

In **QUADERNI DI VILLA MIRAFIORI**, vol. III (a cura di M. Lenzi, F. V. Tommasi, L. Valente), Mimesis, giugno 2026.

GIUSEPPE LONGO

LA DIALETTICA FRA NATURA E CULTURA
NEL GIOCO FRA DISCRETO E CONTINUO¹

*En résumé, pour chaque attitude de mon corps,
mon premier doigt détermine un point et c'est cela,
et cela seulement qui définit un point de l'espace.*

Henri Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, Flammarion, Paris 1902.

ABSTRACT: Nel tentativo di contribuire al dibattito sulla relazione che intercorre fra natura e cultura esploreremo un ambito "culturale" specifico, cercando così di arricchire, con un'analisi puntuale, le numerose riflessioni filosofiche, spesso profonde, ma astratte, dedicate a tale tema. Il gioco fra discreto e continuo matematico sarà il luogo di analisi di una dialettica interna ad un dibattito scientifico, a partire dal confronto fra Einstein e Bohr negli anni Trenta del Novecento. Questo ci permetterà di giustificare il rinvio al nostro agire animale nel mondo, nel continuo spazio-temporale, e di meglio differenziarci dalle macchine. È la matematica a essere scritta, infatti, in un "linguaggio naturale" – daremo gradualmente un possibile significato di questa nozione sfuggente – e non, come dice Galileo, la natura a essere scritta in linguaggio matematico. Vedendo la matematica come costruzione simbolico-culturale, ne analizzeremo il radicamento in gesti primari di noi animali, costretti nel (e ricchi del) nostro corpo biologico, sottolineando come essa torni continuamente a ritrovare il "senso" in attività spazio-temporali. Al cuore di tale percorso, la scrittura alfabetica, altra fondamentale frattura e al contempo legame con la natura, che discretizza il canto continuo del linguaggio e ripropone in altri termini la dialettica natura-cultura che cerchiamo di analizzare in questo testo.

KEYWORDS: natura-cultura, discreto-continuo, matematica, linguaggio

Abstract: In an attempt to contribute to the debate between nature and culture, we will explore a specific "cultural" sphere, thus attempting to enrich the many often profound but abstract philosophical reflections. The interplay between discrete and continuous mathematics will be a site of analysis of a dialectic within a scientific debate, beginning with that between Einstein and Bohr in the 1930s. This will allow us to construct knowledge of our animal actions in the world, in the space-time continuum, and to better differentiate ourselves from machines. Mathematics is in fact written in a "natural language" and it is not, as Galileo says, nature that is written in mathematical language. Seeing mathematics as a symbolic-cultural praxis, we will analyse its rootedness in primary gestures of us animals, constrained in and rich in our biological bodies, emphasizing how it continually returns to find "meaning" in spatio-temporal activities. At the heart of such a path, alphabetic writing, another

¹ Una versione precedente, in parte diversa e più estesa, di questo saggio è di prossima pubblicazione, in inglese, in *Theory, Culture and Society*. Per gli articoli dell'autore, v. <https://www.di.ens.fr/users/longo/download.html>

fundamental rupture and link with nature, discretizes the continuous song of language and re-proposes in other terms the nature-culture dialectic we seek to identify in this text.

Key words: causality, alphabet, mathematical continuum, discrete spaces

1. *La causalità, fra continuo e discreto*

Da Aristotele ad Einstein, ogni evento possiede una “causa”. Lo stesso potrebbe dirsi per Darwin, che cerca le “cause” dei cambiamenti filogenetici (evolutivi) nella permanente produzione di diversità nella riproduzione del vivente e nelle dinamiche eco-sistemiche, in particolare la selezione. Tutta la nostra cultura scientifica, almeno quella occidentale, si è basata su una intelligibilità della natura ampiamente costruita sulla “ricerca di cause”. Queste sono state poi inquadrare, in fisica, in “principi di simmetria”. Un “poi”, tuttavia, che rimonta già al mondo greco: per Aristotele, la Terra, formatasi per aggregazione di corpi pesanti intorno al centro dell’universo verso cui convergono, è rotonda “per motivi di simmetria”; per Archimede, una bilancia con pesi uguali è all’equilibrio e un corpo nell’acqua riceve una spinta dal basso verso l’alto uguale al peso dell’acqua spostata, “per motivi di simmetria”. Ecco cosa “causa” la sfericità della Terra, l’equilibrio di una bilancia e di un corpo in acqua. Hermann Weyl, ci spiegherà che “ogni principio fondamentale della fisica è un principio di simmetria” (la tesi al cuore del suo lavoro e di Weyl 1949). Ma di che simmetrie si tratta? Aristotele e Archimede pensano a simmetrie di rotazione o di riflessione (speculari), Euclide lavora con traslazioni e rotazioni del piano: tutti gli assiomi di Euclide massimizzano le simmetrie della *costruzione* (gli assiomi dicono: “*traccia una linea retta da un punto verso un altro... costruisci un cerchio...*”) (Longo 2011; 2025), gesti continui sul piano. E questo è il nodo: movimenti continui della mano che disegna giustificano e fondano la geometria euclidea in termini di simmetrie.

