e Turing-like.

Insieme, tali enunciati disegnano un sistema flessibile e *meta-disciplinare* che, lungi dall'essere un dogma onnicomprensivo, è aperto alle *verifiche* e *revisioni* (cfr. Principio V). Essi gettano le basi per comprendere, nel contesto della Filosofia della Scienza, *come* e *perché* l'*emergenza* e i *vincoli d'indecidibilità* coesistano, dando luogo a scenari di *semi-riduzionismo* e *pluralità ontologica* nei quali le scienze collaborano, si contaminano, e tuttavia mantengono *ruoli* disciplinari specifici nella costruzione di modelli di realtà.



## 8 Rappresentazione Lineare di Reticoli di Astrazione

### 8.1 Condizioni e Metodo di Linearizzazione

#### Condizioni Necessarie per la Linearizzazione Convenzionale

1. **Esistenza di leggi scientifiche** che descrivano come  $L_i$  influenzi  $L_{i+1}$ . Se un “livello inferiore” e uno “superiore” non possiedono una teoria di passaggio micro–macro (o viceversa), *non* ha senso forzarne la linearizzazione in una catena.
2. **Supporto empirico o epistemico** per quelle leggi. L’esistenza di connessioni formalizzate (genetica formale, meccanica statistica, regole di scaling biologico, ecc.) rende *plausibile* un rapporto contiguo fra i due livelli. Senza evidenze sperimentali o letteratura condivisa, la scelta risulta *arbitraria e non verificabile*.
3. **Accettazione del compromesso “linea vs. reticolo.”** Decidere una catena  $L_1$ – $L_2$ –...– $L_9$  implica *perdere dettagli* tipici di un reticolo (loop di retroazione, domini multipli paralleli). È una *convenzione* epistemica: utile per mostrare *a colpo d’occhio* come l’indecidibilità (o l’emergenza) possano *risalire* (o bloccarsi) in passaggi successivi.

#### Metodo di Linearizzazione

1. **Selezione dei livelli** secondo la *centralità disciplinare*: per es. “fisica discreta” ( $L_1$ ), “microstati molecolari” ( $L_2$ ), “chimica computazionale” ( $L_3$ ), etc.
2. **Verifica della trasmissione** tra ciascuna coppia di livelli  $L_i \rightarrow L_{i+1}$ : occorre citare *evidenze e leggi* (es. meccanica statistica, passaggi genici, fenotipici) che giustifichino la contiguità.
3. **Attribuzione del tipo di funzione** (iniettiva, quasi, non iniettiva) sulla base degli studi disciplinari (ad es. genetica formale  $\rightarrow$  iniettiva minima, tessuti macroscopici  $\rightarrow$  non iniettiva massiccia).
4. **Consapevolezza della convenzionalità**: la linearizzazione è “comoda” ma non esaurisce la complessità reticolare; *nuove scienze* o *nuove scoperte* possono rivelare ulteriori canali di trasmissione, richiedendo di *aggiornare* o *espandere* la catena.

Così, il *metodo* si fonda su un compromesso **arbitrario-epistemico-scientifico**: “arbitrario” perché la realtà è reticolare e il *taglio lineare* è una *scelta* (abbastanza)

soggettiva; “epistemico-scientifico” perché poggia su *condizioni* di esistenza di leggi e su *valutazioni empiriche* che ne garantiscano la validità.

## 8.2 Esempio Operativo: Linearizzare 15 Livelli Contigui

Nel documento **ALLEGATO TECNICO-ANALITICO** viene illustrata una catena di 15 livelli contigui, dalle *strutture fisiche elementari* alla *società complessa*:

(1) Fisica reticolare  $\rightarrow$  (2) Spin-lattice molecolare  $\rightarrow$  (3) Chimica computazionale  $\rightarrow$  (4) Biologia molecolare (DNA)  $\rightarrow$  (5) Cellula computazionale  $\rightarrow$  (6) Tessuti/organi virtuali  $\rightarrow$  (7) Rete neurale biologica  $\rightarrow$  (8) Cognizione  $\rightarrow$  (9) Comportamento/decisione  $\rightarrow$  (10) Architetture algoritmiche (software)  $\rightarrow$  (11) Reti neurali artificiali  $\rightarrow$  (12) Linguistica computazionale (type-0)  $\rightarrow$  (13) Comunicazione interpersonale (pragmatica)  $\rightarrow$  (14) Cultura e simboli,  $\rightarrow$  (15) Società complesse/organizzazioni.

La descrizione di tale catena rappresenta solo un esercizio concettuale, di carattere speculativo, ma serve per introdurre un metodo di "linearizzazione" dei livelli e di loro analisi oltre che a fornire elementi che saranno utili per comprendere le Topologia RLA Compatte, intese come Reticoli Locali di Astrazione, ontologicamente indipendenti, epistemologicamente chiusi e computabili ai sensi di Turing, descritte nel prosieguo (§10).

In ciascun passaggio  $\tau_{(\ell \rightarrow \ell+1)}$ , se le *distinzioni critiche* (Turing-centrali) sono *preservate*, l'indecidibilità si trasmette in (A2). Se invece vengono *collassate* (A3), sorgono proprietà emergenti non deducibili a livello inferiore. Così si rende conto sia della continuità micro-macro, sia dell'apparente “novità macroscopica”.

Di seguito un **carotaggio** di 4 livelli contigui (ad es.  $L_3, L_4, L_5, L_6$ ) per esporne l'analisi in termini di *falsificabilità* e *verifiche*.

