

Per *In difesa dell'umano* (a cura di Boi, Curi, Maffei, Miraglia), 2021 (traduzione dal francese di Luca Cabassa)

## Reinventare il corpo e lo spazio

*Giuseppe Longo*

CNRS - Ecole Normale Sup., Paris  
School of Medicine, Tufts U., Boston  
<https://www.di.ens.fr/users/longo/>

*Sara Longo*

History of Art, PhD, Paris 1, Panthéon-Sorbonne  
<https://hicsa.univ-paris1.fr/page.phpr=23&id=216&lang=fr>

**Sunto** Difenderemo le emozioni ed i corpi, la loro presenza nei nostri spazi di umanità, per le attività umane. Lo sguardo del soggetto cosciente dà senso al mondo, in arte ed in scienza, ritaglia i contorni, qualifica frammenti di reale, un reale che resiste, che oppone materialità a materialità e l'ecosistema alla nostra interpretazione ed azione su di esso. Le prospettive incrociate, fra pittura e matematica, cercheranno di mettere a fuoco un "Canone minore" che resiste alla perdita di senso di una rivoluzione scientifica, ricca di tecniche, capace di produrre conoscenza, macchine e profitti, ma anche di distorcere il rapporto dell'uomo alla natura. L'individuazione di una eterogenesi, pittorica e scientifica, delle forme e del senso evocherà piste recenti per una reinvenzione dell'umano e del suo sguardo sulla natura.

### Introduzione

Seguiremo un percorso particolare in difesa e per una re-invenzione dell'umano. Ci porremo il problema delle radici filosofiche e storiche o, in altri termini, di una epistemologia storica, dell'alleanza che si è venuta a stabilire, nel corso di un secolo e a partire da un pensiero scientifico intriso di meccanicismo, tra un nuovo scientismo, la tecnoscienza del digitale, e le forme contemporanee di "governance". Il nostro obiettivo è dunque quello di proporre, sulle questioni dell'umano e della macchina, un'*epistemologia storica della contemporaneità*<sup>1</sup>.

Numerosi studi critici illustrano il ruolo politico, di ristrutturazione dell'umano, del digitale nei suoi due sviluppi più importanti, l'informatica e l'intelligenza artificiale. Le reti informatiche permettono una nuova centralizzazione dell'informazione, e quindi la gestione delle attività umane da parte di alcuni monopoli o da parte di governi con crescenti ambizioni autoritarie. Macchine ci riconoscono e ci seguono ovunque proponendoci risposte a domande non ancora poste, dato che la formattazione programmata precede e canalizza i nostri pensieri, le nostre azioni e i nostri desideri.

<sup>1</sup> Esistono numerose pratiche e definizioni di epistemologia storica, compresa quella riguardante la contemporaneità; i lavori di Canguilhem e di Foucault ne sono un esempio fondamentale (per una sintesi recente di questi due sguardi differenti e delle loro interazioni, cfr. (Angelini 2020; 2020)). In questa sede intendiamo sviluppare un'analisi delle *analogie* e delle *omologie* (origini comuni) delle forme di pensiero scientifico *vs* quelle del pensiero o delle pratiche di altre attività umane, così come delle nuove alleanze che si instaurano tra queste forme. Vediamo questo lavoro in continuità con l'abbozzo di una epistemologia storica della matematica dello spazio e dell'infinito in riferimento alla pittura religiosa del XIV e del XV secolo in (Longo, Longo 2020), teso a sottolineare le origini teologico-pittoriche dello spazio della fisica-matematica moderna.

Se, dunque, l'umano stesso è schiacciato sotto il peso del digitale, è questo umano che bisogna difendere.

La nostra risposta consiste nel proporre un percorso alternativo: nell'umano, la costruzione di senso è indissociabile dalle modalità della propria presenza e da quelle del corpo nello spazio, quali si ritrovano nell'immaginario pittorico e scientifico del soggetto nella natura. Lo vedremo da un punto di vista ben preciso, riferendoci all'invenzione dello spazio e della sua geometria come proposto in (Longo, Longo 2020), in quanto pensiero e forma dello spazio, «... costituita nel nostro spazio umano e in base all'attività umana» (Husserl, 1933, trad. it., 1961, p. 381). La nostra risposta sarà dunque di natura epistemologica, ma vista come epistemologia storica, dunque fondata sulle dinamiche dei contesti umani che costruiscono senso – la pittura ci aiuterà a coglierne la ricchezza umana e la bellezza.

Al cuore della nostra risposta, vi è una reazione costruttiva alla perdita di senso dello spazio e del corpo propria del digitale. Essendo a stati discreti, ogni macchina digitale è intrinsecamente unidimensionale (in un senso matematico fondamentale). Il calcolo è possibile, la Macchina di Turing e il lambda-calcolo ce lo insegnano, poiché, nel discreto, tutto può essere codificato su una linea. È questo che permette la costruzione della “Macchina Universale” per il calcolo; nel linguaggio dei computer la codifica di ogni programma e il calcolo su una linea permettono la scrittura e il funzionamento dei sistemi operativi e dei compilatori, dunque del computer: non sono che programmi, scritti come tutti gli altri programmi (serie di 0 e 1 nella macchina) che agiscono su dei programmi. La codifica delle tre dimensioni spaziali, se non addirittura di un numero finito qualunque di dimensioni in una sola è, da Turing, al centro dell'*elaborazione* dell'informazione digitale così come, da Shannon, della sua *trasmissione*. Si faccia a meno dello spazio, dunque.

Questo schiacciamento dello spazio su una linea sarebbe sufficiente a far sparire il corpo e il senso del corpo biologico nella sua tridimensionalità intrinseca, matematica (non esiste una condotta in due dimensioni, né singolarità né membrane, in quattro dimensioni, la teoria fisico-matematica del campo medio le escludono). Ma c'è di peggio. Il digitale si fonda su una distinzione cartesiana fondamentale, quella tra programma (software) e materia (hardware), tra anima e corpo. Idea compresa e formalizzata da Turing: le istruzioni, il programma e la loro scrittura sono indipendenti dalla loro implementazione materiale. E così, la perdita di senso del vivente, dell'animale, dell'umano raggiungono il proprio culmine. Il biologico è radicalmente materiale: non esiste vivente senza queste membrane, questo DNA o RNA, nella loro fisico-chimica e nelle loro dimensionalità specifiche. Non esiste cervello senza queste cellule neuronali viventi, sempre attive, senza le loro membrane, la loro chimica, che si deformano nella forma e nel loro campo elettrostatico, senza le loro connessioni mobili, senza la loro plasticità organica, in un cranio, in un corpo che agisce nello spazio. Di contro alle totalizzazioni alfanumeriche (serie di lettere o di numeri, poco importa), dall'Intelligenza Artificiale alla biologia del programma e dell'informazione genetica, bisogna riconquistare il senso del corpo, del suo spazio e della sua radicale materialità biologica. Lo faremo attraversando forme dell'immaginario umano, nel suo spazio d'umanità, a partire da un'attività umana. Esiste infatti un *Artificio Intelligente* che è, in tutto, specifico dell'uomo: l'arte.

## 1 – La perdita del senso dei limiti matematici

La costruzione tecnica del digitale ha cambiato il mondo, poiché permette la memoria e il dialogo, la collaborazione a distanza, e integra il mondo in una rete d'interazioni senza precedenti. Le sue origini si trovano nelle invenzioni scientifiche degli anni '30 e '40, in particolare nell'originalità delle “risposte negative” ai miti positivisti del «tutto è dimostrabile, tutto è calcolabile», modulo una codifica di tutto il formalismo matematico nell'Aritmetica, a partire dalla geometria, una costruzione puramente assiomatica secondo Hilbert (Hilbert 1898; 1926). Per mettere in evidenza *l'indimostrabile* e *l'incalcolabile*, bisogna definire con rigore ciò che è

meccanicamente dimostrabile, ossia circoscrivere la potenza dei calcoli aritmetici – esattamente ciò che hanno fatto Gödel, Church e Turing negli anni '30. In seguito, i limiti della costruzione d'intelligibilità del calcolabile, vale a dire i limiti dati da questi *risultati negativi* che permisero l'invenzione del calcolabile, dunque della Macchina per Calcolare, vennero dimenticati – ma su questo torneremo. E uno scientismo del digitale ha contribuito a livellare il mondo su un'immagine unidimensionale e immateriale dell'uomo e della natura. La macchina aritmetica, potenza estrema degli 0/1, il digitale dei giorni nostri, non sarebbe più uno strumento per l'intelligibilità del mondo, ma un modello del mondo, se non – ci dicono alcuni – intrinseco al mondo. La sua efficacia, potenzialmente e in parecchie occasioni al servizio dell'umano, è stata largamente deviata a profitto della gestione, non solo d'un potere sull'umano, ma anche della costruzione di un nuovo immaginario, della tecnica e del senso comune, se non addirittura di un nuovo reale che si frappone tra l'umano e la natura.

Ora, la scienza è sempre il risultato di una costruzione storica di senso. Talvolta si congiunge con nuove aperture sulla natura; altre volte, l'uso improprio di un approccio specifico che propone può essere utilizzato da nuove forme del potere, in vista di un'egemonia che soffoca l'umano, la natura e la stessa intelligibilità della natura. Lo scientismo, dunque, esclude la conoscenza scientifica e la rimpiazza, al giorno d'oggi, con la tecnoscienza delle *start-up* digitali e biotecnologiche, esternalizzazione della ricerca da parte di immensi oligopoli, vere e proprie miniere d'oro in cui vengono prodotti oggetti di consumo rapidamente deperibili. E l'accecamento tecno-scientifico verso i problemi dell'ecosistema, inclusa la nuova «epidemia dell'epidemie» (Morse 1995), ne è una delle conseguenze. Che siano zoonosi, come previsto da (Morand, Foguié 2015), o il risultato di manipolazioni genetiche – troppo numerose e insensate per essere del tutto controllate, esercizi tecnici banditi e poi reintrodotti (Burki 2018) – tali conseguenze derivano da una visione meccanica dell'ecosistema (deforestazione, allevamenti intensivi, ...) e degli organismi: possiamo manipolare ogni cosa con delle tecniche, così come una macchina elabora dei segni, senza alcuna comprensione, proiettando questi segni alfa-numeriche sul mondo, il vivente, l'ecosistema. Che mai altro potremmo fare se non del *gene-editing* e del *gene-driving* (Champer et al. 2016) – questa riscrittura generale che va dal genoma dei virus e dei batteri, e dal 2001 persino sul genoma umano – se il sostrato teorico è quello per cui «... la specificità genetica è scritta, non con degli ideogrammi, come in cinese, ma con un alfabeto come in francese, o piuttosto in morse» (F. Jacob, Lezione inaugurale al Collège de France, 7 maggio 1965)?

In breve, se il vivente è il risultato di una scrittura su quattro segni (le ATCG del DNA), la sua intelligibilità e la sua manipolazione non sono che aritmetica computazionale di una combinatoria chimica. E il Dogma Centrale della biologia molecolare (Crick 1958), ancora egemone in tutti i manuali scolastici e universitari, permette di considerare il governo degli organismi nell'ecosistema, così come gli assiomi di Hilbert avrebbero dovuto governare completamente le teorie matematiche, dall'aritmetica alla geometria.

## 2 – Dalla scienza allo scientismo

Questa perdita del senso matematico e biologico segue un'epoca di *transfert* (cfr. Frezza, Longo 2010) positivista dei successi della fisica e della biologia verso le scienze umane. Alla fine del XIX secolo, due grandi costruzioni nelle scienze naturali sono state pervertite per essere messe al servizio di scelte sociali, di fatto politiche, rivendicandone l'obiettività scientifica. Da una parte, Hamilton (1805-1865) aveva giustificato e unificato grazie a nuovi metodi matematici i grandi principi che regolavano, da Galileo, e regoleranno fino ai nostri giorni, ogni dinamica fisica in equilibrio: in spazi adeguati, in cui l'energia, l'impulso e la materia sono conservati, ogni «traiettoria» fisica è un ottimo (relativo), una «geodetica». Dall'altra, Darwin (1809-1882) aveva reso intelligibile l'evoluzione del vivente attraverso principi estremamente generali di «riproduzione con variazione» e «selezione». Ed ecco che: riguardo al primo approccio – i lavori di Hamilton –

ogni traiettoria economica diviene un percorso ottimale, una geodetica, espressa da equazioni di equilibrio (Léon Walras e molti altri) che derivano da una hamiltoniana sfruttata e asservita all'economia. In maniera simile, il nuovo positivismo di fine XIX secolo e inizio XX (Ronald Fisher e molti altri) è segnato da un darwinismo sociale. Le dinamiche economiche e sociali sono perciò analoghe – o da comprendere e mantenere in analogia – o alle dinamiche fisiche o all'evoluzione biologica. La nostra umanità, costruita nella *polis*, è dimenticata.

Questi due usi scientifici della fisica e della biologia hanno avuto diffusioni diverse nel corso della prima metà del XX secolo. I fascismi e il nazismo, alquanto statalisti in economia, quando ciò conveniva loro, preferivano tenere sotto controllo il *laisser-faire* e gli automatismi individualisti degli equilibri economici. Di contro, il darwinismo sociale ha avuto un successo considerevole in entrambi gli autoritarismi, essendo il loro credo fondato sull'eugenetica. Ecco dunque, nella seconda metà del secolo, da una parte il parziale oblio del darwinismo sociale e genetico, troppo compromesso dalla ricerca fascista dell'uomo geneticamente ottimale e, dall'altra, la ricomparsa, sotto i tratti a volte antifascisti e antistalinisti, del mito della libertà dei mercati che sola può permettere lo sviluppo spontaneo dei percorsi ottimali, le geodetiche economiche. Una strana libertà.

