

INVENIS

9

Direttore

Gian Piero JOIME
Università telematica “Guglielmo Marconi”

Comitato scientifico

Marco CASINI
Sapienza – Università di Roma

Umberto DI MATTEO
Università telematica “Guglielmo Marconi”

Fabio Massimo FRATTALE MASCIOLI
Sapienza – Università di Roma

Antonello RIZZI
Sapienza – Università di Roma

INVENIS



La mente che si apre a una nuova idea non torna mai alla dimensione precedente.

ALBERT EINSTEIN

La collana *Invenis* sviluppa una riflessione scientifica multidisciplinare, attraverso l'analisi degli aspetti teorici e lo studio di casi concreti, sul rapporto tra l'innovazione tecnologica e lo sviluppo economico e sociale. L'assunto di base è che l'innovazione tecnologica applicata alle reti e ai sistemi territoriali, come in passato ha rappresentato un elemento abilitante per lo sviluppo economico e la modernizzazione sociale, in futuro assumerà un ruolo di primo piano per le continue applicazioni di un nuovo modello sociale ed economico. Modello che, coniugando la rivoluzione informatica con quella energetica, muta i sistemi di produzione e di consumo, trasformando radicalmente gli stili di vita di parti sempre più consistenti della popolazione mondiale.

ENRICO DE SANTIS

**UMANITÀ, COMPLESSITÀ
E INTELLIGENZA ARTIFICIALE**
UN CONNUBIO PERFETTO

Prefazioni di

FABIO MASSIMO FRATTALE MASCIOLI
ANTONELLO RIZZI
MARCO LONDON



aracne



ISBN
979-12-5994-562-4

PRIMA EDIZIONE
ROMA 10 DICEMBRE 2021

Alla mia famiglia, tutta

L'Università vera non è un oggetto materiale. Non è un insieme di edifici che può essere difeso dalla polizia. [...] La vera Università non ha un'ubicazione specifica. Non ha possedimenti, non paga stipendi e non riceve contributi materiali. La vera Università è una condizione mentale. È quella grande eredità del pensiero razionale che ci è stata tramandata attraverso i secoli e che non esiste in alcun luogo specifico; viene rinnovata attraverso i secoli da un corpo di adepti tradizionalmente insigniti del titolo di professori, ma nemmeno questo titolo fa parte della vera Università. Essa è il corpo della ragione stessa che si perpetua.

Robert M. Pirsig, *Lo zen e l'arte della manutenzione della motocicletta* (1974)

Le conquiste dell'umanità si basano sull'uso dei simboli ... dobbiamo considerarci come una classe di vita simbolica e semantica e coloro che governano i simboli ci governano.

Alfred Korzybski, *Science and Sanity* (1933)

La Nature est un temple où de vivants piliers / Laissent parfois sortir de confuses paroles ; / L'homme y passe á travers des forêts de symboles / Qui l'observent avec des regards familiers.

Charles Baudelaire, *Les Fleurs du mal* (1857)

Il test dei programmi informatici può essere usato per dimostrare la presenza di bug, ma non la loro assenza!

Edsger W. Dijkstra, *Notes On Structured Programming* (1970)

L'umanità è un enzima che catalizza la trasformazione da un'intelligenza basata sul carbonio ad una basata sul silicio.

Gerard Bricogne

Appena inizia a funzionare, nessuno la chiama più Intelligenza Artificiale.

John McCarthy

In teoria, non c'è nessuna differenza tra teoria e pratica, ma in pratica vi è una grandissima differenza.

Anonimo

Indice

Prefazione di Fabio Massimo Frattale Mascioli	15
Prefazione di Antonello Rizzi	21
Prefazione di Marco London	27
Premessa dell'Autore	29
Preliminari	31
I In teoria, ma anche in pratica	43
Un approccio da lontano: le teorie	43
La matematica	44
È possibile classificare le teorie?	48
La tecnologia	51
Una teoria dell'evoluzione tecnologica	53
La matematica come linguaggio universale	57
Un'incursione nel mondo dei paradossi	68
Il ritorno della meccanica	76
Tutto qui?	79
Teoria, razionalità e metodo scientifico	82
Una pausa: conoscenza, legge e ermeneutica	99