1. **Livello 3: “Chimica Computazionale”** (letteratura: Magnasco 1997):  
*Dominio e regole.* Reazioni chimiche interpretate come processi di calcolo Turing-like (ad es. configurazioni di specie chimiche e step di reazione).  
*Poteniale Turing-likeness.* In via teorica, alcune reazioni sono dimostrate capaci di universalità; per A1 si prevedono problemi indecidibili (Halting-like). *Verifica falsificante.* Se un esperimento riuscisse a produrre un “decisore universale” interno al sistema chimico, A1 sarebbe smentito.
2. **Livello 4: “DNA computing”** (letteratura: Benenson et al. 2001; Winfree 1998):

*Trasmissione.*  $\tau_{(3 \rightarrow 4)}$  collega stati chimici a filamenti e protocolli di DNA computing. Se *quasi-iniettiva* sugli stati “computazionali” del Livello 3, l’indecidibilità risale (A2). Un collasso informativo su filamenti diversi ma rilevanti bloccherebbe la trasmissione. *Falsificabilità.* Se la mappa appare iniettiva, ma a  $L_4$  si trova un meccanismo risolutore, si contraddice A2. Se si osservano fusioni di filamenti cruciali *senza* emergenza fenotipica, crolla A3.

**3. Livello 5: “Cellula Computazionale”** (lett. Noble 2008 per reti metaboliche, Cardelli 2005 per modelli formali):

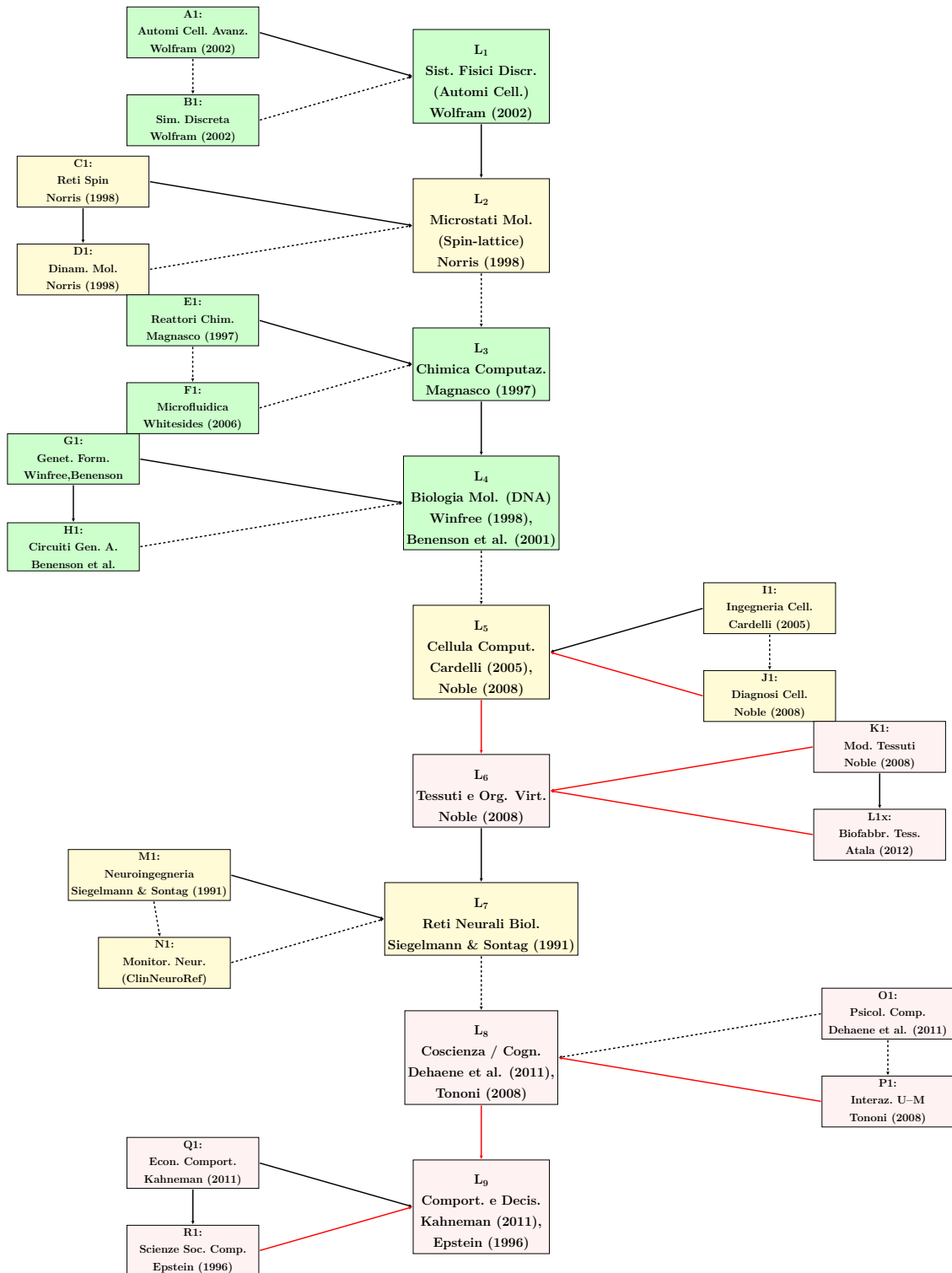
*Contenuto.* Stati di rete genica, pathway integrati. Potenziale universalità su piccola scala. *Trasmissione.*  $\tau_{(4 \rightarrow 5)}$  dal DNA computing ad assetti fenotipici (proteine, espressioni). Spesso *non iniettivo*, fondendo più varianti molecolari in un *unico* fenotipo macroscopico. *Test empirico.* Se le differenze geniche (rilevanti) collassano in un fenotipo unificato, avremmo un classico caso di emergenza (A3). Se però si trovasse un collasso *rilevante* privo di emergenza, A3 sarebbe falsificato.

