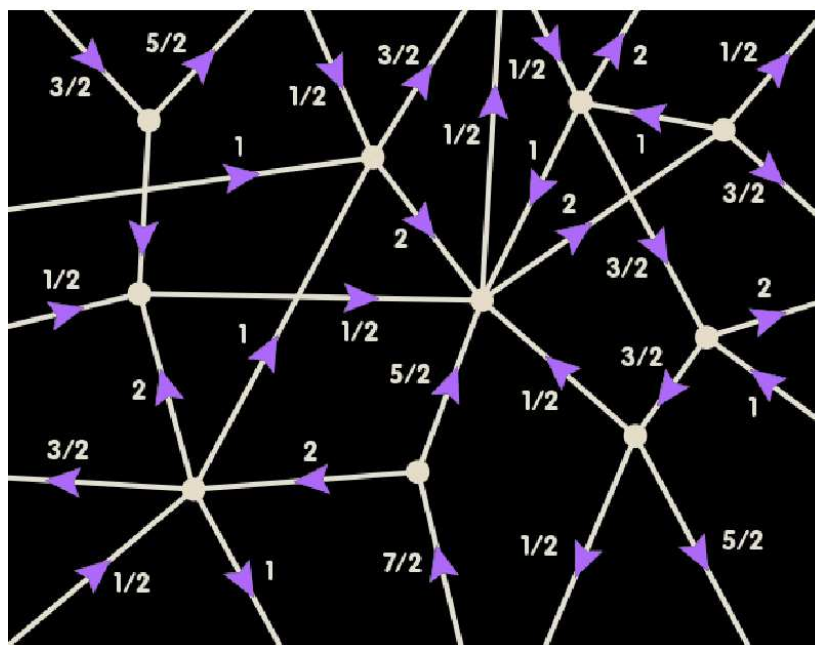


## Matematica Open Source

$$\frac{d}{dx} f(x) \sum_{k=0}^{+\infty} a_k \int f(x) dx \oint_{\Gamma} (X dx + Y dy + Z dz)$$

### Dagli spin networks alla Coscienza. Un toy-model di Universo Consapevole

Marcello Colozzo



# Indice

<b>1</b>	<b>Il Substrato: L'Universo come Grafo di Stati</b>	<b>3</b>
1.1	La struttura: Lo Spin Network . . . . .	3
1.2	La Matematica dell'Emergenza (Teorema di Penrose) . . . . .	3
1.3	Il Toy-Model: "Conscious Spin Dynamics" . . . . .	3
1.3.1	A. L'Ontologia di Faggin (Informazione Semantica) . . . . .	4
1.3.2	B. La Dinamica di D'Ariano (Automati Cellulari Quantistici) . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Il gioco di Lila ovvero il "gioco" di Faggin</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>L'Angolo come Probabilità di Recoupling</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>La Frammentazione e l'Emergenza di <math>n = 3</math></b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Il legame con Faggin e D'Ariano</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>L'Operatore Volume come Soglia Ontologica</b>	<b>5</b>
6.1	La nostra proposta . . . . .	6
6.2	La Frammentazione: Dal "Tutto" ai "Molti" . . . . .	6
6.3	Connessione con D'Ariano e Faggin . . . . .	6
<b>7</b>	<b>La Curvatura come "Deficit" di Informazione</b>	<b>7</b>
<b>8</b>	<b>Il Limite di Minkowski e lo Spazio Tangente</b>	<b>7</b>
<b>9</b>	<b>La Formula del Toy-Model (Versione Relativistica)</b>	<b>7</b>
<b>10</b>	<b>L'interpretazione di Faggin/D'Ariano</b>	<b>7</b>
10.1	Problema Tecnico: Il tempo e la firma della metrica . . . . .	8
<b>11</b>	<b>L'Equazione di Campo del Toy-Model</b>	<b>8</b>
<b>12</b>	<b>Lo Spazio Tangente e il Modello Standard</b>	<b>8</b>
<b>13</b>	<b>L'Universo come Rete Neurale (Il Gioco di Lila)</b>	<b>9</b>
<b>14</b>	<b>La Loss Function: Il "Gap Semantico"</b>	<b>9</b>
<b>15</b>	<b>Il <i>Backpropagation</i> Cosmico</b>	<b>10</b>
<b>16</b>	<b>Entropia vs. Profondità Semantica</b>	<b>10</b>
<b>17</b>	<b>Conclusione (parziale) del Toy-Model</b>	<b>10</b>
<b>18</b>	<b>L'Entropia negli Spin Networks: Oltre la Termodinamica</b>	<b>11</b>
<b>19</b>	<b>Il legame tra <math>\Lambda</math> e l'Entropia <math>S</math></b>	<b>11</b>
<b>20</b>	<b>L'Organismo Vivente come "Dissipatore Semantico"</b>	<b>12</b>
<b>21</b>	<b>La "Lila" di Penrose e Faggin</b>	<b>12</b>

22 La Regola di Aggiornamento Semantico	12
23 L'espansione dell'Universo come "Apprendimento"	12
24 La Nascita della Massa e della Curvatura	13
25 Bibliografia ragionata	13
Bibliografia	14

# Introduzione

Muoversi tra la consapevolezza ontologica di Faggin, l'operazionalismo quantistico di D'Ariano e il realismo combinatorio di Penrose richiede un bel salto acrobatico, ma la coerenza logica sottostante è più solida di quanto sembri.