II	VISIONI	107
	Dimensioni extra e complessità	107
	La dimensione in cui vivono gli elefanti	116
	Divagazioni sulla mente e sull'Universo	123
	Su una Realtà Generale	130
	Kant e l'opera di linearizzazione del mondo	135
	E se fosse tutto un sogno?	139
	La matematica come opera d'arte	144
	Scienza, sostantivo femminile singolare	156
III	I sistemi complessi e i sistemi di sistemi	163
	Problemi semplici, problemi Complessi	163
	Breve evoluzione storica del concetto di sistema	165
	Tendenze e approcci alla scienza dei sistemi	172
	I sistemi complessi	175
	Il nuovo paradigma dei sistemi di sistemi	178
	Modello teorico e struttura informativa di un sistema di sistemi	179
	Differenze tra sistema composito e sistema di sistemi	182
	I sistemi e la vita degli esseri biologici	185
	Teorie del caos ed ordini emergenti	197
	Complessità in scatola: l'ordine che emerge dal disordine	208
	Un esempio archetipico di sistema complesso: il cervello	221
	Il linguaggio naturale dalla prospettiva della complessità	227
IV	Complessità e mondo digitale	233
	Percepire la complessità	233
	Covid-19: un fenomeno complesso gestito in maniera semplice?	252
	Parole vaghe, parole liquide	260
	Informazione	271
	Entropie	284
	Informazione, computazione, complessità e casualità	290
	Complessità e conoscenza, due parole	305
	Da dove nasce l'Universo digitale?	313
	Sfocature	321
	Misurare la complessità	331

V	Iniettare intelligenza nelle macchine	363
	Intelligenza Artificiale	363
	Approcci all'Intelligenza Artificiale	366
	Machine Learning	369
	Dati, rappresentazione e apprendimento	378
	Riconoscere <i>pattern</i> , minare i dati e granulare l'informazione	390
	L'Intelligenza Computazionale	393
	Approcci ibridi e multidisciplinari	403
	Cosa c'entra la probabilità?	405
	Pensare in maniera computazionale	418
VI	Arte, IA e cognizione	427
	Il filo tra l'arte e la robotica passa per la scultura . . .	427
	Reti Neurali e Inceptionism, una nuova frontiera nell'arte	438
	Un esperimento con l'Intelligenza Artificiale	454
	Comprensione e produzione del linguaggio naturale . . .	457
	L'intelligenza artificiale che scrive le poesie	497
	Il più grande esperimento di Intelligenza Artificiale . . .	501
	Dalla materia alla mente	507
	La realtà della realtà	545
	Il simbolo, il pensiero sistemico e le macchine produttrici di senso	558
VII	Processo alla tecnologia	565
	Internet: la più grande delle invenzioni	565
	Una breve storia della rete delle reti	590
	L'avvento dei computer	605
	Olivetti. La rivoluzione dimenticata	617
	Splendori e miserie della tecnologia	622
	L'espressività umana nell'era digitale	638
	Dylan Dog e la tecnologia estetizzante del passato . . .	642
	Però, quanto è straordinaria la tecnologia	645
	Cosa ci aspetta nel prossimo futuro	649
	Dall'etica della tecnologia alla tecnologia dell'etica . . .	673
	Congedo	687

Elenco delle tabelle	705
Elenco delle figure	707
Bibliografia	713
Indice analitico	735
Ringraziamenti	739

Prefazione

di Fabio Massimo Frattale Mascioli¹

Omnis mundi creatura quasi liber
et pictura nobis est in speculum;
nostrae vitae, nostrae mortis, nostri
status, nostrae sortis fidele
signaculum. Nostrum statum
pingit rosa, nostri status decens
glosa, nostrae vitae lectio; quae
dum primo mane floret, defloratus
flos effloret vespertino senio. Ergo
spirans flos exspirat, in pallorem
dum delirat oriendo moriens; simul
vetus et novella, simul senex et
puella rosa marcet oriens².

Alano di Lilla, *Rhythms Alter*

Ero un giovane studente ai primi anni di ingegneria quando, entrando in una grande libreria, il mio sguardo fu catturato da un

¹ Professore ordinario presso l'Università "Sapienza" di Roma, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni (DIET) e Responsabile Scientifico del POMOS, Polo per la Mobilità Sostenibile, sito in Cisterna di Latina (LT).