**4. Livello 6: “Tessuti e Organi Virtuali”** (lett. Noble 2008):

*Dominio.* Simulazioni multi-cellulari, modelli integrati (cuore, polmone, cervello) per prevedere comportamenti d’organo. *Trasmissione.*  $\tau_{(5 \rightarrow 6)}$  fonde stati cellulari (spesso Turing-likeness *non* si preserva). Se alcuni pathway cruciali restano distinti, potrebbe *risalire* indecidibilità. *Falsificabilità.* Realizzare un “decisore” per la configurazione cellulare, contraddicendo A2 se la mappa era dichiarata iniettiva; osservare collassi massicci senza nuove proprietà emergenti confuterebbe A3.

In sintesi, *ognuno* di questi 4 livelli e le rispettive mappe di contiguità forniscono potenziali test di falsificazione per A1–A3. La *catena estesa di 15* livelli (descritta nel documento **ALLEGATO TECNICO-ANALITICO**) amplifica tali possibilità, mostrando come i collassi informativi o la quasi-iniettività possano alternarsi nella risalita micro–macro.

Nel quadro delle *Reti Locali di Astrazione* (RLA), i domini scientifici possono, tuttavia, essere connessi in maniera *reticolare*: la realtà è ricca di intersezioni, retroazioni e specializzazioni disciplinari. Tuttavia, si sceglie una *linearizzazione* — una “catena” ( $L_1$ – $L_2$ –...) di livelli *adiacenti* — per rendere *più leggibile* la sequenza delle funzioni di trasmissione (iniettiva, quasi-iniettiva, non iniettiva) e per *localizzare* la comparsa di fenomeni di emergenza o indecidibilità.



#### Colori livelli

Verde	Turing-like (SI) o ingegneristici
Giallo	Turing-likeness parziale (QUASI)
Rosa	Non Turing-like (NO), livelli emergenti

#### Linee (funzioni di trasmissione)

Linea nera continua	Iniettiva: trasmette indecidibilità
Linea nera tratteggiata	Quasi-iniettiva: trasmissione parziale
Linea rossa continua	Non iniettiva: collasso informativo ed emergenza

In sintesi, il *diagramma* fornisce un *colpo d'occhio* sulle relazioni tra livelli, mentre le **tabelle** approfondiscono (i) la natura di ciascun *livello* (con Turing-likeness) e (ii) le *trasmissioni* effettive (“chi si collega a chi” e “con quale funzione”). Questa combinazione (diagramma + tabelle) rende il *progetto RLA* fruibile in modo *completo* e *multidimensionale*, pur ricordando che la linearizzazione è, *de facto*, una convenzione epistemica che semplifica un *reticolo* potenzialmente più complesso.

## Livelli

Livello	Dominio	Turing-lik.?	Razionale	Leggi Interne	Trasmissione	Bibliografia
$L_1$	Sist. Fis. Discr.	SI	Automi (Rule110) universali	Update parallelo	Iniettiva	Wolfram (2002)
$L_2$	Microstati Mol.	QUASI	Spin-lattice pot. T-lik.	Eq. statist.	Quasi-Iniettiva	Norris (1998)
$L_3$	Chim. Comput.	SI	Magnasco <i>universalità</i>	Reazioni T-lik.	Iniettiva / quasi	Magnasco (1997)
$L_4$	Biol. Mol. (DNA)	SI	DNA computing (Winfree)	Ibrid. filam.	Quasi-Iniettiva	Winfree (1998)
$L_5$	Cell. Comput.	QUASI	Reti geniche ing. parz.	Fenotipo fuse	Quasi / Non-Iniett.	Cardelli (2005), Noble (2008)
$L_6$	Tess. Org. Virt.	NO	Aggreg. cellulare	Coarse gr. anat.	Iniettiva / Non	Noble (2008)
$L_7$	Reti Neur. Biol.	QUASI	Ricorrenza, risorse finite	Plasticità sinapt.	Quasi-Iniett.	Siegelmann & Sontag (1991)
$L_8$	Cosc. / Cogn.	NO	Emergenza forte	Coll. stati neur.	Non-Iniettiva	Dehaene et al. (2011)
$L_9$	Comport. / Decis.	NO	Decisioni finite	Euristiche	Non-Iniettiva	Kahneman (2011)
<b>A1</b>	Aut. Avanz.	SI	HPC su automi	Regole Wolfram	Iniettiva	Wolfram (2002)
<b>B1</b>	Sim. Discr.	SI	Pot. T-lik. HPC	Approcci HPC	Quasi-Iniettiva	Wolfram (2002)
<b>C1</b>	Reti Spin	QUASI	Alc. top. T-lik.	Inter. ret.	Iniettiva	Norris (1998)
<b>D1</b>	Dinam. Mol.	QUASI	PDE, riduz.	Eq. dinam.	Quasi-Iniettiva	Norris (1998)
<b>E1</b>	Reatt. Chim.	SI	Cinetiche pilotate	Reaz. chim.	Iniettiva	Magnasco (1997)
<b>F1</b>	Microfluidica	SI	Config. ad hoc	Flussi controll.	Quasi-Iniettiva	Whitesides (2006)
<b>G1</b>	Gen. Form.	SI	Rewriting su DNA	Codif. univ.	Iniettiva	Winfree (1998); Benenson et al. (2001)
<b>H1</b>	Circuiti Gen. A.	SI	Progett. enzim.	Circuiti genici	Quasi-Iniettiva	Benenson et al. (2001)
<b>I1</b>	Ingeg. Cell.	QUASI	Linee fenot. T-lik. parz.	Sist. ing.	Iniettiva	Cardelli (2005)
<b>J1</b>	Diagn. Cell.	QUASI	AI su fenotipi	Out. diag.	Non-Iniettiva	Noble (2008)
<b>K1</b>	Mod. Tessuti	NO	Macro agg.	Fusione anat.	Non-Iniett.	Noble (2008)
<b>L1x</b>	Biofab. T.	NO	Rigenerative	Creaz. tess.	Iniett./Non	Atala (2012)
<b>M1</b>	Neuroing.	QUASI	Reti ing. parz.	Sinapsi contr.	Iniettiva	Siegelmann & Sontag (1991)
<b>N1</b>	Monitor. Neur.	QUASI	Raccolta dati limit.	Sist. clinici	Quasi-Iniett.	(ClinNeuroRef)
<b>O1</b>	Psicol. Comp.	NO	No universalità	Riduz. pattern	Quasi-Iniett.	Dehaene et al. (2011)
<b>P1</b>	Interaz. U–M	NO	Fusione ibrida	Input AI	Non-Iniettiva	Tononi (2008)
<b>Q1</b>	Econ. Comp.	NO	Scelte eurist.	Param. cognit.	Iniettiva	Kahneman (2011)
<b>R1</b>	Sc. Soc. Comp.	NO	Emergenza soci.	Collasso	Non-Iniettiva	Epstein & Axtell (1996)