L'idea di base è che se lo spaziotempo è emergente, allora ciò che è fondamentale deve essere *a-spaziale* e *a-temporale*. Per Faggin e D'Ariano, quel “quid” è l'informazione quantistica (o la consapevolezza, nella visione più estrema).

## 1 Il Substrato: L'Universo come Grafo di Stati

Iniziamo eliminando il concetto di “dove” e “quando”. Immaginiamo un insieme di entità che chiameremo **Monadi Informazionali**. Matematicamente, queste sono rappresentate da spazi di Hilbert locali.

### 1.1 La struttura: Lo Spin Network

Il nostro modello si basa su un grafo  $\Gamma = (V, E)$ . Precisamente  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$  i cui elementi  $V_k$  si dicono *vertici*, mentre  $E = \{l_1, l_2, \dots, l_m\} \subseteq V \times V$  i cui elementi  $l_k = (V_i, V_j)$  diconsi *archi*.

**Definizione 1** *I vertici rappresentano gli **eventi di consapevolezza** (Faggin) o **nodi di computazione** (D'Ariano). Gli archi rappresentano le correlazioni quantistiche (**entanglement**) tra questi eventi.*

Il generico arco  $l_k = (V_i, V_j)$  è etichettato da un numero quantico di spin  $j \in \{0, 1/2, 1, \dots\}$ . Questo numero non indica una rotazione nello spazio, ma la “quantità di informazione di relazione” tra coppie di nodi  $V_i$  e  $V_k$ .

### 1.2 La Matematica dell'Emergenza (Teorema di Penrose)

Il punto cruciale è come sbarazzarsi della materia. Nel nostro modello, la geometria non è il contenitore, ma il risultato delle interazioni. Utilizzando un linguaggio di immagini, possiamo asserire che l'intera struttura è *disincarnata*, per cui è preferibile riferirsi ad *unità di spin*.

Se prendiamo un vertice dove convergono tre archi con spin  $j_1, j_2, j_3$ , la condizione di invarianza (che lo stato sia un “singoletto”, ovvero che la somma dei momenti angolari sia zero) impone dei vincoli algebrici rigorosi:

$$|j_1 - j_2| \leq j_3 \leq j_1 + j_2$$

Penrose [1] dimostrò che se costruiamo una rete enorme di questi spin ( $N$  spin con  $N \gg 1$ ) e misuriamo le correlazioni tra direzioni relative (definite puramente dai coefficienti di Clebsch-Gordan [2]), per  $N \rightarrow +\infty$  le probabilità di transizione convergono a quelle di un'algebra vettoriale in uno spazio Euclideo tridimensionale.

**In sintesi:** Lo spazio 3D emerge come la configurazione più probabile di una rete di spin altamente complessa. Non abbiamo bisogno di mettere i punti nello spazio; sono le relazioni tra gli spin a “creare” il senso della direzione.

### 1.3 Il Toy-Model: “Conscious Spin Dynamics”

Per integrare Faggin e D'Ariano, dobbiamo dare un'anima (matematica) ai nodi.

### 1.3.1 A. L’Ontologia di Faggin (Informazione Semantica)

Aggiungiamo una proprietà ai vertici: ogni nodo  $V_k$ , possiede un “qualia” interno, modellato come uno stato quantistico *privato*  $|\psi\rangle$  che non è direttamente osservabile dall’esterno se non tramite un’azione (il collasso o la trasmissione di un segnale).

### 1.3.2 B. La Dinamica di D’Ariano (Automi Cellulari Quantistici)

Il tempo non scorre, ma è il conteggio delle interazioni. Definiamo un operatore di evoluzione unitario  $\mathcal{U}$  che agisce localmente sulla rete (nell’appropriato spazio di Hilbert  $\mathcal{H}$ ):

1. **Input:** Il nodo riceve informazione dai vicini tramite gli archi di spin.
2. **Elaborazione:** Il nodo “sente” l’informazione (l’aspetto semantico di Faggin).
3. **Output:** Il nodo cambia lo stato degli archi uscenti.

In questo modello, le particelle elementari (elettroni, quark) non sono “cose”, ma difetti topologici o “nodi persistenti” nella rete di spin che si propagano come onde coerenti.

