

«BIT BANG»: ETICAMENTE... PARADIGMA

Rappresentazione in quattro atti dell'anelito
di uomini più che della precisione di macchine

Nicola Di Nardo

doi: 10.7359/762-2015-dina

1. INTRODUZIONE A SIPARIO SCESO: VOCE NARRANTE

*Se vuoi costruire una barca non radunare uomini
per tagliare legna, dividere i compiti e impartire ordini,
ma insegna loro la nostalgia del mare immenso e sconfinato.*

(A. de Saint-Exupéry, *Il piccolo principe*, 1943)

La mia esperienza professionale in campo informatico ha inizio nei *mitici* anni Ottanta quale direttore del C.I.R.S. (Centro per l'Informatizzazione della Ricerca e dei Servizi), primo centro di calcolo interfacoltà dell'Università degli Studi 'G. d'Annunzio' di Chieti e Pescara, istituito dall'allora rettore Uberto Crescenti al fine di avviare il processo di informatizzazione dell'amministrazione, della didattica e della ricerca.

Molti anni sono passati, e l'illuminata idea del centro di calcolo ha trovato la sua naturale evoluzione in un sistema di uffici istituzionalmente preposti a gestire, con tecnologie informatiche, i processi informativi – amministrativi, didattici, di ricerca – di tutti i settori dell'ateneo.

In quest'ottica di progressiva delineazione di competenze specifiche, è stata istituita nel gennaio 2001 la *Web Agency*, la cui missione poteva riassumersi nell'intreccio di due parole: rete e *web*. Queste funzioni informative nevralgiche sono state da me coordinate per dieci anni, in stretta sinergia con il Consorzio Interuniversitario CINECA, con cui l'università 'd'Annunzio' è consorziata. Oggi sono responsabile di un settore preposto ad armonizzare ambiti progettuali sistemici, quali il nuovo portale d'eccel-

lenza di ateneo, il modello unico di sito dipartimentale, la gestione unitaria degli spazi per la didattica.

Tutto questo per sottolineare come l'ambito universitario, per sua natura innovativo e conservativo al tempo stesso, mi abbia offerto un contesto particolarmente fecondo nel quale osservare, sviluppare, sperimentare servizi basati sulle tecnologie digitali dell'informazione e della comunicazione – cui nel seguito mi riferirò in termini di *tecnologie informatiche* – e soprattutto mi abbia svelato in modo esemplare come la rivoluzione digitale sembri essere accompagnata sempre più da insidie e difficoltà molto più di qualunque altra rivoluzione tecnologica avvenuta in passato.

A mio parere, queste criticità traggono origine da un fraintendimento tanto profondamente radicato quanto terribilmente sostanziale: l'interazione con le tecnologie informatiche è stata ed è vista sempre più in termini di abilità, perizia predisposizione – in ciò che in gergo viene chiamato «*saper smanettare*» – e sempre meno intesa in una prospettiva di cultura e di scienza.

Ricorre insomma una visione puramente passiva e strumentale nell'approccio alle tecnologie informatiche, che per la persona comune viene tipicamente ricondotto al *saper usare le applicazioni*, mentre per il tecnico, il perito, l'amatore è rapportato alla capacità di *saper realizzare le applicazioni*. Questa concezione, che riduce l'informatica alla mera fruizione/(s)montaggio/programmazione delle sue componenti *hardware* e *software*, conduce ad un mero consumismo della tecnologia piuttosto che ad una scelta colta e consapevole di innovazione: effetto certamente molto apprezzato dalle aziende del settore, particolarmente quando colpisce i giovani alla ricerca ossessiva del modello più modaiolo o *performante*, a prescindere da ogni dubbio su bisogni/opportunità/utilità, o contagia i vertici amministrativi o politici delle P.A. che ne fanno bandiera di rivoluzione qualitativa, come se nuovi *hardware/software* arrecassero efficacia ed efficienza, astraendo da qualsiasi analisi su chi ed ancor più sul come li utilizzerà; o, ancor peggio, quando questa visione viene posta alla base dei cosiddetti processi epocali di «alfabetizzazione/formazione» informatica.

Eppure non vi è nulla di più transitorio e rapidamente obsoleto delle tecnologie digitali di automazione/comunicazione e delle relative competenze specifiche: come dire che, cambiando lo «strumento», bisogna reimparare da capo a *suonare*, ivi inclusi tutti gli interminabili *update/upgrade hardware* e *software*, con tutto il conseguente, logorante tempo speso in errori, tentativi, richieste disperate di assistenza e supporto.

Ed ancora, pensando a sistemi più complessi, non vi è nulla di più impermanente di un qualsiasi «progetto di automazione», se esso non è

condiviso e radicato nel relativo substrato umano, se esso non è ri-conosciuto come proprio dai suoi ideatori/fruitori: rileggendone le logiche e le metodologie applicative, riesaminandone tutte le implicazioni funzionali (circuiti decisionali, flussi di comunicazione, modalità di coordinamento e controllo), prevedendone le problematiche emergenti in un sistema complesso (*technology bites back*, la tecnologia ti morde dietro, *slang* che evidenzia proprio la difficoltà di anticipare tutti i possibili colpi di coda), verificandone la reale ottimizzazione, esplicitandone tutte le componenti organizzative e sociali interconnesse.

In sintesi, il senso comune porta a ritenere che l'introduzione delle tecnologie informatiche – dalle più semplici alle più complesse, dalle più personali alle più sistemiche – possa prescindere da una riprogettazione globale dell'intera *organizzazione*, privata o professionale che sia, dall'assunzione di tutte le responsabilità e i ruoli attivi spettanti e dalla coscienza che *la trasformazione da atomi a bit* potrà essere in prospettiva creativa, costruttiva, magari rivoluzionaria solo se accompagnata da profondità di analisi, flessibilità di pensiero, rete di relazioni umane, radici storiche, sensibilità partecipata ad inventare il nuovo.

Un'altra complicazione proviene dall'occorrenza che *sulla rete c'è tutto*, ma *c'è anche di tutto*: la quantità delle informazioni rese accessibili dai servizi *web*, fuori misura rispetto a qualsiasi forma di assimilazione/accomodamento cognitivo umano, esige una drammatica selezione e valutazione della qualità in tempo reale. Di fatto stabilire il valore di una informazione e/o scegliere quella che può essere effettivamente utile, rilevante, significativa in un *mare magnum* risulta essere realmente difficile, ancor più quando l'essere immersi in un oceano di dati genera ansia di smarrirsi ed affogare. Né possono considerarsi di sicuro successo i criteri pragmatico-teorici solitamente adottati *all'impronta*, che vanno dall'affidabilità delle fonti ai *curricula* degli autori/ideatori, fino alla valutazione «esperienziale» dei *format* e dei *layout*: tali criteri, anzi, tendono spesso ad occultare apporti significativi di coloro che non si sono ancora «fatti un nome», mentre esaltano i contributi di studiosi già noti ed affermati¹.

La disponibilità di una quantità immensa di informazioni non aiuta inoltre a porsi e a porre interrogativi, non stimola la capacità critica delle

¹ Questo effetto «di cumulatività» tipicamente ricorrente nella comunità scientifica, secondo cui un successo iniziale determina effetti di «ripartizione» (in termini di credibilità, risorse, successo) non proporzionali alle abilità nelle fasi successive, viene indicato con il nome di «effetto San Matteo», dal *Vangelo* secondo Matteo versetto 25, 29: «perché a chiunque ha sarà dato e sarà nell'abbondanza; ma a chi non ha sarà tolto anche quello che ha».

domande, non incoraggia un pensiero interpretativo né stimola un ruolo più centrale ed attivo. Non solo. All'aumentare smisurato di informazioni, che ovviamente non possono non accompagnarsi ad una quantità rilevante di inutile, se non fastidioso, *rumore di fondo*, sembra montare l'inquietudine di non avere sufficiente tempo per considerarle e discernerle, tanto da evocare le parole del giornalista satirico Karl Kraus pronunciate nei primi del Novecento, dunque in anni non sospetti: «Ma dove mai troverò il tempo per non leggere tante cose?»².

Tutti questi fattori – esaltati dalla sensazione tangibile che tutta questa immensa conoscenza sia effettivamente *a portata di click*, pur mancando lo spazio ed il tempo necessari per l'assimilazione e la sedimentazione della conoscenza – spingono gli utenti a risoluzioni spesso contrapposte: o la breve via del *copincolla*, che riempie rapidamente pagine e pagine pur senza sfiorare cellette di intelletto, ovvero una lunga fase di profondo e sterile disorientamento innescata da sovraccarico e surriscaldamento cognitivo.

In conclusione, appare imprescindibile e improcrastinabile avviare una ri-lettura delle tecnologie informatiche in termini di cultura e di scienza: solo in questa prospettiva i *nativi analogici* o «immigrati digitali» (per dirla con Mark Prensky) ed ancor più i *nativi digitali* potranno essere fruitori – se non ancor più creatori – attivi, consapevoli e critici per scelta, non certo per necessità o per essere *figli del loro tempo*.

2. ATTO I: IL PROPOSITO DI RI-CONOSCERE L'INFORMATICA COME CULTURA E COME SCIENZA

*Ciò che l'esperienza e la storia insegnano è questo:
che uomini e governi non hanno mai imparato nulla
dalla storia, né mai agito in base a principi da essa edotti.*

(G.W.F. Hegel, *Lezioni sulla filosofia della storia*, 1837)

Se consideriamo la prospettiva di rileggere le tecnologie informatiche in termini di cultura e scienza ci appaiono fortemente illuminanti le parole di Giovanni Testori che spogliano la parola «cultura» di ogni intellettualismo e la restituiscono al suo vero soggetto, cioè al popolo, alla cosiddetta *signora Maria*:

² Da «Detti e contraddetti», in https://it.wikiquote.org/wiki/Karl_Kraus.

Cultura è la forma di tutte le ore, di tutti i giorni, i mesi, gli anni della nostra esistenza, sentita come rapporto di comunione, come rapporto totale di uomini che sono chiamati a costruire la loro storia, il tessuto di speranza e non il non senso di lacerazione e di una disperazione.³

Ancor più stringente in merito è il pensiero di Dario Fo, Premio Nobel per la letteratura nel 1997 «perché, seguendo la tradizione dei giullari medioevali, dileggia il potere restituendo la dignità agli oppressi»⁴, che sottolinea come

Un'umanità senza cultura è un'umanità morta. Perché la cultura è la memoria strutturale di un popolo, è il sostegno morale, filosofico. È legata alla religione, ai riti, alle tradizioni, a un atteggiamento collettivo molto importante. E soprattutto cultura significa conoscenza e informazione: un gruppo di persone deve conoscere la propria origine, la propria storia, i propri slanci, disperazioni e grandi vittorie contro il negativo, l'aberrante, la mancanza di libertà. Baudelaire diceva che la cultura è la più alta forma di partecipazione libera alla vita collettiva. Credo sia una definizione importantissima, geniale e semplice.⁵

La stessa etimologia della parola, dal verbo latino *colere*, coltivare, rimanda ad un concetto di cultura insita, profondamente e indelebilmente, nel quotidiano, nella esperienza di tutti i giorni: la cultura è la nostra identità – fatta di sapere, credenze, arte, morale, diritto, costume e ogni altra competenza e abitudine acquisita – che si forma nel corso del tempo e che noi coltiviamo, curiamo, esercitiamo.

