

## APPENDICE TECNICA ESTESA - P3

### *Metriche quantitative di coerenza*

**Autore:** Ivan Carenzi

**ORCID:** 0009-0006-0108-7808

**Serie:** Studi Avanzati di Ricerca sulla Fisica Informazionale

**Problema:** P3 — Metriche quantitative di coerenza

**Documento:** Appendice Tecnica Estesa

**Data:** 2025-12-09

**Lingua:** Italiano

#### **Nota di scopo (Appendice):**

Questa Appendice Tecnica Estesa accompagna la definizione della metrica di coerenza informazionale  $\rho(t)$  chiarendo in modo operativo i simboli fondamentali  $z(t)$ ,  $R(t)$ ,  $\Phi(t)$  e  $\rho(t)$ , il loro ruolo nella costruzione della misura e la logica delle tre componenti (struttura, forma, vincolo dinamico). Include criteri interpretativi per leggere valori alti/bassi di coerenza, condizioni qualitative di applicabilità, casi limite esemplificativi e indicazioni pratiche d'uso nei principali domini (testi, immagini, sequenze biologiche, stati coscienziali).

**Parole chiave:**  $\rho(t)$ , coerenza informazionale, criteri operativi, interpretazione metrica, casi limite, robustezza al rumore, multi-dominio, validazione qualitativa, implementazione applicativa

Ci sono parole che sembrano semplici e immediate, e proprio per questo si rivelano le più difficili da maneggiare quando si prova a trasformarle in concetti rigorosi. Una di queste è “coerenza”. Nel linguaggio quotidiano la usiamo per descrivere un discorso ben fatto, un’immagine armoniosa, un comportamento che non tradisce sé stesso. È un termine che sembra appartenere più al campo della retorica o dell’estetica che a quello della scienza. Ma se ci fermiamo un attimo a riflettere, ci accorgiamo che la coerenza è in realtà una delle condizioni fondamentali che permettono alle forme di informazione di vivere nel tempo. Un fenomeno incoerente non dura, non si lascia riconoscere, non mantiene la sua figura quando il tempo lo interroga. È come una voce che si spegne subito, un disegno che si disperde appena tracciato. La coerenza, al contrario, è ciò che consente a una struttura di attraversare il cambiamento senza smarrirsi.

Il problema P3 della Fisica Informazionale nasce proprio da questa intuizione, ma con un obiettivo molto più ambizioso: trasformare la coerenza da percezione vaga a misura universale. Non si trattava più di dire “questo testo è coerente, questa immagine no” in base all’impressione soggettiva, ma di costruire un criterio valido per tutti i domini simbolici. Un criterio che fosse allo stesso tempo universale e oggettivo, capace di attraversare linguaggi diversi — la parola, la figura, la sequenza biologica, l’esperienza coscienziale — senza perdere consistenza. Era una sfida difficile, perché la coerenza è sempre sembrata un concetto relativo, ancorato a contesti specifici. Qui, invece, si chiedeva di darle un volto matematico, una funzione in grado di restituire un valore compreso tra zero e uno, valido tanto per un romanzo quanto per un genoma, tanto per una geometria sacra quanto per uno stato di coscienza.

Per affrontare questa sfida si è resa necessaria una chiarificazione preliminare dei simboli che la disciplina aveva già posto al centro della sua costruzione. Questi simboli, già introdotti nei problemi precedenti, diventano nel P3 i veri pilastri su cui si innesta la nuova metrica. Occorre quindi comprenderli bene, uno per uno, nel loro significato, nel loro ruolo e nella ragione della loro introduzione.

Il primo è  $z(t)$ , la funzione che esprime il tempo secondo le fasi canoniche di CMDE 4.1. Qui non serve ripetere le formule con i loro esponenti e coefficienti, ma basta ricordare che  $z(t)$  è la bussola

che definisce il passo delle trasformazioni. Non è un tempo lineare e indifferente, ma un tempo che ha tre volti: primordiale, log-Hermite e classico. Nel P3,  $z(t)$  serve a determinare la scala con cui guardiamo i fenomeni. In altre parole, decide la dimensione della finestra di osservazione. È come dire che la stessa melodia ascoltata in “slow motion” o accelerata conserva la sua figura: quello che cambia è il passo, non l’identità. La coerenza deve quindi essere invariante a queste riparametrazioni del tempo, e  $z(t)$  fornisce il quadro entro cui questo diventa possibile.