Più o meno negli stessi anni, nel secondo dopoguerra, l'invenzione matematica del calcolabile si concretizza nelle macchine digitali. Tuttavia, come detto in precedenza, questo calcolabile era nato con l'obiettivo esplicito di mostrare la presenza dell'indimostrabile, Gödel (1931), e dell'incalcolabile, Church e Turing, fra il 1932 ed il 1936: per contraddire un altro programma positivista, il "tutto è formalmente dimostrabile e calcolabile" di Hilbert (1900 e 1920), questi matematici avevano dovuto precisare la nozione di calcolo formale, dunque meccanizzabile, nozione che permise loro di dimostrarne i limiti. Ma questi limiti sono complessi, richiedono un pensiero critico per essere compresi, applicati, si situano all'interfaccia di discipline, aprono nuove piste per la scienza (Longo 2018a); bisogna saper dire "no", ossia avere l'audacia di pensare con rigore a dei risultati negativi. Questo fa parte della scienza. Lo scientismo, invece, non ha limiti e, dalla manipolazione genetica all'Intelligenza Artificiale, permette di considerare il transumanesimo genetico e cerebrale. Oggi, in matematica, di risultati negativi se ne conoscono altri, più forti, più "sensati" – riguardano l'indimostrabilità di proprietà interessanti, ma sono difficili anche solo da enunciare, se ne discute raramente. Le loro prove richiedono una costruzione storica di senso matematico, dei gesti che si giustificano attraverso la complessità del nostro rapporto con lo spazio e col tempo (Longo, 2011).

La macchina, invece, gestisce immense banche dati alla velocità della luce, attraverso pure manipolazioni segniche, applicazioni formidabili della deduzione formale; esse permettono il calcolo immediato, simulacro dell'azione efficace. E così ha luogo un nuovo sodalizio. Ogni geodetica naturale e sociale può essere calcolata, poiché non è richiesta che la codifica digitale dell'informazione pertinente. Se la si guarda da più vicino, il semplice passaggio dal continuo – grazie al quale comprendiamo meglio lo spazio e il tempo – al discreto pone problema, ma ... «poco importa», viene spiegato al grande pubblico. Del resto, l'economia non è che un gioco fondato sull'informazione (Hayek 1945), codificabile in una macchina digitale, verrà presto detto, un'informazione che la borsa rappresenta sempre più accuratamente grazie alla libertà della deregolamentazione: l'informazione offertaci dai prezzi è tanto più pertinente quanto la loro formazione non è ostacolata/regolata dall'arbitrio del politico, nonché dalla democrazia politica. Gli automatismi che conducono all'ottimalità economica permettono una governance senza governo democratico (Supiot 2015), vengono gestiti da computer in borsa che elaborano l'informazione, delle pure sequenze di segni alfa-numeriche, senza riferimento a un qualsivoglia valore, né produttivo, né lavorativo, né sociale.

Dopo tanti anni d'abuso dei calcoli, bisogna dapprima esplicitare il quadro teorico, i principi, spesso nascosti, della modellizzazione proposta. Bisogna sottolineare le ipotesi di senso, umano e sociale, implicite in ogni scelta dello strumentario matematico. La complessità del mondo ci obbliga a uno sguardo critico di fronte a ogni modellizzazione. Allora questi strumenti, estremamente

potenti, possono contribuire all'intelligibilità dei fenomeni. Per esempio, non è possibile trasferire i grandi principi di conservazione delle osservabili fisiche, che permettono di calcolare dei percorsi ottimali, a dei processi storici in cui la produzione di diversità e la creazione di novità sono al centro di queste dinamiche: i processi evolutivi e la storia umana rompono queste simmetrie che fondano i principi di conservazione fisici, poiché si svolgono in un tempo storico che modifica lo spazio di possibilità (Longo 2017, Montévil 2020). L'ottimalità perde allora il proprio senso: in quale spazio la potremmo definire, se quest'ultimo cambia nella costruzione stessa del percorso, evolutivo, storico? Ogni traiettoria filogenetica, ogni organismo, co-costituisce le proprie nicchie, il proprio ecosistema.

### 3 – La macchina, il mondo e «l'epidemia delle epidemie»

A partire dalle scienze della natura e dalle loro matematiche, in particolare fisiche, abbiamo dunque costruito delle forme di analisi e di gestione economica e sociale, se non politica, che hanno ricadute, al giorno d'oggi, sul nostro sguardo e la nostra azione sulla natura. Da una parte, la spontaneità delle dinamiche uomo/economia/natura sceglierebbe i migliori percorsi possibili; dall'altra, il vivente stesso non sarebbe che una macchina regolabile a piacimento, programmabile dal suo DNA, in serbatoi materiali e biologici senza limiti. A quel punto sarebbe sufficiente aggiungere alla presunta ottimalità fisica, biologica ed economica, il talento combinatorio chimico e la volontà umana, coscientemente tesa al miglioramento senza limiti della natura – dal “*gene-editing*” al “*gain-of-function*” presso i virus e i batteri, al mais, alle mucche transgeniche fino all'uomo del transumanesimo.

È così che il programma genetico, immagine meccanica del vivente («meccanismo cartesiano ... algebra booleana, come in un computer», Monod 1971) permette di considerare il governo delle piante e degli animali manipolandone il DNA (gli OGM, discendenti diretti del Dogma Centrale della Biologia Molecolare), ossia di controllare meccanicamente ogni azione sulla natura e la natura stessa con le sue “risorse” del vivente, energetiche e materiali. In agricoltura, il calo della biodiversità, dovuto agli OGM, il danno all'humus il cui microbioma è massacrato, sono già evidenze massicce (Hilbeck et al. 2012), (Lohn et al. 2020) - lo slogan commerciale “risolveremo il problema della fame nel mondo” con cui gli OGM vennero “piazzati”, è oggi pudicamente taciuto.

L'economia, la natura e le loro interfacce vengono viste e regolate per analogia con la fisica matematica così come dal fantasma di un digitale che amplifica il proprio successo pratico grazie anche al ruolo che entrambi ricoprono nella gestione economica. In particolare, se la borsa dirige l'economia attraverso metodi digitali, come gli algoritmi di “*fast trading*”, i metodi stocastici e i Big Data, si instaura un'egemonia culturale che sembra poter offrire la possibilità di una regolazione simile dei nostri rapporti sociali e del nostro rapporto con la natura subordinandoli, anche nell'analisi, ai metodi dominanti in economia. Certamente si tratta di un fenomeno che ritroviamo nella storia, ma mai con la forza e l'universalità accessibili al giorno d'oggi a causa della contingenza storica delle reti d'informazione digitali che ci illudono di un'onniscienza (la disponibilità universale dei dati) e uniformano il pensiero per mezzo di un “campo medio” in cui tutto diventa grigio.

È difficile allora vedere l'importanza della diversità evolutiva nel vivente, una dinamica di vincoli che modifica lo spazio di possibilità (gli “a priori” della fisica matematica) e rende inapplicabile l'ottimalità fisica e ancor meno la sua codifica digitale. Ma anche la resilienza plastica del vivente, le sfumature, “la nerezza segreta del latte”, vengono mal colte dal digitale, così come il caso funzionale dell'evoluzione, la sua imprevedibilità intrinseca. È all'incirca da trent'anni che epidemiologi e microbiologi ci allertano riguardo una crescente “epidemia delle epidemie”, avente per causa principale le nuove interfaccia uomo/ecosistema (allevamenti intensivi che fanno seguito alle deforestazioni) e la diminuzione della biodiversità (Morand, Foguié 2015), di cui i diversi *clusters* circoscrivono gli spazi microbici. Ora, l'evoluzione biologica imprevedibile dei vincoli

dell'interfaccia uomo-ecosistema e all'interno degli ecosistemi non possono essere compresi da – né compatibili con – una visione meccanica del mondo, retta da metodi *uniformi* d'ottimalità *locale*. Lo scientismo, dunque, ci impedisce di vedere i limiti del calcolo fisico-matematico e della sua codifica digitale; al contrario, li proietta sul mondo, li identifica con il mondo.

Ecco la nuova alleanza contro la quale ci ribelliamo. Da una parte, in rapporto alla biosfera: la storicità delle correlazioni globali dell'evoluzione biologica viene rimossa e rimpiazzata da metodi matematici di ottimalità locale di un valore finanziario, attraverso gradienti puramente numerici; come se non bastasse, il DNA, codice alfa-numerico del vivente, giustifica questo gioco combinatorio senza senso sulla natura: mediante il *gene-editing* e il *gene-driving*, dicevamo, si dirige il vivente verso il migliore dei mondi. D'altra parte, le reti digitali globali, gestite da oligopoli, distruggono la strutturazione locale della costruzione politica ed etica. Le differenti forme dell'agorà hanno sempre una località, uno spazio ben delimitato di costruzione delle nostre vite associate, ancorata su relazioni umane al centro della socialità, del progetto comune, della decisione comune. Queste reti, quando vengono proposte come immagine del mondo e come strumenti per la governance del mondo, disperdono, diluiscono e uniformano le individualità, devastano la diversità e la località degli ecosistemi così come le aggregazioni locali degli umani, significanti e ricche di storia. Distruggono le forme sociali dell'interazione diretta e immediata, prossima, primo luogo della costruzione dei rapporti tra gli umani e la natura, aprono ad un'epoca di "passioni tristi" (Benasayag, Schmit 2007).

Sulle reti globali, tutti gli agenti diventano grigi, uniformi. La perdita di senso rende le geodetiche di una "meteorologia delle dinamiche sociali" calcolabili, rendendo gli umani delle gocce d'acqua trascinate dai venti che seguono dei percorsi fisicamente ottimali, senza etica, senza valore e senza senso. Le reti digitali possono essere e sono state, in determinati momenti, l'occasione per arricchire la diversità dell'umano mettendo in contatto mondi locali con altri mondi lontani. Quando passano nelle mani degli oligopoli mondiali, il campo diventa globale e inerziale, come in fisica, segue delle statistiche, e il controllo esercitato negli spazi propri del rapporto con l'ecosistema e della democrazia – sempre specifici e diversi al loro interno e tra loro, costituendosi in uno spazio controllabile a portata dell'umano – si dissolve. È allora che la *governance*, un automatismo che mira all'ottimalità cibernetica, rimpiazza il *governo*, in quanto applicazione della legge e di un progetto comune, discussi nell'agorà (Supiot 2015). Il potere passa nelle mani di coloro che scelgono le osservabili quantitative da misurare, così come la politica e l'etica, sempre implicite, in ogni caso presentate come oggettive, sole possibili: una volta fornite regole che si pretendono oggettive, ma che, al contrario, sono il risultato di scelte soggettive e politiche, la governance potenzialmente meccanizzabile può fare a meno della democrazia e del suo governo. E così, le forme della governance digitale della natura e dell'uomo si alleano, grazie a una medesima macchina e alle sue reti, a uno scientismo che ne fa un'immagine e uno strumento di controllo del mondo.

Esploriamo allora un percorso che propone un'altra immagine del mondo, radicata nella presenza materiale dei corpi negli spazi di interazione tra l'uomo e la natura. Poiché, quando il calcolo e la macchina, strumenti per il pensiero, diventano l'immagine del mondo e lo strumento della sua governance, non inventiamo più nuovi strumenti e non vediamo più il mondo.

#### **4. Fare il cielo e le montagne. La natura nella pittura: una pista per immaginare il mondo e le sue relazioni, uno strumento per reinventare lo spazio.**

«La teorizzazione, per me, è legata alla possibilità di immergere il reale in un virtuale immaginario, dotato di proprietà generative», scrive René Thom riferendosi al pensiero fisico-matematico (Thom 1993, p. 91). Dacché e in quanto dipinge, l'uomo non cessa di reinventare il mondo. Di fatto, la pittura è una teorizzazione del mondo che genera nuovi mondi.

#### 4.1 Corpi che costruiscono lo spazio.

Lasciamo da parte i pretesi realismi. Ogni epoca s'interessa al reale, ogni arte prende posizione rispetto ad esso, ma la categoria di realismo non ha alcun valore in arte. Consideriamo, per esempio, la prospettiva lineare praticata e teorizzata nel Rinascimento. Si tratta di un sistema di rappresentazione, stabilito su una convenzione matematica relativamente semplice, che si è imposto negli ultimi cinquecento anni, da Masaccio fino a Monet (dunque, più o meno dal 1400 al 1900). Ma cinquecento anni, mezzo millennio, sulla scala umana, e perfino sulla scala dell'arte, non è così tanto. Il sistema egizio, che considera lo stesso oggetto da molteplici punti di vista, così amato dai cubisti (la silhouette con le gambe e il viso di profilo, il torso e l'occhio frontali), rimase invariato più o meno per 2000 anni. Finché l'Impero prosperava, il produttore d'immagine, chiamato a giusto titolo "colui che mantiene vivente", era incaricato di rappresentare, attraverso la scultura o la pittura, l'effigie del morto e, rispettando i canoni di un'esperienza ancestrale, continuava a manifestarsi. Sarà Akhenaton a infrangere i codici – e da allora, sul piano politico, le sue scelte condurranno alla prima e autentica crisi del Nuovo Impero. Per quanto riguarda la prospettiva rinascimentale, essa sarà abbandonata a vantaggio di nuovi sistemi, all'alba della Prima Guerra mondiale, quando il mondo dovette affrontare i prodromi di una crisi senza precedenti.

Quali sono le caratteristiche di questa "costruzione legittima", così come viene definita dai pittori e dai teorici del XV secolo?