La cultura in senso lato può essere considerata come l'insieme degli aspetti spirituali, materiali, intellettuali ed emozionali unici nel loro genere che contraddistinguono una società o un gruppo sociale. Essa non comprende solo l'arte e la letteratura, ma anche i modi di vita, i diritti fondamentali degli esseri umani, i sistemi di valori, le tradizioni e le credenze.⁶

³ G. Testori, «Cos'è la cultura», pubblicato nel sito Associazione Culturale Universitaria «Antonio Rosmini» il 15 gennaio 2014, in <http://www.rosminipadova.it/2014/01/che-cose-la-cultura-un-inedito-fulminante-di-giovanni-testori/>.

⁴ Motivazione di attribuzione del Premio Nobel, in http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/literature/laureates/1997/.

⁵ Da un'intervista della giornalista Franca Silvestri dal titolo «Ci sono giornalisti servi» fatta a Dario Fo nel 1997 e ripresa da Melinda B. Tamàs-Tarr nell'«Editoriale» all'*Osservatorio Letterario* XIV, 73-74 (2010), in [http://www.osservatorioletterario.net/Osservatorio73-74\(boritos\).pdf](http://www.osservatorioletterario.net/Osservatorio73-74(boritos).pdf).

⁶ Rapporto finale della Conferenza internazionale sulle politiche culturali organizzata dall'UNESCO a Città del Messico dal 26 luglio al 6 agosto 1982. Pubblicato dalla Commissione UNESCO tedesca, Monaco di Baviera: K.G. Saur 1983 (Rapporti delle Conferenze dell'UNESCO, nr. 5), p. 121, in <http://www.bak.admin.ch/themen/04117/index.html?lang=it>.

A ben guardare dunque, l'informatica dello *smanettare* compulsivo, dell'andare sempre alla ricerca della tecnologia più *griffata/performante*, dello *scaricare* ogni ben di Dio dalla rete, dell'inondare di parole i *social media*, non sembra proprio essere parte della nostra cultura in quanto non radicata nel quotidiano, ma semplicemente ad esso sovrapposta come necessità ineluttabile ed invariante, finanche come orpello o vezzo *cash & carry*; e forse ancor meno della scienza, o di quello che per il senso comune si intende per scienza.

Ma l'informatica è la scienza di cosa?

Secondo la *Association for Computing Machinery* (ACM), che è la prima e più importante associazione di informatici nel mondo, l'informatica si trova a cavallo fra le scienze e l'ingegneria: dalle scienze eredita la curiosità di capire ad esempio cosa significa risolvere problemi in modo automatico, anche dal punto di vista filosofico, dall'ingegneria il rigore metodologico nel risolvere i problemi. Per queste caratteristiche uniche, l'informatica può essere oggi vista come una delle *tre gambe*, assieme alla teoria e alla sperimentazione, su cui si reggono le scienze moderne.

Per chiarire la *qualità* dell'informatica in quanto scienza, ci sembra illuminante il pensiero di Furio Honsell, informatico e Rettore dell'Università degli Studi di Udine, secondo cui l'informatica è:

[...] la scienza delle *metodologie generali per risolvere i problemi*. Saper analizzare un contesto e definirne un modello, non in modo monolitico come avviene in tante discipline, anche esatte, ma attraverso un telescopio di molteplici livelli e barriere di astrazione, che permettano di mettere a fuoco e circoscrivere i problemi specifici di ogni livello, costituisce un esempio illuminante di metodologia informatica. Quest'ultima apre poi la strada alla costruzione di *metamodelli*, ovvero di generatori di modelli, e alla possibilità di ragionare in modo rigoroso e formale sui modelli stessi. Conduce ad una comprensione sistemica, sempre più necessaria in contesti ormai dominati dalla complessità.

È stata proprio l'informatica, forse, la scoperta più interdisciplinare, o forse si dovrebbe dire multidisciplinare, di questo ultimo mezzo secolo, che è poi la ragione della sua diffusione e del carattere *pervasivo* delle tecnologie informatiche in tante discipline e attività umane. Si è scoperto che ogni ambito di attività o ramo del sapere possiede una componente *software*, un *residuo informatico*, che è possibile mettere a fuoco attraverso una prospettiva *metodologica, computazionale* alla disciplina, sia in termini *algoritmico-procedurali*, che in *linguistico-logicosemantici*.

E una volta messo a fuoco in una disciplina o attività tale *residuo software*, questa stessa disciplina ci viene restituita con una dimensione nuova che la rende più strutturale e strutturata, un po' più vicina alla musica, dove ciò che conta non sono gli oggetti in sé, il loro supporto materiale, ma le differenze,

o i rapporti, tra di essi, che generano altre differenze. L'informatica è ciò che rimane degli scacchi o del bridge quando non ci sono più la scacchiera, le pedine o le carte.⁷

L'informatico britannico Robin Milner, insignito del Premio ACM Turing Award nel 1991, rende ancor più esplicito l'intento di *rilanciare* l'informatica, elevandola da settore prevalentemente spinto dalla tecnologia ad una scienza a pieno titolo:

Lo sviluppo software e di tutto il settore informatico ha seguito logiche completamente rovesciate rispetto ad altri settori tecnologici contigui. Nell'ingegneria elettronica, ad esempio, la tecnologia si è sviluppata a partire dalla ricerca di base, nutrendosi fin dall'inizio di un solido quadro teorico nato intorno al lavoro di James Clerk Maxwell già prima della fine dell'800. Questo rovesciamento è stato inevitabile per la grande richiesta del mercato. Adesso però abbiamo bisogno di modelli unificanti. Non basta scrivere un codice e verificare che funzioni. Dobbiamo capire che cosa costruiamo nello stesso modo nel quale i ricercatori di altri campi, dalla biologia alla fisica, cercano di comprendere i fenomeni naturali e ciò che li circonda, perché la verità è che la nostra conoscenza di cosa c'è dietro agli oggetti informatici che costruiamo è ancora incompleta.⁸

Che è come ritrovare sfacciatamente attuali, in un contesto così moderno, le parole di Leonardo da Vinci: «quelli che s'innamoran di pratica senza scienza son come 'l nocchiere, ch'entra in navilio senza timone o bussola, che mai ha certezza dove si vada»⁹.

In quanto studio sistematico dei cosiddetti algoritmi che descrivono e trasformano l'informazione, l'informatica è forse la più umanistica delle scienze, dal momento che tenta di riprodurre attraverso modelli le capacità intellettuali umane e che offre con i suoi strumenti di calcolo una crescita davvero decisiva delle attività mentali.

⁷ F. Honsell, «La cultura informatica: tra scienza e tecnologia», in <http://www.mat.uniroma2.it/~nardida/attachments/honsell.pdf>.

⁸ G. Romeo, «Robin Milner: 'L'informatica è una scienza'», *Il Sole 24 Ore*, 26 giugno 2008, in http://www.ilsole24ore.com/art/SoleOnline4/Tecnologia%20e%20Business/2008/06/milner-computer-science-fondamenti.shtml?refresh_ce=1.

⁹ Leonardo da Vinci, «Scritti Letterari», in http://www.letteraturaitaliana.net/pdf/Volume_3/t57.pdf.

3. ATTO II: SULLA RIVOLUZIONE DA UNA «QUALITÀ» SFUMATA
AD UNA «QUANTITÀ» DI BIANCHI E NERI

*I computer sono inutili.
Ti danno solo risposte.*
(Pablo Picasso, 1964)¹⁰

Perché parlare dell'informatica quotidiana in termini di *paradigma* o *rivoluzione digitale*?

Nel senso comune un paradigma – dal greco παράδειγμα, esempio – è un modello di riferimento, un termine di confronto e di paragone assoluto: si pensi alla particolare accezione della grammatica con cui denota il modello della coniugazione di un verbo o della declinazione di un nome.

Metaforicamente i paradigmi sono gli *occhiali* con cui interpretiamo la realtà, dunque rappresentano una chiave sistemica di lettura con cui diamo un senso alle nostre idee ed organizziamo la nostra conoscenza: in altri termini, la *cornice* del nostro spazio/tempo quotidiano.

Un cambiamento di paradigma costituisce dunque un'evoluzione discontinua di prospettiva, una rivoluzione di pensiero che impone di ridisegnare completamente tutti gli orizzonti, un vero e proprio *cataclisma* nella prevedibile e scontata ricorsività di tutti i giorni: si pensi alla nascita di un figlio, o ad un trasferimento da Peschici a Boston. Non coglierne l'elemento di singolarità renderebbe ciechi verso tutto ciò che non è ipotizzabile o prevedibile al di fuori del paradigma stesso e che, invece, costituisce l'elemento centrale di novità, peculiarità, unicità nella rilettura/riscrittura globale del quotidiano.

Esemplare in questo senso la celebre profezia di Sir William Preece, ingegnere capo della *Royal Post* britannica nel 1878, a qualche anno di distanza dal brevetto del telefono da parte di Alexander Graham Bell: «Gli americani avranno pure bisogno del telefono, ma noi no. Siamo pieni di portalettere»; o ancora la previsione di Ken Olsen, presidente e fondatore della *Digital Equipment Corporation* che nel 1977 affermava: «Non c'è nessuna ragione per cui qualcuno possa volere un computer nella propria casa».

Il concetto di paradigma insomma, se da un lato risulta funzionale ad una fruizione stereotipata e comunque fruttuosa del quotidiano, dall'altro sembra inglobare una *tensione* all'imprevisto, all'imprevedibile, una consi-

¹⁰ Dall'intervista di William Fifield, «Pablo Picasso: A Composite Interview», *The Paris Review* 32 (1964), in <http://quoteinvestigator.com/2011/11/05/computers-useless/#more-2932>.

derazione della possibile amplificazione delle fluttuazioni¹¹ fino al raggiungimento di un punto di discontinuità – che ci piace chiamare con Prigogine e la teoria delle strutture dissipative, uno dei più recenti paradigmi della termodinamica non lineare dei processi irreversibili, *catastrofe* – in cui il dopo, impossibile da immaginare *a priori*, non ha più nulla del prima, pur trovando nel prima fondamenta interpretative e radici uniche, univoche ed irripetibili¹². In altre parole, ogni configurazione di un sistema caotico è arbitrariamente vicina ad un'altra ma con una traiettoria futura completamente diversa. Metaforicamente il concetto di paradigma sembra quasi evocare una predisposizione ad un *jet lag* ricorrente, come senso di un continuo viaggio esistenziale in cui fasi di equilibrio e stabilità si alternano a momenti in cui si ridisegnano completamente e con discontinuità i contesti, gli orizzonti, le significatività.