Il secondo simbolo è  $R(t)$ , la traiettoria coscienziale. Se P2 aveva già mostrato che ogni cammino può essere classificato topologicamente, qui il richiamo serve a legare la coerenza alla riconoscibilità del percorso. Una traiettoria coerente non è quella che non cambia mai, ma quella che sa cambiare senza uscire dalla propria classe di appartenenza. È come un fiume che curva, si restringe o si allarga, ma resta pur sempre lo stesso fiume. Se una traiettoria mentale perde questa continuità, diventa irriconoscibile, e la coerenza si abbassa.  $R(t)$  diventa allora il banco di prova della capacità di un fenomeno di mantenere identità nel mutamento.

Il terzo simbolo è  $\Phi(t)$ , il potenziale informativo. Si potrebbe pensare a  $\Phi(t)$  come a una luce che non illumina tutto, ma che si concentra dove serve. Nel P3, questa immagine si fa ancora più concreta: un sistema è coerente se non disperde il suo potenziale in mille rivoli, ma riesce a concentrarlo per sostenere la propria forma. Nelle sequenze biologiche, ad esempio,  $\Phi(t)$  si traduce nella capacità di una regione di mantenere un dominio funzionale; nella coscienza, nella capacità di una mente di concentrarsi senza perdersi. Senza questo vincolo dinamico, la struttura e la forma non basterebbero: resterebbero gusci vuoti.

Infine, il simbolo centrale del problema:  $\rho(t)$ , la metrica di coerenza. La sua introduzione è la vera svolta del P3. Non è una funzione che descrive una singola proprietà, ma un funzionale che integra tre dimensioni — la struttura, la forma e l’intenzione — in una sintesi dinamica.  $\rho(t)$  non è un giudizio estetico, ma una misura di resilienza: dice se e quanto un fenomeno riesce a mantenere la propria figura mentre attraversa il tempo. È l’equivalente informativo della capacità di una costruzione architettonica di resistere ai terremoti: non basta che sia bella o regolare, deve anche reggere. E reggere significa avere una struttura solida, una forma riconoscibile e un vincolo interno che impedisca la dispersione.

Chiariti i simboli, il passo successivo è stato costruire il percorso logico che conduce alla definizione della metrica. E qui conviene procedere lentamente, mostrando perché nessuna delle tre dimensioni da sola sarebbe stata sufficiente. Se considerassimo solo la struttura, rischieremmo di premiare la pura ridondanza: un testo pieno di ripetizioni potrebbe sembrare coerente, ma in realtà non direbbe nulla. Se considerassimo solo la forma, potremmo confondere il disegno casuale con una vera figura: ci sono pattern che nascono dal rumore e che non hanno significato. Se considerassimo solo l’intenzione, potremmo scambiare la concentrazione cieca per coerenza: un sistema che non si apre a nuove informazioni rischia di fossilizzarsi. La verità è che la coerenza autentica nasce solo dall’equilibrio delle tre componenti.  $\rho(t)$  è quindi definita come una miscela convessa che integra struttura, forma e intenzione, con pesi che variano in funzione della fase temporale. È questa l’idea chiave che permette di trasformare la percezione di coerenza in un criterio operativo.

Ma prima ancora di applicare questa metrica ai diversi domini, conviene fermarsi un momento a riflettere sul suo significato più profondo. Perché era necessario costruire una funzione come  $\rho(t)$ ? La risposta è semplice e radicale: perché senza una misura, la coerenza resta una parola vuota. Resterebbe legata al giudizio soggettivo, alle preferenze individuali, ai contesti culturali. La scienza, invece, ha bisogno di criteri oggettivi, replicabili, invariante rispetto ai nomi dei segni e alla velocità del tempo.  $\rho(t)$  fornisce esattamente questo: un numero che non dipende da chi guarda, ma dal

modo in cui l'informazione attraversa le trasformazioni. È una promessa di giustizia della misura: a casi comparabili, stessa lente; a forme diverse, lo stesso metro.

La costruzione di una metrica universale non avrebbe senso se non fosse accompagnata da esempi concreti.  $\rho(t)$  non è un concetto astratto da custodire in una formula: è uno strumento vivo, che deve poter essere applicato con la stessa logica a domini che sembrano lontanissimi tra loro. È qui che la sua forza si manifesta davvero, perché ogni esempio ci mostra un aspetto diverso del volto della coerenza.