Prima di Brunelleschi, Alberti, Masaccio, prima del 1420 dunque, lo spazio è la somma dei corpi che lo costituiscono. In scienza, come in pittura. È grazie alla presenza dei corpi e della loro massa che Giotto rivoluziona, nel 1300, l'arte della pittura. Osserviamo un suo affresco per la Cappella degli Scrovegni di Padova: gli angeli si disperano nel cielo poiché Cristo è stato appena deposto dalla croce.





Giotto di Bondone, *Compianto sul Cristo morto*, 1305, affresco, dettaglio e insieme, Padova, Cappella degli Scrovegni

Al centro della scena, san Giovanni evangelista distende le braccia, il suo gesto è simile a quello del putto alato che lo sovrasta. Si piega, disperato, verso il corpo di Cristo, l'apertura delle sue braccia designa uno spazio largo, una profondità grande come il suo dolore, e ci invita a fare altrettanto. Il nostro sguardo segue il suo, scende e incontra Maria, altra testimone, poi giunge al viso sereno di Gesù, disteso. Là, il percorso visivo è interrotto dalla sagoma che sorregge la testa del Cristo e che chiude la composizione: macchia di colore chiaro ed estremamente imponente, il suo raccoglimento nel dolore è suggerito dall'invisibilità dei suoi tratti. Figura *repoussoir*, essa permette allo sguardo di circolare all'interno dell'opera, rinviando all'altra donna di schiena, in primo piano e al centro della composizione, figura della sofferenza muta, in adorazione sulle mani del defunto: il dolore è espresso dal volume del suo corpo, peso che la schiaccia al suolo. Maria Maddalena, di profilo, sostiene le gambe tese di Cristo, e partecipa a sua volta a questa costruzione di una spazialità del dolore. In questo dipinto, è la sofferenza degli uomini che costruisce lo spazio, esprimendosi attraverso i loro corpi materiali. Quanto alla montagna, segue il movimento, delimita la scena e partecipa al pathos: guidando lo sguardo da destra verso sinistra, d'alto verso il basso, il piccolo promontorio dipinto dietro ai personaggi partecipa alla caduta. La roccia intensifica lo sguardo di san Giovanni e ci spinge a imitarne il dolore. Essa permette al fedele di concentrarsi, di far convergere le proprie emozioni sulla figura del Cristo sacrificato.

Queste emozioni, questi corpi, questi spazi che ne sono il luogo, ecco l'umano che difendiamo.

#### 4.2 L'uomo in prospettiva.

La prospettiva lineare, teorizzata nel 1435 da Leon Battista Alberti, stravolge la pratica della pittura. Facendo dell'insieme della tavola una struttura unificata e ben articolata in parti (chiamati membri), la prospettiva rinascimentale ha per particolarità di essere costruita a partire da un punto unico e matematico, scelto dal pittore, il punto di fuga. Questo punto è identificato (geometricamente e simbolicamente) all'occhio dello spettatore immobile, rispetto al quale tutto si organizza. La «prospettiva», questa tecnica per «vedere attraverso», permette al pittore di organizzare lo spazio degli uomini e delle cose. La scelta dell'ubicazione del punto di fuga fissa il *punto di vista* dello spettatore, propone/impone uno sguardo, come quello di colui che vede, umilmente dal basso, il san Sebastiano martire di Andrea Mantegna. La linea d'orizzonte al livello dei piedi del santo costringe il fedele a sollevare la testa, obbligandolo a mettersi in adorazione.



Andrea  
Mantegna, *San  
Sebastiano*,  
tempera su tela,  
1506, Venezia,  
Ca' d'Oro.

La devozione religiosa diverrà, allora, una geometria dello spazio? Dio, gli astri e gli uomini trovano in effetti una nuova posizione, organizzata da un punto di vista unificante e *soggettivato*. Siamo ben lontani dagli assoluti dei mosaici bizantini. Nell'invenzione della prospettiva rinascimentale, abbiamo dunque l'invenzione simultanea di una struttura esplicita dello spazio e di un punto di vista che lo rappresenta, e allo stesso tempo una "rivoluzione copernicana" di questo punto, nuovo e *relativizzante*. È la conseguenza di un cambiamento diametrico: lo spettatore non deve più spostarsi secondo una disposizione di luoghi contigui e giustapposti, l'osservatore ormai è questo punto fisso, a partire dal quale si svolge un racconto continuo e unificato. Tale mutazione teologico-pittorica è molto importante, poiché pone diversamente l'uomo nello spazio dell'azione, se non addirittura nell'Universo. Lo spazio fisico aristotelico risulta dalla somma di differenti luoghi, non esiste una struttura globale; esso dà forma a uno spazio pittorico concepito come la somma dei luoghi dell'*historia*. Come detto in precedenza, la più alta espressione di questa idea si trova negli ambienti architettonici di Giotto e dei suoi colleghi del Trecento: "cassette" abitate da attori di differenti storie, spesso indipendenti. Nel Quattrocento, questa (ri-)organizzazione dello spazio, questo nuovo gioco del punto di vista, tecnica parecchio diffusa in Europa, aiuterà Copernico (1473-1543) a "vedere" il sistema solare "dal punto di vista del Sole", nuova "prospettiva" della scienza moderna (van Frassen 1970). L'idea del punto di vista unico e immobile, *scelto*, costituisce un salto teorico, una mutazione epistemologica (Damisch 1993). La pittura pensa lo spazio, fino ad allora imprigionato, della tela come aperto alla narrazione, all'uomo e al suo spazio. Si apre anche al mondo *al di là* della tela, altro aspetto rivoluzionario della prospettiva:

d'ora in poi, la tela conterrà *più del finito*. L'osservatore ha l'impressione, assolutamente nuova, che lo spazio prosegua a destra, a sinistra, in alto e a volte perfino in basso, fuori dal quadro.

#### 4.3 Corpi minerali e rocce animate, l'immaginazione nel Rinascimento, «veicolo vivente» della creazione.

Ma non è tutto. In questa unificazione narrativa, in questa astrazione simbolica che è la prospettiva, il pittore, nel Rinascimento, dà a vedere una concezione particolare del mondo e dell'uomo nel mondo. Vorremmo pensare che vi sia, nell'arte di certi grandi maestri del Quattrocento, una ricerca d'unità del tutto peculiare tra il vivente e l'inerte. In Mantegna, ad esempio.



Andrea Mantegna,  
*Madonna della Vittoria*,  
1496, tempera su tela,  
Parigi, Louvre,  
(dettaglio).



Andrea Mantegna, *Cristo morto*,  
tempera su tela,  
1490, Milano, Pinacoteca di  
Brera.



Andrea Mantegna, *Introduzione del culto di Cibele a Roma*, tempera su tela, 1505-1506, Londra, National Gallery.

Putti in forma di parallelepipedo dal fisico troppo regolare, Cristo morto con la carnagione impietrita, per non parlare del suo ciclo in grisaglia: se la “mineralità” delle figure è un tratto caratteristico dell’opera di Mantegna, che ne è della sua pittura delle rocce? In questo pittore troviamo una vera e propria panopia di formazioni rocciose al servizio della *storia*.

Nell’*Orazione nell’orto*, quella del 1459, tutta la scenografia dell’immagine ha per condizione di possibilità le concrezioni minerali. Su uno sfondo di architetture sovrastanti due picchi rocciosi, un paesaggio collinoso accoglie la preghiera di Gesù. La roccia prende la forma dell’altare al di là del quale possono facilmente “atterrare” i cinque putti che presentano gli strumenti del martire, e Gesù è inginocchiato su un promontorio, proscenio minerale munito di una scala che ne facilita l’accesso.

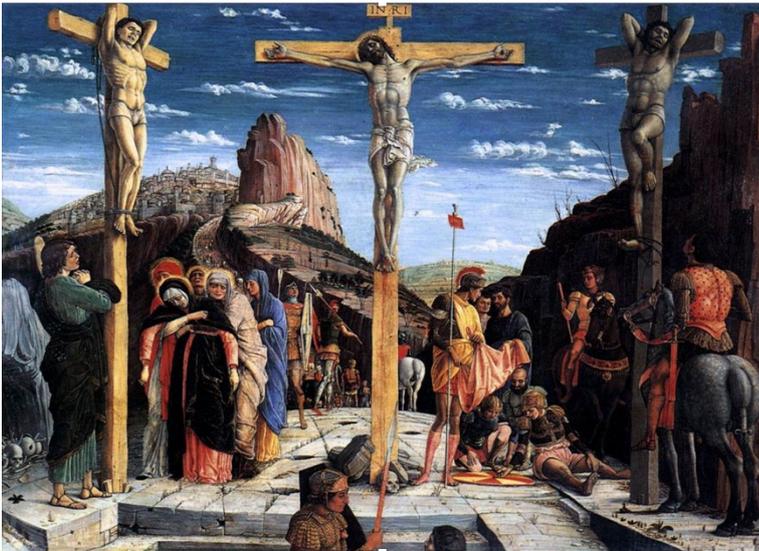


Andrea Mantegna, *Orazione nell’orto*, 1459, tempera su tavola, Londra, National Gallery.

Notiamo che Mantegna ha fatto in modo che questa scala sembri il frutto del caso dell’evoluzione minerale. Non è stata fabbricata. È la roccia stessa ad averla costruita. Anche nell’*Orazione nell’orto* della predella della pala di San Zeno (1450), le rocce costituiscono l’arredamento.



Andrea Mantegna, *Orazione nell’orto*, tempera su tavola, 1450, predella della Pala di San Zeno, Tours, Musée des Beaux Arts.



Andrea Mantegna, *Crocifissione*,  
tempera su tavola, 1457,  
predella della Pala di San Zeno,  
Parigi, Louvre.

Il procedimento è simile nel pannello centrale della predella di San Zeno: le formazioni rocciose nella *Crocifissione* s'innalzano su un paesaggio, pure qui collinoso, e costruiscono lo spazio, l'organizzano grazie alla loro apertura sulla scena in primo piano: il suolo attira l'attenzione in un istante. È introdotto da gradini intagliati nella roccia, sui quali un soldato intercetta un laico (nessun elmo né aureola), forse un fedele (noi). La pietra è intagliata secondo una rete di linee che confondono il ritmo regolare del pavimento in prospettiva. Gli assi sono come creati dalla natura, di cui vediamo che guadagna terreno grazie a timidi fili d'erba che spuntano dalle fessure. Potremmo credere che si tratti di una scacchiera fabbricata in cui la natura si prende gioco di noi distorto la prospettiva grazie a un gioco di linee estranee. Non c'è dubbio, queste pietre appartengono certamente all'ordine del minerale, della materia rocciosa, inerte. Ma la loro forma e funzione d'elementi secondari che contribuiscono al racconto (ciò che Aby Warburg chiamò *parergon*, evocando il drappeggio delle antiche ninfe) ci spinge a vedervi una correlazione tra arte e artefatto, inerte-*parergon* e vivente-organico. Qualora esistesse un referente dell'ordine naturale, esso sarebbe messo al servizio della *storia* alludendo, attraverso un sistema analogico di rinvii, a una *vita dell'inerte* – idea centrale nel pensiero rinascimentale. La presenza del minerale come architettura o roccia spontanea concorre all'intelligibilità della composizione e, in alcune rappresentazioni di concrezioni rocciose, diventano il vettore di un discorso estremamente specifico sul soggetto rappresentato. Oltre alla roccia poggiatesta o alla roccia inginocchiatoio, che già svolgono, attraverso la loro disposizione, la funzione di intensificare il sentimento di elevazione spirituale indotto dalla preghiera, possiamo trovare nella *Crocifissione* un'eco formale tra le figure e la maestosa roccia che serve da collegamento tra la scena principale e la città sullo sfondo.

Nella *Madonna delle Cave*, la questione è un po' più delicata.



Andrea Mantegna, *Madonna delle Cave*, 1489, tempera su tela, Galleria degli Uffizi, Firenze.

In primo luogo, ciò che colpisce in quest'opera è l'ellisse spaziale tra il lato sinistro e il lato destro della rappresentazione. Se a sinistra, delle piccole figure costeggiano un massiccio roccioso estremamente alto, questo stesso massiccio sembra di gran lunga meno imponente mentre si avvicina a Maria. Se non osserviamo che il lato destro della composizione, sembra quasi che esso serva da schienale alla Vergine seduta in primo piano. L'immaginario della natura e dello spazio è costruito intorno a un progetto di devozione mariano. L'assimilazione di ordine simbolico può essere stabilita grazie all'accostamento con il lavoro degli operai delle cave, minuscoli a destra, che intagliano una colonna e ciò che pare essere il coperchio di un sarcofago (strumento della passione, sepolcro di Cristo), l'accostamento spaziale riflette un ruolo importante della roccia. Non solo accoglie il personaggio (trasparenza dell'aureola, stessa illuminazione) ma conferisce alla Madonna una vita che da sola non potrebbe avere. Possiamo scorgervi una sorta di continuazione del concetto albertiano e leonardesco secondo il quale i movimenti del corpo devono esprimere i moti dell'anima – concetto di cui Giotto è, come abbiamo visto, un precursore. In Mantegna, ritroviamo lo stesso motivo dieci anni più tardi nella tavola che rappresenta *Il Trionfo della Virtù*, o *Minerva scaccia i Vizi dal giardino delle Virtù* (si veda più in basso), dipinto per lo studiolo d'Isabella d'Este a Mantova, tra il 1499 e il 1502, conservato oggi presso il Louvre. L'accesso al giardino delle Virtù avviene tramite due passaggi successivi. Il primo è un porticato intagliato in boscaglie imponenti, il secondo un porticato minerale sovrastato da roccia grezza che sembra crescere spontaneamente al di là del porticato artefatto. Questo quadro, peraltro percorso da tutta una rete di elementi naturali antropomorfizzati (non menzioneremo che l'albero-donna a sinistra), conferisce una nuova importanza alla roccia, non più artefatta, costruita, ma vivente di per sé. D'altra parte, questa imponente roccia rossa che si eleva verso il cielo pare leggera come le nuvole, le quali, invece, sono ben compatte e formano vari visi di profilo.