Duemila anni dopo, i teoremi di Noether (1918) dimostrano che i principi di conservazione della fisica (della quantità di moto o d’inerzia, dell’energia...) sono *simmetrie continue* nelle equazioni, in tutte le teorie fisiche esistenti, anche in quelle incompatibili fra loro (come quelle del campo relativistico e quelle del campo quantistico (Kosman-Schwarback 2010. Riguardo la biologia, si veda: Longo e Montévil 2014). Questi teoremi spiegano perché i principi di conservazione sono così fondamentali in fisica: non sono regole arbitrarie, ma conseguenze delle simmetrie sottostanti dello spazio-tempo. Quindi essi unificano diversi fenomeni fisici e forniscono una base concettuale profonda per le leggi di conservazione nella meccanica classica, nella meccanica quantistica e nella teoria dei campi². Correleremo questa enorme e bella costruzione culturale ai gesti primari del nostro corpo animale nello spazio e nel tempo, mostrando l’unità fra i due, poiché le nostre costruzioni simboliche modificano a loro volta il nostro essere, anche corporeo, al mondo.

Torniamo prima al problema scientifico della causalità. Negli anni Trenta, Einstein e Bohr conoscono bene e condividono il ruolo delle simmetrie continue in fisica (e apprezzano moltissimo i lavori di Noether e Weyl). Su queste basi, Einstein ha addirittura permesso di capire la gravitazione, in quanto *causa* della caduta di un grave (e del girare dei pianeti), in termini di simmetria continua: la gravitazione è equivalente a un movimento inerziale (un principio di conservazione) in spazi curvi. Così, di fronte ai fenomeni di intricazione quantistica³ e allo spin-up o down di un elettrone, pensa che

² I teoremi di Noether collegano in modo specifico le leggi di conservazione alle simmetrie continue perché le dimostrazioni si basano sulla capacità di effettuare trasformazioni infinitesimali, una proprietà dei gruppi continui (gruppi di Lie). Queste piccole trasformazioni vengono utilizzate per ricavare le proprietà conservate attraverso le equazioni del moto di Eulero-Lagrange.

³ L’entanglement quantistico è un fenomeno in cui due o più particelle sono correlate in modo tale che lo stato di una particella influenza istantaneamente lo stato dell’altra (o delle altre), a prescindere dalla loro distanza. Ovvero, la

debbano avere “cause”, come ogni evento in fisica, ma che queste siano “nascoste”⁴. I primi altrimenti non potrebbero aver luogo nel continuo spazio-temporale con la proprietà topologica essenziale alla fisica relativistica e classica: dati due punti distinti nello spazio, i punti ed ogni loro proprietà osservabile devono essere “separabili” (contenuti in “intorni” diversi – due cerchietti/sferette, diciamo, che non si intersecano – le topologie “naturali” hanno questa proprietà, per Euclide e Riemann e... per noi animali che agiamo nello spazio ben separando luoghi ed oggetti). Lo stesso dicasi per il fenomeno che produce un osservabile discreto nell’atto della misura – lo spin di un elettrone, una sorta di 0 o 1: per Einstein, Bohm ed altri, a differenza che per Bohr, ne vanno scoperte le cause (nascoste), parametrize nel continuo.

Bohr, infatti, assume la peculiarità della microfisica, lontana dai nostri sensi, accessibile solo tramite complessi strumenti di misura che co-constituiscono l’evento nell’atto di accedere al livello quantistico. I fenomeni di intricazione sono dovuti a una inerente natura olistica dei fenomeni quantistici, resi oggettivi solo nella e dalla misura, interfaccia “costruito” (culturale) fra noi e il reale microfisico: lo strumento di misura. Poiché il risultato della misura è co-costituito dalla “frizione” fra lo strumento (*classico*) e la microfisica, alla sua scala, questo valore conserva la traccia di una correlazione al livello quantistico. Lo spin-up o down, risultato discreto (*classico*) della misura, uno 0 o 1, è intrinsecamente “senza cause”, è contingenza pura, punto e basta – inutile cercarne al livello microfisico. L’indeterminazione è quindi messa di nuovo al cuore teorico della fisica quantistica, come lo aveva proposto Heisenberg nella sua analisi della misura: ancor più radicalmente, lo spin di un elettrone non solo è imprevedibile, ma non ha cause. Ma allora, se Bohr e Heisenberg hanno ragione, il mondo è discreto ed a-causale? Dipende dalla scala e dallo stato dell’oggetto: contrariamente all’elettrone vincolato, lo spettro energetico dell’elettrone libero è continuo. In generale, lo spazio-tempo è descritto nel continuo, ma per ora non c’è unità fra microfisica e spazi classici o relativistici. La fisica quantistica ci propone una intelligibilità del mondo originale e difficile, intricata, discreta e continua a un tempo, o, forse, né discreta, né continua. La misura, che si pone all’interfaccia fra la “natura” e una costruzione teorico-culturale, che include quella dello strumento classico di misurazione, produce una nuova entità, l’oggetto quantistico misurato. Ovvero, la conoscenza dell’oggetto quantistico “naturale” presuppone la costruzione “culturale” di uno strumento di misura, poiché la misura è l’unica forma di accesso che abbiamo alla natura, in scienza. L’insegnamento epistemologico della fisica quantistica è di straordinaria ricchezza (Bitbol 1998).

Quello su cui tutti concordano, da Einstein a Bohr, Bohm e Heisenberg, è che, quando si passa a una descrizione del mondo costruita con le matematiche del discreto, l’analisi della causalità scompare. In fisica quantistica, come detto, la costruzione e l’uso dello strumento di misura permettono di accedere a una scala lontana dai nostri sensi e mostrano la separazione che sussiste fra la fisica classica/relativistica e la microfisica: aggiungono alla determinazione che inquadra la causalità classica e la giustifica, un aleatorio intrinseco alla teoria quantistica, evidenziano cioè fenomeni che possono “non avere causa” (come lo spin up o down di un elettrone) o essere correlati tra loro senza che fra di loro fluisca alcuna informazione (l’intricazione istantanea vieta il passaggio di ogni segnale, la cui velocità è limitata da quella della luce). Ma le due fisiche separano le scale per capire e, da un secolo, si cerca di unificarle i fondamenti teorici e proporre così una intelligibilità dell’inerte che diverrebbe ancora più ricca, con parziali successi⁵. La cultura che emerge invece dalla separazione della

misurazione della proprietà di una particella (come lo spin o la polarizzazione) dà informazioni istantaneamente sulla proprietà corrispondente dell’altra, sfidando le nozioni classiche di località e separabilità. Si veda: Aspect, Grangier, Roger 1982.