Il dominio dei testi è forse quello più immediato da evocare. Tutti abbiamo esperienza della differenza tra un discorso che fila e uno che si perde. Immaginiamo un saggio ben scritto: ogni paragrafo introduce un'idea nuova, ma lo fa collegandosi a quello precedente, senza mai tradire il filo conduttore. Se proviamo a mescolare le frasi a caso, il contenuto resta lo stesso — le stesse parole, lo stesso lessico, gli stessi concetti — ma la coerenza crolla.  $\rho(t)$  intercetta esattamente questa differenza: nella versione ordinata, la struttura ridondante dei legami lessicali abbassa l'entropia, la forma topologica del grafo di dipendenze mostra connessioni stabili, e l'intenzione semantica si concentra attorno a un potenziale che non si disperde. Nella versione mescolata, al contrario, l'entropia esplode, la persistenza topologica si dissolve e  $\Phi(t)$  vaga senza vincoli. È un esempio banale, ma illuminante: la coerenza non dipende dal materiale in sé, ma dal modo in cui esso si dispone nel tempo.

Questa osservazione ha conseguenze molto più profonde di quanto sembri. Significa che possiamo confrontare testi di epoche e lingue diverse senza fermarci alla superficie. Un poema antico, se mantiene un filo simbolico leggibile, può mostrare valori di  $\rho(t)$  più alti di un testo moderno che si disperde in frammenti. La misura non giudica lo stile o la lingua, ma la capacità del discorso di reggere nel tempo. In questo senso,  $\rho(t)$  diventa uno strumento anche per la filologia, per la critica letteraria, per la linguistica computazionale: non più solo intuizione, ma criterio.

Se ci spostiamo nel dominio delle immagini, la logica resta la stessa ma cambia il linguaggio. Una figura coerente non è solo una combinazione di colori, ma un disegno che sa mantenere identità attraverso scale e soglie diverse. Pensiamo a un rosone gotico: visto da vicino, appare come un intreccio di dettagli minuti; visto da lontano, mantiene la sua figura complessiva; fotografato in condizioni di luce differenti, conserva la simmetria che lo definisce. In termini di  $\rho(t)$ , la struttura mostra ridondanza controllata nei motivi geometrici, la topologia rivela cicli che restano stabili anche se cambiamo la soglia di luminosità, e l'intenzione informazionale concentra l'energia nella figura complessiva senza disperderla.

Se invece prendiamo un'immagine di rumore bianco, tutto cambia: la struttura è massimamente entropica, senza pattern ripetibili; la topologia non presenta cicli persistenti, ma solo macchie che scompaiono subito; il potenziale informazionale non si concentra da nessuna parte, perché tutto è uniforme e privo di direzione.  $\rho(t)$  tende a zero. La differenza non è estetica, ma oggettiva: il rosone regge, il rumore no.

Questo criterio permette di distinguere non solo tra “bello” e “brutto”, ma tra immagine che conserva la propria figura e immagine che si dissolve appena cambia la scala di osservazione. In arte come in scienza, è un salto importante: possiamo analizzare diagrammi, mappe, tessuti biologici o pattern urbani con lo stesso metro. Ogni volta che una forma resta riconoscibile nonostante il variare delle condizioni, la coerenza si innalza. Ogni volta che sparisce appena cambiamo prospettiva, la coerenza crolla. È una lezione che vale anche per la percezione umana: ciò che riconosciamo come significativo è ciò che resiste al rumore delle trasformazioni.

Il dominio delle sequenze biologiche aggiunge un livello ancora più concreto. Qui non si tratta di testi o immagini creati dall'uomo, ma di strutture che la natura ha elaborato in milioni di anni. Una

sequenza di DNA appare a prima vista come una successione di quattro lettere: A, C, G, T. Ma ciò che la rende significativa è il modo in cui queste lettere si dispongono. Una regione codificante, ad esempio, presenta periodicità regolari: ogni tre basi corrispondono a un codone, e questa regolarità abbassa l'entropia della struttura. Al tempo stesso, la sequenza mantiene domini funzionali che mostrano persistenze topologiche: certe configurazioni di idrofobicità o di carica si ripetono in modo stabile lungo la catena. Infine, il potenziale informativo si concentra nella capacità di quella sequenza di generare una proteina funzionale: non tutte le combinazioni possibili di basi lo fanno, ma solo quelle che rispettano certi vincoli.