## Connessioni

Conn.	Fonte	Target	Trasmissione	Effetto in RLA (interpretaz. scientifica)
C1	$L_1$	$L_2$	Iniettiva	Automi $\rightarrow$ Spin-lattice, integrale T-lik. (Wolfram, Norris)
C2	$L_2$	$L_3$	Quasi-Iniettiva	Spin-latt. $\rightarrow$ chimica, compress. minima (Magnasco)
C3	$L_3$	$L_4$	Iniettiva	Chimica $\rightarrow$ DNA, universalità completa
C4	$L_4$	$L_5$	Quasi-Iniettiva	DNA $\rightarrow$ cell. comput., ridott. fusione
C5	$L_5$	$L_6$	Non-Iniettiva	Collasso cellulare $\rightarrow$ tessuti, emergenza anatom.
C6	$L_6$	$L_7$	Iniettiva	Org. virt. $\rightarrow$ neurale, pot. T-lik. parz.
C7	$L_7$	$L_8$	Quasi-Iniettiva	Reti neur. $\rightarrow$ cosc. con pooling ridotto
C8	$L_8$	$L_9$	Non-Iniettiva	Cosc. $\rightarrow$ decis. globali, emergenza.
(A1,B1)	A1, B1		Iniettiva / Quasi	HPC su automi vs. sim. discreta.
(C1,D1)	C1, D1		Iniettiva / Quasi	Reti spin vs. Dinam. mol.
(I1,J1)	I1, J1		Iniettiva / Non	Ing. cell. vs. diagn. fenotip.
(K1,L1x)	K1, L1x		Non / Iniettiva	Modell. tess. vs. biofabbr. tess.
(M1,N1)	M1, N1		Iniettiva / Quasi	Neuroing. vs. monitor. neurale
(O1,P1)	O1, P1		Quasi / Non	Psicol. comp. vs. Interaz. U-M
(Q1,R1)	Q1, R1		Iniettiva / Non	Econ. comport. vs. sc. sociali

## 8.3 Conclusioni

Come anticipato, l'esempio operativo di linearizzazione di 15 livelli contigui è un esercizio dimostrativo, di natura speculativa, ma utile a comprendere un approccio metodologico che – se attuato sotto determinate condizioni – può portare non solo ad una "mappa" (più o meno utile scientificamente) ma ad una rappresentazione (come verrà discusso in §10) reticolare che stand-alone risulti ontologicamente autonoma, epistemologicamente chiusa e (natura del livello permettendo) computabile ai sensi di Turing.

## 9 Applicazioni e Studi di Caso

Dopo aver delineato la *struttura multi-livello* di Reti Locali di Astrazione (RLA) e i *principi-postulati* fondamentali, proponiamo alcuni esempi di **applicazioni** e **studi di caso** in diverse discipline. Tali esempi illustrano *come* i concetti di collasso, (quasi) iniettività, Turing-likeness e trasmissione dell'indecidibilità possano fornire *una* chiave di lettura a fenomeni biologici, fisici, cognitivi o sociali.

### 9.1 Biologia e Chimica Computazionale

**DNA Computing e Sistema Cellulare.** Come evidenziato da (Winfrey 1998) e (Benenson et al. 2001), protocolli di *DNA computing* dimostrano la potenza Turing-like di alcuni processi molecolari. Tuttavia, al passaggio micro→macro (in cui i filamenti di DNA vengono effettivamente espressi in una *risposta fenotipica*), spesso subentrano *collassi informativi*:

- Più filamenti diversi (con potenza computazionale distinta) producono la *medesima* uscita fenotipica (es. la stessa proteina reporter).
- Di conseguenza, la *trasmissione* non preserva la distinzione Turing-centrale: *emergenza* fenotipica (proprietà nuove, irriducibili al micro-dettaglio) e *blocco* dell'indecidibilità del calcolo molecolare.

*Interpretazione RLA:* a livello molecolare, esiste un sottosistema Turing-like (circuiti di DNA), ma la cellula *fusa* più distinzioni, limitando la risalita dei problemi insolubili.

**Chimica Computazionale e Reazioni Enzimatiche.** Laddove i modelli chimici abbiano *universalità* (Magnasco 1997), RLA mostra come la *cinetica chimica* possa ospitare *indecidibilità*. Tuttavia, *se* nella trasmissione a un *livello biologico* o *fisico macroscopico* si incorporano *coarse graining* e leggi di equilibrio, *collassando* configurazioni distinte, si genera emergenza (proprietà globali) e *perde* la Turing-likeness di partenza.