⁴ Bohm 1952 ha sviluppato, fra gli altri, la proposta di Einstein.

⁵ Forse il tentativo più fertile di unificazione quantistico/relativistico passa per una riorganizzazione del continuo spazio-temporale che parte dalla non-commutatività della misura quantistica, per cui si veda: Connes 1994.

conoscenza alfa-numerica, algoritmica, dai gesti corporei compiuti nello spazio e nel tempo, retroagisce in modo ben diverso sul nostro rapporto con la natura: la subordina ad artifici tecnico-culturali la cui progettazione è ormai tutta politica e mira prevalentemente al controllo della natura e del sociale, senza curarsi dell'intelligibilità⁶. La natura segue ordini, che sia lo stesso per il sociale.

2. L'alfabeto greco, fra democrazia e tecno-feudalesimo

Fra le tante nostre costruzioni simbolico-culturali, la frattura radicale fra segno e significato, che trova origine nell'invenzione dell'alfabeto, è stata particolarmente feconda e ricca di ricadute, proprio come lo è la frattura provocata dalle attuali macchine alfa-numeriche che stanno cambiando il mondo. Le invenzioni simboliche costituiscono sia una barriera che un legame con la natura, perché a un tempo ci allontanano da questa, permettendoci così di fare scienza, e al contempo a questa ci avvicinano, per così dire, consentendoci di intervenire in maniera sempre più efficace su di essa. Grazie alla scrittura alfabetica, sequenze finite di segni, parole e frasi, appartenenti a una lista finita di segni, l'alfabeto, permettono di ricostruire il senso tramite il fonema, la voce, fosse anche prodotta “nella testa” del lettore, in silenzio. Ma diviene anche possibile manipolare queste sequenze in modo automatico, senza senso, senza riferimento al loro significato nel mondo.

Nel libro scritto con Jean Lassègue (Lassègue e Longo 2025), proponiamo una storia concettuale dell'invenzione della attuale “scrittura elettronica reticolare”, al cuore delle reti di computer che ricoprono il mondo. Sviluppando una pista individuata da Herrenschildt (Herrenschildt 2007), ricordiamo che i Greci sono i primi a rendere “foneticamente completa” la scrittura alfabetica ereditata dai Fenici. In breve, vi aggiungono abbastanza vocali da togliere le ambiguità proprie alle lingue scritte solo con l'uso di consonanti, dette dell’“abjad”, come il fenicio, l'ebraico e l'arabo classici. Per interpretare queste ultime è necessario completare le parole, composte di sole consonanti, aggiungendo ad esempio puntini che specificano il fonema e, così, il senso⁷. Questa drastica riduzione delle ambiguità è al cuore dell'invenzione della democrazia greca, dove ogni uomo alfabetizzato era in grado di leggere e interpretare la legge scritta, certa, senza il bisogno di scribi e sacerdoti che la interpretassero. D'altra parte, proprio questa drastica riduzione delle ambiguità interpretative permette di leggere “meccanicamente” e arrivare, distratti, in fondo a una pagina e di accorgerci di... non aver capito nulla.

L'automaticità della scrittura greca, di cui siamo gli eredi, già intuita da Turing⁸, un pioniere della teoria degli algoritmi, è alla base delle attuali macchine numeriche – sistemi di *ri-scrittura della scrittura*: gli algoritmi sono insiemi di istruzioni, scritte come associazioni di sequenze di lettere a sequenze di lettere, che dicono come ri-scrivere sequenze di lettere: la regola (aa → ab) ordina di riscrivere aacd come abcd⁹. Tutto il calcolo formale e numerico è *solo* basato su “sequence-matching”

⁶ Anderson 2008; per una risposta di tipo matematico, ma accessibile a tutti, si veda: Calude e Longo 2017. Per il ruolo del “numerico” nel controllo sociale, si veda: Garapon e Lassègue 2021.

⁷ Ad esempio, in un abjad, si può scrivere “ktb” per significare “libro”, “biblioteca” o “bibliotecario”: solo il contesto permette di capire a cosa chi scrive faccia riferimento. Ancora più complessa ed esigente è l'interpretazione di scritture geroglifiche o ideogrammatiche: i geroglifici vanno addirittura letti come “rebus”, la cui interpretazione era interamente nelle mani di una casta di scribi, si veda Lassègue e Longo 2025 per approfondimenti.

⁸ Lassègue e Longo 2012 (per questo ed altri articoli, si veda <https://www.di.ens.fr/users/longo/download.html>).