² Tutte le creature del mondo sono come un libro o un dipinto, uno specchio per noi: simbolo fedele della nostra vita, della nostra morte, della nostra condizione, del nostro destino. La rosa dipinge la nostra condizione, del nostro stato è commento appropriato, è insegnamento per la nostra vita; mentre fiorisce di primo mattino, come fiore senza petali sfiorisce nella vecchiezza della sera. Perciò il fiore respirando spira mentre impallidendo appassisce, già morente sul nascere; insieme antica e nuova, insieme vecchia e fanciulla, la rosa sbocciando imputridisce.

poderoso librone in bella vista nel comparto tecnico-scientifico. Il titolo era troppo originale perché potessi resistere all'idea di andare a vedere di cosa si trattasse: "Gödel, Escher, Bach: un'Eterna Ghirlanda Brillante", di tale Douglas R. Hofstadter. La musica di Bach era tra le mie preferite, e la usavo spesso come sottofondo durante lo studio di Analisi o di Fisica, ad Escher mi ispiravo spesso per i miei scarabocchi, di Gödel avevo solo qualche vaga informazione, uno che si occupava di logica mi sembrava di ricordare. Quell'accostamento molto particolare, e il richiamo quasi-poetico a una misteriosa Ghirlanda Brillante, per di più pure Eterna, esercitarono su di me un richiamo irresistibile, anche se non sapevo proprio cosa aspettarmi. Presi il libro e cominciai a sfogliarlo: formiche che si inseguivano su nastri di Möebius, dialoghi tra Achille e la Tartaruga, strutture di DNA paragonate a fughe di Bach a più voci... Fu una folgorazione! Tornai a casa tutto felice e iniziai a divorarlo. Da quel momento in poi la mia visione del mondo non fu più la stessa e sono certo che anche le mie scelte professionali successive subirono una forte influenza da quel libro. Il classico punto di svolta: avevo scoperto l'Intelligenza Artificiale e il fatto che tale disciplina potesse essere così pervasiva da influenzare pesantemente non solo la scienza e la tecnologia, ma anche (e forse soprattutto) la filosofia e la percezione di se stessi. Tanti anni dopo, Enrico con il suo libro mi risveglia alcune delle sensazioni di quel tempo. Sono certo che egli stesso troverebbe irrispettoso essere paragonato al "guru" Hofstadter, ma tant'è, il suo libro e il GEB di allora condividono le medesime motivazioni e lo stesso impianto filosofico, in poche parole, la stessa ambizione di fondo, la stessa attenzione, quasi sacra, agli aspetti umani di una disciplina che ai "non addetti" o ai "più distratti" potrebbe apparire arido dominio delle macchine. Ci vuole coraggio, ma ora come allora le scelte coraggiose sono quelle che mi attraggono di più. Freno qui le mie suggestioni emotive, il lettore potrà facilmente (e in modo più appagante e divertente) costruirsi le sue personali leggendo il libro, provo quindi a entrare un po' più nel merito delle tematiche (tante, e intessute come una ghirlanda brillante...) trattate da Enrico. Proprio per contrastare questa mia iniziale "tendenza sentimentale" vado per prima cosa a evidenziare uno dei temi più seri (tra i tanti) che questo libro intende affrontare: cercare di chiarire il ruolo che giocano le istituzioni all'interno delle