Particolarmente fertile appare in quest'ottica il significato di paradigma in filosofia della scienza, così come sviluppato da Thomas Kuhn¹³ nel celebre saggio *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* del 1962 fondato sulla definizione di due «categorizzazioni» di scienza: *normale*¹⁴ e *rivoluzionaria*.

¹¹ L'estrema sensibilità alle condizioni iniziali esibita dai sistemi dinamici non lineari (sistemi «caotici», quali ad es. l'atmosfera), ed in particolare la circostanza che variazioni infinitesime nelle condizioni iniziali possono produrre variazioni significative ed esponenziali nel comportamento successivo dei suddetti sistemi, viene detta solitamente «effetto farfalla» (*butterfly effect*). Tale locuzione, introdotta dal matematico e meteorologo Edward Lorenz nel titolo di un suo articolo del 1972: «Predictability; does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas?» (si veda in http://eaps4.mit.edu/research/Lorenz/Butterfly_1972.pdf), vuole significare il battito delle ali di una farfalla in Brasile come rappresentativo di un qualsivoglia piccolo cambiamento nelle condizioni iniziali del sistema capace di indurre conseguenze potenzialmente disastrose su scale più grandi.

¹² Leggiamo lo stesso Prigogine: «Rileviamo che le stesse strutture dissipative possono essere instabili, sia a seguito di una nuova interazione con l'ambiente, sia a seguito di altri tipi di fluttuazioni. Una struttura prodotta da una *successione* di fluttuazioni amplificate non può dunque essere compresa che in riferimento al suo passato. Nessuna descrizione del suo stato chimico-fisico in un dato istante può dar conto del suo funzionamento: e quel passato, tessuto da eventi imprevedibili, deve essere considerato come unico e non riproducibile. A quale titolo non dovremmo dire allora che la struttura dissipativa è il prodotto di una storia individuale? Lontano dall'equilibrio la fisica dovrebbe associare a sé in modo indissolubile quelle nozioni di struttura, di funzione, di storia che la fisica classica negava in nome della reversibilità del comportamento degli elementi fondamentali della realtà» (Prigogine 1981, 271-272).

¹³ Kuhn 1999.

¹⁴ Kuhn intende per «scienza normale» la ricerca fondata stabilmente su alcune conquiste che, da una particolare comunità scientifica e per un certo periodo di tempo, sono riconosciute capaci di porsi come fondamento per una prassi ulteriore.

La scienza normale tende implicitamente a confermare il sistema di concetti su cui si erige, e dunque a farne un *paradigma*; di contro la scienza rivoluzionaria (come ad esempio la rivoluzione copernicana, darwiniana, della chimica operata da Lavoisier, dell'elettrostatica di Franklin, la teoria della relatività di Einstein) è conseguenza della crisi del paradigma in essere, magari per la nascita di *anomalie*, ed impone l'abbandono degli *occhiali* inforcati sino al momento della catastrofe. L'evoluzione del processo scientifico è assimilabile dunque ad una curva continua che in corrispondenza dei cambi di paradigma subisce una discontinuità («salto quantico»).

Il fatto è che l'idea che passa è pressoché solo quella riferita alla *fase normale*: ad esempio le teorie scientifiche, come anche le tecnologie informatiche, sono – spesso e volentieri – esposte e sistematizzate in quest'unica veste, che è appunto la *fase vitale* corrente. Tutto come se la *narrazione* fosse cominciata il giorno prima, senza un passato e senza radici, come se tutto fosse stato sempre così com'è ora; e come se al contempo non si volesse dar troppa enfasi al fatto che quella stessa narrazione finirà qualche tempo dopo, ricominciando da ulteriori sconvolgimenti e nuovi conseguenti paradigmi.

Una presentazione e/o sistematizzazione di tipo «manualistico» – come se esistesse solo l'*oggi quotidiano* – rende completamente invisibili proprio le catastrofi, le *milestone* che caratterizzano in modo cruciale e singolare il cammino percorso: ogni qualvolta si ha la crisi di certi paradigmi e la conseguente creazione di nuovi manuali sono semplicemente riscritti, e del passato si conserva solo quanto può essere inserito nella nuova prospettiva, solitamente poco più di niente. Tale metodica lascia apparire dunque solo la sistemazione corrente di fatti, leggi e teorie, nascondendo però il processo così complesso e meraviglioso, certamente non lineare e cumulativo, attraverso il quale sono stati raggiunti certi risultati e soprattutto mettendo in ombra l'insieme di coordinate teoriche – ma anche culturali, sociali, storiche – entro cui si ricostituisce un intero quadro concettuale.

Appurato il senso della parola «paradigma», ci chiediamo ora: ma cos'è questo «digitale» che connota il nostro paradigma? Ed ancora, forse preliminarmente: cos'è l'«analogico»?

Partiamo dall'etimologia: «analogico» rimanda ad un'accezione che si fonda sull'*analogia*: formata o ottenuta per analogia. A sua volta «analogia» deriva dal greco *ἀνά* e *λόγος*, dunque in prima approssimazione riconduce a rapporti di *affinità*, *similarità*, *somiglianza*, *vicinanza*; più in generale denota la relazione che la mente coglie ogni qualvolta ravvisa tratti comuni nella costituzione, nel comportamento, nei processi di due o più entità. In letteratura o in poesia l'analogia denota anche la facoltà di dire in sen-

so non totalmente diverso di cose totalmente diverse: si pensi ad esempio all'accostamento di immagini, situazioni, oggetti basato su libere associazioni di pensiero o di sensazioni piuttosto che su nessi logici o sintattici codificati¹⁵.

Metaforicamente l'analogico sembra dunque evocare significanze che trovano il loro comune denominatore in una sorta di mare infinito di sfumature evocative, in una liquidità di corrispondenze e verosimiglianze nel confronto di una globalità fluida e non numerabile.

Nell'enciclopedia on-line *Sapere* si legge ad esempio alla voce «analogia (filosofia)»:

Conoscenza indiretta di una cosa in base al suo rapporto con un'altra, stabilito tramite confronto. È usata quando ciò che si deve conoscere non è conosciuto in se stesso, ma presenta rapporti con un altro ente già conosciuto. Fra i due termini del rapporto, il conoscendo e il già conosciuto, devono sussistere quindi sia diversità sia somiglianza. L'analogia sta perciò a metà fra l'equivocità, che consente una conoscenza diretta e immediata, e l'univocità. Di conseguenza la conoscenza analogica non è mai esaustiva, ma piuttosto allusiva, perché il conosciuto non vi è colto in modo definitivo e stabile, ma provvisorio e precario.¹⁶

Molto interessanti in questo contesto ci appaiono le considerazioni di Massimo Nardello, coordinatore del G.A.R. (Gruppo Accademico di Ricerca) dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia:

[...] la conoscenza analogica è la condizione di possibilità di ogni conoscenza umana. Infatti se la nostra conoscenza si strutturasse primariamente su concetti univoci, che colgono cioè tutte e solo le caratteristiche di un determinato

¹⁵ Mi sembra esemplare in questo contesto pensare alla poesia *L'infinito* di Giacomo Leopardi: «Sempre caro mi fu quest'ermo colle, E questa siepe, che da tanta parte Dell'ultimo orizzonte il guardo esclude. Ma sedendo e mirando, interminati Spazi di là da quella, e sovrumani Silenzi, e profondissima quiete Io nel pensiero mi fingo; ove per poco Il cor non si spaura». La poesia condensa concetti indicibili dal momento che l'infinito non esiste ed è comunque una sensazione, ma intangibile ed indescrivibile se non mediante associazioni analogiche: l'autore cerca allora di far pervenire al lettore la sensazione infinitiva mediante la descrizione dell'indefinito evocato dalla presenza di un ostacolo che ostruisce la vista o dalla descrizione di realtà lontane nel tempo e nello spazio. Il salto analogico compiuto dal poeta è ravvisabile nel quarto verso della poesia introdotto dalla particella avversativa *ma* che evidenzia uno scarto con l'io dei primi tre versi legato ad un livello diegetico, narrativo, rimembrante: il *ma* contrassegna un cortocircuito tra la dimensione umana razionale e quella irrazionale ed eterna, e porta bruscamente il lettore verso un *altro* livello soggiacente a quello immediato e letterario.

¹⁶ [http://www.sapere.it/enciclopedia/analogia+\(filosofia\).html](http://www.sapere.it/enciclopedia/analogia+(filosofia).html).

ente, avremmo bisogno di un numero indefinito di concetti diversi, di volta in volta univoci e adeguati a tutti i singoli enti che conosciamo, ciascuno dei quali è diverso dall'altro. Se così fosse, non si capirebbe come il nostro pensiero possa ricondurre tutto all'unità, come cioè sia possibile elaborare dei concetti in grado di comprendere unitariamente enti somiglianti tra loro ma pure diversi. Utilizzando solo concetti univoci avremmo sempre una pluralità di contenuti diversi, distinti gli uni degli altri; se è possibile una conoscenza globale, uno sguardo di insieme sugli enti, significa che la nostra conoscenza è strutturata in maniera tale da abbracciare sia quanto vi è di comune che quanto vi è diverso nelle cose che conosciamo: questo è esattamente il principio dell'analogia.¹⁷

Ancor più dirompenti le tesi di Douglas Hofstadter, professore di Scienze cognitive all'Indiana University nonché autore del celebre saggio *Gödel, Escher, Bach: un'eterna ghirlanda brillante*, ed Emmanuel Sander, professore di Psicologia cognitiva all'Università di Parigi VIII (Saint-Denis), secondo cui alla base della nostra attività mentale non c'è il ragionamento logico ma uno strumento cognitivo più raffinato: l'analogia, ovvero la percezione di similarità profonde tra ciò che succede adesso e ricordi o concetti immagazzinati chissà dove, quando o come nel nostro cervello.

Ogni concetto nella nostra mente deve la sua esistenza a una lunga successione di analogie create a livello inconscio nel corso di molti anni; queste analogie danno vita al concetto e poi continuano ad alimentarlo per tutto il resto delle nostre vite. Non solo: i concetti sono sempre, in ogni istante, attivati in modo selettivo da analogie che il nostro cervello fa in continuazione, nel tentativo di dare senso al nuovo e all'ignoto a partire dal vecchio e dal conosciuto.¹⁸

Dunque per Hofstadter e Sander la scoperta, l'associazione e la continua *manutenzione* (per dirla alla Pirsig¹⁹) di analogie costituisce il vero e proprio *cuore del pensiero*: ci consente di creare categorie proprie, uniche e peculiari, arricchendole senza sosta nel corso della nostra vita, ci orienta nel ri-conoscere le situazioni future, ci spalanca i confini verso salti mentali imprevedibili e straordinari. In questo senso l'analogia è proprio ciò che fa la differenza tra gli umani ed i *giganti elettronici dementi*:

[...] è solo grazie a questo meccanismo mentale che i pensieri umani, malgrado la loro lentezza e la loro vaghezza, sono in genere affidabili, pertinenti

¹⁷ Massimo Nardello, G.A.R. (Gruppo Accademico di Ricerca) dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, in <http://www.gar.unimore.it/>.