⁹ I “programmi” sono algoritmi implementati in linguaggi di programmazione specifici. Tutti i linguaggi di programmazione, anche i linguaggi “funzionali” o “orientati ad oggetti”, molto usati in IA, si fondano su di una struttura *imperativa* (teoremi di Church-Rosser, si veda: Barendregt 1984, e teoremi di normalizzazione, si veda: Girard, Taylor, Lafont 1990). Inoltre, compilatori e sistemi operativi sono scritti in linguaggi imperativi: la struttura profonda della macchina non può che eseguire ordini.

e “sequence-replacement” (controllo di identità di sequenze, rimpiazzamento di (sotto-)sequenze) (Bezem, Klop, de Vrijer 2013). Si può così scrivere e riscrivere... senza capire nulla, meccanicamente, seguendo le regole scritte. È poi facile codificare con sequenze di 0 e 1, equivalenti agli *switch* di una macchina elettronica, le sequenze di lettere alfabetiche. La separazione della scrittura dal senso è allora radicale: per manipolarla, non c'è più bisogno del fonema che evoca, con il suono, il significato – una macchina può farlo. Noi, eredi dell'alfabeto greco, e solo noi, abbiamo così inventato una macchina alfa-numerica per la scrittura e la ri-scrittura, senza senso. E ci si allontana così ancor più dal grido animale, ricco di senso, grido di richiamo, allarme, dolore, gioia... all'origine del linguaggio umano.

La scrittura alfabetica è alla base di un modo di pensare di grande efficacia analitica: come il linguaggio con le lettere dell'alfabeto, così il mondo si descrive e costruisce impilando componenti elementari e semplici (Democrito annotava con lettere gli atomi ed Euclide i punti, “semeia”, dei segni). Visione utilissima per far macchine, tutte costruibili assemblando componenti elementari e semplici: Leonardo da Vinci ha una visione “olistica” e “turbolenta” (e drammatica) della natura e distingue nettamente le sue centinaia di disegni naturalistici da quelli tecnici, sua invenzione, ottenuti scomponendo e ri-componendo macchine intere e pezzo per pezzo, disegnandone sezioni piane, poi tridimensionali¹⁰. Poco più tardi, dimenticando i moti turbolenti di Leonardo, “fenomeni effimeri” riconosceva, la rivoluzione scientifica inizia con la “meccanica celeste”, analisi di movimenti perfetti ed eterni, orologerie planetarie (Descartes, Keplero), ed è in primis una rivoluzione delle macchine (Rossi 1962). Su questa linea, l'approccio analitico di Laplace e Fourier, all'inizio XIX secolo, ci ha dato un grande strumento di analisi matematica (la scomposizione di sistemi di equazioni in serie lineari). Questi sistemi di equazioni erano intesi come una descrizione *completa* del mondo, come ben esplicitato da Laplace: le equazioni che determinano una dinamica fisica permettono di predirla, a meno di qualche approssimazione, e la linearizzazione permette una discretizzazione di processi anche non lineari. Ogni processo è quindi (matematicamente, linearmente) scomponibile in componenti elementari e semplici. Tale visione, ancor oggi comune, ha ritardato la comprensione e lo sviluppo di visioni sistemiche, come la “geometria dei sistemi dinamici non-lineari” di Poincaré (Poincaré 1892), o la termodinamica lontana dall'equilibrio di Prigogine (Nicolis e Prigogine 1977), analisi di “fenomeni effimeri”, venne rimproverato a quest'ultimo. Entrambi sono rimasti a lungo, e sono ancora, dei “canoni minori” – benché quasi tutti i “sistemi del mondo” siano proprio non-lineari e lontani dall'equilibrio.

Così, l'identificazione del pensiero e della natura con la sua “scrittura” alfabetica, più precisamente di tipo “greco” (anzi in inglese, oggi, di fatto), non è un ponte fra cultura e natura, ma schiaccia la natura, la nasconde e propone di manipolarla grazie a una costruzione culturale di grande efficacia, ma che porta con sé il *bias* di un artificio ben specifico, impregnato di meccanicità, profondamente dualista e analitico: tutto il pensabile e l'esistente può essere scomposto nell'elementare e semplice di lettere senza senso, atomi di conoscenza e del reale. Così, contro tutta la montagna scientifica costruita sul ruolo delle simmetrie continue in fisica, cui si è accennato sopra (par. 1), illustri informatici come Pearl e Valiant, vincitori del Turing Award, ci dicono che una pietra cade perché “programmata per cadere”: non fa che seguire le istruzioni. Le leggi della natura sarebbero infatti algoritmi, arricchiti da metodi statistici (Pearl e Mackenzie 2018) o interagenti (eco-ritmi: Valiant 2013). Si cancellano così duemila anni di una storia scientifica ricchissima, quella delle simmetrie e del continuo, da Euclide a Poincaré ed Einstein, ma soprattutto il radicamento della cultura scientifica nei gesti corporei effettuati nello spazio e nel tempo, per rimpiazzarli con scritture alfabetiche, algoritmi, lontane dal senso e dal mondo. Del resto, come aveva già osservato Riemann in ambito classico, mentre nel continuo la misura, quindi la metrica, è associata alla struttura dello spazio, nel discreto “non si può che contare” (Riemann 1854,

¹⁰ Longo e Longo (2021) (scaricabile anche in italiano: <https://www.di.ens.fr/users/longo/download.html>).

Introduzione). Nel discreto si perde la forma fondamentale d'accesso al reale, la misura classica e relativistica, approssimata, data in un intervallo, associato a una metrica: essa si riduce al contare. Quando il mondo si dà nel discreto, la misura è solo un contare un bit, un pixel, dopo l'altro: l'accesso al reale è esatto e si torna così a Laplace, ma con l'aggiunta dell'aleatorio quantistico, riconosce quantomeno Pearl¹¹. E allora, alle cause, alle simmetrie continue, bisogna sostituire “istruzioni/ordini”: così si muove il mondo. E quel che non obbedisce agli ordini è “rumore”.