### 9.2 Automi Cellulari e Fisica dei Sistemi Complessi

**Automi Cellulari Turing-completi.** Tra gli esempi classici di “*fisica computazionale*,” (Wolfram 2002) evidenzia che alcuni automi cellulari (AC) possiedono potenza Turing. Se *nessun* “coarse graining” collassa gli stati Turing-centrali, *allora* l'indecidibilità del problema di Halting *persiste* anche su scale di osservazione più ampie. In *RLA*,

questo equivale alla funzione di trasmissione *iniettiva* (o quasi) fra le configurazioni AC e un successivo livello descrittivo.

**Coarse Graining in Fisica Macroscopica.** In molti approcci di *fisica statistica*, ampie porzioni di micro-configurazioni (*spin reticolari*, *stati di automa cellulare*) vengono *aggregate* in parametri macro (temperatura, pressione, magnetizzazione, ecc.). Tale *aggregazione* (non *iniettività*) *cancella* la possibilità di distinguere stati computazionalmente rilevanti e *blocca* l'indecidibilità, generando *proprietà emergenti* (transizioni di fase, rotture di simmetria, comportamenti collettivi) irriducibili al singolo dettaglio micro.

### 9.3 Reti Neurali Ricorrenti e Scienze Cognitive

**Neuroscienze e Computazione Universale.** Le *reti neurali ricorrenti* (RNN) possono, in teoria, emulare qualunque *calcolo* (Siegelmann & Sontag 1991), ma *nella pratica*, i livelli successivi (per es. “cognizione” o “comportamento”) *collassano* molti pattern neurali attraverso pooling o funzioni di *embedding*. Con RLA, ciò significa funzioni di trasmissione *non* *iniettive* sugli stati Turing-centrali, originando *concetti emergenti* (interpretazioni mentali) e *bloccando* la trasmissione di indecidibilità locale.

**Esempio: Halting Problem Interno.** Se la rete neurale, a livello micro, *codifica* il problema dell'arresto, ma la *cognizione cosciente* riceve un *pooling* sintetico, *non* riesce a recuperare appieno le distinzioni computazionali e *non* si appropria dell'indecidibilità. Al contempo, emergono proprietà psicologiche (concetti, emozioni) *non* deducibili line-by-line dal pattern neurale elementare.

### 9.4 Scienze Sociali e Agent-Based Model

**Micro-agenti potenzialmente Turing-like.** Nelle scienze sociali computazionali, i modelli agent-based *possono*, in linea di principio, implementare calcoli Turing (se dotati di memorie crescenti e regole iterative). Questo apre la *possibilità* che insorgano *limiti logici* in analisi sociali (es. previsione completa di comportamenti o evoluzioni di “società artificiali”).

**Macro-livello sociale: collasso e fenomeni collettivi.** Tipicamente, le funzioni aggreganti (es. *coarse graining* su masse di agenti, output statistici) *collassano* una vasta gamma di stati agent-based in parametri “macro” (densità demografica, preferenze elettorali sintetiche, ecc.). Si ottengono *fenomeni collettivi*



*emergenti* — non deducibili da una formula “*uno-a-uno*” sui microstati — e *perdita* dell’indecidibilità che quei micro-agenti Turing-like avrebbero suggerito. In RLA, ciò corrisponde alla *non* iniettività su stati centrali.

## 9.5 Conclusioni sulle Applicazioni

In ciascuna di queste *storie di passaggio*, riscontriamo dinamiche coerenti col *cuore* di RLA:

1. **Collasso = Emergenza:** la fusione di distinzioni cruciali micro genera proprietà macro irriducibili (biologia molecolare → fenotipo, automa cellulare → parametri fisici, neuroni → concetti cognitivi, agenti → comportamento sociale).
2. **Preservazione Turing-centrale = Trasmissione Indecidibile:** se gli stati fondamentali del calcolo (DNA computing, configurazioni di AC, pattern RNN) *permangono distinti*, allora i *problemi insolubili* risalgono. Spesso, le scienze *non* implementano quell’iniettività estrema, preferendo *aggregare* e ridurre la complessità.

Il prossimo *paragrafo* si occuperà di *critiche* e *obiezioni* (riduzionismo forte, scetticismo fisico, interpretazioni sociali) e di come RLA risponda a ciascuna posizione, preservando la propria *struttura falsificabile* e arricchendosi delle possibili istanze correttive.

## 10 Topologie RLA Compatte (Ontologicamente Indipendenti, Epistemicamente Chiuse e Turing-Computabili)

Le **Reti Locali di Astrazione** (RLA) costituiscono un framework generale per rappresentare fenomeni organizzati su più livelli, in cui si manifestano congiuntamente *proprietà emergenti* (dovute alla non iniettività informativa tra livelli) e *limiti computazionali* (tipici dei sistemi Turing-like).

In questa sezione introduciamo una classe particolare di tali reti: le *Topologie RLA Compatte*, definite come reticoli multi-livello che soddisfano tre condizioni congiunte:

1. **Indipendenza Ontologica,**
2. **Chiusura Epistemica,**
3. **Turing-Computabilità.**

### Motivazione filosofico-matematica

Nel lessico della filosofia della scienza, dire che un sistema è *ontologicamente indipendente* significa che non necessita di entità esistenti al di fuori del proprio dominio per giustificare l'esistenza o l'evoluzione dei propri stati. A livello formale, una topologia RLA  $\mathcal{R} = \langle \mathcal{L}, \{\mathcal{E}_i\}, \{\mathcal{R}_i\}, \{f_{ij}\} \rangle$  è detta ontologicamente indipendente se:

- ogni entità  $\mathcal{E}_i$  e ogni regola  $\mathcal{R}_i$  è contenuta nei livelli  $\mathcal{L}$  di  $\mathcal{R}$ ;
- ogni ingresso dall'esterno passa per una funzione di trasmissione  $f_{ext \rightarrow i}$  non iniettiva, cioè filtrata (collasso informativo), impedendo l'importazione diretta di complessità o indecidibilità esogene.