¹⁸ Hofstadter - Sander 2015, 3.

¹⁹ Pirsig 1981.

e illuminanti, laddove i «pensieri» dei computer (se mai sia possibile usare questa parola) sono deboli, fragili e limitati, malgrado la loro enorme rapidità e precisione.²⁰

La parola «digitale» trova invece le sue origini nel latino *digitalis*, a forma di dito, che deriva da *digitus*, ossia dito; o più di recente dall'inglese *digit* che vuol dire «cifra»²¹. Rimanda dunque ad una rappresentazione basata su un insieme di occorrenze discrete o disgiunte, tali che non ha alcun senso qualsiasi *via di mezzo* tra loro, oltre che numerabili, ossia in numero finito: si pensi ad esempio alle facce di un dado, alle lettere dell'alfabeto, alle estrazioni del lotto. La metafora dell'oceano di sfumature evocata dall'analogia si trasforma nel processo di digitalizzazione in una *palette* di colori molteplici distinti, più o meno numerosi pur se ciascuno ben distinto e separato dagli adiacenti, e tali che non si possa rappresentare alcuna gradazione intermedia.

Laddove il numero di occorrenze distinte è pari a due, per cui si possono considerare solo due possibilità opposte (accesso/spento, sì/no, vero/falso, bianco/nero, dentro/fuori, presente/assente, amico/nemico, amore/odio), la codifica digitale è detta «binaria» e la quantità minima di informazione ad essa associata è detta *bit*.

La dicotomia continuo/discreto che caratterizza in prima approssimazione il rapporto analogico/digitale sembra arricchiarsi, nell'ambito di altri campi di conoscenza, di ulteriori sfaccettature duali quali astratto/concreto, infinito-infinito/numerabile, allegorico/univoco, sfumato/radicale, dell'affetto/della scienza, della totalità/dell'analisi.

Di particolare fascino risulta in particolare l'accostamento con l'accezione dicotomica analogico/digitale nelle teorie della comunicazione. Nell'opera *Pragmatica della comunicazione umana*, pietra miliare della psicologia, Paul

²⁰ Hofstadter - Sander 2015, 26.

²¹ Si badi bene che *digit* significa «cifra» e non «numero», laddove le cifre sono i segni grafici che noi utilizziamo convenzionalmente per rappresentare in forma scritta i numeri secondo le regole del sistema decimale-posizionale. Il sistema numerico decimale utilizza dieci cifre per rappresentare i numeri naturali: ad esempio il numero 1956 è composto dalle cifre 1, 9, 5 e 6. Metaforicamente possiamo pensare che le cifre stanno ai numeri come le lettere alle parole: dunque un numero può essere paragonato ad una parola di una o più lettere, e le lettere che formano le parole possono essere paragonate alle cifre che formano il numero. Le cifre quindi sono dei simboli che l'uomo utilizza in modo diverso a seconda della situazione, proprio come le lettere, che vengono disposte differentemente in base al significato che si vuole trasmettere. Si consideri altresì che l'essenza di un segnale digitale sta proprio nel poter assumere un numero finito di stati, laddove invece un numero reale rappresenterebbe la quint'essenza di un segnale analogico.

Watzlawick²², eminente esponente della scuola di psicoterapia statunitense di Palo Alto, evidenzia come ogni comunicazione non *trasmette* soltanto una informazione, ma al contempo *impone* un comportamento, e perciò *definisce* una relazione tra coloro che comunicano. Ogni comunicazione presenta infatti due aspetti o piani: la «notizia», che trasmette l'informazione ed è quindi sinonimo del *contenuto* del messaggio, il «comando», che si riferisce al *senso* del messaggio da assumere e dunque rimanda alla *qualità* della relazione.²³

Ogni comunicazione ha dunque un aspetto di contenuto ed un aspetto di relazione tale che il secondo «classifica» il primo: l'aspetto di contenuto (notizia), rappresentato solitamente dal verbale, trasmette i «dati» della comunicazione; l'aspetto di relazione (comando), tipicamente definito dal non-verbale, determina le «modalità di assunzione» della comunicazione. Orbene si fa riferimento al primo in termini di linguaggio numerico o digitale, «della scienza», che rimanda alla parola; al secondo in termini di linguaggio analogico, «dell'affetto», che rimanda all'emozione, al gesto, al sentimento.

Abbiamo a che fare con due tipi di lingue. L'una, quella per esempio in cui è formulata questa frase, dà delle definizioni, è obiettiva, cerebrale, logica, analitica; è la lingua della ragione, della scienza, dell'interpretazione e della spiegazione e dunque la lingua della maggior parte delle terapie. L'altra è molto più difficile da definire, appunto perché non è la lingua della definizione. La si potrebbe chiamare la lingua dell'immagine, della metafora, della *pars pro toto*, forse del simbolo, in ogni caso comunque della totalità (e non della scomposizione analitica).²⁴

²² Rimarchevole in questo contesto la famosa affermazione di Watzlawick in *La realtà della realtà*: «La credenza che la realtà che ognuno vede sia l'unica realtà è la più pericolosa di tutte le illusioni». Umberto Galimberti, nell'articolo «Se le idee si ammalano» ne *La Repubblica* del 4 aprile 2007, scritto il giorno dopo la morte di Watzlawick, ebbe a definirlo come «lo psicologo che meglio di tutti è riuscito a coniugare i problemi della psiche con quelli del pensiero e quindi a sollevare le tematiche psicologiche al livello che a loro compete, perché ad 'ammalarsi' non è solo la nostra anima, ma anche le nostre idee che, quando sono sbagliate, intralciano e complicano la nostra vita rendendola infelice».

²³ Facciamo alcuni esempi. È molto importante togliere la frizione gradatamente e dolcemente ovvero *Togli di colpo la frizione, rovinerai la trasmissione in un momento*: stesso contenuto, ma relazioni diverse. *Notizia il pranzo è insipido*: tra coniugi in una situazione conflittuale a casa propria, ovvero tra romantici amanti, in un elegante e costoso ristorante. Contenuto è opportuno che tu studi: in quanti modi può essere posto ovvero quante tipologie di messaggio (biasimo, incoraggiamento, sfiducia, stima...) può assumere?

²⁴ Watzlawick 1971, 23.

Fondamento della rivoluzione digitale è la forza della codifica: qualsiasi informazione – testo, immagini, video, musica – può divenire un agglomerato anche molto consistente di soli 0 e 1, ossia di semplici *bit*. Come dire che una qualità intessuta di infinite sfumature – sia essa una poesia, un concerto, una foto, un film – può essere riconducibile ad una quantità, pur molto considerevole, di sole alternative bianco/nero. Ma come immaginare un *bit*? Risponde Negroponte:

Un bit non ha colore, dimensioni o peso, e può viaggiare alla velocità della luce. È il più piccolo elemento atomico del DNA dell'informazione. È un modo di essere: sì o no, vero o falso, su o giù, dentro o fuori, nero o bianco. Per praticità noi diciamo che un bit è 1 o 0. Che cosa significhi l'1 o lo 0 è un altro discorso.²⁵

In realtà la notazione binaria risale a Gottfried Wilhelm Leibniz che per primo la propose per il calcolo algebrico, enucleandone le regole e dimostrando che il sistema binario poteva integralmente sostituire quello decimale. Leibniz non pretese però di abbandonare definitivamente il sistema decimale: «ci siamo ormai abituati, non c'è bisogno di re-imparare quello che già abbiamo memorizzato; l'uso del dieci è più rapido e i numeri non sono così lunghi»²⁶. Nei secoli successivi la numerazione binaria riapparve saltuariamente nelle speculazioni dei matematici, senza mai entrare nella pratica dell'aritmetica: tutte le macchine da calcolo antecedenti al moderno calcolatore, dalla Pascalina del diciassettesimo secolo alle calcolatrici meccaniche del Novecento, comprese quelle azionate tramite energia elettrica, mantennero la notazione decimale.

Il cambiamento drastico di rotta si ha allorché diviene fortemente evidente l'isomorfismo tra i circuiti elettrici bistabili a *relè* (on/off, detti anche *flip-flop* proprio dal rumore che facevano i primi *relè*), all'epoca usati nella telegrafia, e la logica algebrica di Boole, basata sui due soli valori, 1 e 0²⁷. Nel 1938 l'americano Claude Shannon che nel 1938 pubblica la sua tesi di dottorato dal titolo *A Symbolic Analysis of Relays and Switching Circuits*²⁸ in cui dimostra che le regole dell'algebra di Boole possono essere simulabili

²⁵ Negroponte 1995, 3.

²⁶ «Explication de l'arithmétique binaire», 1703, *Memorie Accademia Reale delle Scienze*, reperibile ad es. in <http://www.apmep.fr/IMG/pdf/Huyghens.pdf>.

²⁷ Rilevante in merito il pensiero del filosofo americano Charles S. Peirce già alla fine dell'Ottocento; l'idea dell'isomorfismo fu proposta indipendentemente anche da Paul Ehrenfest in Russia nel 1910 e riapparve nel 1936 su una pubblicazione dei giapponesi Aki-Nakasima e Masao Hanzawa...

²⁸ Si veda la versione integrale originale in <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/11173>.

con i circuiti elettrici a due stati e che dunque il comportamento di tali circuiti può essere analizzato con l'algebra a due valori.

Di fatto è proprio l'applicazione della elettricità ai dispositivi bistabili a riportare in auge la numerazione binaria: i *bit* divengono l'*alfabeto* della elaborazione numerica in forma elettronica proprio in quanto direttamente «materializzabili» dai componenti elementari costituenti un qualsiasi computer, ossia gli *interruttori*, dispositivi appunto a due soli stati, acceso o spento²⁹.

Dunque il *bit* è semplicemente il segnale digitale binario «nativo» di un computer proprio in quanto quest'ultimo non è altro che un agglomerato di interruttori: le operazioni fondamentali su cui si basa il funzionamento dei *giganti elettronici dementi* sono, in ultima analisi, aggregazioni e disaggregazioni di combinazioni di 0 e 1, magari in numero elevatissimo ma senza che questo possa costituire un problema, ancor più con il progresso tecnologico esponenziale nella ottimizzazione quantitativa e qualitativa del loro impaccamento. Di fatto tutta l'evoluzione storica della elaborazione elettronica si fonda sulla possibilità di realizzare interruttori sempre più veloci, affidabili, soprattutto piccoli e dunque con minore dispersione e meglio aggregabili.