Tale visione è in sintonia con quella tanto cara oggi ai massimi leader del numerico: il reale (ed il sociale) devono obbedire a comandi e guai a chi fa rumore. Le leggi della fisica e del vivente, che potremo così controllare, ri-programmandolo¹², sono programmi, scritture alfabetiche di istruzioni da eseguire¹³. Questa non è certo una nuova unità fra natura e cultura, bensì cancella gran parte dell'intelligibilità dell'inerte e giustifica il crescente massacro del vivente, macchina programmata da manipolare a piacere, prima di capire l'organismo e il suo “spazio” preferito, l'ecosistema, con le loro interazioni¹⁴. Lo sviluppo delle poche biotecnologie funzionanti basate sulla nozione di “programma genetico” non ha affatto “dissolto il confine tradizionale tra natura e cultura e tra biologia e società” (Rabinow e Rose 2006), ma, con una lettura meccanicista, monocromatica e autoritaria del vivente, nei contenuti e nella gestione, ha impedito la crescita di una dialettica, teorica e pratica, fra cultura e natura.

È difficile oggi distinguere gli orientamenti di ricerca in IA dalle scelte politiche autoritarie, quelle del nuovo tecno-feudalesimo (Morozov 2022): i finanziamenti delle enormi strutture oligopolistiche che ne tengono le redini sono in gran parte orientati alla sorveglianza o al controllo (Zuboff 2019), da quello, per ora e nei nostri paesi occidentali, soprattutto commerciale (cosa compri e come posso vendere i tuoi dati personali: Alombert e Giraud 2024), a quello politico in Cina, fino alla guerra (Roucy-Rochegonde 2024), con i suoi droni e armi a controllo automatico, i cui “danni collaterali” fanno parte dell'inevitabile. Il tecno-feudalesimo correlato all'IA, reso possibile da macchine alfanumeriche derivate dalla “democratica” scrittura greca, si basa di nuovo su una casta di scribi, i programmatori di linee di codice, indecifrabili per il profano, quasi sempre proprietarie e segrete. Fra noi e il senso si pone la barriera di una scrittura divenuta illeggibile: il codice informatico.

Questo orientamento del digitale non era necessario. Negli anni Ottanta del Novecento e all'inizio degli anni Novanta, le prime reti informatiche accompagnarono una forte crescita dello scambio, di correlazioni nuove fra ricercatori diversi sparsi sulla superficie della Terra. Il graduale formarsi di enormi oligopoli ha profondamente modificato il funzionamento e il controllo delle reti. Il mito della “singolarità” (l'imminente rimpiazzamento dell'umano) e la lettura computazionale della cognizione,

¹¹ “This quasi-deterministic functional model mirrors Laplace’s conception of nature [Laplace, 1814]... (only quantum mechanical phenomena exhibit associations that might conflict with the Laplacian model)” (Pearl 2000).

¹² Doudna e Sternberg 2017; per un resoconto critico del libro della premio Nobel (2020) J. Doudna, si veda: Longo 2021.

¹³ “La surprise, c’est que la spécificité génétique soit écrite, non avec des idéogrammes comme en chinois, mais avec un alphabet comme en français”, F. Jacob, leçon inaugurale au Collège de France, 1965, vedi anche Jacob 1974. Il testo teorico più di rilievo che descrive il vivente come una “macchina cartesiana programmata dal DNA” è quello di Monod 1970 (trad. ingl. 1972), co-recipientario del Nobel per la biologia con J. Jacob, nel 1965.

¹⁴ Fra i tanti testi che raccontano i limiti e i fallimenti degli organismi geneticamente modificati in agricoltura (OGM), si veda Giraud e Amelie 2024. Quanto ai perturbatori endocrini e ai cancerogeni, immessi disinvoltamente nell'ecosistema sulla base di una visione meccanicista del vivente, si veda Diamanti-Kandarakis *et al.* 2009; per una critica più generale della biologia del “programma genetico”, si vedano Noble 2024 e Longo 2023.

del vivente e persino della fisica¹⁵ hanno quindi modificato i fini e i metodi della ricerca, guidata da una cultura volta a schiacciare l'umano e la natura tutta, in un unico paradigma imperativo.

3. *Intelligenza, movimento, gesti corporei*

Non va dimenticato che il cervello animale si è formato per gestire il movimento nello spazio in alcuni multicellulari. E che a questo è soprattutto servito per centinaia di milioni di anni. E ancor oggi ci permette di guidare un'auto come quando andavamo a caccia: saccadi (movimenti oculari) protensive precedono qualsiasi cosa si muova, grazie alla ritenzione (memoria o traccia neuronale), a livello di retina e della corteccia visiva primaria, di una traiettoria percepita. Per di più, questo “incollamento” della ritenzione e della protensione di una traiettoria avviene anche in visione periferica, dove siamo incapaci di riconoscere oggetti, ma apprezziamo il movimento (Berthoz 1997). Le macchine a guida automatica, che, per ora, avanzano “riconoscendo tutte le configurazioni di traffico possibili” sono un paradigma di stupidità artificiale: si muovono con gran difficoltà e immensi costi energetici sulle stesse strade di noi animali, che ci muoviamo come quando si va a caccia o si fugge da un predatore: anticipando tutto quel che si muove. Direi inoltre che questa operazione di “incollamento” (la ritenzione di un movimento che si estende nella protensione, tramite un movimento anticipatorio, una saccade oculare) è una pratica primaria, visiva e corporea, della continuità.