Analogamente, il concetto di *chiusura epistemica* implica che ogni conoscenza rilevante sul sistema sia inferibile o modellabile in base agli elementi e alle leggi interne. Filosoficamente, si tratta di una condizione di *autosufficienza esplicativa*: nessuna “scienza esterna” o “osservatore privilegiato” è richiesto per rendere conto del comportamento del sistema. Formalmente:

$\mathcal{R}$  è epistemicamente chiuso se ogni dinamica, proprietà o fenomeno osservabile all'interno dei livelli  $\mathcal{L}$  è spiegabile o simulabile mediante le regole  $\{\mathcal{R}_i\}$  e le funzioni  $f_{ij}$  del reticolo.

Infine, la *Turing-computabilità* garantisce che l'intero reticolo  $\mathcal{R}$  sia eseguibile su una macchina di Turing: ogni evoluzione temporale del sistema può essere descritta da una successione finita di operazioni deterministiche (o stocastiche computabili). Questo implica:

- assenza di “oracoli logici” o funzioni matematicamente non calcolabili;
- implementabilità algoritmica del sistema, fondamentale per la sua verificabilità empirica e simulabilità computazionale.

## Definizione

**Topologia RLA Compatta.** Una topologia RLA  $\mathcal{R}$  è detta *compatta* se soddisfa simultaneamente:

1. **Indipendenza Ontologica:** ogni elemento, processo o parametro utilizzato nella descrizione di  $\mathcal{R}$  è contenuto in almeno un livello interno, e ogni interazione esterna è mediata da una funzione di trasmissione non iniettiva (collasso informativo);
2. **Chiusura Epistemica:** ogni proprietà rilevante del comportamento del sistema è spiegabile o modellabile in termini di dinamiche e interazioni interne;
3. **Turing-Computabilità:** tutte le funzioni  $\mathcal{R}_i$  e  $f_{ij}$  sono computabili in senso Turing, ovvero traducibili in una procedura algoritmica eseguibile da una macchina di Turing (totale o parziale).

## Interpretazione

In sintesi, una Topologia RLA Compatta rappresenta un *microcosmo locale* logicamente e ontologicamente chiuso, in cui:

- l'emergenza è resa possibile dai collassi informativi tra livelli;
- i limiti computazionali emergono localmente da sottosistemi Turing-like;
- la coerenza interna garantisce la modellabilità, la simulabilità e la validazione empirica.

## Contesto applicativo

Questo concetto consente di definire “mondi simulati” — biologici, cognitivi, artificiali — autosufficienti, testabili ed epistemicamente trasparenti. Le topologie RLA compatte diventano dunque strumenti teorici e pratici per:

1. formalizzare sistemi complessi reali con livelli di organizzazione gerarchici (organismi, reti cognitive, ecologie);
2. isolare sottosistemi osservabili dal resto dell’universo modellistico;
3. progettare simulatori autosufficienti (es. in Python) capaci di incorporare feedback locali, fenomeni emergenti e blocchi indecidibili interni.

## Conclusioni

Nei documenti "**ALLEGATO TECNICO-ANALITICO**" e "**ALLEGATO CASO-STUDIO**" vengono, rispettivamente, sviluppate le formalizzazioni sopra esposte e presentato un esempio completo di *Topologia RLA Compatta* in ambito biologico, che descrive una *Briofita Generalista* soddisfacendo i requisiti di indipendenza ontologica, chiusura epistemica e computabilità, con microfondazione empirica e *PoC* realizzazione in Python simulabile.

## 11 Discussione Critica e Obiezioni

Dopo aver illustrato i fondamenti teorici di Reti Locali di Astrazione (RLA) e alcuni esempi applicativi, è opportuno considerare le *critiche* e *obiezioni* più comuni che filosofi della scienza, fisici teorici, biologi e studiosi di altre discipline potrebbero sollevare. L'ottica *multi-livello* di RLA, infatti, non si presenta come un modello monolitico, bensì come uno *schema* aperto alla verifica, alla revisione e al confronto con posizioni già consolidate o alternative.

### 11.1 Obiezioni dal Riduzionismo Forte

**Posizione Critica.** Alcuni sostenitori del riduzionismo radicale potrebbero ritenere che, se la materia possiede un *substrato computazionale* (cfr. Principio X), niente vieta, almeno in teoria, di “risalire” dal micro a qualunque macro-proprietà, annullando l'esigenza di postulare emergenza o irriducibilità.

**Risposta di RLA.**

- Le *funzioni di trasmissione* non sempre sono iniettive, bensì spesso operano *collassi* (Principio II), e ciò *impedisce* di recuperare integralmente il micro. Inoltre, i vincoli di risorse e gli assetti sperimentali (*incompletezza operativa*, Principio IV) rendono poco plausibile l'idea di un controllo analitico su “*tutti*” gli elementi micro.
- Il *mutamento ontologico* (Principio III) insiste sul fatto che anche un ricorso a ipotetiche “risorse illimitate” non conserverebbe pienamente l'identità del fenomeno originario, producendo *una nuova* entità ridotta, dunque non la stessa.

### 11.2 Critiche da Fisici Teorici: Turing-likeness Generale

**Posizione Critica.** La fisica, in molti contesti, utilizza modelli *non* Turing-like (ad esempio PDE lineari, sistemi integrabili), e potrebbe considerare l'idea di Turing-likeness onnipresente come fuorviante o eccessivamente ampia.