Riesaminare quanto di tecnologia informatica invada il nostro quotidiano in termini di cultura potrebbe invogliarci a maggiore creatività e riflessività più che riempire semplicemente di tanto ridondante rumore il nostro tempo prezioso. Per dirla con Seymour Papert, matematico e pioniere dell'intelligenza artificiale: chi continua a pensare che la tecnologia ci insegnerà a fare meglio le cose che abbiamo sempre fatto, limitandosi a facilitarle, non ha capito la portata del cambiamento che abbiamo di fronte. Faccio un esempio: quando fu inventato il motore a reazione, non si pensò di montarlo sulle carrozze, vennero costruiti altri mezzi, gli aeroplani.³⁰

²⁹ Tali interruttori, realizzati in passato mediante valvole e successivamente mediante transistor, sono oggi presenti a miliardi in un singolo chip, frammenti di silicio in cui sono sovrapposti materiali semiconduttori secondo geometrie opportune in alta concentrazione.

³⁰ Papert 1998, 39.

5. SULLA MUSICA: DAL VIVERLA AL POSSEDERLA

*Sembra sempre impossibile
finché non viene fatto.*

(Nelson Mandela)

In principio era possibile soltanto esserci: la musica la si «faceva» e la si «viveva» (appunto *dal vivo*) solo allo stesso tempo, ascoltandola o magari danzandola e cantandola, comunque partecipandola come una esperienza unica e irripetibile, tanto acustica che sociale.

La musica anzi si plasmava in conformità al luogo e al senso da cui traeva ispirazione: in sintesi «sono lo spazio, la piattaforma, il software a 'fare' l'arte visiva, la musica o quant'altro»³¹.

Si pensi alla musica classica, che esigeva spazi opportuni³² ma obbligava il pubblico ad un appropriato comportamento: lo spettatore doveva sedere immobile ed in silenzio ed ascoltare assorto e concentrato, quasi a voler adottare un protocollo che potesse tenere *a priori* lontano il volgo.

O si pensi agli *spiritual*, la cui forte connotazione percussivo/ritmica di matrice africana funzionava bene all'aperto, laddove la gente poteva più facilmente aggregarsi, muoversi liberamente, ballare, cantare rispondendo alla melodia di un *leader* (*call and response*) o improvvisando su reiterate ripetizioni della parte (*lining out*), per raccontare assieme dolore e speranza, come in una catarsi corale.

O ancora si pensi alla musica *jazz*, suonata all'origine nei bar, ai funerali, nei bordelli o nei locali riservati al ballo, in cui il ritmo incalzante (ad es. lo *swing*) e le timbriche vigorose (ad es. gli ottoni) dovevano sovrastare il chiacchiericcio e gli schiamazzi, e dominare sui passi dei danzatori.

Ben sintetizza questa situazione David Byrne, fondatore ed animatore dello storico gruppo *rock Talking Heads*:

Prima dell'apparizione della tecnologia di registrazione non era possibile separare la musica dal suo contesto. Era quasi del tutto legata a specifiche fun-

³¹ Byrne 2013, 14.

³² Dalla musica occidentale del medioevo che indugia nell'aria fra i muri di pietra delle chiese gotiche e dei monasteri, agli organi a canne delle più piccole chiese pur riverberate di Bach; dalle grandi sale nelle abitazioni dei mecenati di Mozart in cui i sontuosi vestiti smorzavano il suono rendendolo udibile in tutti i suoi dettagli, ai teatri lirici come quello a Bayreuth fatto erigere da Wagner per la propria musica intorno al 1870, fino alle sale da concerto (si pensi alla Carnegie Hall) per la musica sinfonica di Mahler in cui la magniloquenza timbrica esigeva uno spazio sempre più grande per l'orchestra.

zioni sociali. Era comunitaria e spesso rivestiva una funzione pratica. Non era possibile portarsela a casa, copiarla, venderla, come una merce (se non nel caso delle partiture, che non sono musica vera e propria), e neppure riascoltarla. La musica era un'esperienza unica connessa a un luogo e a un momento particolari. Era parte del continuum della vita, non una serie di «oggetti» che vivevano al di fuori di essa. Potevi pagare per ascoltare la musica andando ad un concerto o ingaggiando i musicisti, ma una volta finita non restava che il ricordo.³³

La prima registrazione sonora fu effettuata nel 1878 con il fonografo a cilindro di Edison che convogliava le onde sonore attraverso una tromba al fine di trasformarle in vibrazioni meccaniche che venivano incise su cilindri di cera. Ma il supporto analogico musicale per antonomasia è stato il disco fonografico a piastra circolare, *sic et simpliciter* il «disco», concepito da Emile Berliner nel 1887: sette anni dopo Berliner iniziò a produrre dischi a 70 giri al minuto in gommalacca sotto l'etichetta *Berliner Gramophon*, entrando in concorrenza con i cilindri prodotti da Edison e standardizzandone quindi nel 1925 la velocità a 78 giri. Molto diffuso nel dopoguerra, rimase lo standard di riproduzione audio fino agli anni Cinquanta, quando i dischi in vinile (più esattamente, PVC o PoliVinilCloruro), basati sul medesimo principio tecnico ma di qualità e durata assai maggiori, lo resero obsoleto. Le migliori qualità del supporto permisero di ridurre lo spessore dei solchi, diminuire il passo della spirale (microsolco) incisa a partire dal bordo esterno e abbassare la velocità di rotazione da 78 a 45 giri (disco da 7 pollici, circa 18 cm) e quindi a 33½ giri per minuto (disco da 12 pollici, circa 30 cm), ottenendo così una maggiore durata di ascolto, che raggiunse i 30 minuti per facciata nei *Long-Playing* (LP), i cosiddetti «album». Nei 45 e 33 giri venne altresì implementata dagli anni Sessanta la «stereofonia», tecnica che asseconda l'attitudine dell'udito umano a discernere la provenienza di un suono, e dunque la sua collocazione spaziale, grazie alla presenza di due sistemi auditivi paralleli (due padiglioni auricolari, due timpani e due emisferi cerebrali)³⁴.

³³ Byrne 2013, 210.

³⁴ Il flusso informativo stereofonico deriva dalla incisione contemporanea di due segnali su un'unica traccia (solco), sfruttando oltre all'incisione orizzontale (a profondità costante) della puntina di lettura, l'unica fino ad allora utilizzata, anche quella verticale (a profondità variabile): registrando il segnale di somma (destra + sinistra) con movimenti orizzontali e il segnale di differenza (destra - sinistra) con movimenti verticali dello stilo, diviene possibile inscrivere nel solco entrambi i canali necessari ad una riproduzione stereofonica, mantenendo comunque la retro-compatibilità con i giradischi monofonici, dotati cioè di fonorivelatore sensibile solo alle oscillazioni orizzontali della puntina.

L'epopea del disco, nata con il 78 giri (cinque minuti scarsi di ascolto per poco più di un centinaio di riproduzioni in totale) che porta alla ribalta prevalentemente musica *jazz*, offre supporto al ballo³⁵ e all'ascolto «leggero» nel 45 giri (due brani da meno di 4 minuti circa per lato, di cui quello sulla facciata A è l'*hit* passata per radio), e consacra infine opera d'arte il 33 giri (fino a 30 minuti per facciata), che per il suo maggiore spazio di incisione si propone come una sorta di *concept album*, alla stregua di un libro su cui scrivere o una tela su cui dipingere, ivi inclusa in particolare la copertina che diventa icona del linguaggio visivo, spaziando tra arte e grafica, immagini provocatorie, riferimenti sessuali o messaggi a sfondo sociale e politico.

Perché il «disco» è analogico? Semplicemente perché nelle fasi di registrazione (al tornio incisore) e quindi di riproduzione (con il giradischi) i solchi seguono l'*andamento* delle onde sonore che rappresentano.

Sebbene semplice a dirlo, la tecnologia sottostante non è propriamente banale: il segnale audio raggiunge il trasduttore elettromeccanico (magnete) dello stilo di incisione del tornio, trasformando i segnali elettrici in vibrazioni meccaniche e modulando quindi gli spostamenti dello stilo incisore in funzione dei parametri sonori al fine di imprimerne una riproduzione *analogica* nel caratteristico solco (*groove*) a V. A sua volta il solco viene letto attraverso una puntina (*pick-up*) i cui spostamenti (magnete o bobina mobile) o i cui sforzi meccanici applicati al particolare cristallo (piezo-elettrico) rigenerano il suono originario attraverso un processo di amplificazione dell'onda elettrica che pilota gli altoparlanti al fine di ricostruire una *analogica* onda di pressione acustica³⁶. Ciò che rende questo processo così

³⁵ Si pensi che il nome del mitico *juke-box* si fa risalire a *jook-box*, che significa scatola da danza, o a *juke-joint*, che era in vernacolo il termine per indicare un bar – spesso in edifici fatiscenti o case private – con cibo, bevande, musica, ballo e gioco d'azzardo, gestito prevalentemente da africani americani nel sud-est degli Stati Uniti per far rifocillare e socializzare i lavoratori stanchi. I *juke-box*, che scompariranno con i 45 giri, rappresentano una vera e propria icona degli anni Cinquanta e Sessanta; in Italia in particolare viene coniato il termine «gettonare» per indicare le canzoni più sentite con la macchina, e viene ideata una manifestazione, il *Festivalbar*, per premiare le canzoni appunto più gettonate.

³⁶ In realtà – a causa dell'impossibilità fisica di trasferire meccanicamente nel solco in ugual misura tutte le frequenze comprese tra i 20 Hz e i 20 kHz e considerando che i solchi più larghi sono generati dalle basse frequenze e dai suoni transitori quali i colpi di batteria – il segnale elettrico, prima di essere trasferito sul disco, viene livellato a seconda dello spettro (equalizzazione RIAA, *Recording Industry Association of America*), enfatizzando fino a +20 db le frequenze superiori ai 1000 Hz e attenuando dello stesso range quelle inferiori. Tale operazione consente di avere solchi più stretti e quindi una maggiore durata del disco. Per annullare gli effetti di tale trattamento in riproduzione e dunque ottenere la risposta in

speciale è il fatto che avvenga in uno spazio microscopico, con l'accuratezza dell'ordine di un centesimo di millimetro³⁷: la sonorità in un disco dipende proprio da quanti solchi possono essere incisi l'uno accanto all'altro senza che vi sia alcun contatto fra di loro, pur mantenendo un alto livello di incisione, dal momento che questo migliora il rapporto tra la musica ed il rumore di superficie.

Un'ulteriore rivoluzione occorre allorché il disco divenne digitale, in gergo CD (*Compact Disc*), per cui anziché esservi nel processo di registrazione/riproduzione una sorta di *continuum* di affinità e corrispondenze nella trasformazione da una tipologia di onda all'altra (ad es. da acustica ad elettrica), si introduceva per la prima volta una rappresentazione dell'andamento nel tempo del suono in formato binario, ovvero in termini di sequenze, pur numericamente rilevanti, di 0 e 1, impressi su un sottile foglio di materiale metallico – accoppiato nella parte superiore da un disco di policarbonato trasparente, generalmente di 12 centimetri di diametro – in forma di successioni di «buchi» e «terre» (*pits* e *lands*) letti otticamente da un *laser*.

