

ASSOCIAZIONE VILLA FAVARD

MAURO LOMBARDI

**Processi innovativi,  
generazione di nuove conoscenze,  
emergenze formative**

15 DICEMBRE 2018



MAURO LOMBARDI

**Processi innovativi, generazione di nuove conoscenze, emergenze formative**

*In occasione dell'incontro per gli auguri di Natale, svoltosi il 15 dicembre 2018, il professor Mauro Lombardi, docente di Economics of Innovation nell'università di Firenze, ha svolto un'apprezzata relazione, della quale ha preparato un testo che pubblichiamo qui di seguito*

**Una nuova era: *the exascale era***

Secondo studiosi appartenenti a diversi campi disciplinari (fisica, chimica, biologia, ingegneria, economia, politologia), l'umanità è entrata in una nuova era, definita a seconda della prospettiva adottata. Nel 1970 l'ex Consigliere per la Sicurezza Nazionale USA e politologo Zbigniew Brzezinski ha definito *technetronic era* quella in cui nuove tecnologie, specialmente l'elettronica, stavano progressivamente diventando le principali determinanti dei cambiamenti sociali, inducendo trasformazioni di stili di vita, strutture sociali, valori e prospettive globali delle società (p. XIV). 60 anni dopo l'avvento e l'impressionante diffusione di Internet, l'enorme espansione della potenza computazionale a disposizione di individui, organizzazioni e imprese, lo sviluppo impetuoso e i successi di tecniche di Intelligenza Artificiale (*Machine Learning, Computer Vision, Natural Language Processing, Evolutionary Robotics, Rule-based systems, ...*) hanno portato ad un mondo pervaso di dispositivi computazionali, che elaborano continuamente informazioni (*Ubiquitous Computing*): smartphone, sensori, attuatori, enormi database conservati, server gestiti in modo dinamico, sono diventati le componenti essenziali dei processi in atto in un mondo iperconnesso (*Ubiquitous Connectivity*). La conseguenza più evidente di tutto ciò è la creazione di flussi informativi a scala globale, che si intersecano e sovrappongono, generando così nuove combinazioni tra domini di conoscenze finora separati e considerati lontani. Di fatto, processi ed eventi accadono e producono effetti in ogni parte del mondo, producendo volumi incredibili di informazioni: è l'*exascaleera*, dove attività e processi danno origine e una mole informativa gestibile da computer in grado di effettuare un miliardo di miliardi di operazioni al secondo (Alowayyed et al. 2017). La presente *petascale era* (calcoli mediante computer capaci di  $10^{15}$  operazioni per secondo) è destinata ad essere superata, se si pensa che dispositivi computazionali pervasivi e la diffusione di rilevante capacità computazionale distribuita consentono di elaborare la rappresentazione digitale di processi e pro-

dotti dalla nano-scala (atomica e sub-atomica) a quella ordinaria e globale. Ad esempio, oggi si inventano nuovi materiali (come grafene, boro-grafene, stanene, e altri 200 circa) combinando atomi (genomica dei materiali) e si può controllare da remoto motori di aerei e treni, turbine di centrali elettriche (tradizionali e nucleari), camion auto-guidati riempiti in miniera da robot scavatori (Rio Tinto, Australia). Per non parlare della genomica degli esseri viventi: con la CRISPR\_Cas9, addirittura potenziata poche settimane or sono, è possibile modificare il patrimonio genetico e l'evoluzione di organismi anche umani. Siamo in presenza del cosiddetto genome editing, sperimentato nel 2016 in Cina e l'anno successivo negli USA, mentre ulteriori e discutibili esperimenti di incroci interspecie sono stati effettuati nel 2018.