**Risposta di RLA.**

- RLA non *impone* la presenza di Turing-likeness in ogni dominio: semplicemente *ammette* che *laddove* si verifichino condizioni di universalità del calcolo, *allora* compaiono i problemi indecidibili.

- L'assenza di Turing-likeness in un dominio, secondo RLA, non esclude la possibilità di emergenza: i collassi informativi (non iniettività) possono verificarsi anche in modelli di calcolo finito o procedure limitate, generando fenomeni emergenti “locali” senza implicare limiti computazionali forti.

### 11.3 Perplexità delle Neuroscienze e Biologia

**Posizione Critica.** Biologi e neuroscienziati potrebbero contestare che *non* tutto nel vivente debba essere spiegato via “calcolo Turing-like,” e che ridurre i processi vitali (o coscienti) a una struttura di funzioni di trasmissione rischia di trascurare aspetti cruciali (omeostasi, dinamiche di sviluppo, evoluzione).

#### Risposta di RLA.

- RLA *non* afferma che *ogni* fenomeno in biologia o neuroscienze *debba* ricadere in un calcolo Turing: può darsi che alcuni livelli siano effettivamente “finiti” o “privi di universalità.”
- Il *framework* delle funzioni di trasmissione e collassi è *compatibile* con i modelli di fisiologia, sviluppo embrionale, evoluzione: *se* la scienza mostra che alcune differenze cellulari (geni, epigenetica) vengono *fuse* su scala tissutale, *allora* si ottiene emergenza fenotipica. Il *dettaglio* di come ciò avvenga potrebbe restare dominio di un ulteriore livello specializzato (p. es. la genetica molecolare).

### 11.4 Scienze Sociali: Sovra-semplificazione Computazionale?

**Posizione Critica.** Alcuni sociologi o antropologi potrebbero ritenere inappropriata l'idea che *modelli computazionali* (p. es. agent-based) esauriscano la complessità socio-culturale. Di conseguenza, parlare di Turing-likeness o collassi informativi *non* coinciderebbe con la reale ricchezza dei fatti sociali.

#### Risposta di RLA.

- RLA *non* pretende di *esaurire* la complessità socio-culturale, ma offre una *cornice formale* in cui un passaggio micro→macro (p. es. dagli agenti ai parametri aggregati) è visto come una funzione di trasmissione, *potenzialmente* generatrice di fenomeni emergenti.
- Il reticolo multi-livello può contemplare elementi non computazionali (rituali, simboli) la cui analisi rientra in modelli *non* Turing-like, restando all'interno

del medesimo framework RLA: *collassi* significativi potranno portare a emergenze sociologiche, anche in assenza di vincoli indecidibili.

## 11.5 Falsificabilità e Validazione Empirica

In prospettiva popperiana, qualcuno potrebbe chiedersi *come, operativamente*, testare le ipotesi di RLA:

- Identificare gli *stati rilevanti* micro e *verificare* se la scienza li *distingue* o li *fonde* nel passaggio disciplinare.
- Provare, mediante protocolli sperimentali, l'*effettiva* Turing-likeness di un dominio (o la sua mancanza), e *controllare* se i problemi insolubili previsti emergono *di fatto*.
- Individuare scenari in cui si *preveda* l'emergenza di proprietà macro a causa di collassi su variabili cruciali, e confrontare con l'evidenza sperimentale (risultati biologici, fisici o sociali).

La *letteratura* su *DNA computing*, *automi cellulari*, *IA neurale* e *agent-based modeling* fornisce esempi concreti di *come* tali verifiche possano essere svolte. Se esperimenti rilevassero, contrariamente a RLA, un “decisore” che risolvesse problemi indecidibili in un dominio Turing-like (senza collassi) oppure un'assenza totale di novità macro in presenza di collassi mirati, *allora* la struttura RLA su quel passaggio disciplinare andrebbe rivista o confutata.

## 11.6 Senso Critico e Prospettive di Sviluppo

Le obiezioni delineate mostrano che RLA non è un *edificio monolitico*, bensì un *meta-modello* (i) aperto all'incontro con altre impostazioni emergentiste o riduzioniste, (ii) soggetto a *validazione* e *falsificazione* empirica, e (iii) in dialogo con discipline che non abbracciano un costrutto computazionale. Di conseguenza, la *forza* di RLA risiede nell'avere un *linguaggio* logico-epistemico robusto e adattabile, che chiarisce *come* e *dove* accada l'emergenza (collassi) e *quando* permanga l'indecidibilità (Turing-likeness *non* collassata), senza pretendere di *risolvere* integralmente ogni fenomeno in un unico quadro riduzionista.

## 12 Prospettive Future e Conclusioni

Dopo avere esaminato i fondamenti, i principi–postulati e alcune critiche a Reti Locali di Astrazione (RLA), desideriamo tracciare alcune *prospettive future* e considerazioni conclusive. L’obiettivo è evidenziare come RLA si collochi in un *dialogo* continuo con le scienze esistenti, evitando la fissità di una teoria dogmatica e aprendosi a sviluppi sia teorici che sperimentali.

### 12.1 Reticoli con Loop e Category Theory

Il quadro *lineare* micro→macro spesso utilizzato (p.es. biologia molecolare → cellula → organismo) costituisce una *semplificazione*. In molti scenari (cervello–comportamento–società, *ecosistemi* con feedback multipli, complesse reti di discipline) *esistono* cicli e retroazioni a ogni scala. RLA include la possibilità di costruire *reticoli*, ma una prospettiva più avanzata potrebbe ricorrere a *Category Theory*: i livelli disciplinari come *oggetti*, le funzioni di trasmissione come *morfismi*, e i collassi informativi come *epi*–morfismi (non iniettivi). Questo permetterebbe di studiare le *composizioni* e i *loop* in modo formale, analizzando il *comportamento* di (*non*) *iniettività* su percorsi ciclici in un *grafo di livelli*.