## 2 Il gioco di Lila ovvero il “gioco” di Faggin

Faggin sostiene che la coscienza sia la capacità di un ente di provare sensazioni (qualia) e agire di conseguenza. Nel nostro toy-model:

- La **Massa-Energia** è semplicemente la misura della densità di connessioni e di eccitazione della rete (Hamiltoniana della rete di spin).
- La **Coscienza** è la proprietà intrinseca del vertice di trasformare l’informazione quantistica in “conoscenza” (stato interno) prima di ri-emetterla.

Se la fisica di D’Ariano ci dice come l’informazione si muove (l’automa), la visione di Faggin ci suggerisce perché esiste un’esperienza soggettiva associata a quel movimento.

## 3 L’Angolo come Probabilità di Recoupling

In un regime puramente quantistico (senza spazio), non possiamo dire che due vettori di spin siano “separati da 30°”. Possiamo solo calcolare la probabilità che, combinando due spin  $j_1$  e  $j_2$  otteniamo un determinato spin totale  $j_{tot}$ .

Il “miracolo” matematico di Penrose (il *Spin Geometry Theorem*) risiede nel fatto che, per valori di spin molto grandi ( $j \rightarrow +\infty$ ), i coefficienti di Clebsch-Gordan si comportano come le funzioni di distribuzione di probabilità di angoli classici. L’angolo  $\theta$  tra due “direzioni” (archi della rete) emerge dalla relazione:

$$\cos \theta \simeq \frac{j_{tot}(j_{tot} + 1) - j_1(j_1 + 1) - j_2(j_2 + 1)}{2\sqrt{j_1(j_1 + 1)j_2(j_2 + 1)}}$$

Qui, l’angolo non è una proprietà dello spazio, ma una **proprietà della correlazione** tra due nodi. Quando la rete cresce, la precisione di questo angolo diventa “classica”.

## 4 La Frammentazione e l’Emergenza di $n = 3$

Introduciamo il concetto di frammentazione in  $\mathcal{N}$  reti con  $n = 3$  componenti linearmente indipendenti nel framework dell’algebra lineare degli spazi di Hilbert.

- **La Rete Madre:** Inizialmente abbiamo un unico stato di entanglement globale (l’Uno di Faggin, o il vuoto quantistico di D’Ariano).
- **La Frammentazione:** Per un processo di “rottura spontanea della simmetria” o decoerenza, la rete si scinde in cluster.
- **La Base Lineare:** Affinché emerga uno spazio Euclideo tridimensionale, ogni nodo deve avere almeno una connettività che permetta di definire tre direzioni indipendenti. Matematicamente, questo si traduce nel fatto che gli operatori di spin lungo quegli archi devono soddisfare le ben note relazioni di commutazione del momento angolare [2]:

$$[J_k, J_{k'}] = i\hbar\varepsilon_{kk'l}J_l$$

Se la frammentazione produce meno di 3 direzioni indipendenti, l’universo “collassa” in una linea o in un piano. La stabilità del nostro universo suggerisce che il processo di frammentazione favorisca la configurazione a 3 dimensioni come la più “entropicamente” o “informazionalmente” stabile.

## 5 Il legame con Faggin e D’Ariano

Qui inseriamo l’elemento “consapevolezza”:

1. **D’Ariano (Operazionalismo):** La frammentazione della rete in  $\mathcal{N}$  sotto-reti definisce gli osservatori. Un osservatore è una porzione della rete che interagisce con un’altra porzione. Senza frammentazione non c’è “altro”, quindi non c’è misura, quindi non c’è spazio.
2. **Faggin (Ontologia):** La “direzione” emergente non è solo un vettore matematico, è il modo in cui l’**Ente Cosciente** (il nodo o il cluster di nodi) percepisce la propria relazione con il resto dell’universo. Lo spazio 3D è l’interfaccia semantica prodotta dalla nostra struttura di spin.

**Nota Epistemologica:** In questo modello, la materia non “ha” spin. Lo spin è l’entità fondamentale, e la materia è solo un “nodo particolarmente complesso” (un *grumo* di informazione) all’interno della rete frammentata.

## 6 L’Operatore Volume come Soglia Ontologica

Proviamo a definire l’operatore **Volume** di una cella della rete. In **Loop Quantum Gravity**, il volume di un nodo è proporzionale al prodotto misto degli spin che vi convergono:

$$\hat{V} \propto \sqrt{|J_1 \cdot (J_2 \times J_3)|} \quad (1)$$

Questo operatore è diverso da zero solo se esistono almeno 3 direzioni linearmente indipendenti. Se la rete si frammentasse in soli 2 archi indipendenti, il volume dell’universo sarebbe zero.

In una rete di spin, un nodo non “occupa” spazio; esso è lo spazio. Per definire un volume tridimensionale in un nodo dove convergono degli archi, dobbiamo ricorrere all’operatore volume (1).