Il disco CD debuttò nel 1982, a seguito di uno sviluppo congiunto della *Sony* in Giappone e della *Philips* in Olanda: la prima si occupava della tecnica manifatturiera, la seconda degli aspetti di lettura attraverso un laser, in una quasi incredibile *joint-venture* finalizzata alla definizione di uno standard condiviso per il nuovo formato.

Gira voce che la capacità temporale del CD, pari a 74 minuti e 33 secondi, tragga origine da un'ispirazione della moglie di Norio Ohga, vice presidente della *Sony* e studente al Conservatorio di Berlino, mirante a preservare l'unitarietà di uno dei brani di musica classica più noti: la *Nona Sinfonia* di Beethoven. La lettura della nona considerata all'epoca «di riferimento» era quella del 1977 di Herbert von Karajan con i *Berliner Philharmoniker*, circa 66 minuti di musica; lo stesso Karajan, attento alla possibilità di diffondere la sua opera nel miglior modo possibile, era personalmente coinvolto nello sviluppo di questa nuova tecnologia, tanto da firmarne il debutto nel 1981 con la *Sinfonia delle Alpi* di Richard Strauss, il primo vero test di *compact disc* fisicamente realizzato. Norio Ohga ritenne però di

frequenza originaria, viene applicata una equalizzazione opposta (de-enfasi) in fase di preamplificazione.

³⁷ Si provi a digitare in un qualche motore di ricerca sulla rete le parole *microscopic vinyl record grooves* per osservare immagini molto suggestive e difficilmente immaginabili: si veda in particolare il video *Electron microscope slow-motion video of vinyl LP* in <https://www.youtube.com/watch?v=GuCdsyCWmt8>.

dover verificare quale fosse la più lunga registrazione della *Nona Sinfonia* di Beethoven disponibile in commercio, e trovò risposta in una celebre registrazione *live* di Wilhelm Furtwängler, effettuata a Beyreuth nel 1951 per la *EMI*, peraltro molto amata dalla moglie di Ohga: tale interpretazione era particolarmente lunga, ben più dei soliti 65-70 minuti di una tipica *Nona*, ma la fama di Furtwängler era così grande che i 74 minuti e 25 secondi della registrazione, più le pause tra le tracce per un totale di 74 minuti e 33 secondi divenne lo standard della capacità audio del *compact disc*.

Si può dire, senza temere di essere smentiti, che la musica registrata cambiò il modo d'intendere la vita e le registrazioni, in molti modi diversi, cambiarono parte della natura della musica stessa. Basta pensare alla pratica d'ascolto che veniva improvvisamente liberata dai cosiddetti «luoghi deputati». Non più sale da concerto, teatri, bar o tabarin, non più i salotti dove c'era il pianoforte o le fiere dove si poteva far festa o ballare. Non più occasioni speciali, o riti, o funzioni. La musica si poteva ascoltare liberamente e, fatto ancor più straordinario, in perfetta solitudine. L'ascolto della musica diventava, per la prima volta nella storia dell'umanità, un fatto privato, personale.³⁸

La possibilità di «possedere» la musica nel proprio ambiente domestico – sia su solchi nel vinile o in forma di *bit* – alimenta il desiderio di avere un impianto audio capace di riprodurla in modo quanto più *fedele* all'originale: nasce così la tecnologia ed il relativo mercato dell'*alta fedeltà*, detta anche Hi-Fi (*High Fidelity*), ivi inclusa la sua nicchia più «esoterica» in termini di dimensioni, prestazioni e prezzo, denominata *high end*³⁹.

³⁸ Assante 2009, 26.

³⁹ In realtà il termine «alta fedeltà» risale al 1936, anno in cui la *RCA*, detentrica del brevetto sul tetrodo a fascio, realizzò una valvola (siglata 6L6) che, nelle sue innumerevoli varianti, finì per equipaggiare una infinità di amplificatori di potenza elevata e di buona qualità dagli anni Trenta fino ai giorni nostri. In riferimento alla raffinata espressione ed alla calda timbrica di questo magnifico tubo, il termine iniziò ad essere utilizzato dagli appassionati di musica per indicare delle apparecchiature per la riproduzione del suono dotate di caratteristiche superiori alla media, diffondendosi particolarmente con l'avvento della stereofonia, che per le sue capacità di rendere l'effetto di diafonia del suono naturale, consentiva una qualità di ascolto superiore, imponendo peraltro l'utilizzo di amplificatori a due canali anziché uno, oltre alla presenza di due casse acustiche (alla destra ed alla sinistra dell'ascoltatore). Col progredire della tecnologia, la diffusione del mercato Hi-Fi e l'esigenza di comprensibilità e magari standardizzazione richiesta in modo sempre più pressante dall'utenza, divenne imprescindibile riferirsi all'alta fedeltà non più in termini qualitativi bensì in riferimento a specifiche tecniche minimali di alcuni parametri misurabili della catena audio, fra cui il rapporto segnale/rumore, il rapporto dinamico, la potenza, lo *slew rate*, la risposta in frequenza e la linearità della stessa, la distorsione (distorsione armonica totale THD e

Il fenomeno alta fedeltà fa sì che il disco e successivamente il cd diventino oggetto di collezione, talora finanche di culto, che necessitano di idonea cura (con particolare riguardo al vinile) e che trovano posto in librerie di pregio, magari costruite *ad hoc*, con lo stesso criterio di quelle che ospitano libri e pubblicazioni di valore. In particolare la ricerca dell'Hi-Fi allo stato dell'arte dà impulso al mercato «esoterico»⁴⁰ *audiophile high end*, assolutamente di nicchia a causa delle dimensioni ragguardevoli e delle forme inconsuete degli apparecchi, dell'acustica richiesta al luogo di ascolto e dunque in ultima analisi alla casa quale componente più costoso e più difficile da mettere a punto, degli importi esorbitanti richiesti in totale (un solo cavo arriva a costare anche diverse migliaia di euro) e spesso di un atteggiamento ossessivo-compulsivo sottostante, tanto da creare tra gli audiofili vere e proprie frange estremiste, dedite più a considerare l'impianto audio un fine che un mezzo, e conseguentemente ad attribuire più importanza a *come* un disco sia inciso piuttosto che a *cosa* vi sia inciso, magari intrattenendosi più in una costante e stressante smania di *up-grading* piuttosto che in un ascolto godevole e rilassante.

6. SULLA MUSICA: DAL POSSEDERLA AL CONSUMARLA LIQUIDAMENTE

*Il più bello dei mari è quello che non navigammo.
Il più bello dei nostri figli non è ancora cresciuto.
I più belli dei nostri giorni non li abbiamo ancora vissuti.
E le più belle parole che vorrei dirti
non te l'ho ancora dette...*

(Nazim Hikmet)

Ma come immaginare la trasformazione del suono da atomi a *bit*, alla base della rivoluzione dal vinile al cd e della successiva trasformazione in «musica liquida» da utilizzare alla bisogna?

distorsione di intermodulazione IMD), il fattore di separazione fra i canali (diafonia), ossia giradischi / CD *player*, amplificatore, casse acustiche

⁴⁰ Piace evidenziare in questo contesto che «esoterico», pur derivando dalla parola greca antica ἐσωτερικός, composta da ἐσώτερος (interiore) ed εἰκός (naturale) e dunque riferendosi all'approfondimento introspettivo della natura più profonda e vera dell'uomo, passò poi a indicare una conoscenza appannaggio di un ristretto gruppo di iniziati, che detengono la facoltà di rivelarla a chi vogliono, diventando quindi sinonimo di misterioso ed oscuro.

Cominciamo dall'inizio, ovvero: come rappresentare una immagine mentale del suono? Come un'onda palpitante di aria, come una pulsazione di molecole – ora più vicine ora più lontane – che si propaga longitudinalmente (parallelamente) alla direzione di spostamento attraverso compressioni e rarefazioni periodiche. Esistono pertanto delle grandezze (sostanzialmente l'ampiezza, la forma e la frequenza dell'onda) che evolvono con continuità nel tempo e che in ogni istante – attraverso l'idea teorica di una loro misura perfetta, matematicamente un numero reale – ricostituiscono le caratteristiche della nostra immagine sonora (l'intensità, il timbro e l'intonazione rispettivamente). Tutto questo vuol dire che matematicamente il suono è descritto da un insieme di variabili che per ogni istante di tempo (numero reale) rimandano ad una misura perfetta (altro numero reale), definendo una funzione cosiddetta «continua» proprio perché disegnabile idealmente senza mai staccare la penna dal foglio, che è appunto la rappresentazione di una variazione analogica.

Per trasformare questo *continuum* pulsante in *bit* c'è bisogno quindi sostanzialmente di effettuare due operazioni: rendere da un lato numerabile il tempo in cui l'onda si evolve, e discernere dall'altro come rendere discreta (in termini qualitativi ma soprattutto quantitativi) l'infinita variabilità delle grandezze in questione.

La prima operazione, detta «campionamento», consiste nell'assumere misurazioni della variabile ad intervalli discreti uguali di tempo («periodo di campionamento»): in tal modo la funzione analogica viene trasformata in una grandezza definita solo in corrispondenza di determinati istanti di tempo⁴¹. A mo' di metafora, si può pensare che «campionare» la realtà è come fotografarla ad istanti discreti periodici di tempo: per cui un qualsiasi movimento continuo resta «congelato» nei soli istanti in cui si apre l'otturatore, un po' come accade nella magia del cinema, in cui la fluidità della scena viene resa attraverso singoli fotogrammi (*frame*) proiettati per circa 1/24 di secondo⁴².

⁴¹ A pensarci bene, questa è una operazione con cui abbiamo una certa dimestichezza nella nostra quotidianità: si pensi ad esempio agli orologi digitali di tendenza che ci indicano solo ore e minuti, come se non esistessero i secondi fino allo scoccare del minuto successivo; o ai tachimetri digitali che anziché darci una indicazione continua della velocità attraverso il movimento della lancetta ci indicano la velocità istantanea solo in determinati momenti, per cui noi leggiamo 70 Km/h e magari successivamente 30 Km/h ma sappiamo che comunque la variazione sia avvenuta con continuità, anche se magari bruscamente per una energia frenata.

⁴² Risulta evidente che un fotogramma resta a descrivere staticamente la realtà fino al successivo: il campione $x(t)$ della variabile assunto all'istante t resta pari ad x per tutto il

Campionare vuol dire dunque *approssimare* un fenomeno continuo dandone una definizione *statica* in un numero *finito* di istanti temporali: appare intuitivo desumere che l'approssimazione della funzione continua risulta tanto più fedele quanto più elevata è la frequenza di campionamento (o di scatto, per tornare alla analogia con la fotografia). Ciò pone evidentemente un problema di ottimizzazione: ma quanti campioni mi bastano per non perdere informazioni «significative», minimizzando al contempo la quantità di numeri da dover «manutenere» ?