Andrea Mantegna, *Il Trionfo della Virtù, o Minerva scaccia i Vizi dal giardino delle Virtù*, 1499-1500, tempera su tela, Parigi, Louvre.



Andrea Mantegna, *Il Trionfo della Virtù, o Minerva scaccia i Vizi dal giardino delle Virtù*, 1499-1500, tempera su tela, Parigi, Louvre. Dettaglio delle nuvole antropomorfe.

La vita delle rocce e delle nuvole non è un'invenzione dei pittori rinascimentali. Costoro sembrano aver preso come punto di partenza testi antichi, tradotti in latino e commentati all'epoca, in particolare nei circoli eruditi padovani, i quali sostenevano che la Terra è vivente e genera una materia anch'essa vivente. Nel lessico degli autori antichi, la pietra "nasce" dalla Terra. Essa ha, ad esempio in Teofrasto, un genere, e il magnetismo viene descritto in termini d'attrazione amorosa. Le pietre vengono dette gravide laddove risultino cave e contengano un'altra pietra simile a loro. Allo stesso modo vengono impiegati i verbi latini *nascitur*, *gignere*, *procreare* per parlare delle formazioni dei giacimenti, uso incomprensibile se non si tiene a mente il lessico impiegato da Leonardo a proposito dell'attività del pittore-creatore. Lo stesso Leonardo parla, nel suo trattato, dei «*membri dei paesi*», per indicare le rocce, le piante e gli elementi che formano il rilievo. Ma le invenzioni che il Rinascimento propone di queste teorie sono affascinanti. La scuola ferrarese ne farà uno dei tratti caratteristici del suo stile in uno dei cicli di affreschi tra i più originali del Quattrocento, il Salone dei mesi di Palazzo Schifanoia. Quest'opera, realizzata da Cosmè Tura, Francesco del Cossa ed Ercole de' Roberti, mette in scena delle formazioni rocciose al confine incerto tra l'inerte e il vivente: tali affreschi presentano di fatto la crescita, la gemmazione, la fioritura delle rocce.

Nella fascia superiore del mese di aprile, la tematica dell'amore fertile è presente nel tema centrale (*Il Trionfo di Venere*), attraverso la moltiplicazione dei conigli, ma anche grazie alla disposizione, centrale e in fondo, delle rocce concave che contengono ciò che sembra essere una cucciolata di "piccoli" di roccia. La forma rocciosa interagisce con l'artefatto nell'eco formale tra il capitello che corona il semipilastro incassato a sinistra e l'alto promontorio che s'infittisce fino a formare la continuazione della volta del capitello. L'arte mostra dunque la natura nelle sue due

accezioni: in quanto insieme di enti, o *natura naturata*; e in quanto processo di creazione, o *natura naturans*. Ogni cosa è animata, attraversata e connessa da flussi vitali.



Francesco del Cossa e collaboratori, *Il Salone dei Mesi*, affresco, 1476-1487, Ferrara, Palazzo Schifanoia. A destra: dettaglio del mese di Aprile.

## 5. Morfogenesi e perturbazioni: dall'inerte al vivente.

Torniamo all'immaginario scientifico, in particolare riprendendo un "Canone minore" che, come in filosofia, «rivolge la sua attenzione alla natura, allo splendore della sua immanenza assoluta, alla sua incomprensibile e infinitamente intelligente processualità» (Ronchi, 2017). Eludendo il meccanicismo della rivoluzione scientifica, su cui torneremo, tale immaginario tende la mano alla *natura naturans* che abbiamo visto in Mantegna, e che ritroveremo in Leonardo.

### 5.1 Turing e Thom: l'unità dinamica del vivente e dell'inerte

Per il biologo D'Arcy Thompson (1860-1948), le forme del vivente sono analoghe a quelle che si ottengono per deformazioni continue della materia molle, fluida. La sua analisi mette in relazione differenziazioni filogenetiche attraverso dinamiche fisiche: si passa da una specie ad un'altra mediante deformazioni continue.

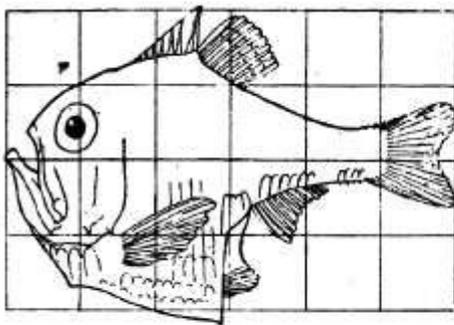


Fig. 517. *Argyropelecus Olfersi*.

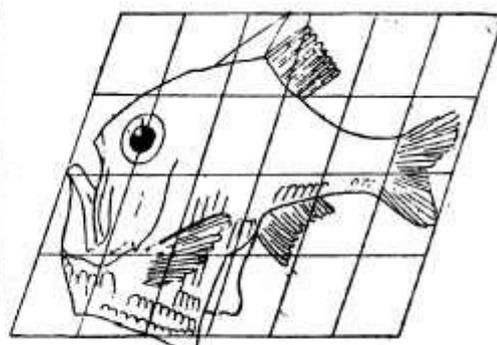


Fig. 518. *Sternopyx diaphana*.

Tratto da D'Arcy Thompson, *On Growth and Form*. Cambridge University Press, 1917.

D'Arcy Thompson vede il vivente come una dinamica di forme, l'evoluzione come un "trasformismo" dinamico, concetto già caro a Goethe. In seguito, egli correla queste dinamiche costitutive a quelle dell'inerte: la forma delle meduse e quella di una goccia di liquido che cade in un fluido viscoso sono le medesime.

Turing, nel suo unico articolo di biologia, cita e si ispira a D'Arcy Thompson (Turing 1952). Questo articolo è un'esplorazione che diverge radicalmente dall'invenzione a cui usualmente è associato, la Logical Computing Machine (LCM): come aveva sottolineato in (Turing 1950), l'universo fisico certamente non è a stati discreti, diversamente dalla sua macchina digitale. Così, nel 1952, propone un sistema di equazioni nel continuo che modella un processo di azione-reazione-diffusione puramente fisico-chimico. In seguito a una lieve perturbazione iniziale di un ambiente omogeneo, il processo genera spontaneamente onde, a volte regolari e a volte irregolari, che si propagano e danno luogo a forme. Ne deduce che tali strutturazioni/deformazioni continue dell'inerte giustificano, matematicamente, la formazione, ad esempio, delle macchie o delle strisce colorate sulle pellicce degli animali, e ipotizza che la sua analisi possa essere applicata alla formazione dei «tentacles of (e.g.) Hydra, and the whorls of leaves of certain plants such as Woodruff (*Asperula odorata*)». Dunque, da una parte, nel 1936 Turing aveva posto i fondamenti matematici della macchina programmabile a stati discreti che cambierà il mondo, la LCM, dall'altra esaminava una dinamica di forme materiali, *spontanea*, si direbbe in fisica, che non ha alcun bisogno di un "programma" per essere generata. Non solo, egli – che aveva inventato la nozione di programma informatico – suggerisce che il suo modello matematico "falsifichi" (Turing 1952, p. 1) la necessità di un progetto a priori, di un programma, per produrre tali forme regolari (cfr. Longo 2018).

Più precisamente, la dinamica delle "forme di Turing" ha origine in una fluttuazione al di sotto dell'osservabile e, nel caso non lineare, è determinata da una dinamica instabile – "catastrofica", scrive – dalle evoluzioni imprevedibili. Poincaré (1854-1912) aveva aperto la strada a questa geometria dei sistemi dinamici non lineari, nel continuo, che rompe il legame tra determinismo e prevedibilità. È contro tutta questa storia che alcuni, in una delle riprese più estreme del meccanicismo contemporaneo, giungono perfino a sostenere che «le leggi della natura sono degli algoritmi»<sup>2</sup>, ossia dei programmi, dunque che una pietra cade poiché è programmata per cadere – una sorta di "virtù precipitativa" intrinseca, inscritta, aggiungeremmo, nel DNA di ogni pietra. Con Einstein, piuttosto, si sostiene che una pietra cade per "ragioni di simmetria", poiché la gravitazione è un movimento inerziale dentro spazi curvi e l'inerzia è la conservazione della quantità di moto, dunque una simmetria nelle equazioni (teoremi di Noether (Kosman-Schwarback 2010)). Se una pietra cade in uno stagno e provoca delle onde, quest'ultime sono dovute alla conservazione/trasmissione dell'energia/impulso, una simmetria matematica, che ne giustifica *anche* le simmetrie morfologiche. Questo è lo sguardo della fisica contemporanea su tali processi, nulla a che vedere con la caduta programmata di una pietra virtuale, cambiamento di stato di pixel, uno dopo l'altro, sullo schermo di un computer. Turing, distinguendo tra "imitazione" (di una donna attraverso la sua macchina, in un dialogo mediante telescrivente) e "modello" (di una dinamica di forme, mediante equazioni differenziali, cfr. Longo 2018), di certo non incorre in tale confusione – sulla quale torneremo.

Anche René Thom (1923-2002) recupera le analisi di D'Arcy Thompson e ne ricava delle matematiche estremamente originali: la sua *teoria generale delle forme* è un'analisi delle invarianti (di ciò che è "topologicamente stabile") in rapporto a delle trasformazioni (tecnicamente: un gruppo di trasformazioni che agisce su uno spazio topologico). Vi riconosciamo la trasformazione/deformazione topologica che permette di passare da una specie di pesce a un'altra nell'immagine di

<sup>2</sup> Cfr. (Wolfram 2013), che osa scrivere tale affermazione in un volume in onore di Turing, spiegando, nel seguito, che Turing ... non ha ben compreso come vanno le cose. Turing invece aveva capito bene come andavano le cose, per questo pensava il contrario (cfr. Longo 2018).

D'Arcy Thompson. La natura, inerte e vivente, è una dinamica di questi cambiamenti di forme: questa è la sua unità. Non c'è alcun bisogno di software: Thom critica ferocemente la biologia molecolare dell'alfabeto e del programma genetico.

Come in Mantegna e nella scuola ferrarese, è difficile dire se questi approcci rendano vitale l'inerte o se il vivente si riduca a un inerte, plastico a seconda dei bisogni. In ogni caso, ecco una *natura naturans* animata da flussi, un materiale senza software che si deforma in un continuo spaziale di dimensioni pertinenti e molto rilevanti, non meccanico, ancor meno digitale.

In (Thom 1972) ritroviamo delle componenti essenziali dell'organicità biologica: la corporeità materiale in uno spazio di dimensioni appropriate all'azione animale, lontano da ogni codifica unidimensionale, da ogni dualismo software/hardware, estremamente anti-meccanicista, poiché ogni meccanica richiede la sovrapposizione di componenti semplici e rigide, molto differenti dall'unità a priori sulla quale si applicano le deformazioni, gli strappi e le torsioni, le transizioni critiche e le singolarità (le "catastrofi") al centro dell'analisi di Thom.

Ma bisogna andar più lontano nell'apprezzare questa unità non meccanica della materia, inerte e vivente, per andare verso una scienza di quest'ultima, dello stato vivente della materia. Ci giungeremo gradualmente, passando attraverso delle turbolenze.

## 5.2 Leonardo

L'attenzione ai flussi, al ritmo che tiene assieme tutto il creato (mediante Dio, mediante il pittore) è una delle caratteristiche essenziali dell'arte di Leonardo da Vinci. Nessuna magia, ma una visione del mondo in movimento, che non è statica, che non è *già là, già data*.

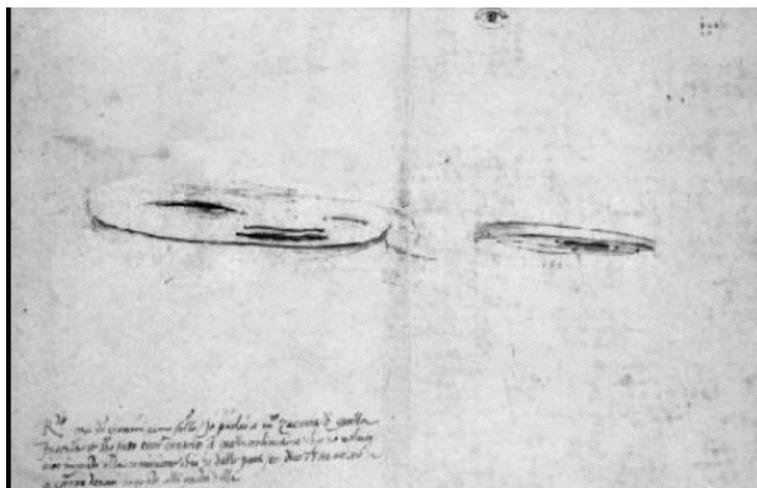


Leonardo da Vinci, *Studio di cavalli per la "Battaglia di Anghiari"*, circa 1503-1504, gesso rosso, biacca e inchiostro su carta, 19,6 x 30,8 cm. Windsor Castle, Royal Library, RL 12326.