Costruiamo a partire da prassi della e sulla natura e riorganizziamo la natura con la cultura. Ma in modi diversi. L'esempio del gioco continuo/discreto lo mostra. Anche la pratica del discreto, del contare, è parte della vicenda evolutiva. Condividiamo con molti animali il “piccolo contare”, cioè la capacità di contare piccole quantità di oggetti ben separati nello spazio. Tuttavia, solo nel linguaggio, e poi nella scrittura del numero, sappiamo specificare e stabilizzare l'invariante, il *concetto* di numero, comune alla stessa quantità di oggetti che pure il neonato o tanti mammiferi sanno comparare¹⁶. Azioni dunque nel mondo e sul mondo sono l'episteme di due strutture simboliche, il continuo e il discreto matematici, di cui abbiamo sottolineato la diversità epistemica. In altri termini, costruzioni concettuali entrambe radicate su pratiche naturali, divergono nei modi di organizzare il reale, ricadendo su di esso in modo diverso. Dalle geodetiche della fisica, percorsi ottimali in spazi continui, si passa a traiettorie fatte di pixels, che imitano sullo schermo delle nostre macchine numeriche la caduta di una pietra, passando da un colore ad un altro, in cascata, seguendo ordini. Nulla si muove sullo schermo di un computer, ci sono solo dei cambiamenti di stato dei pixels. Tecnologia formidabile, catastrofe dell'intendimento e dell'azione sulla natura, se identificata con la natura.

Abbiamo cercato di correlare, in modo molto sommario, questa enorme e bella costruzione culturale, la matematica, ai gesti primari del nostro corpo animale nello spazio e nel tempo, mostrando l'unità fra i due, poiché le nostre costruzioni simboliche modificano a loro volta il nostro essere anche corporeo al mondo. Ma il radicamento cognitivo delle costruzioni di conoscenza può portare a esiti molto diversi, in cui la scelta fra l'uno o l'altro si rivela, forse sempre, di certo oggi, eminentemente politica. La dialettica, insomma, fra natura e cultura non è neutra. I presunti ordini dati alle piante e agli animali, di cui si pretende di ri-programmare il DNA, gli OGM, ne sono un esempio importante: stanno

¹⁵ Dico “persino” perché la fisica ha duemila anni di una storia solidissima; ci vuole quindi un forte impegno ideologico per dimenticarla – ma è facile: basta tagliare i fondi alla fisica teorica, finanziare solo tesi e progetti che si orientino all'IA o la usino massicciamente, come recenti premi Nobel. Chi scrive pensa invece che si debba andare nella direzione di una sua “naturalizzazione”, immergendola, come parte singolare della biologia teorica, nel contesto del rapporto fra vivente ed inerte, in continuità con la storia del primo, Longo 2020.

¹⁶ Starkey, Spelke, Gelman 1983. La costituzione di un invariante, linguistico, concettuale, grafico... è sempre il risultato di una pluralità di “pratiche”, di “atti di esperienza” (Weyl): ad esempio, il contare nello spazio e la percezione di un ritmo temporale, un contare nel tempo (Brouwer), precedono il concetto di numero, l'invariante di queste due prassi.

cambiando la natura e la società, dalla scomparsa degli insetti impollinatori e del suolo (Giraud e Amelier 2024 e la vasta letteratura lì citata), all'abuso di pesticidi con ruolo di perturbatori endocrini (Storker *et al.* 2010), a nuove sofferenze sociali associate alla vendita di sementi da rinnovare annualmente (Bhatnagar 2021). Le strutture linguistiche imperative sono lungi dal permetterci di controllare la natura: non determinano le dinamiche biologiche, ma ne modificano i “vincoli” (Montévil e Mossio 2015), anche importantissimi come il DNA, con esiti ampiamente imprevedibili – calo della biodiversità, crescita dei tumori, ecc. In compenso, mentre fanno perdere l'intelligibilità della natura, dalla fisica al vivente, permettono di controllare le società, tramite l'IA, come mai prima.

4. Considerazioni conclusive

Alla luce di quanto detto fin qui, è dunque porre male il problema chiedersi se le simmetrie (continue), nostra potente costruzione simbolica, siano “intrinseche” alla natura, come affermano tanti matematici e filosofi della matematica “platoneggianti”. Il reale è ricchissimo, ne cogliamo frammenti, prospettive molto particolari, contingenti, storiche. Noi animali abbiamo bisogno di simmetrie per muoverci, non una pianta, che al più ha delle simmetrie di crescita. Nel movimento pratichiamo un isomorfismo fra (identifichiamo) la retta individuata dal sistema vestibolare e la retta visiva, quella costruita dalla saccade che precede il percorso da fare, l'isomorfismo di Poincaré-Berthoz (Teissier 2006). Questa retta immaginaria e l'asse verticale della gravitazione individuano un piano di simmetria fondamentale, quello della simmetria bilaterale comune a (quasi) tutti gli organismi che si muovono. Queste simmetrie, questi invarianti, non sono nel mondo, ma ci permettono di organizzare il mondo. Così, noi, li proiettiamo sulla natura, costruendo case e strutture stabili grazie a muri ben piani, angoli retti, ecc. Ma dove sono superfici piane e angoli retti in una foresta? Eppure, queste simmetrie ci permettono di unificare tanta fisica. Così estendiamo la pratica del contare ai numeri negativi – oggi li possiamo *vedere* come una simmetria dei numeri positivi rispetto allo 0, ma non sono nati in questo modo, non è qualcosa che è loro intrinseco. I numeri, in particolare quelli negativi, non sono “già lì”: si può a lungo fare splendida matematica di bordi e simmetrie, come Euclide, senza farne gran uso. In generale, i numeri, interi, razionali, ecc., non sono già nella natura, ma risultano dalle costituzioni di invarianti del contare e da operazioni di misura nel continuo, dai gesti che ci rapportano al reale, fino alla difficile misura fisica, relativista e quantistica. Il reale fa resistenza, canalizza le nostre misure, i nostri gesti di conoscenza: la produzione simbolica che ne segue non è arbitraria. Ma se ne possono dare diverse: abbiamo accennato sopra a due che differiscono nei percorsi costitutivi della conoscenza matematica, quella basata sul discreto e quella basata sul continuo. Non solo offrono una dialettica diversa fra cultura e natura, ma, all'interno della matematica stessa, il gioco fra discreto e continuo è produttivo di nuove strutture concettuali: da quelle della geometria algebrica alla teoria analitica dei numeri, a recenti teorie dei Topos (Grothendieck) che consentono di stabilire ponti originali fra discreto e continuo¹⁷.