trasformazioni che la tecnica continua a perpetrare all'interno della nostra società. Per affrontare in maniera proficua questo argomento, Enrico propone una visione complessiva e non globalizzante delle forze in gioco. In altre parole, per lui è estremamente importante definire, una volta per tutte, chi può (e con quali strumenti) fare da garante alle grandi sfide che ci attendono. Sfide che non sono solo tecnologiche ma soprattutto politiche e dove le volontà non possono essere guidate da meri fattori burocratico-contabili bensì da coloro che detengono il “tesoro” della conoscenza. Tale tesoro non si acquisisce per via ereditaria e soprattutto non si compra come un bene qualunque. Esso si guadagna nel tempo con lavoro e dedizione, non solo nell'acquisizione di contenuti esteriori ma anche con un lavoro da effettuare su se stessi, al fine di liberarsi da tutte quelle sovrastrutture che non consentono all'essere umano di librarsi nell'aria e assumere uno sguardo sufficientemente generale e benevolo nei confronti dei consimili e della natura circostante. Ecco che la questione generale sul ruolo delle istituzioni si declina nel mondo accademico col domandarsi se le Istituzioni Universitarie, nello specifico delle loro funzioni, vogliono porsi come inseguitrici dei mutamenti (e degli smottamenti) che stanno avvenendo nella nostra società, continuando ad arroccarsi dietro quel castello di scartoffie, adempimenti e pastoie burocratiche che nel sistema costituiscono un mero elemento di attrito con conseguente dispendio di energie. Energie che s'incarnano nelle menti dei nostri giovani che sono brillanti all'origine (come le Eterne Ghirlande) ma rischiano di opacizzarsi non appena si confrontano con un sistema che viaggia al di sotto delle proprie possibilità e che preferisce trincerarsi dietro la perenne “crisi delle istituzioni” invece di reagire con energia e volontà. Se “il futuro è passato da qui”, come recita il motto dell'Università “Sapienza” di Roma, ciò significa che quel futuro è stato innanzitutto immaginato nelle nostre aule e nei nostri laboratori. Laboratori che nelle cosiddette materie STEM sono un elemento fondamentale e che personalmente amo ridefinire come “botteghe scientifiche”, nell'intento di sottolineare innanzitutto l'umiltà con cui gli studenti devono approcciare gli strumenti della ricerca (che sono sempre più potenti), ma anche il legame che essi devono mantenere con il tessuto territoriale; proprio come le botteghe rinascimentali in cui i nostri padri, grandi maestri dell'arte e della tecnica, hanno

fatto grande il nostro Paese. Per chiarire quindi quale possa essere il nostro ruolo, è assolutamente necessario recuperare la memoria dei nostri padri e ricucire quelle fin troppo sottolineate – negli ultimi decenni – lacerazioni che hanno offuscato la tenuta del nostro tessuto socioculturale e che hanno gettato nell’oblio fondamentali esperienze – tutte casalinghe – come ad esempio quella di Ivrea, dove l’Ingegnere Adriano Olivetti immaginò una fabbrica a misura d’uomo, una bottega con velleità transnazionali in cui la tecnica inseguiva la cultura e produceva gioielli tecnologici oggetto di attenzione oltreoceano. Enrico entra in contatto con il nostro mondo quando inizia a collaborare con il POMOS, il Polo Per la Mobilità Sostenibile, una realtà fondata da me e pochi altri “visionari” nell’ormai lontano – tecnologicamente parlando – 2008. In quel tempo, per molti versi pionieristico, immaginammo un luogo, una “bottega” dove fare ricerca, dove mettere a fattor comune conoscenze provenienti da diversi ambiti della conoscenza scientifica, dalla mecatronica all’Intelligenza Artificiale, dall’Ingegneria Elettrica all’Ingegneria dei Sistemi, dal Design al rispetto dell’ambiente e dei territori. Il POMOS si è quindi fin dall’inizio configurato come un luogo dove fare ricerca certamente moderno e polivalente, ma da subito rispettoso e coerente con la visione della “bottega scientifica”. In altre parole, al POMOS si realizzano tecnologie tangibili come veicoli elettrici ed ibridi, battelli, apparati per l’energia, reti telematiche, la cui progettazione richiede multidisciplinarietà, un forte lavoro in team e non solo conoscenza generica ma soprattutto la conoscenza del “saper fare”, in quanto i prototipi spesso sono progettati e realizzati partendo “da zero”. In altre parole, ciò che si realizza deve essere inquadrato in un’ottica sistemica, un vero e proprio ecosistema tecnologico. È in questo scenario che avviene l’incontro con Enrico, il quale comincia subito a trovare sinergie disciplinari tra l’Intelligenza Artificiale e l’elettrotecnica classica, riversandole nel mondo concreto delle Smart Grids e per estensione delle Comunità Energetiche, elemento di grande interesse attuale. Enrico si integra in modo naturale in questo “approccio olistico”, dove tecnici, progettisti e ricercatori, oltre ad operare verticalmente, devono possedere una visione d’insieme, orizzontale, cioè avere contezza del tutto da cui partire per immaginare e realizzare le parti senza disallineamenti che possono diventare pericolosamente