Se in D'Arcy Thompson, all'interno di ecosistemi vicini, le deformazioni continue permettono di passare da una specie all'altra, in questo schizzo preparatorio per la *Battaglia di Anghiari*, Leonardo esamina la deformazione che correla tre specie (cavallo, leone, uomo) condividendo la stessa rabbia nel combattimento. Come riesce, Leonardo, a rendere, nell'atto grafico, la similitudine tra il leone ruggente e l'uomo? Soffermiamoci un istante sulla parte inferiore del foglio: vi è un uomo, il suo busto è frontale e ruota precipitosamente la testa verso sinistra, verso un aggressore o una minaccia. La violenza della sua espressione gli irrigidisce i muscoli, gli stessi di un cavallo che nitrisce. Al di sopra della testa dell'uomo, un leone si abbandona alla stessa furia bestiale. La sua mandibola inferiore fa tutt'uno con la ciocca di capelli del guerriero. Questo disegno, in un piccolissimo dettaglio, manifesta l'analogia e la trasformazione tra l'animale e l'umano, pensata ed espressa nel continuo del tratto. La «*bestialissima pazzia*», termini di Leonardo, possiede l'uomo in combattimento e lo assimila alla bestia. Leonardo mette in forma attraverso il tratto la somiglianza del sentimento del furore che invade l'animale, e mostra attraverso i movimenti del corpo i "moti

dell'anima". Questa idea era già stata proposta da Leon Battista Alberti nei consigli che forniva al pittore. Leonardo li ha fatti propri in maniera originale.

Inoltre, pare che Leonardo sia l'inventore dell'anamorfosi. In tale tecnica non è il pensiero analogico a imporre la deformazione, bensì il punto di vista. Un'anamorfosi è il disegno di un oggetto deformato grazie all'imposizione di un punto di vista che non è frontale rispetto al supporto: è altrove, e lo spettatore è invitato/obbligato a muoversi per trovare il punto unico in cui l'immagine si ricomporrà. Nella prospettiva lineare, la figura è assoggettata al punto di vista, mentre nell'anamorfosi, essa risulta deformata poiché lo spettatore non occupa il posto giusto, deve spostarsi finché non individua il punto di vista desiderato dalla figura, la quale, solo allora, avrà senso.



*Studio di anamorfosi, Codex Atlanticus, fol. 35 v. Milano, Biblioteca Ambrosiana*

Nella deformazione di questo viso, Leonardo va dunque più lontano di D'Arcy Thompson. La deformazione non è semplicemente nel o dello spazio della figura, spesso di un piano; l'anamorfosi di Leonardo richiede uno spostamento dello spettatore nella terza dimensione, ossia un movimento relativo dei due: l'immagine e l'occhio che guarda. Per Leonardo, l'osservatore e il visibile devono essere pensati in maniera solidale, e, contro Alberti, pensa che le condizioni fisiologiche e il movimento dell'osservatore riguardino il pittore (Arasse 1997, trad it. 2019 p. 85).

L'atto grafico, il disegno, per Leonardo, ha la funzione di catturare e realizzare un moto perpetuo. Di fatto, ciò che vuole cogliere è *il ritmo del mondo*, secondo una concezione dinamica della natura. Ciocche di capelli, vortici d'acqua, cavalli impauriti da Nettuno... la forma che Leonardo dà a questi soggetti è la medesima, il disegno sembra così staccarsi dalla classificazione dell'oggetto. Detto altrimenti, Leonardo coglie delle "invarianti" di queste strutture e del loro movimento; i suoi gesti grafici producono ciò che tra di esse vi è in comune. Dirà che i suoi soggetti, che si tratti di turbolenze dell'acqua o dell'aria, dei capelli di una donna, dei movimenti di una pianta, sebbene differenti a livello strutturale, sono analoghi, poiché, *per disegnarli, ha dovuto compiere gli stessi gesti*: esiste «una corrispondenza tra la plasticità del movimento nella natura e il movimento della mano che disegna» (Rosand 1993, p. 44).

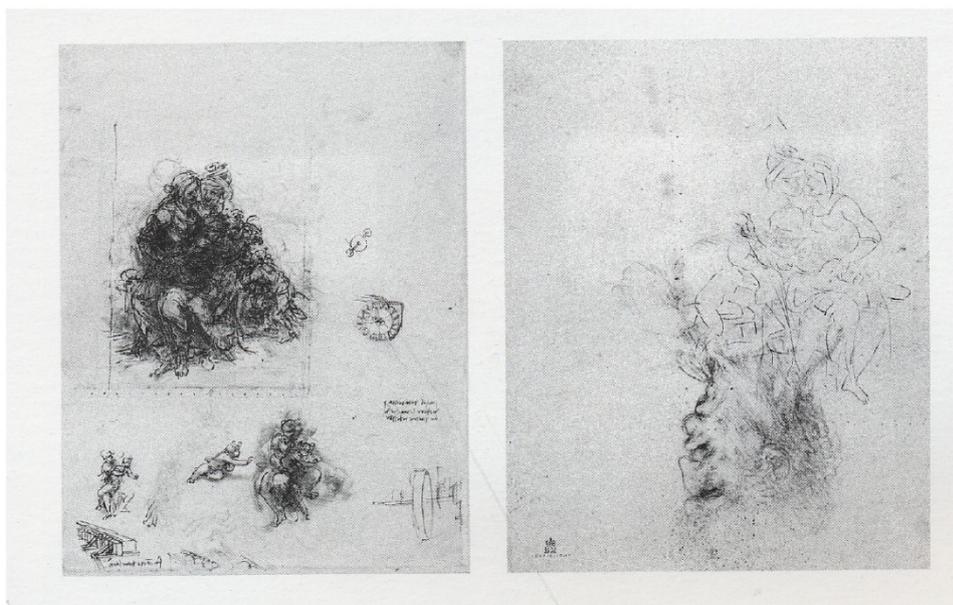


Leonardo da Vinci, *Studio di diluvio*, ca. 1517-1518, gessetto nero. Castello di Windsor, Royal Library. RL 12384.



Leonardo da Vinci, *Studi sull'acqua*, 1507-1509, penna e inchiostro, Windsor Castle, Royal Library, RL12660v.

Ecco come Daniel Arasse osserva il lavoro della linea negli schizzi preparatori per *Sant'Anna*: «Passando e ripassando negli stessi punti, esplorando le potenzialità del suo gesto alla ricerca della forma correttamente ritmata, la mano di Leonardo ha finito per produrre una macchia illeggibile; in questo caos in cui non si distingue più nulla – ma in cui il suo sguardo aveva percepito, nel movimento della mano, la forma cercata, nascosta, latente, in tensione verso la figura – Leonardo ha segnato quest'ultima con lo stilo e, voltato il foglio, l'ha resa visibile con un tratto netto» (Arasse 1997, trad. it. 2019, p. 225).



Leonardo da Vinci, *Studio per Sant'Anna, la Vergine e il Bambino*, penna e inchiostro scuro, 26,7 x 20,1 cm. Londra, British Museum. *Recto et verso*.

«Leonardo cerca *le forme attraverso la loro formazione*; e la forma così ottenuta deve conservare questa dinamica originaria per trasmetterne il sentimento» ... il movimento è il principio originario di ogni cosa e «il movimento, la sua osservazione, la sua interpretazione matematica, la sua realizzazione tecnica, la sua riproduzione artistica si ritrovano in tutta la sua opera, come suo “motore primo”» (Arasse 1997, trad. it. 2019, pp. 16-17). Per Leonardo, dunque, l'azione della matita è il prolungamento dell'atto visivo, in grado di cogliere non solo la forma, ma il suo divenire, il suo movimento. Il disegno e l'azione vorticoso sul foglio riproducono lo slancio della natura e del mondo, per realizzarne «le energie attraverso registrazione metodica e ravvicinata», a costo di rendere il soggetto del disegno irriconoscibile. Da là nasce il *componimento inculto* : «... un aspetto essenziale dell'arte di Leonardo consiste nel voler far sentire, in accordo con ciò che percepisce del mondo, la “formazione sotto la forma”» (Chastel 1959, p.19).

Il disegno non deve riprodurre la forma, lo schema dell'oggetto, ma ricrearne lo spirito vitale. Nessun contorno, il ritmo della mano che percorre il foglio risponde al ritmo della natura in movimento.

Ecco, quindi, un immaginario scientifico: l'acquisizione delle forme tramite la loro formazione, grazie all'osservazione, all'interpretazione matematica, la loro realizzazione tecnica, sostiene Arasse. La matematica e la geometria stesse sono date dal “movimento”. Per Alberti, la linea è costituita da una infinità di punti: no, risponde Leonardo, una linea è il movimento di un punto e il piano la traslazione di una linea. Siamo così lontani dalle linee composte da un numero finito di pixel, dal movimento che è un cambiamento di stato, da 0 a 1, dai pixel programmati per accendersi e spegnersi in sequenza su uno schermo – caricatura digitale del movimento, prima immagine per tanti bambini immobili cresciuti di fronte a uno schermo<sup>3</sup>.

Ma Leonardo l'aveva ben compreso: ciò che la macchina non ha, è il sentimento – non la considera in nessun caso vivente. Ancor più nettamente: la concezione di una macchina, per Leonardo la sua rappresentazione disegnata, non ha nulla a che vedere con l'inerte turbolente dei

<sup>3</sup> Per Poincaré, citato da (Berthoz 1997), valutare la distanza di un oggetto è immaginare l'azione necessaria per raggiungerlo; diversamente, scrive Poincaré, un essere immobile può considerare il movimento un cambiamento di stato. Questi bimbi immobili davanti a un tablet, che imparano a vedere il movimento di oggetti irraggiungibili descritto da cambiamenti di stato dei pixel sullo schermo impenetrabile, non apprendono a valutare la profondità dello spazio, a fare il gesto per raggiungerli, e sviluppano delle sindromi autistiche a livello motorio (Marcelli D., Bossière M.C., Ducanda A.L. 2018). Non acquisiscono il “senso del movimento” (Berthoz 1997).

suoi schizzi, un inerte che si sovrappone al vivente, che diventa vivente. Ed è per questo che non può essere disegnata nella stessa maniera. Perciò i suoi disegni tecnici sono analitici, rendono conto di una composizione lineare, per sovrapposizione del semplice, peculiare nella costruzione delle macchine. Il disegno è analitico, tecnico, non unitario e complesso. Ed è a partire dai principi della meccanica che Leonardo inventa il disegno tecnico. Di fatto, è il primo a concepire degli artefatti a partire da principi, e non solo sulla base di una pratica artigianale. E tali principi si trovano nei suoi disegni, composizione complessa dell'elementare.

Esiste una ragione per la quale i suoi schizzi preparatori ai dipinti mostrano un approccio al lavoro grafico completamente diverso, opposto a quello dei suoi disegni di macchine: nelle migliaia di disegni conservati nei quattro angoli del mondo, dai fogli sparsi nei codex al cartone per la *Sant'Anna* di Londra, la forma nasce dall'informe, dal caos grafico, dicevamo. L'informe è, nel pensiero di Leonardo, all'origine di ogni elemento non meccanico, non importa se vivente o inerte, purché naturale (meteorologico o geologico). Il mondo e le sue relazioni sono immaginate (messe in immagine) dall'uomo del Rinascimento nella loro complessità informe e primordiale, emergono da essa.

### 5.3 Prigogine e Kauffmann: ordine dal caos

Un vortice, un ciclone, le forme che Leonardo fa emergere dal suo «componimento inculto», sono delle *strutture dissipative* (dissipano energia), lontane dall'equilibrio – il che significa che sono “aperte” e percorse da un flusso di energia/materia. Sono strutture *ordinate, organizzate*, che emergono, diciamo appunto oggi, a partire da un disordine instabile dell'acqua, dell'aria, di un fluido, quando delle forze convettive, dovute a una differenza di temperatura o un gradiente di altra natura, inducono un flusso tra due zone di valore differenti dell'osservabile pertinente: il loro movimento a spirale, ad esempio, è ordinato rispetto (e intorno) al disordine precedente. Noi scriviamo delle equazioni, tipicamente di flusso, che modellizzano l'emergenza di queste strutture – Leonardo le rende visibili.

Tecnicamente, il processo di emergenza è l'*autorganizzazione* di un flusso di energia e/o di materia; nell'atmosfera, ad esempio, queste forme dissipano molto rapidamente una enorme quantità di energia. Perché occuparsi di questi fenomeni effimeri, rari, marginali, che interesse possono avere rispetto ai grandi quadri teorici di riferimento costituiti dalle teorie fisiche dell'equilibrio o prossime all'equilibrio? Questa è la domanda che fa nel 1946 un illustre fisico, scettico, al giovane Ilya Prigogine (1917-2003). Ma dagli anni 1970, le teorie dell'autorganizzazione divennero una nuova disciplina a cavallo tra fisica, chimica e biologia, fortemente minoritaria nonostante Prigogine avesse ricevuto il premio Nobel per la chimica nel 1977.

Da un punto di vista termodinamico, osserviamo dei fenomeni autorganizzati in presenza di uno stato di attività disordinata soggiacente, ad esempio il moto browniano delle particelle d'aria, d'acqua, o differenti fluidi, bruscamente trascinate in un flusso, dovuto, dicevamo, a una differenza di temperatura, a un gradiente o a un catalizzatore chimici<sup>4</sup>. Per (Glansdorff, Prigogine 1971), il principio fondamentale che unifica l'evoluzione fisica e biologica è un principio autorganizzativo spontaneo a partire dall'*instabilità dell'omogeneo disordinato*. L'inerte si sovrappone dunque al vivente e l'autorganizzazione costituirebbe l'origine della vita, della transizione dall'inerte al vivente.