Come si evince da questa sintetica esposizione, siamo di fronte ad eventi e processi che producono conseguenze a molteplice scala ed hanno enormi implicazioni sul piano tecnico-scientifico, produttivo, socio-economico, etico. Fenomeni e processi assumono necessariamente la caratteristica di essere multi-dimensionali, in quanto sono implicate simultaneamente varie dimensioni dell'agire individuale e collettivo, e richiedono giocoforza un radicale cambiamento dei modelli mentali con cui analizziamo la realtà che ci circonda e la sfera più ampia degli effetti che azioni e dinamiche possono provocare. Al centro dell'analisi e dell'elaborazione strategica di individui e organizzazioni dovrebbero di conseguenza essere le interdipendenze tra comportamenti individuali e collettivi, che in un mondo iperconnesso si innescano a molteplice scala, grazie alla rapidità dei flussi informativi. Ciò implica che occorre necessariamente assumere una visione sistemica, perché bisogna analizzare l'evoluzione di sistemi, definiti come insiemi di entità che interagiscono, sempre più spesso in modo non semplice, generando così effetti non previsti e non prevedibili (Simon, 1962). Se si considera poi il fatto che i sistemi contengono a loro volta sotto-sistemi con analoghe peculiarità dinamiche, il quadro analitico si complica ulteriormente, in quanto possono entrare in gioco contemporaneamente interazioni intra-sistemiche e inter-sistemiche, peraltro tra entità differenti per tipologia e ritmi evolutivi. L'era delle iperconnettività e dell'*exascale* è pertanto anche quella della complessità e dell'incertezza degli esiti di processi, interdipendenze e interazioni tra entità, che possono operare non solo in territori distanti tra loro, ma anche in ambiti tecnico-scientifici finora considerati molto eterogenei. In questo scenario sono destinati a cambiare profondamente i modelli di organizzazione dei processi economico-produttivi e delle attività umane in generale. Cambia infatti la natura e la tipologia di qualsiasi output (bene o servizio), il quale tende a diventare *multi-tech-*

*nology*, risultato di interazioni tra diversi domini di conoscenze; in definitiva ogni output diviene complesso e, grazie a dispositivi computazionali pervasivi, «intelligente» nel senso di capace di produrre informazioni. Output *multi-technology* e complessi non possono essere prodotti da un'entità integrata, perché non è possibile che una sola impresa posseda tutte le conoscenze necessarie per produrre qualcosa in grado di tenere il passo con l'ammontare e la varietà dei flussi di informazioni e conoscenze continuamente generati a scala globale.

Per quanto riguarda l'economia, ci troviamo allora di fronte a potenziali e complementari traiettorie di evoluzione: 1) i processi produttivi non sono più sequenze univoche e fisse di attività, bensì insiemi di segmenti di attività teorico-pratiche, che possono appartenere a sfere conoscitive e operative molto differenti. 2) Questi insiemi sono variabili, in quanto ciascuna componente è inserita in molteplici strutture interattive, soggette a mutevoli e vari stress-pressioni evolutive. 3) I tradizionali confini tra imprese sono più permeabili e confusi: siamo infatti nell'epoca delle reti strategico-progettuali stratificate, dal momento che un output deriva dalle modalità con cui si auto-organizzano e interagiscono entità di varia natura, coordinate in vista di un obiettivo finale, soggetto esso stesso a variabilità, come si evince dal punto seguente. 4) Per ogni prodotto la componente materiale svolge quasi un ruolo secondario: grazie al fatto che ogni processo/bene materiale contiene dispositivi computazionali, l'output diviene un insieme di funzionalità, a seconda delle strategie iniziali e dell'evoluzione della stessa in rapporto alla dinamica competitiva. Può così accadere che un orologio, un vestito, una racchetta da tennis, addirittura un tatuaggio, possono svolgere le funzioni tradizionali, oppure una miriade di altre funzioni, sulla base delle conoscenze umane incorporate nel mix software-hardware, per cui gli oggetti possono essere in grado di misurare parametri corporei, valutare il nostro stile di vita, mettersi in contatto con il mondo automaticamente o su impulso in caso di emergenza, somministrare medicine in caso di estremo bisogno (per es. insulina), e così via.

L'effetto finale è quello di influenzare il nostro stato di benessere e le condizioni di vita più in generale. Se estendiamo questa rappresentazione alle città e alla società nel loro insieme, dobbiamo acquisire consapevolezza che la tendenza verso l'*exascale era* non è altro che una fase evolutiva verso un universo fisico-cibernetico.

### *Universo fisico-cibernetico*

Non esiste in realtà una separazione netta o un divario (per così dire) temporale tra processi fisici e informativi. Entrambi sono profondamente intrecciati

e si influenzano reciprocamente, ma è chiaro che i processi informativi si espandono a ritmi molto più alti dei primi, per cui la capacità di elaborazione delle menti umane, pur potenziate da dispositivi computazionali sempre potenti, non può che trovare realizzazioni solo parziali rispetto alla enorme «nuvola informativa» in continua espansione intorno all'intero globo.