Se prendiamo la stessa sequenza e la mescoliamo mantenendo la stessa composizione di basi, la differenza è immediata: la periodicità si spegne, la persistenza topologica si dissolve, il potenziale informativo si disperde.  $\rho(t)$  scende drasticamente. È un esempio chiarissimo di come la coerenza non sia una proprietà superficiale, ma la condizione che permette a un'informazione di tradursi in funzione. La biologia, vista attraverso questa lente, appare come una lotta continua per mantenere alta la coerenza contro il rumore delle mutazioni casuali. E ciò che chiamiamo selezione naturale può essere interpretato anche come selezione di traiettorie simboliche che mantengono un certo livello di  $\rho(t)$ .

Infine, arriviamo al dominio più delicato: gli stati coscienziali. Qui la sfida è più sottile, perché non parliamo di testi scritti o sequenze biologiche, ma di esperienze interiori. Eppure, il modello funziona anche qui. Pensiamo a una mente che sta svolgendo un compito: la sua traiettoria  $R(t)$  segue un percorso riconoscibile, fatto di ritorni e progressioni che mantengono la classe di appartenenza. La struttura simbolica è ordinata, la forma topologica mostra ricorrenze stabili, e il potenziale  $\Phi(t)$  resta concentrato sull'obiettivo.  $\rho(t)$  è alto.

Se invece la mente si disperde — per distrazione, per stanchezza, per un disturbo — la traiettoria perde consistenza. La struttura si frammenta, la topologia non mostra più ricorrenze significative, il potenziale si disperde in mille direzioni.  $\rho(t)$  scende. Non serve pensare a stati patologici: basta la differenza tra una conversazione attenta e una divagazione incoerente per capire di cosa parliamo.  $\rho(t)$  diventa così un modo per leggere anche la coscienza come flusso simbolico che può reggere o spegnersi.

L'aspetto interessante è che questa misura si rivela invariante rispetto ai nomi dei simboli. Non importa come chiamiamo le parole, i pixel, le basi del DNA o gli stati mentali: ciò che conta è la relazione tra di loro, la capacità di mantenere figura nel tempo. In questo senso,  $\rho(t)$  diventa una metrica che non dipende dal linguaggio o dal dominio, ma solo dalla forma informativa del fenomeno. È un passo enorme, perché consente per la prima volta di comparare mondi diversi senza ridurli a un denominatore comune artificiale.

C'è, in tutto questo, una lezione filosofica sottile. La coerenza non è rigidità, non è ripetizione cieca, non è chiusura. È capacità di cambiare senza perdere identità. È resilienza, non staticità. Questo spiega perché  $\rho(t)$  non premia né l'eccesso di entropia né la fissità assoluta, ma solo l'equilibrio tra apertura e vincolo. In un certo senso, potremmo dire che  $\rho(t)$  misura la vita stessa dell'informazione: la capacità di durare trasformandosi.

La parola "coerenza" non nasce con la Fisica Informazionale. Affonda le sue radici in una lunga tradizione che attraversa la filosofia, la matematica e le scienze naturali. Già gli antichi greci, quando parlavano di "logos", intendevano una trama che tiene insieme il discorso e il mondo. Per Aristotele, la coerenza era la condizione che rendeva un ragionamento comprensibile: non bastava la verità delle premesse, occorreva anche un filo che le legasse. Nei secoli successivi, la logica medioevale avrebbe raffinato questo concetto in termini di non-contraddizione, mentre la retorica lo celebrava come arte di costruire un discorso armonioso. In entrambi i casi, la coerenza era percepita come ordine interno, come legame invisibile che dà senso alle parti.

Con la nascita della scienza moderna, il termine cominciò a spostarsi verso altri significati. In ottica, la coerenza indicava la capacità di due onde di mantenere una fase stabile nel tempo. In meccanica, parlava della stabilità di un sistema sotto perturbazioni. Nella teoria dell'informazione, infine, si ridusse spesso a una misura di entropia: quanto un messaggio è ordinato o disordinato. Ma in tutti questi casi, la coerenza rimaneva confinata a un dominio specifico. Non esisteva un criterio che fosse allo stesso tempo trasversale e universale.