Stuart Kauffman e molti altri autori riprendono questo tema. Ricordiamo (Kauffman 1993), in cui, a partire dall'auto-assemblamento di reazioni chimiche (gli insiemi auto-catalitici), vengono descritte differenti forme di autorganizzazione come scenari possibili per l'origine della vita. Il

<sup>4</sup> La scoperta di Belousov nel 1951 della formazione spontanea di forme e onde regolari in una soluzione instabile di reagenti chimici non fu creduta, sebbene potesse essere ripetuta in qualsiasi laboratorio. L'esperienza e l'interesse del fenomeno furono riconosciuti solo negli anni '70, dopo il lavoro di Zhabotinsky (Winfree 1984).

processo si basa su dei fenomeni collettivi, delle dinamiche di reti, lontane dall'equilibrio, fortemente dissipativi ed è essenziale, inoltre, alla conservazione della vita. L'obiettivo è di oltrepassare ogni frontiera tra inerte e vivente (Luisi 2006). Kauffman sottolinea la persistenza di una instabilità propria del vivente, sempre sull'«orlo del caos» («the edge of chaos»). Proviamo a pensare tale instabilità negli sfondi dei capolavori di Leonardo: la *Vergine delle rocce*, *Sant'Anna*, la *Gioconda*... in queste composizioni le figure si stagliano da un paesaggio fuori dal tempo, primordiale, tormentato, che così tanto ha turbato gli storici dell'arte per via del suo carattere enigmatico. Il caos dietro la storia umana è quello, ad esempio, che provoca il tumulto affascinante dell'*Adorazione dei magi* conservata nella Galleria degli Uffizi.



Leonardo da Vinci, *Adorazione dei Magi*, olio su tavola, Firenze, Galleria degli Uffizi, 1481.

## 6. Ripresa e uscita dal meccanicismo

La rivoluzione scientifica si è smarcata dalla visione dell'immanenza del divino nel mondo, caratteristica del XV e del XVI secolo. È così che la meccanicità della natura, compresa quella del vivente, è nettamente separata da Dio e dall'anima. Non vi è più un movimento unificante tra l'inerte e il vivente, le turbolenze non sono più un oggetto di interesse scientifico; le regolarità geometriche della meccanica celeste e delle macchine per misurare il tempo, per sollevare l'acqua o agire sulla natura sono al centro dell'attenzione. Lo stesso Galileo, grande umanista, è molto attento alla diversità della natura e ai cambiamenti, in particolare nel vivente, ma il Canone maggiore non ricorderà questo aspetto del pensiero di Galileo, focalizzandosi solo sulla meccanica. Tuttavia, Galileo non presta di certo più l'attenzione di Leonardo alle turbolenze, uragani e tumulti dei cieli e delle acque: come Keplero, cerca nei cieli e nella natura le forme esatte della geometria greca. Così, nei *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, intorno a due nuove scienze* (1638), si interessa da vicino ai rapporti di scala e delle masse, pensa ai modellini di navi nei cantieri veneziani, ma

accenna anche agli organismi viventi, le variazioni delle sezioni e dello spessore delle ossa in relazione al volume. Una stupenda invenzione, l'*allometria*, ma che rimane uno sguardo su una componente meccanica del vivente, come l'anatomia e l'analisi raffinata dello scheletro, delle pompe e dei circuiti idraulici, i salassi, al centro delle pratiche degli iatromeccanici cartesiani. Del resto, come è risaputo, per Descartes il corpo animale è una macchina<sup>5</sup>. Di fatto, per Descartes, così come per Keplero, l'universo intero è l'assemblaggio di componenti elementari e semplici, come ogni macchina, ingranaggi che permettono il movimento. È così che, come teorizzato da Francis Bacon, noi dobbiamo «*drive nature as a machine through action*», frase citata da un pioniere delle biotecnologie (Hartley 1937).

## 6.1 Il complesso come sovrapposizione lineare del semplice e al di là

La controparte matematica di questo gioco della sovrapposizione del semplice per descrivere il complesso verrà sviluppato da Laplace e Fourier, tra il XVIII e il XIX secolo: per loro, ogni sistema sensato di equazioni, dunque ogni dinamica fisica deterministica, può essere approssimato in maniera lineare – passo a passo, nulla sfugge alla composizione meccanica (Marinucci 2011). Poincaré, alla fine del XIX secolo, infrange questo mito che unisce matematica e macchine e basato sull'idea di composizionalità progressiva. Come detto in precedenza, la geometria dei sistemi dinamici non lineari di Poincaré, è stata inventata a partire da un risultato negativo: la presenza di imprevedibilità, dunque dell'aleatorio – del caos, si dirà cent'anni più tardi –, in semplici sistemi deterministici (determinati da qualche equazione, tre corpi all'interno dei loro campi gravitazionali – tre sono sufficienti per produrre una nuova unità, non decomponibile analiticamente). Negli stessi anni, gli spazi che si curvano per le deformazioni gravitazionali delle geometrie riemanniane, non euclidee, apriranno la strada a una nuova fisica dello spazio e del tempo, la Relatività.

Perciò, ci volle del tempo affinché una visione dinamica, “processuale”, del mondo, questo “Canone minore”, riaffiorasse in fisica. Ma, verso la metà del XX secolo, si è ripiombati nel meccanicismo del computer intelligente e nella biologia della combinatoria finita delle lettere della genomica dominante.

Chiaramente, non c'è niente di meglio di un computer moderno per vedere, su uno schermo, la turbolenza più impetuosa, e Leonardo ne sarebbe rimasto affascinato. La fisica computazionale è diventata una scienza estremamente importante e utile: le sue applicazioni in meteorologia, in idrodinamica, ecc. sono innumerevoli. Ma bisogna sempre distinguere. Si proponga a un giovane fisico computazionale, che abbia implementato le soluzioni delle equazioni di flusso in un programma e che si trovi di fronte a una magnifica turbolenza sullo schermo, di premere “restart” ... la turbolenza si svolgerà in maniera perfettamente identica. Il che non ha alcun senso fisico. La macchina a stati discreti itera l'identico, è il suo mestiere. Guai a noi se un programma, lanciato e rilanciato, non facesse la stessa cosa, indefinitamente. Ma guai a voi se, in un casinò, la pallina della roulette si fermasse numerose volte di seguito sulla stessa cifra! L'aleatorio computazionale, nella macchina isolata, non esiste, essa itera identicamente (Calude, Longo 2016). Perfino in rete, riusciamo a far funzionare i computer correttamente, vale a dire iterare in maniera identica gli stessi protocolli di scambio, di interazione. Il lavoro difficile degli informatici delle reti consiste piuttosto nel far fronte all'aleatorio onnipresente nelle dinamiche spazio-temporali delle reti elettrodinamiche e informatiche sulla superficie della Terra, usarlo od eliminarlo, definendolo un “do not care”

<sup>5</sup> Da precursore del “gioco dell'imitazione” (Turing 1950), Descartes scrive: «se esistessero macchine dotate degli organi e dell'aspetto d'una scimmia o di altro animale privo di ragione, non avremmo alcun mezzo per stabilire che non fossero affatto della medesima natura di tali animali» (Descartes 1637, trad. it. 2003, p. 163) – solo l'anima introduce differenze rispetto alle macchine. Turing, invece, esamina la possibilità che in futuro si possa non distinguere (nel... 2000 e nel 30% dei casi), la sua macchina da una donna, escludendo il corpo. È l'anima, nel dialogo scritto, ciò che il computer dualista potrà un giorno imitare attraverso il proprio software.

(Longo, Palamidessi, Paul 2010). Niente a che vedere con le dinamiche fisiche e meno ancora con i processi biologici; le reti negli ecosistemi in cui il cambiamento e l'aleatorio sono al centro della sopravvivenza, essendo quest'ultima fondata sulla variabilità e la produzione di diversità. In sintesi, potremmo dire che il vivente si manifesta per "l'iterazione *mai identica* di un processo morfogenetico".

Questo ci porta più lontano nell'apprezzare la specificità e la storicità del vivente, ben oltre la plasticità che va da Mantegna a Turing e Thom, e perfino dell'ordine emergente dal caos di Leonardo, auto-organizzazione di flussi di energia e di materia, à la Prigogine e Kauffman. Le descrizioni e le raffigurazioni delle dinamiche che al giorno d'oggi chiamiamo complesse, talvolta evocate con alquanto leggerezza, suggeriscono comunque un passaggio dalle forme inerti al vivente, un immaginario e un percorso di conoscenza agli antipodi del meccanicismo cartesiano ammodernato<sup>6</sup> così dominante in biologia – si veda il ruolo del *gene-editing* e del *gene-driving* nei dibattiti attuali sugli OGM<sup>7</sup>. Di fatto, queste idee sulla complessità unificano in maniera pertinente, attorno ai temi del caos, i fenomeni di "tipo critico" (transizioni critiche) e i fenomeni della "materia molle". È in tal modo che studiamo i sistemi complessi autorganizzati: attraverso dinamiche non lineari, termodinamica lontana dall'equilibrio, fisica statistica e fisica della materia condensata. Ma il vivente non vi trova posto – o per lo meno, non ancora. Escludendo il problema dell'origine della vita, difficile da trattare in assenza di una buona teoria dell'organismo – si rischia altrimenti di "tirare per i capelli" una o due teorie fisiche per provare a ottenere il vivente –, quali sono le proprietà robuste, di cui è possibile parlare scientificamente, dello stato vivente della materia, dell'organismo?

Non esiste genesi spontanea del vivente, così come, invece, si generano spontaneamente un ciclone o un vortice d'acqua; un organismo non è un'autorganizzazione di flussi, bensì *vincola e utilizza* dei flussi di energia e di materia per ricostruire questi stessi vincoli (Montévil, Mossio 2015). Un organismo non ha solo un tempo dei processi fisici, identici da quattro miliardi di anni come qualsiasi turbolenza, ma ha anche un tempo storico e dei ritmi propri, coordinati, eppur indipendenti, rispetto agli orologi fisici (Chaline 1999; Longo, Montévil 2014; Longo 2017 e 2021; Montévil 2020).

Per meglio difendere l'umano dalla disfatta intellettuale costituita dal pensiero meccanicista che perverte l'uomo dalla propria umanità, è necessaria anche una risposta scientifica volta a cogliere la radicale materialità e specificità dell'organismo vivente e vivente con il proprio corpo, dotato di massa, giottesco, nei suoi spazi e nel suo ecosistema. Bisogna passare dal "secolo del gene al secolo dell'organismo" (West-Eberhard 2003; Noble 2006; Soto et al. 2016) e accompagnare questo movimento attraverso una "naturalizzazione" della stessa fisica (Longo 2020). Le matematiche che ancora dominano in fisica sono troppo influenzate dalle loro origini teologiche (Longo, Longo 2020): spazi cartesiani (o di Hilbert) e insiemi cantoriani dati da Dio, una volta per tutte, che limitano matematicamente e a priori una nuova dinamica del pensiero scientifico. L'esempio definitivo di questo approccio è la ricerca della sola e unica "legge fisica del tutto", legge di optimum o di flussi termodinamici che controllerebbe qualsiasi processo, dall'inerte al vivente, ai processi sociali. Quest'ultimi sarebbero allora sottoposti a una sorta di "meteorologia delle dinamiche sociali" in spazi precostituiti, alle matematiche ereditate tali e quali dalla fisica, riduzione a un quantitativo senza senso, contro il quale difendiamo l'emergenza storica e umana del senso in primis in matematica, in particolare per la costruzione della conoscenza (si veda il manifesto del Gruppo Cardano, su <https://cardano.visions-des-sciences.eu/> ).

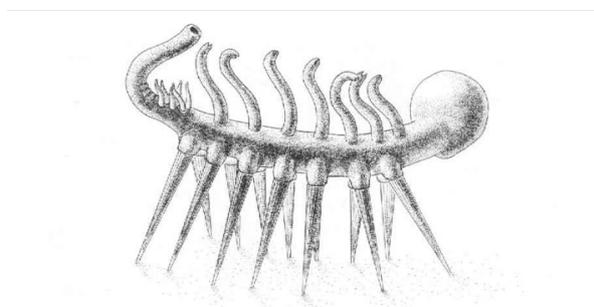
## 6.2 L'eterogenesi

<sup>6</sup> Come vorrebbe Walter Gilbert, un eminente biologo del Human Genome Project: «we were going to be able to put the sequence of the DNA on a compact disk and say: "Here is a human being, this is me"» (Gilbert 1992, p. 96).

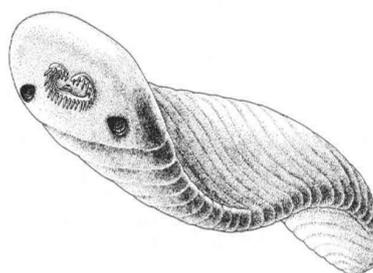
<sup>7</sup> Cfr. ENSSER: <https://ensser.org/>

All'inizio del XX secolo, rinunciando alla rappresentazione figurale, alcuni pittori abbandonarono la prospettiva: questo spazio precostituito li costringeva in vincoli ai quali non avevano più alcuna intenzione di lasciarsi limitare. Come abbiamo già detto, c'è stato un momento nella storia dell'arte in cui gli egizi abbandonarono il loro sistema tradizionale di rappresentazione. In maniera analoga, ciò che viene chiamata arte non figurativa nacque, nei primi anni del XX secolo, grazie ai pennelli di Monet, Kandinsky, Picasso, la penna dei futuristi e dei dadaisti. Questi artisti e queste correnti, e tante altre lungo il primo quarto di secolo, distrussero i punti di riferimento figurativi e spaziali della pittura. Ma la pittura non figurativa non è la sola strada dell'“astrazione”; ne esiste un'altra, completamente distaccata dal reale: il *surrealismo*. In Dalí, De Chirico o Magritte ritroviamo prospettive meravigliose, che rendono la loro arte ancora più astratta, precisamente perché è dall'*idea* che essi si astraggono: ciò che caratterizza questa corrente artistica è la giustapposizione fortuita, la condensazione di due figure in una, come in un sogno, in un mondo dall'apparenza precostituita, la formazione di chimere, una “eterogenesi” completamente differente dalla morfogenesi per deformazioni continue. L'uomo è in preda a visioni, utopie e distorsioni che sono alla base della sua (nuova) natura umana, psicoanalitica<sup>8</sup>.