Come l'invenzione del linguaggio ha innescato «un'esplosione di concetti» nella mente umana (Dennett, 2018), così potremmo ritenere che l'invenzione dei computer ha dato «un linguaggio alle macchine», cioè la nostra conoscenza in forma di sistemi di algoritmi sempre più sofisticati ha creato circuiti di feedback senza fine: «La peculiarità della rivoluzione tecnologica attuale consiste non nella centralità della conoscenza e dell'informazione, ma nell'applicazione della conoscenza e dell'informazione a dispositivi per la generazione della conoscenza e per l'elaborazione/comunicazione dell'informazione, in un ciclo di feedback cumulativo tra innovazione e usi dell'innovazione» (Castells, 2014, p. 32).

È da ritenere pertanto plausibile che si sia aperta una fase storica di estrema variabilità per il mondo economico-produttivo e quello economico-sociale, dove al modello organizzativo chiuso e auto-contenuto subentrano modelli ibridi e reti strategico-progettuali flessibili. Non potrebbe essere altrimenti in un mondo iperconnesso, nel quale è possibile accedere a conoscenze provenienti da qualsiasi fonte, quindi con un potenziale informativo enorme e di conseguenza una fonte teoricamente inesauribile di creatività. Nell'universo fisico-cibernetico di cui stiamo parlando occorrono sistemi dotati di potenza computazionale *exascale* (Alovayyed et al., 2017), ma forse non basteranno in un futuro non lontano, dati i volumi crescenti di informazioni prodotti in ogni istante. È tra l'altro possibile, se non inevitabile, che – nonostante l'aumento della potenza computazionale – cresca il numero dei problemi e questioni irrisolvibili – cioè non trattabili dal punto di vista computazionale, per es. come rendere compatibile le strategie sia di uno sterminato numero di individui che interagiscono, sia di Stati-entità nazionali e sovra-nazionali. Limitandoci in questa sede a proporre riflessioni sul piano micro (individuale) e macro (Stati o Entità federali, come sarebbe necessario), è importante acquisire consapevolezza che nell'universo fisico-cibernetico è necessario adottare schemi di pensiero e modelli mentali incentrati su alcuni capisaldi: A) i problemi da affrontare sono multi-scala in fisica, chimica, biologia, ingegneria, sfera economico-sociale, per cui nelle scienze sociali è impellente l'urgenza di sviluppare nuove conoscenze. B) Solo una visione sistemica multilivello, incentrata sulle interdipendenze *cross-scale*, può consentire di comprendere caratteristiche strutturali delle dinamiche in atto a livello locale e

globale. C) Sistemi e processi hanno una morfologia complessa, dato che derivano da interazioni tra strati multipli e interconnessi appartenenti a diverse organizzazioni economiche e sociali.

Di qui la necessità di adottare un approccio adeguato per l'analisi di «sistemi di sistemi» mediante modelli in grado di catturare la dinamica di fattori e processi che interagiscono a differenti livelli, grazie appunto all'azione potenziata di tecnologie dell'informazione pervasive.

Dati il quadro generale in forte evoluzione e alla luce delle sfide teoriche ed operative che si ergono di fronte a individui, imprese e società, non è sorprendente che gli studiosi si dividano nel progettare scenari futuri. Possiamo individuare tre visioni circa il futuro: 1) *la prospettiva utopica*. Uno dei suoi maggiori esponenti è Chris Anderson, caporedattore della famosa rivista *Wired*, il quale già nel 2008 vedeva nell'era del *petabyte* la «fine della teoria» in un mondo pieno di dati «che parlano da soli». Gli enormi volumi di dati disponibili danno infatti la possibilità di «liberarli» «visualizzandoli nella loro totalità», cioè analizzandoli innanzitutto con strumenti matematico-statistici, per poi inquadrarli in un contesto. Per tale via Google, grazie all'applicazione di strumenti analitici, ha potuto vincere la competizione nel mondo digitale: l'impiego esclusivo di metodologie statistiche, senza ricorrere all'analisi semantica e causale. In breve, «con abbastanza dati, i numeri parlano da soli», quindi occorre cambiare il paradigma scientifico: nel lavoro degli scienziati non più ipotesi da verificare né modelli da creare, i *petabytes* ci dicono che «basta la correlazione» e non è necessario ricercare le cause. Possiamo «gettare i numeri nel più grande set di dispositivi di calcolo che il mondo abbia mai avuto e lasciare che gli algoritmi statistici ci diano i modelli che la scienza non è in grado di produrre». «La correlazione sostituisce la causa» ed è tempo di chiedersi «cosa può apprendere la scienza da Google?».