### 12.2 Metriche di Collasso e Quantificazioni Emergenza

Uno dei punti ancora poco sviluppati è la definizione di *metriche* che misurino la “quantità” di collasso informativo avvenuto, oppure l’“intensità” di proprietà emergenti. Alcuni autori hanno suggerito entropie, divergenze di Kullback–Leibler, o coefficienti di *overlap* tra pre-immagini e immagini. Tali misure, se standardizzate, potrebbero permettere di confrontare *diversi* passaggi disciplinari e valutare *quanto* riduttiva (o generativa) sia la funzione di trasmissione in un caso concreto.

### 12.3 Applicazioni nella Biologia Sintetica e IA Avanzata

Dall’analisi del §9, risulta che ambiti come il *DNA computing* o le *reti neurali ricorrenti* forniscono terreni di prova in cui è possibile studiare *protocolli sperimentali* per dimostrare (o confutare) la Turing-likeness, e *verificare* se il passaggio a un livello macro generi *emergenza* o *eredità* dei limiti logici. Nel futuro, sperimentazioni su larga scala (p.es. organismi ingegnerizzati, reti neurali giganti, agent-based model con milioni di agenti) potrebbero confermare e raffinare i postulati di RLA, offrendo evidenze statistiche su collassi e quasi-iniettività.



## 12.4 Dibattito su Coscienza e Vita Artificiale

Da un lato, *Pluralità Ontologica* (Postulato II) indica la possibilità che le “proprietà del vivente” possano *riemergere* in substrati non organici, qualora si realizzino *processi Turing-like* e *collassi informativi* di portata analoga. Dall’altro, *Limitazione della Riducibilità* (Principio III) frena un ottimismo eccessivo circa la riduzione *completa* dei fenomeni coscienti, sostenendo la necessità di riconoscere mutamenti ontologici se si tenta di trasferire o codificare la coscienza in un altro dominio (p. es. “uploading” in macchine superTuring). In tal senso, RLA è compatibile con una visione *non strettamente monista* né dualista, ma *multi-livello* “*semi-riduzionista*,” con ampie zone di emergenza irriducibile.

## 12.5 Conclusioni e Ruolo nella Filosofia della Scienza

In conclusione, **RLA** si presenta come un *framework* meta-disciplinare, *falsificabile* (Principio V) e *strutturato* su principi e postulati che esplicitano *come* e *perché* sorgano fenomeni emergenti (collassi di stati centrali) o limiti computazionali (eredità Turing-like). *Senza* cadere nel relativismo assoluto, riconosce la pluralità epistemica (Principio I), il valore *strumentale* e *locale* delle discipline e l’impossibilità di un *riduzionismo totale* (Principio III). Questo *insieme di idee* pone le basi per analizzare *come* le scienze costruiscano mappe disciplinari, *quali* fenomeni vengano collassati o preservati e *in che modo* emergenza e indecidibilità possano coesistere in un universo — o reticolo di universi — potenzialmente computazionale.

Resta da esplorare *maggiormente* il trattamento di *loop* complessi, la formalizzazione con *morfismi* in Category Theory, e lo sviluppo di *metriche* quantitative sui collassi e sull’emergenza. Tali direzioni di ricerca promettono di arricchire il *dialogo* fra fisica, biologia, IA e scienze sociali, innervando la Filosofia della Scienza con un *linguaggio set-based* ma flessibile, in grado di ospitare sia fenomeni emergenti che limiti di calcolo di radice turinghiana.

## References

- Anderson, P. W. (1972). More is different. *Science*, 177(4047), 393–396.
- Benenson, Y., Paz-Elizur, T., Adar, R., Keinan, E., Livneh, Z., & Shapiro, E. (2001). Programmable and autonomous computing machine made of biomolecules. *Nature*, 414(6862), 430–434.
- Cardelli, L. (2005). *Brane Calculi: Interactions of Biological Membranes*. In A. Gordon (Ed.), *Computational Methods in Systems Biology* (pp. 257–280). Springer.
- Cartwright, N. (1983). *How the Laws of Physics Lie*. Oxford University Press.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.
- Lloyd, S. (2006). *Programming the Universe: A Quantum Computer Scientist Takes on the Cosmos*. Knopf.
- Magnasco, M. O. (1997). Chemical kinetics is Turing universal. *Physical Review Letters*, 78(6), 1190–1193.
- Morin, E. (2008). *On Complexity*. Hampton Press.
- Noble, D. (2008). *The Music of Life: Biology Beyond Genes*. Oxford University Press.
- Norris, J. R. (1998). *Markov Chains*. Cambridge University Press.
- Paun, G. (2000). Computing with membranes. *Journal of Computer and System Sciences*, 61(1), 108–143.
- Popper, K. R. (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson.
- Rice, H. G. (1953). Classes of recursively enumerable sets and their decision problems. *Transactions of the American Mathematical Society*, 74(2), 358–366.
- Siegelmann, H. T., & Sontag, E. D. (1991). Turing computability with neural nets. *Applied Mathematics Letters*, 4(6), 77–80.
- Turing, A. M. (1936). On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 2(42), 230–265.
- Winfrey, E. (1998). *Simulations of Computing by Self-Assembly*. In *DNA Based Computers 2*, DIMACS Series (pp. 213–242). American Mathematical Society.
- Wolfram, S. (2002). *A New Kind of Science*. Wolfram Media.