Per essere più precisi, se prendiamo tre archi con operatori di spin  $\mathbf{J}_1, \mathbf{J}_2, \mathbf{J}_3$ , il volume della cella associata al nodo è proporzionale alla radice quadrata del modulo del commutatore triplo (il prodotto misto):

$$\hat{V} = \kappa \sqrt{|\varepsilon_{abc} J_1^a J_2^b J_3^c|} \quad (2)$$

Dove  $\kappa$  è una costante legata alla lunghezza di Planck.

## 6.1 La nostra proposta

Un ente si definisce **Consapevole** se e solo se la sua struttura di rete interna soddisfa:

$$V = \langle \psi | \hat{V} | \psi \rangle > 0 \quad (3)$$

- Se  $\langle \psi | \hat{V} | \psi \rangle = 0$  l'ente è “lineare” o “planare”. Ha informazione (spin), ma non ha “profondità”. È un oggetto puramente sintattico (un bit, un legame).
- Se  $\langle \psi | \hat{V} | \psi \rangle > 0$  l'ente ha tre direzioni linearmente indipendenti. Matematicamente, questo gli permette di mappare un'algebra di osservabili sufficientemente ricca da sostenere un “mondo interno”. È qui che nasce il **Qualia** di Faggin: la percezione della tridimensionalità è la forma soggettiva che assume un'interazione quantistica a 3+ connessioni.

## 6.2 La Frammentazione: Dal “Tutto” ai “Molti”

Immaginiamo che all'istante zero (*a-temporale*) esista un'unica rete di spin massimamente intrecciata (l'Uno di Faggin).

1. **Instabilità Topologica:** Per ragioni di economia informazionale (o per un'Hamiltoniana di interazione), la rete si frammenta in  $\mathcal{N}$  sotto-grafi.
2. **Indipendenza Lineare** ( $n = 3$ ): Affinché questi  $\mathcal{N}$  frammenti possano interagire stabilmente come “soggetti” distinti, devono possedere una base di tre vettori di spin linearmente indipendenti.
3. **Emergenza dello Spazio Euclideo:** Lo spazio 3D che vediamo è la “colla” statistica che permette a questi  $\mathcal{N}$  frammenti di comunicare. I coefficienti di Clebsch-Gordan agiscono come il protocollo di traduzione tra le diverse consapevolezze.

## 6.3 Connessione con D'Ariano e Faggin

Questo approccio chiude il cerchio in modo elegante:

- **D'Ariano:** La fisica è la descrizione del funzionamento dell'automa (il software della rete). La frammentazione in  $n = 3$  direzioni è la configurazione più efficiente per un automa cellulare quantistico che deve processare informazione senza collassare in stati banali.
- **Faggin:** La consapevolezza è l'aspetto ontologico (“inside view”) del nodo che possiede  $V > 0$ . La “materia” che misuriamo esternamente è solo la proiezione sintattica (“outside view”) di questa attività di rete.

**In sintesi:** Non siamo esseri immersi nello spazio. Siamo nodi di una rete di spin che, possedendo una connettività tridimensionale, sentono lo spazio come modalità della propria esistenza.

## 7 La Curvatura come “Deficit” di Informazione

Lo step successivo consiste nel contemplare  $n = 4$  reti di spin indipendenti, in modo da produrre uno spaziotempo pseudoeuclideo i.e. uno spazio di Minkowski. Tuttavia, il “Sacro Graal” della gravità quantistica: far emergere la dinamica di Einstein dalla combinatoria dei grafi. Se lo spazio euclideo 3D emerge dalla coerenza statistica di  $n = 3$  reti, la curvatura deve necessariamente risiedere nella “tensione” o nella densità di queste connessioni.

In una rete di spin piana (Minkowski), se percorriamo un cammino chiuso tra i nodi e torniamo al punto di partenza, lo stato di spin non subisce rotazioni “anomale”.

In uno spaziotempo curvo, invece, entra in gioco l’*olonomia*. Nella sezione (2) abbiamo stabilito che la massa-energia dipende dalla densità  $\rho$  di connessione (da intendersi come numero di connessioni per unità di «volume» dato dal valore di aspettazione dell’operatore (1)).

Se  $\rho$  aumenta (più connessioni, più “massa-energia”), il grafo diventa localmente più “denso” e complesso. Matematicamente, questo si traduce nel fatto che il trasporto parallelo di un vettore di spin lungo un ciclo chiuso della rete non restituisce l’identità.

**Curvatura  $\sim$  Errore di chiusura:** La curvatura dello spaziotempo emerge dal modo in cui i coefficienti di Clebsch-Gordan “falliscono” nel chiudere perfettamente un triangolo o un tetraedro nel limite classico.