In sintesi, noi facciamo invenzioni simboliche ancorate a pratiche naturali, ad azioni sul mondo, che ne sono condizioni di possibilità ma che non le determinano, e che possono divergere nel cumularsi dei percorsi storici. Alcune arrivano a proporre cesure principali con la natura. Queste divengono gravissime se arrivano ad assumere un ruolo di governo politico monocromatico, che cerca di (e riesce

¹⁷ Ad esempio, alcuni toposes (“étales”) sono varietà spaziali che rappresentano sia proprietà algebriche sia topologiche, collegando strutture discrete (teoria di Galois, teoria dei numeri) con proprietà geometriche nel continuo, Tamme 1994. Tali correlazioni permettono di passare da una struttura all'altra, senza annullare le differenze, anzi permettendo di evidenziarne il ruolo diverso nelle applicazioni, in fisica ad esempio (si veda la versione inglese di questo testo per ulteriori considerazioni).

a) impedire il dibattito. L'autoritarismo è la controparte politica attuale di questa visione della natura programmata e ri-programmabile, che obbedisce quindi a ordini. Lo scientismo, di cui Grothendieck accusa esplicitamente i fondamenti teorici della biologia genocentrica¹⁸, ne è la controparte tecnica. La frattura con la natura, e il suo massacro, dovuto a un governo senza intelligibilità, ne consegue. Le proposte alternative cercano in primis una unità fra lo sviluppo di un organismo e il suo ecosistema, la sua evoluzione. Da una parte, l'evoluzione è il risultato della plasticità dello sviluppo, dall'altra, l'analisi dello sviluppo (ontogenesi) può basarsi sugli stessi principi che rendono intellegibile l'evoluzione (filogenesi) (Soto, Longo, Noble 2016).

L'analisi del radicamento naturale e, poi, dell'autonomia costitutiva delle nozioni del continuo e del discreto matematici, della loro possibile "genesì", nonché della loro dialettica interna e, poi, della dialettica tra loro e la natura, è quanto si è tentato di fare qui¹⁹.

Riferimenti bibliografici

Alombert, A., Giraud, G.

2024 *Le capital que je ne suis pas*, Fayard, Paris.

Anderson, C.

2008 *The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete*, "Wired Magazine", June 23;

Aspect, A., Grangier, P., Roger, G.

1982 *Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell's Inequalities*, in "Physical Review Letters", 49/2, pp. 91-94.

Ball P.

2024 *How Life Works: A User's Guide to the New Biology*, Pan Macmillan, London.

Barendregt, H.

1984 *The Lambda-Calculus: its Syntax, its Semantics*, North-Holland, Amsterdam.

Berthoz, A.

1997 *Le sens du mouvement*, Odile Jacob, Paris.

Bezem, M, Klop, J. W., Vrijer, R. de

2013 *Term Rewriting Systems*. Cambridge U. Press, Cambridge.

Bhatnagar, S.

2021 *Economics of Indian Farmers' Movement: A Study of Agrarian Distress and a Vicious Debt Cycle*, in "Yale Journal of International Affairs", May 15, web-journal.

Bitbol, M.

1998 *L'Aveuglante proximité du réel ; anti-réalisme et quasi-réalisme en physique*, Flammarion, Paris.

¹⁸ Con sorprendente lucidità, in Grothendieck 1971 il libro di Monod del 1970, citato, è definito "scienziista", nel senso, a mio avviso, che, avendo colto un frammento di reale (l'espressione genetica ed il suo controllo da parte dei geni stessi), afferma di poter capire tutto per mezzo di queste conoscenze, ovvero che il DNA è una descrizione completa dell'organismo e del suo sviluppo.

¹⁹ "The powerful dogma of the fundamental break between *epistemological clarification* and *historical explanation*, as well as the psychological explicitation in the frame of sciences of mind, the dogma of the break between *epistemological origin* and *genetic origin*, this dogma, as long as the concept of 'history', of 'historical analysis' and of 'genesis' are not limited in an inadmissible way, as they usually are, this dogma must be reversed from top to bottom" (Husserl 1933).