strutturali. Mi piace quindi riscontrare in questo saggio, e non nascondo che per me è anche fonte di notevole soddisfazione personale, proprio la visione sistemica di cui s'è fatto cenno, cosa che fa di Enrico il nostro ricercatore che ha avuto la maggiore capacità di distillare le migliori idee, frutto della competenza e dell'esperienza sul campo, e le ha condensate in una forma fruibile anche dai non addetti ai lavori. Anche grazie alla sua esperienza pluriennale nel POMOS, dopo aver raccolto elementi positivi ma anche negativi, dopo aver portato a termine progetti con sacrificio e dedizione, dopo aver collaborato con colleghi, studenti e altri ricercatori, Enrico ha saputo cogliere con lucidità e sicurezza che ciò che intravedemmo in quel lontano 2008, traducendolo e innestandolo in considerazioni molto più vaste e profonde, presenti nel suo libro. In questi ultimi tempi l'attenzione mediatica è rivolta al Green New Deal Europeo, dove nell'insieme delle riforme sociali proposte si inserisce la completa decarbonizzazione nonché digitalizzazione delle economie entro il 2050 per contrastare i cambiamenti climatici repentini attribuiti dagli esperti all'attività antropica. All'interno delle politiche avvallate dalla Commissione Europea, c'è anche l'ambizioso obiettivo di avere un intero parco circolante ad emissioni zero entro il 2030. Ciò ci rende orgogliosi poiché conferma ancora una volta come la direzione intrapresa sia quella giusta, e l'esperienza accumulata nel decennio appena trascorso ci spinge a moltiplicare ancora di più gli sforzi. Pertanto, se nello scorso decennio nell'ambito della cosiddetta Terza Missione dell'università si è optato per un trasferimento tecnologico maggiormente unidirezionale rivolto soprattutto alle PMI, e forse per questo spesso un po' "centrifugo", nel prossimo futuro si tenterà di riequilibrare gli sforzi assieme ai nostri partner. Tale approccio è già iniziato concretamente nel 2018 con l'incubazione ed il lancio della startup innovativa "SIS.TER. POMOS Srl", riconosciuta dalla "Sapienza" Università di Roma. La nuova realtà si configura come uno strumento pratico, snello e al contempo dinamico per ottenere ricadute sul territorio, operando per la valorizzazione economica della conoscenza con azioni concrete nell'ambito scientifico. Specificatamente, SIS.TER. POMOS Srl affronta le tematiche dell'Intelligenza Artificiale e in generale della digitalizzazione, della formazione e della sostenibilità energetica. Enrico, l'autore di questo saggio, è stato chiamato nella società

come Chief of Technological Officer (CTO), proponendosi come un integratore di sistemi con soluzioni *on the edge* che provengono direttamente dal mondo della ricerca scientifica, e in quanto componente di POMOS ne eredita la visione sistemica e l'approccio culturale. Quanto detto può costituire un esempio concreto ed esperienziale per rispondere al quesito di partenza e inquadrare con chiarezza il ruolo istituzionale della ricerca scientifica, un esempio che può valere la pena condividere. Gli sforzi della Commissione Europea sono i benvenuti se vanno nella direzione di consolidare le buone pratiche nei confronti dell'ambiente e in linea con lo sviluppo sostenibile. Sono altresì apprezzate le decisioni verticistiche in questa direzione, sia da parte delle istituzioni europee che nazionali, ma è necessario che le ricadute in termini di consapevolezza dei problemi e delle sfide tecnologiche che ci attendono siano tangibili anche lungo la catena gerarchica fino alle istituzioni territoriali, quelle che costituiscono l'humus socioeconomico dove far crescere lo sviluppo e che devono funzionare come scialuppa di salvataggio in caso di tempesta. Ciò si può ottenere solo "impollinando" le menti feconde con nuova conoscenza, in modo da continuare a mantenere vivo il dibattito e favorire la creazione di quel codice comune, l'antica *Koiné*, su cui intessere nuove forme di dialogo e inscrivere una chiara visione comune, condivisa, inclusiva. Posso affermare che il libro di Enrico che vi accingete a leggere muove in questa direzione, per il resto posso solo chiudere con un'ultima citazione: *in rebus dubis plurimum est audacia*.

PROF. FABIO MASSIMO FRATTALE MASCIOLI

Roma, Dicembre 2021