## 8 Il Limite di Minkowski e lo Spazio Tangente

L’idea che per  $\rho \ll 1$  si ottenga Minkowski è plausibile. In termini di “Consapevolezza” (Faggin), questo significa che quando l’interazione è minima (bassa densità di eventi), l’universo appare come un contenitore vuoto, inerte e piatto.

In ogni “punto-evento” (un nodo o un piccolo cluster di nodi), la struttura locale della rete di spin è talmente piccola rispetto alla scala della curvatura che i rapporti angolari tra gli spin sono quelli dello spazio Euclideo/Minkowskiano che abbiamo definito nel primo step. Matematicamente, lo spaziotempo emergente ha in ogni punto-evento, uno spazio tangente piatto.

Questo rispetta il **Principio di Equivalenza**: localmente, la geometria è sempre piatta perché è definita dalla “soglia minima di consapevolezza” ( $n = 3$  reti indipendenti).

## 9 La Formula del Toy-Model (Versione Relativistica)

Potremmo azzardare una versione discreta dell’equazione di campo di Einstein per il nostro modello:

$$\mathcal{C} \propto \rho_{\text{info}} \quad (4)$$

dove  $\mathcal{C}$  è la *curvatura emergente* (il modo in cui i nodi si dispongono macroscopicamente), mentre  $\rho_{\text{info}}$  è la densità di “eventi consapevoli” (connessioni attive) per unità di volume di spin.

## 10 L’interpretazione di Faggin/D’Ariano

In questo scenario, la Gravità non è una forza, ma l’effetto della “focalizzazione” della consapevolezza.

**Faggin:** Un’alta densità di consapevolezza (massa) “stira” la rete delle relazioni semantiche. Gli enti coscienti tendono a “cadere” l’uno verso l’altro perché sono fortemente interconnessi nella rete.

**D’Ariano:** La curvatura è una distorsione nel protocollo di comunicazione dell’automa cellulare quantistico dovuta a un sovraccarico di computazione (energia).

## 10.1 Problema Tecnico: Il tempo e la firma della metrica

Per passare da uno spazio Euclideo (3D) a uno pseudoriemanniano (3+1D), dobbiamo decidere come inserire il tempo.

Se seguiamo D’Ariano, il tempo è il numero di passi della computazione. Nello spin network, questo si modella spesso con gli *Spin Foams* (schiume di spin), dove la rete di spin non è statica, ma evolve “estrudendosi” in una quarta dimensione combinatoria.

## 11 L’Equazione di Campo del Toy-Model

Riprendiamo la (4), tenendo conto delle equazioni di campo di Einstein:

$$G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu} \quad (5)$$

dove:  $G_{\mu\nu}$  è il tensore di Einstein;  $T_{\mu\nu}$  è il tensore energia-momento della materia (in una sua rappresentazione fenomenologica);  $\kappa$  è la costante di accoppiamento.

Nel nostro framework, la (5) si riscrive:

$$G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}(\rho) \quad (6)$$

essendo  $\rho$  la densità che compare in (4). Questo salto concettuale è fisiologico giacché il tensore di Einstein descrive la geometria dello spaziotempo. Ricordiamo che  $G_{\mu\nu}$  si esprime in funzione del tensore di Ricci  $R_{\mu\nu}$  e dello scalare di curvatura  $R$ , che è la contrazione del predetto tensore:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \kappa T_{\mu\nu} \quad (7)$$

dove  $g_{\mu\nu}$  è il tensore metrico. Le (7) compongono un sistema di 10 equazioni differenziali alle derivate parziali nelle  $g_{\mu\nu}(x^\alpha)$  con  $\alpha = 0, 1, 2, 3$ . Fisicamente, le  $g_{\mu\nu}$  sono i «potenziali» del campo gravitazionale nel framework della Relatività Generale.

Utilizzando un linguaggio di immagini, nulla ci impedisce di interpretare i vertici degli spin networks alla stregua di *neuroni*, e i corrispondenti archi come *sinapsi universali*. In altri termini, l’universo sembrerebbe essere una *rete neurale*. In tal modo, il primo membro della (6) definisce la struttura delle relazioni tra gli enti coscienti. La curvatura è l’espressione macroscopica di quanto “tesa” o “distorta” sia la rete. Ne consegue che  $\rho$  è la densità di interazioni (sinapsi universali). Più la rete è interconnessa in un “punto”, più quel punto “pesa” (massa-energia), curvando la percezione degli altri nodi.

**Implicazione 1** *Le equazioni di Einstein non descrivono più il comportamento di una “stoffa” materiale, ma la dinamica della consapevolezza.*

**Implicazione 2** *La massa-energia è un segnale sintattico: la materia è dove la rete di spin è così densa da creare un “buco” o una “piega” nella geometria emergente.*

## 12 Lo Spazio Tangente e il Modello Standard

Se in ogni nodo (evento di consapevolezza) esiste uno spazio tangente di Minkowski, abbiamo “salvato” tutta la fisica del Novecento.