Riflessioni critiche su questo tipo di visione utopica sono sviluppate da diversi studiosi, come Berry (2011) e Liu (2012). Entrambi riflettono sull'«umanità digitale» e «post-digitale», ponendo interrogativi su una nuova «epoca ontologica», entro la quale cambierebbe l'«intelligibilità del mondo», e Liu si interroga sia sul presente e il futuro degli studi umanistici, sia sulla tendenziale assenza di pensiero critico. Oltre a filosofi e studiosi di scienze sociali (Gold et al., 2012), che dibattono le implicazioni della visione utopica, apparentemente trionfante, e della «sovranità del dato», esperti di computer science da tempo sollevano dubbi in proposito e sostengono con forza la tesi contraria: i «big data», cioè l'enorme accumulo di dati della petascale e dell'exascale era, richiedono «*a big theory too*» (Coveney et al. 2016a). Questi temi sono stati discussi in una serie di convegni

internazionali, i cui atti sono apparsi su riviste importanti (Journal of Computational Science, Philosophical-Transactions A della Royal Society)<sup>1</sup>. È di grande interesse il contributo di Coveney et al. (2016a), che sviluppa una suggestiva analogia tra la situazione odierna e l'epoca scientifica pre-baconiana, rappresentata dall'enorme accumulazione di dati osservativi sui movimenti astronomici da parte di Tycho Brahe, seguita da quella più propriamente scientifica, nel corso della quale Keplero ha formulato le leggi sulle orbite ellittiche dei pianeti<sup>2</sup>. Gli autori in questione poi argomentano che siamo in una fase pre-galileiana, nel senso che sono necessari sviluppi teorici e matematici in grado di imprimere, come hanno fatto Galileo e Newton, una svolta nei paradigmi di analisi e conoscenza dei processi dell'era digitale.

Altri studiosi sollevano critiche di tenore del tutto diverso, in quanto essi si soffermano sugli effetti distopici nel futuro dell'umanità: dagli scenari fantascientifici di controllo totale, presenti in Orwell (Il Mondo nuovo, 1932, e in «1984», libro dove è tracciata la figura del «grande fratello»), passiamo alla realtà del possibile «dirottamento delle nostre menti» (The Guardian, 2017), fino agli scenari apocalittici di un'umanità dominata dall'Intelligenza Artificiale, che dovrebbe essere orientata a beneficio dell'umanità, come afferma l'appello internazionale firmato da migliaia di personalità a partire da tre eminenti personalità a livello internazionale: il fisico Stephen Hawking, il filosofo Eric Bostrom, l'imprenditore innovatore Elon Musk<sup>3</sup>. Lo scenario distopico è reso ancor più realistico dal numero crescente di attacchi cibernetici non solo a strutture civili (siti

---

<sup>1</sup> Si vedano a riguardo: Hoekstra et al. 2014; Karabazov et al., 2014; Coveney et al., 2016b; Hoekstra et al., 2018a; Hoekstra et al. 2018b; Varian, 2016.

<sup>2</sup> Coveney et al. (2016) si riferiscono alla visione del filosofo Bacone, che spiega l'evoluzione del pensiero umano pre-scientifico a quello scientifico con la metafora delle formiche, dei ragni e delle api. Gli empiristi, come le prime, raccolgono e usano ciò che trovano; i razionalisti rassomigliano ai ragni, che tessono tele con la sostanza da essi stessi prodotta; le api, invece, traggono alimento dai fiori e lo trasformano con le loro stesse forze. Secondo Coveney et al. Big data a data analytics sono come le scienze che si basano sulla «cieca raccolta di dati», senza lo sforzo di rielaborazione cognitiva alla ricerca di spiegazioni, così come è avvenuto in astronomia. Ticho Brahe ha raccolto un'enorme quantità di osservazioni, ma è stato Keplero a escogitare le leggi di movimento dei pianeti e solo con Galileo e Newton si è passati alla interpretazione scientifica dei processi osservati.