Per fortuna, nel nostro intendimento di digitalizzare il suono, ci viene in aiuto il *teorema del campionamento*, la cui paternità è attribuita a Harry Nyquist e Claude Shannon (1949), secondo cui ogni segnale continuo $x(t)$ a banda limitata (con una frequenza massima) può essere campionato e ricostruito *fedelmente* purché la frequenza di campionamento sia almeno il doppio della frequenza massima della banda del segnale. Dal momento che lo spettro dell'udibile per l'orecchio umano è compreso tra 20 e 20.000 Hz, una frequenza di 40.000 Hz dovrebbe essere pertanto *sufficiente* a campionare ogni possibile suono udibile dall'uomo. Un CD ad esempio è tipicamente campionato a 44.100 Hz; per incisioni «esoteriche» sono largamente utilizzate anche frequenze più alte (48.000 Hz, 96.000 Hz).

Il campionamento è il primo passo del processo di conversione analogico-digitale di un segnale e ci restituisce, ad ogni periodo di campionamento, il numero reale corrispondente alla «misura perfetta» della variabile in questione, entro un certo intervallo di ampiezze. L'esigenza successiva affinché un segnale campionato possa essere elaborato da un computer diviene dunque quella di rendere numerabili i possibili valori $x(t)$, dunque di «ridurli» in fasce di livelli di «quantizzazione» in base alla lunghezza della parola digitale che si è scelto di adottare: in altri termini, dati i valori minimo e massimo della grandezza, si approssima il numero reale continuo $x(t)$ con un numero finito N di valori compresi nell'intervallo tra il minimo ed il massimo.

Si comprende che più alto è N , più la scalettatura della funzione («risoluzione») risulta accurata, ma di contro diviene più alto il numero di *bit* necessari per rappresentare l'insieme discreto di valori possibili: nel passaggio da digitale a binario infatti, se N è il numero di occorrenze finite rappresentabili, il numero n di *bit* necessari è dato dalla formula $N = 2^n$, per cui N è tipicamente una potenza di 2. Dunque con un *bit* possiamo codificare 2 stati, con 3 *bit* 8 stati, con 8 *bit* 256, con 16 *bit* ben 65.536: in sintesi,

periodo T di campionamento, per poi passare istantaneamente al valore $x(t+T)$ che assumerà durante tutto il periodo successivo, e così via.

all'aumentare del numero n di *bit* costituenti la *parola*, il numero N di stati codificabili aumenta esponenzialmente.

È bene riflettere sul concetto di «funzione esponenziale» perché, pur nascendo da una definizione matematica, si incontra nel senso comune con termini onomatopeici che tendono ad esaltarne l'idea di crescita illimitata e incontrollata, quali il *boom* economico o l'*esplosione* demografica. In realtà l'andamento esponenziale, pur ricorrente in modo sostanziale nelle tecnologie informatiche degli ultimi cinquant'anni, non sembra parte del senso comune, tanto che per rendere comprensibile quanto la crescita della funzione sia vorticoso al crescere dell'esponente, si ricorre spesso a esperimenti ideali o a leggiadri aneddoti.

Un esperimento concettuale potrebbe essere ad esempio quello di ripiegare ripetutamente in due un foglio di carta dello spessore s di un decimo di millimetro: ad ogni passo n lo spessore raddoppia, per cui diviene via via $2^n s$, fino ad essere dopo soli cento passi pari a 12.7 miliardi di anni luce, più o meno la distanza percorsa da un raggio di luce dal *big bang* ad oggi.

Ci piace altresì citare un aneddoto matematico, tratto da un romanzo brasiliano, cui spesso ci si riferisce come la leggenda dell'invenzione degli scacchi.

[...] un giorno il Re fu informato che un giovane bramino, umile e povero, chiedeva di essere ricevuto. In realtà aveva già fatto questa richiesta diverse volte, ma il Re aveva sempre rifiutato, sostenendo che il suo spirito non era abbastanza forte da permettergli di ricevere visite. Tuttavia questa volta gli concesse udienza e ordinò che il giovane straniero venisse condotto al suo cospetto.

Una volta giunto alla sala del trono, il bramino fu interrogato, secondo le regole del cerimoniale, da uno dei nobili del Re. «Chi sei? Da dove vieni? Cosa desideri da colui che, per volere di Visnù, è Re e signore di Taligana?». «Mi chiamo Lahur Sessa» rispose il giovane bramino, «e vengo dal villaggio di Nimir, a trenta giorni di cammino da questa bella città. Abbiamo avuto notizia, là dove vivo, che il nostro Re è afflitto da profondo dolore, che egli è amareggiato dalla perdita del figlio che gli fu strappato nelle vicende della guerra. È terribile», mi sono detto, «che il nostro nobile sovrano si isoli completamente nel suo palazzo, come un cieco bramino che si abbandona alla sua pena; ho quindi pensato che sarebbe quanto mai opportuno inventare un gioco che possa distrarlo e aprire il suo cuore a nuovi piaceri. È questo l'umile dono che reco al nostro Re ladava». [...]

Sessa mise davanti al Re una tavola divisa in sessantaquattro caselle di uguali dimensioni. Su di essa erano disposti due gruppi di pezzi, gli uni bianchi e gli altri neri. Le figure di questi pezzi erano allineate simmetricamente sulla scacchiera e vi erano strane regole che governavano i loro movimenti. [...]

Il Re Iadava fu molto interessato alle regole del gioco e si mise a far domande all'inventore: [...] Ad un certo punto il Re notò con grande sorpresa che i pezzi, dopo tutte le mosse fatte, erano spiegati esattamente come nella battaglia di Dacsina. «Osserva», gli disse allora il giovane bramino, «che, per vincere la battaglia, questo nobile guerriero deve sacrificarsi...». E gli indicò proprio il pezzo che il Re aveva posto a capo delle schiere impegnate nel cuore della lotta. Il saggio Sessa volle così mostrare che talvolta la morte di un principe è necessaria per assicurare pace e libertà al suo popolo. Udendo queste parole, Re Iadava esclamò... «Dimmi allora cosa desideri tra ciò che sono in grado di darti, così potrai vedere quanto grande può essere la mia riconoscenza verso coloro che la meritano». Sessa disse di non volere alcuna ricompensa perché questa era la felicità di aver guarito il Re. Questi sorrise e, incapace di credere alla sincerità del giovane insistette: «Rifiutare la mia offerta sarebbe non solo una scortesia ma disobbedienza». Sessa allora per non essere scortese, chiese di essere pagato in chicchi di grano. Il Re stupito dalla strana moneta chiese in quale modo poteva ricompensarlo. «È facilissimo», spiegò Sessa, «mi darai un chicco di grano per la prima casella della scacchiera, due per la seconda, quattro per la terza, otto per la quarta e così via, raddoppiando la quantità ad ogni casella fino alla sessantaquattresima e ultima». [...]

Il re rise di questa richiesta, dicendogli che poteva avere qualunque cosa e invece si accontentava di pochi chicchi di grano. Il giorno dopo i matematici di corte andarono dal re e gli dissero che per adempiere alla richiesta del monaco non sarebbero bastati i raccolti di tutto il regno per ottocento anni. Lahur Sessa aveva voluto in questo modo insegnare al re che una richiesta apparentemente modesta poteva nascondere un costo enorme. Comunque, una volta che il re lo ebbe capito, il bramino ritirò la sua richiesta e divenne il governatore di una delle province del regno.⁴³

Con la presunzione che questa novella matematica possa aver chiarito il senso di una crescita esponenziale, si pensi che la stessa funzione la si ritrova in una famosa legge empirica, formulata da Gordon Moore nell'aprile del 1965, secondo cui la potenza dei microprocessori, o più precisamente il numero di *transistor* (leggasi interruttori) presenti su un *chip* raddoppia ogni 18/24 mesi⁴⁴.

⁴³ Tahan 2015, 87-93.

⁴⁴ Sempre per trovare metafore, ci sembra interessante quella dell'amministratore delegato della *Intel*, Brian Krzanich, tratta da un'intervista rilasciata al *columnist* del *New York Times* Thomas Friedman nel corso della celebrazione del cinquantesimo anniversario della legge di Moore all'*Exploratorium* in San Francisco, nel maggio 2015 assieme allo stesso Moore, cofondatore della *Intel*: se un *Maggiolino* della *Volkswagen* del 1971 fosse progredito al ritmo della legge di Moore nel corso degli ultimi 34 anni, oggi «con una simile macchina si potrebbe andare a 460.000 chilometri all'ora, e si potrebbero fare quasi 850.000 chilometri

Si comprende quanto la portata di questa legge empirica possa essere dirompente in termini di *convergenze* delle tecnologie informatiche: dalla riduzione delle dimensioni, della dissipazione e dei prezzi all'aumento del livello di integrazione e delle prestazioni, dalla evoluzione delle architetture elaborative (da centralizzate a distribuite fino al *mobile first*) alla ottimizzazione delle interfacce d'uso e delle *apps*.

Avendo approfondito quanto sia prorompente la crescita esponenziale, dovrebbe apparire chiaro, tornando al nostro contesto musicale, il motivo per cui 16 (soli) *bit* sono sufficienti a ricostituire un *range* dinamico del segnale congruente con la capacità di dettaglio acustico della percezione umana, dell'ordine di $216 = 65.536$ livelli (*step*): 16 *bit* ovvero 2 *byte* è dunque la «profondità di bit» (*bit depth*) o risoluzione di ogni campione tipica del CD audio⁴⁵.

Facciamo ora un po' di conti. Nel caso del CD, 60 secondi di audio campionati 44.100 al secondo e codificati a 16 *bit* per campione per 2 canali di stereofonia danno luogo ad una serie di 84.672.000 *bit*⁴⁶, che ricondotti in *byte* (8 *bit*) danno un flusso di circa 10,6 *MByte* al minuto, tipicamente approssimato a 10 MB: dunque la trasformazione *da beat a bit* tipica di un CD richiede una capacità di memorizzazione e/o trasmissione pari a 1.411 migliaia di *bit* per secondo. Tale valore non è propriamente di poco conto, dal momento che richiederebbe risorse elaborative (memorizzazione) e trasmissive (ampiezza di banda delle linee di connessione) non indifferenti.

In questa situazione ci viene in aiuto una tecnica del tutto peculiare del dominio digitale (e del tutto senza senso se riferita al mondo analogico...), detta «compressione», che consente di ridurre, anche considerevolmente, il

con un litro, il tutto al modesto costo di quattro centesimi di dollaro» (http://www.nytimes.com/2015/05/13/opinion/thomas-friedman-moores-law-turns-50.html?_r=1).

⁴⁵ Nella codifica PCM (*Pulse-Code Modulation* o modulazione codificata di impulsi) la profondità di *bit* influisce sull'intervallo dinamico e sul rapporto segnale-rumore; non influisce invece sulla frequenza massima riproducibile, che è definita solo dalla frequenza di campionamento. La relazione tra la profondità e l'intervallo dinamico è approssimabile in un rapporto di 1:6 (all'aumento di un *bit* di risoluzione, l'intervallo dinamico aumenta di 6 decibel): l'audio digitale a 16 *bit* ha pertanto un intervallo dinamico pari a 96 decibel.