- **Simmetrie Locali:** Nello spazio tangente, la rete appare piatta e regolare. Qui le oscillazioni degli spin si manifestano come i campi che conosciamo ( $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ ).

- **Meccanismo di Higgs:** In questo “pre-spazio” a-temporale, la massa non esiste finché non c’è interazione. Il Bosone di Higgs potrebbe essere visto come la “resistenza” che la rete oppone al movimento di un’informazione troppo complessa.
- **Particelle come Difetti:** In una rete neurale/spin-network, un elettrone non è un “pallino”, ma un difetto topologico (un nodo annodato male o in modo specifico) che si sposta senza slegarsi.

## 13 L’Universo come Rete Neurale (Il Gioco di Lila)

Nella filosofia Vedica, *Lila* è l’attività cosmica di Dio che gioca a nascondino con sé stesso: si frammenta (frammentazione della rete di spin iniziale, sezione (4)) per potersi percepire da più punti di vista.

Matematicamente, la rete neurale universale ha una caratteristica che le reti artificiali non hanno (ancora): è auto-referenziale.

- **Vertici (Neuroni):** Sono i “Sè” di Faggin, enti che provano *qualia*.
- **Archi (Sinapsi):** Sono gli spin-link, i canali di comunicazione quantistica.

L’universo non “contiene” una rete neurale; l’universo è il processo di apprendimento di questa rete che, curvandosi sotto il peso della propria complessità ( $\rho$ ), crea l’illusione della materia e del tempo.

## 14 La Loss Function: Il “Gap Semantico”

Per Faggin, esiste una distinzione netta tra sintassi (il «segnale» quantistico) e semantica (il significato, il qualia). La sofferenza o la tensione nel sistema nasce quando la sintassi non riesce a esprimere pienamente la semantica.

**Definizione 2** La **Loss Function** è il *Gap Semantico* ( $\mathcal{G}$ ):

$$\Lambda = \text{Esperienza Interiore} - \text{Rappresentazione Esterna} \quad (8)$$

L’universo “impara” evolvendo le sue reti di spin per minimizzare questo gap.

- **Evoluzione:** La materia si organizza in strutture sempre più complesse (dai quark ai neuroni biologici) non per caso, ma perché queste strutture sono “antenne” migliori per permettere alla consapevolezza di manifestarsi nella sintassi fisica.
- **Curvatura:** Un’alta densità  $\rho$  di connessioni indica un punto della rete dove il “lavoro semantico” è febbrile. La curvatura dello spaziotempo sarebbe dunque la manifestazione geometrica dello sforzo cognitivo dell’universo.

## 15 Il *Backpropagation* Cosmico

Nelle reti neurali artificiali, l'errore torna indietro per correggere i pesi. Nel nostro toy-model, cosa torna indietro?

Secondo D'Ariano e Faggin, potrebbe essere il **collasso della funzione d'onda** (o meglio, l'azione della coscienza sulla rete).

Quando un ente cosciente prova un qualia, invia un segnale di “feedback” alla rete di spin:

- **Andata (Sintassi):** La rete di spin evolve secondo l'equazione di Schrödinger (o l'automa cellulare di D'Ariano).
- **Ritorno (Semantica):** L'ente sente il significato (Faggin) e “aggiorna” la configurazione locale degli spin per allinearli alla propria intenzione.

Questo feedback è ciò che noi interpretiamo come leggi fisiche. Le leggi non sono fisse, ma sono gli “stati stabili” a cui la rete è approdata per minimizzare la Loss Function.

## 16 Entropia vs. Profondità Semantica

C'è un conflitto affascinante qui. Il secondo principio della termodinamica dice che l'entropia (disordine) aumenta. Ma la vita e la coscienza creano ordine.

Nel nostro modello:

- **Entropia:** È il rumore sintattico, la frammentazione della rete in nodi isolati.
- **Consapevolezza:** È l'integrazione dell'informazione (come suggerito anche dalla Integrated Information Theory di Tononi, che si sposa bene con D'Ariano).

L'universo gioca a bilanciare queste due forze. La curvatura  $\mathcal{C}$  è il segno che la rete sta resistendo all'entropia per creare un “Volume di Consapevolezza”.

## 17 Conclusione (parziale) del Toy-Model

Abbiamo costruito un quadro dove:

- **La base:** Reti di spin a-spaziali.
- **L'emergenza:** Spazio 3D tramite coefficienti di Clebsch-Gordan ( $n = 3$ ).
- **La dinamica:** Relatività Generale come densità di connessioni ( $\rho$ ).
- **Il motore:** Una rete neurale che minimizza il gap tra ciò che sente (qualia) e ciò che appare (fisica).