Il problema P3 nasceva esattamente da questa lacuna. Se l'informazione è davvero la base comune che attraversa testi, immagini, sequenze biologiche e stati coscienziali, allora la coerenza non poteva restare prigioniera di definizioni parziali. Serviva una metrica che facesse da ponte, che raccogliesse l'eredità della filosofia, della fisica e della teoria dell'informazione, ma che la portasse oltre, verso un criterio capace di valere ovunque. La costruzione di  $\rho(t)$  è stata la risposta a questa esigenza.

Dal punto di vista epistemologico, il valore di  $\rho(t)$  è duplice. Da un lato, fornisce alla disciplina un criterio operativo: possiamo finalmente misurare la coerenza come misuriamo la lunghezza o la temperatura. Dall'altro, introduce una nuova categoria interpretativa: non si tratta più solo di dire se un fenomeno è ordinato o disordinato, ma di chiedersi se regge nel tempo mantenendo identità. È un cambio di prospettiva che sposta il fuoco dall'essere al divenire, dalla fotografia statica al film in movimento.

Questo spiega perché  $\rho(t)$  sia così strettamente legata ai simboli fondamentali. Senza  $z(t)$ , non avremmo una scala temporale universale; senza  $R(t)$ , non avremmo una traiettoria su cui misurare la tenuta; senza  $\Phi(t)$ , non avremmo il vincolo dinamico che impedisce la dispersione.  $\rho(t)$  nasce proprio dall'incrocio di questi tre elementi: tempo, traiettoria, potenziale. È una sintesi, non una somma.

Da questa sintesi discendono alcune implicazioni importanti. La prima è che la coerenza diventa invariante rispetto ai nomi: non conta come chiamiamo i simboli, conta la loro trama. La seconda è che diventa invariante rispetto al ritmo: rallentare o accelerare il tempo non cambia la misura, perché ciò che si conserva è la forma della traiettoria. La terza è che diventa resistente al rumore: l'aggiunta di disturbi casuali non alza mai la coerenza, semmai la abbassa. Sono tre proprietà che danno a  $\rho(t)$  la solidità di una misura scientifica, non di un'impressione.

Ma c'è anche un livello più profondo.  $\rho(t)$  non misura solo fenomeni esterni: misura la capacità di un'informazione di riconoscersi. Ogni volta che un testo conserva il suo filo, che un'immagine mantiene la sua figura, che un gene preserva la sua funzione, che una coscienza resta vigile, è come se l'informazione dicesse a se stessa: "Sono ancora io". È questa la ragione per cui la coerenza è così cruciale: non riguarda soltanto l'ordine, ma l'identità. Dove  $\rho(t)$  è alto, un fenomeno custodisce la propria forma; dove scende, la perde.

È a questo punto che diventa chiaro il valore della risoluzione del problema P3. Con la definizione di  $\rho(t)$ , la Fisica Informazionale non si limita a descrivere principi generali, ma consegna uno strumento operativo che permette di attraversare i domini con lo stesso metro. È un passo decisivo, perché segna il passaggio dall'intuizione alla scienza: non più solo dichiarazioni filosofiche, ma funzioni che restituiscono numeri, confrontabili e ripetibili.

La chiusura di questa Appendice ci riporta al senso complessivo della disciplina. Con P1, era stata stabilita la relazione unificata tra  $z(t)$ ,  $R(t)$  e  $\Phi(t)$ . Con P2, era stata classificata la topologia delle traiettorie  $R(t)$ . Con P3, si è costruita la metrica universale di coerenza  $\rho(t)$ . È come se la disciplina avesse ora il suo alfabeto completo: il tempo, la traiettoria, il potenziale e la coerenza. Sono i

quattro pilastri che permettono di leggere qualsiasi fenomeno informativo. Non come analogie poetiche, ma come grandezze misurabili.

La sintesi finale può allora essere detta così:  $\rho(t)$  è la misura della vita dell'informazione. Non perché dica se qualcosa esiste o no, ma perché dice se riesce a durare, a mantenere figura nel tempo. È un criterio che non giudica, ma registra; non estetico né morale, ma informativo. Con esso, la disciplina può guardare a testi, immagini, geni e coscienze con la stessa domanda: "Quanto regge?". E la risposta, qualunque sia il dominio, ha sempre lo stesso linguaggio.

Questa è la conquista del P3. Non un dettaglio tecnico, ma un passo epistemologico che apre un nuovo orizzonte: la possibilità di leggere la realtà come trama informativa che vive di coerenza. Dove questa regge, l'informazione dura. Dove si spegne, resta solo il rumore.