- Bohm, D.
1952 *A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables I and II*, in "Physical Review", 85, pp. 166-179 (Part I) e 180-193 (Part II).
- Calude, C., Longo, G.
2017 *The deluge of Spurious Correlations in Big Data*, in "Foundations of Science", 22/3, pp. 595-612.
- Connes, A.
1994 *Non-commutative Geometry*, Academic Press, New York.
- Diamanti-Kandarakis, E., et al.
2009 *Endocrine-disrupting chemicals: an Endocrine Society scientific statement*, in "Endocrine Reviews", 30/4, pp. 293-342
- Doudna, J., Sternberg, S.
2017 *A crack in Creation: Gene Editing and the Unthinkable Power to Control Evolution*, Bodley Head, London
- Giraud, T., Amelie, M.
2024 *L'attention au vivant*, L'observatoire Eds, Paris.
- Garapon, A., Lassègue, J.
2021 *Le numérique contre le politique*, PUF, Paris.
- Girard, J.-Y., Taylor, P., Lafont, Y.
1990 *Proofs and types*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Grothendieck, A.
1971 *La nouvelle Eglise universelle*, in "Survivre... et vivre", 9, AoûtSeptembre, pp. 1-3.
- Herrenschmidt, C.
2007 *Les trois écritures, Langue, nombre, code*, Gallimard, Paris.
- Husserl E.,
1933 *The origin of Geometry*, [editore], [luogo].
- Jacob, F.
1974 *Le modèle linguistique en biologie*, in "Critique", mars, pp. 197-205.
- Kosman-Schwarback, Y.
2010 *The Noether theorems: Invariance and conservation laws in the twentieth century*, Springer, Dordrecht.
- Longo, G.
2011 *Theorems as Constructive Visions*, in *Proceedings of ICMI 19 conference on Proof and Proving*, Taipei, Taiwan, May 10 -15, 2009, ed. G. Hanna, Springer, Dordrecht, pp. 5-34.

2020 *Naturalizing Physics. Or, embedding physics in the historicity and materiality of the living*, in *Deleuziana*, 11 (special issue on "Differential Heterogenesis: Deleuze, Mathematics And The Creation Of Forms", ed. A. Sarti et al.), online journal.

2021 *Programming Evolution: a Crack in Science*. A Review of the book by Nobel winner, J. A. Doudna, and S. H. Sternberg, in "Organisms. J. Bio Sci.", 5/1, online journal.

2023 *Le cauchemar de Prométhée. Les sciences et leurs limites*, PUF, Paris.

- 2025 *Symmetries and Symmetry Breaking, from Geometry to Physics, via Painting*, in *Proceedings "Symmetry: Art and Science"*, Crete (Gr), in print (see [downloadable papers](#)).
- Longo, G., Longo S.
 2021 *Réinventer le corps et l'espace*, in *In difesa dell'umano*, a cura di L. Boi *et al.*, Vivarium novum, Montella (AV), pp. 50-82 (anche in italiano: <https://www.di.ens.fr/users/longo/download.html>)
- Longo, G., Montévil, M.
 2014 *Perspectives on Organisms: Biological Time, Symmetries and Singularities*, Springer, Dordrecht.
- Lassègue, J., Longo, G.
 2012 *What is Turing's Comparison between Mechanism and Writing Worth?* Invited lecture, in *Proceedings of "The Turing Centenary Conference (CiE 2012)"*, Isaac Newton Institute programme, Cambridge, June 18-23, ed. S. B. Cooper, A. Dawar, and B. Löwen, Springer, Berlin, pp. 451-462.
- Lassègue, J., Longo, G.
 2025 *L'empire numérique. De l'alphabet à l'IA*, PUF, Paris.
- Monod, J.
 1970 *Le Hasard et la Nécessité*, Le Seuil, Paris
- Montévil, M., Mossio, M.
 2015 *Closure of constraints in biological organisation*, in "Journal of Theoretical Biology", 372, pp. 179-19.
- Morozov, E.
 2022 *Critique of Techno-Feudal Reason*, in "New Left Review", 133/134, web journal.
- Nicolis, G., Prigogine, I.
 1977 *Self-organization in non-equilibrium systems*, Wiley, New York.
- Noble, D.
 2024 *Genes are not the blueprint for life*, in "Nature", 626, February, pp. ??
- Pearl, J.
 2000 *Causality: Models, Reasining, and Inference*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Pearl, J., Mackenzie, D.
 2018 *The book of why. The new science of cause and effect*, Basic Book, New York.
- Poincaré, H.
 1892 *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, Tome 1, Gauthier-Villars, Paris.
- Rabinow, P., Rose, N.
 2006 *Biopower Today* in "BioSocieties", 1, pp. 195-217.
- Riemann, B.
 1854 *On the hypothesis which lie at the basis of Geometry* (translated and edited by J. Jost, Birkhauser, Berlin).
- Rossi, P.
 1962 *I filosofi e le macchine*, Feltrinelli (ristampa 2002).
- Roucy-Rochegonde, L. de
 2024 *La guerre à l'ère de l'intelligence artificielle*, PUF, Paris.
- Soto, A., Longo G., Noble, D. (eds.)

- 2016 *From the century of the genome to the century of the organism: New theoretical approaches*, in “Progress in Biophysics and Mol. Biology”, 122/1, special issue ,Elsevier.
- Starkey, P., Spelke E. S., Gelman, R.
 1983 *Detection of intermodal numerical correspondences by human infants*, in “Science”, 222, pp. 179-181.
- Storker, T. *et al.*
 2010 *Pesticides as endocrine-disrupting chemicals*, in *Hayes Handbook of Pesticide Toxicology* (new edition), ed. R. Krieger, 2 vol., Academic Press Incorporated, Orlando, FL, I, pp. 551-569.
- Tamme, G.
 1994 *Introduction to Étale Cohomology*. Springer, Dordrecht.
- Teissier, B.
 2006 *Géométrie et Cognition: l'exemple du continu*, in *Ouvrir la logique au monde*, Actes de l'Ecole thématique CNRS-LIGC Logique et interaction; vers une géométrie du cognitif, Cerisy Septembre, dirigée par J.-B. Joinet et S. Tronçon, Hermann, Paris.
- Valiant, L.
 2013 *Probably approximately correct*, Basic Books, New York.
- Weyl, H.
 1949 *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, Princeton University Press, Princeton.
- Zuboff, S.
 2019 *The Age of Surveillance Capitalism*, PublicAffairs, New York.