<sup>3</sup> An Open Letter: Research Priorities for Robust and Beneficial Artificial intelligence, <https://futureoflife.org/ai-open-letter/?cn-reloaded=1>



web personali e aziendali, banche), ma anche a entità strategiche (centrali elettriche, aeroporti, infrastrutture fisiche di importanza strategica).

Per contro non mancano studiosissimi pessimisti come Kelly (2010), propugnatore della visione di un progresso tecnologico incrementale (*protopia*), che procede senza sbalzi eccessivi ed è raramente distopico. Tutto dipende dalla capacità di fare scelte umane oculate tra potenzialità negative e positive offerte da scenari tecnologici in continua evoluzione.

In ogni caso siamo entrati nell'era dell'incertezza, caratterizzata da avanzamenti tecnico-scientifici verso quella che viene definita terza era della «storia del computing» (Noor, 2015). La prima (*tabulating era*) era quella delle macchine calcolatrici basate su schede perforate; la seconda (*programmable computing era*) è quella delle macchine odierne basate sull'architettura di von Neumann, in grado di effettuare calcoli, eseguire sequenze di istruzioni logiche, accumulare informazione sotto forma di milioni di zero e uno. La nuova era, appena iniziata, è caratterizzata dalla traiettoria verso il *Cognitive Computing*, cioè lo Studio e realizzazione (al momento parziale) di Macchine che apprendono, «sentono», ragionano e interagiscono con altre entità, animate e non. Centri di ricerca di vari Paesi stanno cercando di realizzare macchine in grado di «pensare», molto più che calcolare e estrarre «patterns» o configurazioni da enormi database. Il futuro prossimo (?) ipotizzato è composto da sistemi cognitivi che integrano domini di conoscenze, immaginano scenari, configurano alternative strategiche, perché sensibili al contesto: sono infatti in grado di attingere a fonti multiple di informazioni, strutturate e non strutturate, quali input sensoriali (visuali, gestuali, verbali, emotive). Oltre che ai sistemi computazionali tradizionali, basati su precisi set di regole, domini di conoscenze ben definiti, comportamenti prestabiliti (*well-defined problems*), siamo oggi in presenza di sistemi cognitivi capaci di *probabilistic computing*, cioè di stimare la probabilità di eventi, scoprire anomalie e sorprese, attraverso la comparazione di enormi quantità di dati di varia natura. Essi sono quindi in grado di captare nuova informazione e di effettuare *predictivemodelling* (*anticipatory computing*) apprendendo dagli errori. Tutto questo avviene soprattutto attraverso le reti neurali, i cui concetti base risalgono agli anni '50, ma hanno vissuto alterne vicende di grandi speranze e delusioni, con due forti espansioni a fine anni '80 e negli anni '90. Il punto di partenza sono stati modelli costituiti da insiemi di nodi connessi in reti variabili a due o più strati, mentre l'intensità delle connessioni che evolvono nel tempo rappresenta gli schemi e la memoria della rete. Lo stadio odierno di grande successo è dovuto al Deep Learning: reti con un numero enorme di neuroni e di strati neurali, tra cui vi sono

miliardi di connessioni. Gli effetti raggiunti sono molto più significativi di quelli ottenuti in passato, date le elevate performances nel riconoscimento di immagini e oggetti reali, nel riconoscimento del linguaggio naturale e più recentemente anche nella lettura delle emozioni attraverso le espressioni facciali.

*Big data* e *data analytics* sono attualmente due espressioni molto usate sia nel marketing che nella teoria manageriale, non di rado dimenticando che la descrizione di un fenomeno non significa averlo spiegato, soprattutto tenendo presente che i computer sono estremamente bravi nel fare inferenze sulla base di ipotesi strutturate da umani, ma non nel formularle.

Porre domande, formulare ipotesi, ricercare spiegazioni causali restano ancora prerogative tipicamente umane, così come altre peculiarità di esplicazione del pensiero, quali la generalizzazione delle conoscenze, l'elaborazione di metafore e analogie (Hofstadter, 2000, 2013). Non è questa la sede per approfondire tali questioni, ma ai nostri fini è importante rilevare che un'era caratterizzata da big data e data analytics comporta significativi cambiamenti dei processi decisionali individuali e collettivi, che a loro volta generano non trascurabili emergenze formative.