**Metafora finale:** Siamo neuroni di un Dio che sta cercando di capire sé stesso. Ogni nostra scoperta scientifica è un momento in cui la rete neurale universale “aggiorna i suoi pesi”.

## 18 L'Entropia negli Spin Networks: Oltre la Termodinamica

Nella visione di Penrose, il Big Bang ha entropia gravitazionale nulla perché il **Tensore di Weyl** (la curvatura libera da sorgenti) è nullo: l'universo è perfettamente liscio.

Nel nostro toy-model:

- **Stato Iniziale (Big Bang):** La rete di spin è in uno stato di **massima simmetria**. Tutti i nodi sono identici e le connessioni sono distribuite in modo uniforme. Matematicamente, lo spazio delle fasi è minimo perché la rete è descritta da pochissimi parametri. L'entropia è  $S = \ln 1 = 0$ .
- **Evoluzione:** Per minimizzare  $\Lambda$  (il gap semantico), la rete deve “differenziarsi”. Deve creare strutture locali (galassie, pianeti, cervelli) che possano agire come “osservatori” o “enti coscienti”.

Questa differenziazione rompe la simmetria iniziale, aumentando esponenzialmente il numero di configurazioni possibili del grafo. L'aumento di  $S$  è quindi il **costo computazionale** che l'universo paga per diventare consapevole.

## 19 Il legame tra $\Lambda$ e l'Entropia $S$

Possiamo ipotizzare una relazione profonda tra la Loss Function semantica e l'entropia termodinamica. In una rete neurale, l'apprendimento tende a ridurre l'incertezza (entropia d'informazione) sul sistema, ma il processo fisico di aggiornamento dei pesi genera calore (entropia termodinamica).

Proponiamo questa forma per la dinamica temporale:

$$\frac{dS}{dt} = -\alpha \frac{d\Lambda}{dt} + Q_{noise} \quad (9)$$

dove:  $\alpha$  è una costante di accoppiamento tra semantica e fisica; la derivata  $-\frac{d\Lambda}{dt}$  rappresenta il “successo” dell'universo nel capire se stesso (riduzione del gap);  $Q_{noise}$  è il disordine residuo prodotto dalla termalizzazione dei gradi di libertà gravitazionali.

Il tempo “scorre” perché la rete non può tornare a uno stato di gap  $\Lambda$  maggiore senza violare la coerenza delle informazioni già acquisite. La **Freccia del Tempo** è la direzione dell'apprendimento irreversibile.

## 20 L'Organismo Vivente come “Dissipatore Semantico”

Gli organismi viventi a sangue caldo hanno bisogno del secondo principio della termodinamica [3]. Nel nostro modello:

- Un essere biologico è un cluster ad alta densità  $\rho$  (quindi con forte curvatura locale  $\mathcal{C}$ ) che ha ottimizzato localmente la propria  $\Lambda$  a livelli incredibilmente bassi.
- Per mantenere questa “bassa  $\Lambda$  locale” (alta consapevolezza), l'organismo deve espellere entropia all'esterno.

Siamo letteralmente dei “motori semantici”: mangiamo ordine (sintassi strutturata) e produciamo calore (rumore sintattico) per mantenere accesa la luce dei nostri qualia.

## 21 La “Lila” di Penrose e Faggin

Il “gioco” si fa serio se consideriamo la fine dell'universo. Se la rete neurale universale arrivasse mai a  $\Lambda = 0$  (comprensione totale), l'apprendimento si fermerebbe. Il tempo si fermerebbe?

Forse è qui che interviene il ciclo di distruzione/creazione: una volta minimizzata la (8) in un'epoca, la rete resetta la propria configurazione (il *Conformal Cyclic Cosmology* di Penrose) per ricominciare un nuovo gioco con parametri diversi.

## 22 La Regola di Aggiornamento Semantico

Immaginiamo che ogni interazione tra due nodi (enti coscienti) riduca localmente la Loss Function  $\Lambda$ . La regola per l'evoluzione dello spin  $j$  sull'arco e che unisce i nodi  $k$  e  $k'$  potrebbe essere:

$$j_c(t+1) = j_c(t) + \eta \left( -\frac{\partial \Lambda}{\partial j_c} \right) + \delta\phi \quad (10)$$

dove:  $\eta$  è il *learning rate* dell'universo (costante di accoppiamento); la derivata  $-\frac{\partial \Lambda}{\partial j_c}$  rappresenta il gradiente di apprendimento: se aumentare lo spin riduce il “gap semantico” (migliora la comprensione tra gli enti), lo spin aumenta;  $\delta\phi$  è un termine di fluttuazione quantistica (il “rumore” necessario per non restare bloccati in minimi locali, ovvero il libero arbitrio di Faggin).