Quanto alle “dinamiche creative”, l'evoluzione biologica ci offre numerosi esempi, un reale che non ha eguali nell'immaginazione umana. L'evoluzione produce chimere ad ogni istante, a partire dalle cellule eucariote che ci compongono, in cui i mitocondri (degli organelli delle cellule) sono antichi batteri, e in cui, forse, lo stesso nucleo è un antico microrganismo; il nostro DNA è per il 20 o 30% di origine (retro-)virale. E il nostro corpo è composto da circa  $10^{13}$  cellule eucariote ai quali si aggiungono i circa  $10^{14}$  batteri simbiotici che ci abitano. Esistono colonie di unicellulari talmente unite e dal comportamento così unitario da sembrare un organismo, ad esempio il *Dictyostelium discoideum* (Flowers et al. 2010). Per non parlare dell'incredibile fauna fossile di Burgess, risalente a 560 milioni d'anni fa, descritta da (Gould 1989).



3.34. *Hallucigenia*, supported by its seven pairs of struts, stands on the sea floor. Drawn by Marianne Collins.



3.29. The flattened swimming animal *Odontogriphus*. The mouth surrounded by tentacles and the pair of palps are shown on the underside of the head. Drawn by Marianne Collins.

Di fronte a questa permanente costruzione di novità, bisogna riconoscere un'ulteriore specificità dell'evoluzione biologica, (Kauffman 2000) e (Longo 2001/2020): una volta scelti il *tipo* di osservabili e di parametri pertinenti, in biologia gli organismi e i fenotipi darwiniani, non possiamo fornire a priori la “lista dei possibili”, ossia lo spazio di tutte le forme e funzioni possibili (Longo, Montévil, Kauffman 2012). Detto altrimenti, non possiamo fornire un quadro prefissato di osservabili e di parametri, uno spazio delle fasi dato, come se ne propongono in ogni teoria fisica, una generalizzazione di questo spazio-tempo, che, per Kant, è la condizione di possibilità di ogni conoscenza dell'inerte. E, da Darwin in poi, la meccanica dell'universo inquadrata nelle coordinate

<sup>8</sup> Proiettiamo indietro nel tempo, abusivamente, il termine di eterogenesi, cui è stato dato un senso preciso, anche matematico, in (Sarti et al. 2019), v. la sezione 6.3.

cartesiane di uno spazio dei possibili prefissato scompare dalle categorie d'intelligibilità del vivente.

Lo spazio stesso (dei possibili) del vivente si co-costituisce con la sua dinamica evolutiva. Questo approccio cambia drasticamente gli a priori della fisica matematica: esso impone una dinamica alla simmetria primaria che governa ogni processo fisico, la stabilità del suo “spazio delle fasi”, ossia lo spazio fornito a priori di tutte le traiettorie possibili. Thom, in (Pomian (a cura di) 1991), l'aveva colto perfettamente: nelle analisi scientifiche, lo spazio delle fasi matematico preesiste all'aleatorio («il rumore») che colpisce il sistema (p. 55), detto altrimenti “la biforcazione precede [ontologicamente] la fluttuazione”. «È l'assenza di una tale definizione [del possibile virtuale] a minare – in modo assai serio – la scientificità della teoria darwiniana dell'evoluzione» (p. 237). Nonostante apprezziamo la lucidità scientifica delle analisi di Thom, pensiamo, diversamente da lui, che per analizzare l'evoluzione biologica si debbano ampliare le modalità del pensiero fisico-matematico, andando al di là di questo pensiero. La difficoltà richiede l'apertura di nuove piste. Il nostro a priori dovrebbe essere la presenza del corpo biologico in un ecosistema, con i suoi legami e le sue interazioni con tutto ciò che vi è all'interno di questo ecosistema, a partire dalla *co-costruzione* della sua “nicchia” biologica, del suo spazio proprio. Questo spazio ecosistemico non è “già là”, esso risulta dalla rete di nicchie, da una storia evolutiva che lo plasma, lo vincola, ne canalizza il presente. Il suo continuo ricostruirsi può essere capito come una dinamica cangiante, storica, delle simmetrie fondamentali che regolano gli organismi ed i loro spazi (Longo, Montévil 2014).

Tutta la storia della vita è un gioco plastico di *ex-aptation*, adattamento *ex post* (Gould 2002; West-Eberhard 2003) ed *overloading* - si sovraccarica un organo con ulteriori funzioni (Longo 2017): in nessuna maniera l'orecchio interno dei vertebrati, l'aptation della doppia mascella dei Gnathostomata di 250 milioni di anni fa, era “già là”; in nessuna maniera le ali degli uccelli e le loro piume esistevano di già, l'aptation delle zampe anteriori e dei termoregolatori di alcuni dinosauri, così differenti dalle ali dei pipistrelli, omologhi (stessa origine) delle nostre mani; le nostre mani ed il cervello sono un luogo massimale di *overloading*. Forme o chimere mostruose, impensabili, per chiunque sappia collocarsi prima della loro *exaptation*, funzioni imprevedibili prima che venissero in essere. In biologia, esiste solo questo stato vivente della materia, questo corpo proprio ad ogni organismo che si plasma evolutivamente plasmando il suo mondo, nella più radicale delle immanenze.

### 6.3 Eterogenesi differenziale, per un'ecologia matematica dell'immanenza

L'eterogenesi differenziale (Sarti et al. 2019) è una nozione matematica, fondata su quella di operatore differenziale, vale a dire di un operatore che agisce su funzioni differenziabili. Essa si occupa di forme che non sono né caos né struttura, che si situano tra il caos e la struttura, ma al di là di entrambe. Non sono strutture che evolvono strutturando/definendo uno spazio per la loro stabilità, né caos, poiché ciò richiederebbe, matematicamente, uno spazio precostituito in cui sviluppare la dinamica. In un certo senso, l'eterogenesi prende in considerazione da una parte l'assenza di spazio sullo sfondo della pittura “*astratta*” e, dall'altra, la produzione di forme nuove, ben inquadrata in uno spazio dato, ma insensate per ciò che in un certo momento è dotato di senso, immagini che possiamo a malapena sognare, chimere che costruiscono un senso nuovo: quanto all'evoluzione biologica, essa è ancora più radicale del *surrealismo*.

L'eterogenesi genera la diversità a partire dalla diversità, lo stesso divenire delle forme, senza alcuna lista precostituita di possibili, essa «infrange le strutture, modifica le leggi, riorganizza le dinamiche esistenti. [...] L'eterogenesi introduce la possibilità di modificare le leggi in maniera spaziale e temporale» (Sarti 2018). Ci si allontana in maniera netta dalle dinamiche à la Turing e Thom, perfino da quelle di Prigogine e Kauffman nelle loro prime formulazioni (dell'ordine emergente da un caos ben inquadrato). Il lavoro matematico in corso degli autori (Sarti et al. 2019) riempie dunque l'«assenza» di una pre-definizione «[del possibile virtuale] che [mina] – in modo

assai serio – la scientificità della teoria darwiniana dell'evoluzione» (cfr. Thom, *supra*). Questa assenza diventa il punto di partenza di una nuova idea matematica: gli stessi operatori differenziali generano la dinamica dei loro spazi, poiché questi “possibili virtuali”, questi spazi *non sono già là*. Per parafrasare Thom, contraddicendolo: la fluttuazione co-costituisce la biforcazione.

Forse, un fondamento, se non un'unificazione matematica, degli operatori differenziali dell'eterogenesi à la (Sarti et al. 2019) potrebbe essere trovata in un'altra branca delle matematiche contemporanee, la Teoria dei Topos di Grothendieck (Zalamea 2012). Ciascun Topos è uno spazio logico e geometrico con sue proprie leggi e una sua propria struttura, ma è accompagnato da trasformazioni che permettono di passare da un Topos all'altro, ossia di generarne dei nuovi, uscendo dagli assoluti della prospettiva rinascimentale e della Teoria degli insiemi che ancora dominano le matematiche della fisica. Il punto di partenza dovrebbe essere un nuovo modo di vedere, scientificamente, il corpo materiale del vivente mentre forma gli spazi di senso del suo vissuto, evolutivo e storico – una rivoluzione comparabile a quella che prese avvio con Giotto.



L'arte apre a questa esplorazione: dall'inizio degli anni '40, Jackson Pollock si getta sulle sue tele impegnando il proprio corpo in uno spazio che non ha limiti. Il suo lavoro, battezzato Action painting, non consiste tanto nel risultato (venduto a decine di milioni di dollari al giorno d'oggi), quanto, più precisamente, nel momento della creazione. Il suo *pooring* e il suo *dripping* sono le tracce del suo attacco alla tela, ragione per la quale viene considerato l'inventore della performance artistica. Appesi poi in verticale, per farne quadro, i *drippings* sono il risultato di una danza, di una intuizione del caos. Nessuna formazione sotto la forma, solo dell'informe – e possiamo supporre che anche in questo caso Leonardo sarebbe stato affascinato. Un Pollock è la traccia di un atto, di una azione attraverso la quale l'uomo ha preso possesso dello spazio e del tempo (“I don't work from nature, I am nature”). Sostituendo il pennello con una donna, Yves Klein lavorerà seguendo una procedura simile: nelle sue antropometrie, il quadro è la traccia dell'azione del corpo attraverso l'intermediario di unico mezzo, brevettato, l'International Klein Blue, il solo colore con il quale Klein, seguace del monocromatico, lavora. Il corpo della donna non è il soggetto, ma il medium: ed è la sua traccia che fa opera.



In Pollock e in Klein, il corpo e la sua azione costruiscono lo spazio e le forme. Nel primo, i movimenti aleatori sono vincolati dai gesti del suo corpo, i movimenti delle braccia, la loro ampiezza e le loro articolazioni. Spesso, in Pollock, la pittura si ferma prima dei bordi, percepiamo un'attenzione al margine. L'aleatorio del colore è nuovamente domato dall'artista, che compie la scelta dell'inquadratura, e decide dove tagliare la tela e quale parte tendere. In Klein, il corpo è all'opera attraverso tracce dirette, senza la mediazione simbolica dei giochi prospettici. Per Klein, il blu è il colore del sensibile e del cosmo, dunque, dello spazio. Non aveva la stessa funzione nei lavori di Giotto? È esattamente ciò che pensava Klein<sup>9</sup>.

## Conclusioni ed apertura

*“So che l'anima è immortale, ma non so in che modo questo funzioni”*  
Gerolamo Cardano

Mezzo secolo dopo la domanda di Cardano, ancora ricca, a nostro avviso, dell'attenzione rinascimentale all'immanenza del divino nella materia, il problema verrà risolto dal dualismo Cartesiano e dalla labile connessione pineale con il corpo. Grazie all'anima, ben separata dalla materia, divideremo con Dio la conoscenza della matematica e la costruzione di macchine, solo una piccola parte di quelle, infinite, di cui Dio è autore, dirà Galileo, ma ad esse, almeno la matematica, identiche. Il dualismo raggiunge il suo apice, quando, oggi, alcuni Intelligenti Artificiali propongono di trasferire tutti i “dati” alfa-numeriche del cervello, il suo software, su un hard-disk, rendendoci relativamente immortali. Quanto allo hardware, abbiamo già ricordato l'illustre (o molto finanziato?) biologo molecolare, protagonista del Human Genome Project, che prometteva di trasferire tutta l'informazione del corpo biologico su un CD rom, codificando il DNA in sequenze di 0 ed 1 - gioco facile, quest'ultimo, il DNA è una sequenza finita di quattro lettere.

Entrambi questi filoni del pensiero digitale, Canoni maggiori a livello accademico e politico, sono totalmente egemoni nell'attribuzione di finanziamenti, posti e premi<sup>10</sup>. L'apporto tecnico è

<sup>9</sup> «Se si ammette che Giotto possa aver avuto solo l'intenzione figurativa di mostrare un cielo chiaro e senza nuvole, questa intenzione è comunque decisamente monocromatica», Yves Klein, conferenza alla Sorbona, 1959.

<sup>10</sup> Si vedano le promesse in (Collins, 1999), (von Eschenbach, 2003; si veda almeno il titolo) e le si raffrontino al presente; o quelle in (Doudna, Sternberg, 2017), libro che propone un novello eugenismo, ampiamente basato sul Dogma Centrale della biologia molecolare (Crick, 1958). Collins dirige da più di un decennio lo NIH (massima agenzia pubblica di finanziamento della ricerca, in USA, quindi nel mondo), von Eschenbach a lungo lo NCI (lo stesso, per il cancro); Doudna ha avuto il premio Nobel per la biologia nel 2020. Del resto, qualsiasi giovane fisico matematico o teorico brillante sa bene che, per avere una borsa di tesi o di post-doc, è meglio lavorare in fisica computazionale o direttamente in IA od avviarsi a fare il “quant” in borsa - nella più totale ignoranza/indifferenza all'economia; analogamente per il giovane biologo:

innegabile, come lo è stato quello dell'invenzione delle macchine dalla rivoluzione scientifica ad oggi. Del resto, i grandi astronomi della tradizione islamica (VIII – XIV secolo) hanno inventato la trigonometria sferica, metodi di soluzione di equazioni algebriche e ben altro anche per analizzare gli epicicli planetari; il quadro teorico? Tutto sbagliato: oltre e più che le osservazioni, lo dimostrerà l'inerzia galileiana; previsioni impossibili, malgrado i fini astrologici di tanta impresa<sup>11</sup>. Come dice Boltzmann, non c'è nulla di più pratico in scienza di una buona teoria - per noi, nel rapportarsi alle macchine ed al vivente. Abbiamo infatti costruito, con una potenza che non ha precedenti, un rapporto alla natura ed all'uomo di proiezione/identificazione di queste macchine con il mondo che sta portando ad una natura sempre meno vivibile ed ad un umano privato di quella integrità ed unità materiale che dobbiamo difendere o, meglio, re-inventare.