#### **Emergenze formative**

Il punto da cui partire è che in contesti reali contraddistinti da processi multi-scala e problemi non suscettibili di definizione univoca la validità di inferenze induttive deduttive è limitata (Hoffman e Klein, 2017). La spiegazione di fenomeni e processi in tali casi richiede che si formulino principi e relazioni causali<sup>4</sup>, sulla base dei quali formulare congetture informate, grazie a tecniche di analisi dei big data, e soprattutto inferenze deduttive, cioè ragionamenti causali ipotetici da sottoporre a verifica<sup>5</sup>.

Il fatto è che nell'epoca odierna dobbiamo misurarci con «sistemi di cono-

---

<sup>4</sup> A. Hayek, «Degrees of Explanation», *The British Journal for the Philosophy of Science*, VI, No. 23, 1955. *The Theory of Complex Phenomena: A Precocious Play on the Epistemology of Complexity* in Hayek, F. A. (1967). *Studies in Philosophy, Politics and Economics*, London, K: Routledge & Kegan Paul, pp. 22-42.

<sup>5</sup> Ci riferiamo a processi abduitivi di ragionamento, ovvero di formulazione di ipotesi esplicative di fenomeni rilevati. L'abduzione è un concetto formulato originariamente da Aristotele e ripreso da Peirce, che l'ha messo al centro della sua visione. Esso viene impiegato anche nell'analisi dei processi innovativi e nella teoria dell'organizzazione (si veda Grandori, 2013 e l'ampia letteratura ivi esaminata).

scienza», che comprendono conoscenze teoriche (*law-like*), formali (*fact-like, if..thenstructure*) ed empiriche (*If..thenprescriptive, prescriptive*). In una fase storica ad alta intensità innovativa come quella odierna è sempre più necessario effettuare sperimentazioni e elaborare modelli simulativi dei processi reali. Sperimentazione e simulazione sono appunto un mix delle ultime due tipologie di conoscenze e la teoria può «alimentare» entrambe mediante *abductivereasoning*, cioè formulazione di ipotesi esplicative che vanno al di là dell'esistente, pur partendo da esso. In altri termini occorre effettuare una specie di «Salto conoscitivo» dal dato e dai big data alla elaborazione di teorie esplicative.

Affinché ciò sia possibile è necessario acquisire consapevolezza di alcuni elementi essenziali per creare e diffondere cultura digitale, ovvero le basi per misurarsi con le sfide odierne e del prossimo futuro. Alla luce di quanto argomentato finora è logico proporre una architettura concettuale ed operativa così caratterizzata. 1) I processi e prodotti devono essere concepiti come «insiemi aperti» di funzionalità variabili, a seguito di incessanti flussi di informazioni e conoscenze generate in set non predeterminabili di domini conoscitivi. 2) La natura *multi-technology* di output e processi richiede evidentemente l'adozione di un'ottica multi-disciplinare, che stimoli e sostenga interazioni tra eterogenee sfere di attività e sperimentazione. 3) È di conseguenza un imperativo non eludibile quello di sviluppare interazioni che portino, pur partendo da ambiti teorico-sperimentali differenti, a schemi concettuali comuni, applicati ad ambiti operativi eterogenei. 4) In questa prospettiva è cruciale che sia i processi formativi che le pratiche operative sui luoghi di lavoro siano improntati a processi di apprendimento ancorati a sistematiche analisi dei problemi, quindi alla ricerca della loro soluzione, per poi passare alla progettazione ispirata ai punti prima indicati. 5) Implicazione logica delle riflessioni svolte è l'assoluta rilevanza dell'adozione di una prospettiva di analisi e formazione incentrata su sistemi gerarchici e complessi, la quale dovrebbe permeare tutte le attività, mettendo al centro lo studio e la riflessione sulle interdipendenze e sulla non linearità dei processi, contraddistinti da circuiti ripetuti di feedback. 6) Il «pensare per problemi» e «per sistemi» nell'odierna petabyte o exascale era comporta il *computational thinking*, espressione che sintetizza i seguenti processi: i) sviluppo di capacità di astrazione rispetto a processi reali, densi di aspetti, con differenti gradi di rilevanza. ii) Scomposizione dei problemi in sotto-problemi e domini conoscitivi trattabili, alcuni dei quali noti e altri da sperimentare mediante l'esplorazione diretta di nuovi campi del sapere oppure, alla luce dei punti precedenti, attraverso la creazione di reti strategico-progettuali. iii) Analisi sistemica e puntuale della *shifting* frontiera tecnico-scien-

tifica e tecnico-produttiva, al fine di stimare il proprio posizionamento competitivo (individuale e collettivo) e quindi intraprendere azioni di natura strategica (*strategic thinking*).