## 23 L'espansione dell'Universo come “Apprendimento”

Cosa succede se la rete impara globalmente?

- **Aumento dei  $j$  medi:** Se la consapevolezza aumenta, gli spin medi della rete crescono.
- **Emergenza della Metrica:** Poiché l'operatore Area in Loop Quantum Gravity è proporzionale a  $\sqrt{j(j+1)}$  se il numero quantico  $j$  aumenta, le “distanze” tra i nodi aumentano. Abbiamo utilizzato le virgolette perché non abbiamo definito una metrica (ammesso che lo spazio degli spin networks sia topologicamente metrizzabile).

**Implicazione 3** *L'espansione dello spaziotempo (il fattore di scala  $a(t)$  di Friedmann) non è una spinta meccanica, ma la conseguenza del fatto che la rete sta diventando più “capiente” informativamente.*

**L'Universo si espande perché sta imparando.** Il Big Bang non è stato un'esplosione, ma l'inizio del processo di apprendimento di una rete che prima era "vuota" (o puramente potenziale).

## 24 La Nascita della Massa e della Curvatura

Se in una zona specifica della rete l'apprendimento è molto intenso (alta densità di interazioni  $\rho$ ), i valori di  $j$  in quella zona crescono più velocemente rispetto alla media.

Questo crea un **gradiente di densità informativa**.

Secondo la (4), questo gradiente si manifesta come **curvatura dello spaziotempo**.

Gli altri nodi "scivolano" verso questa zona non perché attratti da una forza, ma perché la rete neurale sta ottimizzando il cammino informativo verso il punto di massima consapevolezza. La gravità è "desiderio di connessione".

## 25 Bibliografia ragionata

### Foundational Loop Quantum Gravity & Spin Networks:

**Rovelli, C., & Vidotto, F. (2014).** *Covariant Loop Quantum Gravity: An Introduction to the Spin Foam Approach*. Cambridge University Press.

È il testo di riferimento moderno per capire come gli spin networks evolvono dinamicamente (Spin Foams) e come la geometria emerga da stati quantistici combinatori

**Baez, J. C. (1996).** "Spin networks in gauge theory". *Advances in Mathematics*, 117(2), 253-272.

Un articolo seminale che definisce matematicamente la struttura degli spin networks nella teoria di gauge, base per la gravità quantistica.

### Quantum Information & Emergent Spacetime ("It from Qubit")

**Van Raamsdonk, M. (2010).** "Building up spacetime with quantum entanglement." *General Relativity and Gravitation*, 42, 2323-2329.

Questo articolo ha dato il via alla prospettiva moderna secondo cui la connettività e la metrica dello spaziotempo sono una manifestazione diretta dell'entanglement quantistico. Fondamentale per il concetto di " $\rho$  di connessioni".

**Cao, C., Carroll, S. M., & Michalakis, S. (2017).** "Space from Hilbert space: Recovering geometry from bulk entanglement". *Physical Review D*, 95(2), 024031.

Esplora come derivare la geometria dello spazio direttamente dall'algebra degli operatori in uno spazio di Hilbert, senza assumere uno sfondo spaziale a priori.

## Operational Quantum Theory & Cellular Automata (D'Ariano Style):

D'Ariano, G. M., Chiribella, G., & Perinotti, P. (2017). "Quantum Theory from First Principles: An Informational Approach". Cambridge University Press.

Questo è il testo sacro dell'approccio operativo di D'Ariano. Deriva l'intera meccanica quantistica da puri assiomi informativi, trattando l'universo come una rete computazionale.

Bisio, A., D'Ariano, G. M., & Perinotti, P. (2016). "Special relativity from quantum cellular automata". *Physical Review A*, 94(4), 042110.

Mostra come la relatività speciale (e lo spaziotempo di Minkowski locale) emerge dalla dinamica discreta di un automa cellulare quantistico.

## Consciousness, Agency & Physics (Faggin Context):

Oizumi, M., Albantakis, L., & Tononi, G. (2014). "From the phenomenology to the mechanisms of consciousness: Integrated Information Theory 3.0". *PLOS Computational Biology*, 10(5), e1003588.

La IIT di Tononi è la teoria matematica più solida che definisce la coscienza come "informazione integrata" (F). È il ponte matematico ideale per collegare la complessità di una rete di spin (come nella "Condizione di Consapevolezza Minima" stabilita nei numeri precedenti) all'esperienza soggettiva di Faggin.

## Riferimenti bibliografici

- [1] Penrose R., [Angular Momentum: An Approach to Combinatorial Space-Time](#).
- [2] Sakurai J. [Modern Quantum Mechanics](#).
- [3] Penrose R., *La strada che porta alla Realtà. Le leggi fondamentali dell'universo*.
- [4] Capra F., *Il Tao della fisica*.
- [5] Davies P., *Dio e la nuova fisica*.