In questo testo abbiamo cercato di riprendere un Canone divenuto minore con la Rivoluzione scientifica, riallacciandoci alla espressività della pittura rinascimentale. La presenza umana nella natura, quando si correla al corpo ed alle emozioni, produce il soggetto conoscente, dando così unità alla nostra esperienza e conoscenza del mondo. L'oggettività computazionale (basi di dati, calcolo autonomo ... DNA come codifica dell'organismo ...), invece, divide anima e corpo, software e hardware, soggetto ed oggetto. Vi si perde il senso della conoscenza come atto che mette alla prova colui che conosce. Per noi, all'interno della costruzione scientifica ed artistica, l'analisi morfologica è un luogo primario della frizione fra soggetto ed oggetto e fa da ponte fra «entendement et raison», fra teoria e pratica. L'immaginazione permette questo passaggio, poiché si dà la propria legge, come nell'eterogenesi, sia pittorica sia matematica. La proposta della legge non è arbitraria, ma è costruita nella frizione attiva con la natura, nell'intersoggettività umana, nella storia vissuta. E richiede una presa di rischio. L'immaginazione di nuove configurazioni di senso è il motore di questa presa di rischio, in atto in scienza ed in arte, con numerosi punti di contatto che hanno contribuito a rivoluzioni, nell'una e nell'altra. L'immaginazione, artistica e scientifica, è ciò che permette di pensare un universale che non è già dato, che è il risultato di una interpretazione sempre nuova. Per questo si ritrova in essa più che altrove la facoltà del giudizio riflessivo, l'estetica. Si è allora costretti a muoversi su un piano creatore, ad un tempo contemplativo e attivo, e ad esprimere quanto di più umano in noi.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

(gli articoli in cui Longo è co-autore si trovano in: <https://www.di.ens.fr/users/longo/download.html>)

- ALEXANDRE L. (2017), *La Guerre des intelligences : intelligence artificielle versus intelligence humaine*, Paris, JC Lattès.
- ANGELINI A. (2020), *La scienza e il suo ambiente. Il confine poroso del discorso scientifico tra epistemologia politica e ontologia dell'attualità*, in Iofrida M. (ed.), *Scienza, tecnica, capitalismo: una prospettiva ecologica*, collana "Officine filosofiche" n. 5, Mucchi Editore, Modena.
- ID. (2020), *Biopolitica, biostoria, ecologia. L'epistemologia politica del discorso biologico tra Michel Foucault e Georges Canguilhem*, Tesi di Dottorato in Filosofia, Università di Firenze.
- ARASSE D. (1997), *Leonardo da Vinci. Il ritmo del mondo* (2019), Jaca Book, Milano.
- BENASAYAG M., SCHMIT G. (2007), *L'epoca delle passioni tristi*, Feltrinelli.
- BERTHOZ A. (1997), *Le Sens du Mouvement*. Paris: Odile Jacob.

se fa gene-editing, "gain-of-function", gene-driving ... combinatorie chimico-molecolari, è meglio, pubblica certo di più, indipendentemente dalla comprensione biologica delle tecniche usate. E la formazione/selezione opera in modo radicale, ulteriormente aiutata dalla bibliometria, macchine che contano il numero delle citazioni - circolo vizioso delle mode e del conformismo scientifico.

<sup>11</sup> Per una analogia fra geo-centrismo e geno-centrismo, si veda (Longo, Mossio 2020)

- BURKI T. (2018), Ban on gain-of-function studies ends. *The Lancet*, Vol. [18, issue 2](#), pp148-149, February.
- CALUDE C., LONGO G. (2016) Classical, Quantum and Biological Randomness as Relative Unpredictability. Special issue of *Natural Computing*, vol. 15, 2, 263–278, Springer, June.
- CHALINE J. (1999), *Les horloges du vivant : un nouveau stade de la théorie de l'évolution*, Paris, Hachette.
- CHAMPER J., BUCHMAN A., AKBARI O.S. (2016), "Cheating evolution: engineering gene drives to manipulate the fate of wild populations" in *Nature Reviews. Genetics*. March, 17 (3), p. 146–59.
- CHASTEL A. (1959), *Art et humanisme à Florence au temps de Laurent le Magnifique*, Paris, Presses, Universitaires de France.
- ID. (1978), *Fables, formes, figures*, Paris, Flammarion.
- COLLINS, F. (1999) Medical And Societal Consequences Of The Human Genome Project, *The New England J. of Medicine*, July 1.
- DAMISCH H. (1993), *L'origine de la perspective*, Paris, Flammarion.
- DESCARTES R. (1637), *Discorso sul metodo* (2003), a cura di Emanuela Scribano, Edizioni San Paolo, Milano.
- DOUDNA J., STERNBERG S. (2017), *A crack in Creation, the new power to control Evolution*, The Bodley Head, London.
- VON ESCHENBACH, A.C., (2003), NCI sets goal of eliminating suffering and death due to cancer by 2015. *Journal of the National Medical Association* 95, 637.
- FLOWERS, I., SI I LI., STATHOS A., SAXER G., OSTROWSKI E. A., STRASSMAN J., QUELLER D., PURUGGANAN M.D. (2010) *Variation, sex, and social cooperation: molecular population Genetics of the socialamoeba Dictyostelium discoideum*, PLoS Genetics, 6,7,1-14.
- van FRAASSEN, B.C. (1970) *An introduction to the Philosophy of Space and Time*, Random House, New York.
- GLANSDORFF P., PRIGOGINE I. (1971), *Structure, Stabilité et Fluctuations*, Paris, Masson.
- GOULD S.-J. (1989) *Wonderful Life*, Norton & Co..
- ID. (2002), *The structure of evolutionary theory*. Harvard University Press.
- HAYEK F. A. (1945) The Use of Knowledge in Society. *The American Economic Review*. American Economic Association via JSTOR. **35** (4): 519–530.
- HARTLEY H. (1937), *Agriculture as a source of raw materials for industry*, in Journal textile institute, 28.
- HILBECK A., MEIER M., TRTIKOVA M.. 2012. 'Underlying Reasons of the Controversy over Adverse Effects of Bt Toxins on Lady Beetle and Lacewing Larvae'. *Environmental Sciences Europe* 24(9):1–5.
- HILBERT D. (1898) (transl. 1901) *The Foundations of Geometry*, Chicago: Open Court.
- ID. (1926) *Über das Unendliche*. *Mathematische Annalen*, 95 (1): 161–190
- HUSSERL E. (1933) *La crisi delle scienze europee e la fenomenologia trascendentale* (1961), trad. it. di Enrico Filippini, Il Saggiatore, Milano.
- KAUFFMAN S. (1993), *The Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution*, Oxford, U. P.
- ID. (2000), *Investigations*, Oxford, U. P.
- KOSMAN-SCHWARBACK Y. (2010), *The Noether theorems: Invariance and conservation laws in the twentieth century*, Berlin, Springer-Verlag.
- LOHN A.F., TRITKOVA M., CHAPELA I., VAN DEN BERG J., DU PLESSIS H., HILBECK A., (2020) Transgene behavior in *Zea mays* L. crosses across different genetic backgrounds: Segregation patterns, cry1Ab transgene expression, insecticidal protein concentration and bioactivity against insect pests. *PLoS ONE*, vol. 15: no. 9.
- LONGO G. (2001), *Space and Time in the Foundations of Mathematics, or some challenges in the interactions with other sciences*, Invited lecture, *First AMS/SMF meeting*, Lyon (printed in the *Handbook of the Mathematics of the Arts and Sciences*, B. Sriraman (ed.), Springer, 2020)
- ID. (2011), *Reflections on Concrete Incompleteness*. *Philosophia Mathematica*, 19(3): 255-280.
- ID. (2017), *How Future Depends on Past Histories and Rare Events in Systems of Life*, *Foundations of Science*, (DOI).
- ID. (2018), *Letter to Alan Turing*, in Theory, Culture and Society, Posthumanities Special Issue.
- ID. (2018a), *Interfaces of Incompleteness*, in Minati, G, Abram, M & Pessa, E (Eds.), *Systemics of Incompleteness and Quasi-systems*, New York, Springer.
- ID. (2020), *Naturalizing Physics. Or, embedding physics in the historicity and materiality of the living*, *Deleuziana*, n. 11, special issue on "Differential Heterogenesis: Deleuze, Mathematics And The Creation Of Forms".

- ID. (2021), *Confusing biological twins and atomic clocks. Today's ecological relevance of Bergson-Einstein debate on time*, in Conference "What is time? Einstein and Bergson 100 years later", proceedings in Campo, Ronchi eds, Berlin, De Gruyter.
- LONGO G., FREZZA G. (2010), *Crossing-over del vivente*, in *Metafore del vivente. Linguaggi e sperimentazione in filosofia, biologia e scienze cognitive*, (a cura di) Gagliasso E. e Frezza G., FrancoAngeli, Milano 2010
- LONGO G., LONGO S. (2020). *Infinity of God and Space of Men in Painting, Conditions of Possibility for the Scientific Revolution*, in *Mathematics in the Visual Arts* (R. Scheps and M.-C. Maurel ed.), London, ISTE-WILEY Ltd.
- LONGO G., MONTÉVIL M. (2014), *Perspectives on Organisms. Biological Time, Symmetries and Singularities*. Dordrecht: Springer.
- LONGO G, MONTÉVIL M, KAUFFMAN S. (2012), *No entailing laws, but enablement in the evolution of the biosphere*, invited paper, ACM Proceedings of *Genetic and evolutionary Computation Conference, GECCO'12*, Philadelphia (PA, USA), July 7-11.
- LONGO G, MOSSIO M. (2020) *Geocentrism vs genocentrism: theories without metaphors, metaphors without theories*. *Interdisciplinary Science Reviews*, 45 (3), pp. 380-405.
- LONGO G, PALAMIDESSI C., PAUL T. (2010), *Some bridging results and challenges in classical, quantum and computational randomness*, in *Randomness through Computation*, H. Zenil éd., World Sci., pp. 73–92.
- LUISE P.-L. (2006) *The Emergence of Life - From Chemical Origins to Synthetic Biology*, Cambridge U.P.
- MARCELLI D., BOSSIÈRE M.C., DUCANDA A.L. éd. (2018), *Plaidoyer pour un nouveau syndrome « exposition précoce et excessive aux écrans »* (EPEE), *ERES, Enfances & Psy*, 3, p. 142-160.
- MARINUCCI A. (2011), *Tra ordine e caos. Metodi e linguaggi tra fisica, matematica e filosofia*. Roma, Aracne.
- MONTÉVIL, M. (2020) *Historicity at the hearth of biology*, *Theory in Biosciences*, Springer Verlag.
- MONTÉVIL M., MOSSIO M. (2015), *Closure of constraints in biological organisation*, in *Journal of Theoretical Biology*, vol. 372, p.179-191.
- MORAND S., FOGUIÉ M. (eds.) 2016. *Émergence de maladies infectieuses. Risques et enjeux de société*. Éditions Quae, Paris.
- MORSE S.S. (1993), *Emerging Viruses*, New York, Oxford University Press, p. 24.
- NOBLE D. (2006), *The Music of Life. Biology Beyond the Genome*, Oxford, OUP.
- POMIAN K. (a cura di) (1991), *Sul determinismo. La filosofia della scienza oggi*, Il Saggiatore, Milano.
- RONCHI R. (2017), *Il canone minore. Verso una filosofia della natura*, Milano, Feltrinelli.
- ROSAND D. (1993), *La trace de l'artiste. Léonard et Titien*, Paris, Gallimard.
- SARTI A. (2018), *Formes en devenir; bios, mathématiques, philosophie*, Entretien par Igor Pelgreffi, in *Officine Filosofiche*.
- SARTI, A., CITTI, G., PIOTROWSKI, D. (2019), *Differential heterogenesis and the emergence of semiotic function*, *Semiotica*. Issue 230.
- SOTO A., LONGO G., NOBLE D. (eds.) (2016) *From the century of the genome to the century of the organism: New theoretical approaches*, a Special issue of *Progress in Biophysics and Mol. Biology*, Vol. 122, 1, Elsevier.
- SUPIOT A. (2015) *La gouvernance par les nombres*. Coll. « Poids et Mesures du Monde », Fayard (English transl. Hart Publishing, NY, 2017).
- THOM R. (1972), *Stabilité structurelle et Morphogénèse*, New York, Benjamin.
- THOM R. (1993) *Prédire n'est pas expliquer*, Flammarion, Paris.
- TURING A. (1950), *Computing machinery and intelligence* in *Mind*, 50, p. 433–460; voir aussi Boden (1990), *Collected Works* (Volume 1).
- ID. (1952), *The Chemical Basis of Morphogenesis*, in *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*, 237(641), p. 37-72.
- van FRASSEN, B.C. (1970) *An introduction to the Philosophy of Space and Time*, Random House, New York.
- WEST-EBERHARD M.-J. (2003), *Developmental Plasticity and evolution*, New York, Oxford U. Press.
- WINFREE A. T. (1984), *The Prehistory of the Belousov-Zhabotinsky Oscillator*, in *Journal of Chemical Education*, vol. 61, no 8, p. 661–663.
- WOLFRAM, S. (2013), *The importance of Universal Computation*, in Cooper ed., *A. Turing, his work and impact*, Amsterdam, Elsevier.

ZALAMEA F. (2012), *Synthetic Philosophy of Contemporary Mathematics*, Urbanomic (UK) and Sequence Press (USA) (review in LONGO G. (2015), *Conceptual Analyses from a Grothendieckian Perspective* in *Speculations*, December)