Due fondamentali corollari finali dell'analisi svolta sono i seguenti: 1) nello scenario delineato le funzioni di coordinamento strategico sono decisive e quindi la formazione di competenze appropriate in merito dovrebbe essere il focus privilegiato di istituzioni formative all'altezza delle sfide odierne. 2) Un requisito essenziale per il funzionamento dinamico dei sistemi aperti e interattivi (aziendali e istituzionali, pubblici e privati) è che essi siano pervasi da *open mindset*, cioè modelli mentali al tempo stesso radicati e aperti, per essere in grado di captare segnali e informazioni innovative. Maggiore la base conoscitiva di individui e collettività, più alta è la probabilità di resistere alle sfide competitive. Grande è allora la responsabilità dei processi formativi nell'instillare nelle menti di giovani e meno giovani un'inesauribile sete di conoscenza.

#### Riferimenti

Alowayyed S., Groen D., Coveney P. V., Hoekstra A. G., 2017, *Multiscale computing in the exascale era*, Journal of Computational Science, 22, 1525.

Anderson C., 2008, *The end of the Theory: the Data Deluge makes the Scientific Method Obsolete*, Wired, 23-6-2008

Berry D. M., 2011, *The Computational Turn: Thinking About the Digital Humanities*, Vol. 12, 1-22, <http://www.culturemachine.net/index.php/cm/article/view/440/470/>.

Brzezinski Z., 1970, *Between Two Ages*, Viking Press.

Castells M., 2014, *La Nascita della Società in Rete*, Università Bocconi Editore, p. 32.

Coveney P. V., Dougherty E. R., Highfield R. R., 2016a, *Big data need big theory too*, Philosophical Transactions A, February 24, Royal Society Publishing.

Coveney P. V., Boon J. P., Succi S., 2016b, *Bridging the gaps at the physics–chemistry–biology interface*, Phil. Trans. R. Soc. A 374: 20160335.

Dennett D., 2018, *Dai Batterii a Back. Come evolve la mente*, Raffaello Cortina Editore

Gold M. K., 2012, *Debates in the Digital Humanities*, University of Minnesota Press, Minneapolis London.

Grandori A., 2013, *Epistemic Economics and Organization: Forms of Rationality and Governance for a Wiser Economy*, Routledge.

- Hoekstra A., Chopard B., Coveney P., 2014, *Multiscale modelling and simulation: a position paper*, Phil. Trans. R. Soc. A 372: 20130377.
- Hoekstra A. G., Zwart S. P., Coveney P. V., 2014a, *Multiscale modelling, simulation and computing: from the desktop to the exascale*, Phil. Trans. R. Soc. A 377: 20180355.
- Hoekstra A. G., Chopard B., Coster D., Portegies Zwart S., Coveney P. V., 2019, *Multiscale computing for science and engineering in the era of exascale performance*, Phil. Trans. R. Soc. A 377: 20180144.
- Hoffman R. R., Klein G., 2017, *Explaining Explanation, Part 1: Theoretical Foundation*, IEEE Intelligent Systems, 68-73, May; *Explaining Explanation, Part 2: Empirical Investigations*, 68-86, August.
- Hofstadter D. R., 2000, *Analogy as the Core of Cognition*, Stanford Presidential Lectures in the Humanities and the Arts.
- Hofstadter D. R., 2013, *Superfici ed essenze. L'analogia come cuore pulsante del pensiero*, Codice Edizioni.
- Karabasov S., Nerukh D., Hoekstra A., Chopard B., Coveney P. V., 2014, *Multiscale modelling: approaches and challenges*, Phil. Trans. R. Soc. A 372: 20130390. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0390>
- Liu A., 2012, *Where is Cultural Criticism in the Digital Humanities*, in Gold et al., 2012, cit., Cap. 29.
- Noor A. K., 2015, *Potential of Cognitive Computing and Cognitive Systems*, Open Engineering, 5:75-88.
- Simon H. A., 1962, *The Architecture of Complexity*, Vol. 106, No. 6, 467-482.
- Varian H. R., 2016, *Causal inference in economics and marketing*, Proceedings of National Academy of Science, July 5, 7310-7315.