⁴⁶ I contenuti audio e video sono per loro natura connessi al tempo che scorre: in altri termini ad ogni secondo è associato un certo contenuto informativo e conseguentemente un flusso di cifre binarie. Il *bit-rate* (frequenza di cifra) indica appunto il numero di *bit* al secondo che devono essere trasferiti ogni secondo per ricostruire/riprodurre correttamente l'informazione: nel caso di informazione sonora, il *bit-rate* è pari al prodotto della frequenza di campionamento per la risoluzione per il numero di canali.

numero di *bit* e conseguentemente la dimensione di un *file*⁴⁷ mantenendo l'informazione inalterata o al più *in un intorno* dell'informazione originaria, ossia facendo in modo che la nuova informazione approssimi quanto più *impercettibilmente* quella precedente.

Il vantaggio di poter comprimere un *file* è sostanzialmente duplice: da un lato occupare minore spazio in fase di immagazzinamento (cioè in memoria), dall'altro impiegare minor tempo in fase di trasmissione dati. Di contro si ha un aumento dei tempi di lettura/scrittura dovuto alle operazioni di compressione/decompressione, che vengono tipicamente delegate ad un programma o componente *hardware* dedicato detto *codec*, nonché un deterioramento eventuale, più o meno apprezzabile, del livello di qualità dell'informazione.⁴⁸

La digitalizzazione della musica – in forma dapprima *nature* e successivamente compressa in modo sempre più efficiente – è stata ed è pietra miliare nel definire la forma della cultura, dell'intrattenimento e dei media: in particolare il concetto di «musica liquida» diviene sinonimo di una ulteriore rivoluzione in cui la musica, materializzata in precedenza dal relativo supporto fonografico e dunque ricondotta al possesso indissolubile dello stesso, perde ogni fisicità, potendo essere ascoltata – grazie alle sue sempre più ridotte dimensioni ed all'evoluzione tecnologica dei dispositivi di fruizione e delle tipologie di connessione – in termini di *flusso di bit*, memorizzabile ma anche no su apparati digitali di svariate tipologie (PC, tablet, smartphone, riproduttori di audio digitale quali iPod o MP3 player).

Non è facile definire il momento esatto in cui il termine «musica liquida» sia stato coniato, anche se la paternità della metafora di *liquidità* è riconducibile alle ricerche sociologiche di Zigmunt Bauman, che ha equiparato le idee di modernità e postmodernità rispettivamente agli stati solido e liquido della società. Una data storica per la musica liquida è senza dubbio

⁴⁷ Si pensi ad un *file* come una sequenza concettualmente congruente di cifre binarie (*bit*) – siano esse testi, immagini, suoni, video o una combinazione qualsiasi di tali media – decodificabili solo attraverso il corrispondente *software* specifico di *editing*.

⁴⁸ L'operazione di compressione e di successiva decompressione può restituire un *file* o di dimensione identica a quella originaria (*lossless*, senza perdita), ovvero avente un numero di *bit* minore di quelli nativi (*lossy*, con perdita): è evidente che nel secondo caso si possono avere livelli di compressione maggiore, anche dell'ordine di 1 a 10, a scapito di un decadimento più o meno evidente della qualità dell'informazione, che va valutato in funzione della tipologia di fruizione. Nel caso specifico del suono, la compressione *lossy* si basa sugli studi di psicoacustica al fine di eliminare l'informazione sonora meno percepita: in particolare sulle evidenze che l'uomo non è sensibile allo stesso modo a tutte le frequenze e che un suono ad alta intensità ne maschera uno con frequenza vicina ma intensità più bassa.

il 2 aprile 2007, allorché la *Apple* e la *EMI* stipulano uno storico accordo: la casa discografica britannica, una delle quattro major a spartirsi il 75% del mercato mondiale, si impegna a rilasciare tutto il suo catalogo di canzoni e video musicali sul portale *iTunes* senza DRM (*Digital Rights Management*), cioè libero dalle misure di sicurezza incorporate nei computer, negli apparecchi elettronici e nei *file* digitali al fine di rendere protette, identificabili e tracciabili le opere dell'ingegno e non permetterne la copia.

Non solo: le canzoni acquistate sull'*iTunes Store* diventano ascoltabili anche su qualsiasi lettore MP3⁴⁹ della concorrenza e non solo sull'iPod, così come era accaduto in precedenza sollevando non poche critiche da parte di associazioni di consumatori europee ed istituzioni governative.

L'idea della musica liquida fece inizialmente storcere il naso agli audiofili a causa dei formati scaricabili in rete, che per la relativa lentezza delle connessioni ad Internet di quegli anni, unitamente ai limiti dei supporti fisici di immagazzinamento dei dati, imponevano sistemi di compressione dei *file* audio digitali certamente agili ed efficienti, ma sicuramente inadatti ad un ascolto Hi-Fi. Attualmente invece, grazie alla diffusione crescente ed alla disponibilità a prezzi accessibili sia della banda larga (ADSL e fibra ottica) che di periferiche di memorizzazione sempre più capienti, piccole e veloci (*hard-disk* portatili, memorie *flash* e dischi allo stato solido) è possibile reperire in rete files musicali non compressi, talora anche ad alta risoluzione o HD (*High Definition*, 24 bit, con campionamenti fino a 192 KHz).

Resta ovviamente prioritaria la tipologia di fruizione per la valutazione della qualità di ascolto: chiedere alla musica di essere «portabile», di poter emozionare ovunque, vuol dire rinunciare a priori alle casse acustiche in favore di cuffie, magari minuscole, che dunque non hanno alcuna possibilità di riprodurre bassi profondi ed alti cristallini; ma il vantaggio di poter indossare nel proprio taschino *on the road* buona parte della libreria musicale del proprio salotto, diciamo di almeno un migliaio di canzoni, impone di derogare dai lettori di CD portatili che, pur offrendo un ascolto migliore, consentono la fruizione di appena una decina di brani per CD; e così via.

Come dire: la liquidità impone per sua natura approssimazione, leggerezza e magari scomodità, in cambio di emozione e suggestione. Viene da

⁴⁹ MP3, abbreviazione di MPEG (*Motion Picture Experts Group Audio*) 1 Layer III, è un formato di riproduzione e diffusione audio/video digitale *lossy* (con perdita di qualità): nato agli inizi degli anni Novanta, è divenuto uno standard dal 1998 ed è ancora oggi uno dei più diffusi. La tecnologia MP3 si basa su algoritmi di eliminazione dei suoni meno rilevanti/udibili dall'orecchio umano ed arriva a rapporti di compressione di 12:1 rispetto al formato CD audio o altri formati senza perdita quali il campionamento WAV.

pensare al tempo da trascorrere su una barca grande tanto da poter essere governata da soli: non ha le solide fondamenta di una casa, è difficile da tenere pulita ed in ordine, è poco confortevole anche a causa delle sue ridotte dimensioni che impongono di dover rinunciare a buona parte di vezzi e manie e soprattutto è in balia del mare immenso. Ma è il simbolo della libertà e del senso della vita.

Il 2015 vede consolidarsi il già avviato cambiamento da modelli basati sul *possesso* della musica a modelli basati sull'*accesso*: al contempo la richiesta del consumatore si va sempre più orientando verso una fruizione istantanea, ubiqua e in tempo reale. L'integrazione tra i servizi su diverse piattaforme ed il *cloud storage* facilita ulteriormente il tutto: di fatto smartphone, tablet, phablet sono di fatto computer portatili collegati costantemente alla rete ed ai *social media*, al fine di permettere immediatamente condivisione ma anche abbonamenti e pagamenti. Assieme, tutte queste caratteristiche alimentano nel consumatore una cultura musicale incentrata sull'immediatezza e sull'accesso istantaneo ed in movimento.

L'accesso alla musica liquida può avvenire sostanzialmente in due forme: o previo *download* che comporta la fruizione *offline* di un contenuto multimediale a seguito del preventivo scaricamento, sul disco del proprio dispositivo, dell'intero *file* che in tal modo vi resta memorizzato sotto forma di copia; o attraverso un flusso o *streaming di bit* che consente la riproduzione immediata (in *real time*) del contenuto, *live* (es. *web radio*) ovvero *on demand* (clip, film, musica), attraverso una connessione sufficientemente veloce a Internet, senza salvarne alcuna parte e dunque con la possibilità di accedere nuovamente alla risorsa solo attraverso una nuova connessione.

Volendo riferirsi ad una metafora, si può pensare allo *streaming* come farsi una doccia di *bit audio*: la musica scorre come l'acqua, ma non la conserviamo, la consumiamo per quel che ci serve e la lasciamo fluire via una volta che ci è servita. A tal fine bisogna che l'acqua fluisca, per cui bisogna tenere aperto il rubinetto per tutto il tempo della fruizione, così come per accedere ad un contenuto in *streaming* bisogna mantenere attiva la connessione a Internet. Presupposto del *download* è invece l'immagazzinare preventivamente tutta l'acqua che ci serve, dunque tappare lo scarico per riempire la vasca fino a quando non sia piena, fino a quando tutta l'acqua che ci serve non sia completamente a nostra disposizione: dunque per il *download* è sufficiente che la connessione a Internet sia attiva per il solo tempo dello scaricamento ma non per quello della fruizione che potrà avvenire anche dopo un tempo molto lungo, dal momento che i *bit*, a differenza dell'acqua non si freddano.

Consumare o conservare implica effetti giuridici differenti: la sottile differenza nel *keeping* dei dati cambia radicalmente il modo in cui questi

vengono visti attraverso una lente legale. Se non si immagazzinano i *bit*, non vi è alcuna possibilità di ridistribuirli, per cui una licenza «basica» di *streaming* ne prevede il semplice utilizzo, senza alcun diritto di concedere in sub-licenza, ridistribuire, memorizzare (*storare*), duplicare, modificare ecc. Poter mantenere *bit* a proprio uso e consumo presuppone un diverso insieme di diritti di fatto nei dati: se ad esempio si scarica un intero film sul computer (legalmente, ovviamente), si entra in un accordo di licenza con il distributore di quel contenuto che prevede il consumo del contenuto, allo stesso modo di una licenza di *streaming*, ma ne vieta la redistribuzione attraverso la copia o il successivo invio o la messa a disposizione per il *download* attraverso sistemi di terze parti, l'*editing* ecc.

La caratteristica più importante del mercato globale della musica nel primo semestre 2015 è che, da una situazione in cui a fine 2014 la percentuale di *revenue* dell'industria discografica mondiale era suddivisa pressoché a pari merito⁵⁰ tra vendita di supporti fisici e fruizione liquida della musica attraverso *download* o ancor più *streaming*, si manifesta una crescita costante dello *streaming* nelle forme di consumo degli ascoltatori: questo *trend* è spinto dalle fasce più giovani del pubblico nonché da chi non ha esperienza del possesso della musica e quindi è poco o nulla interessato ai modelli tradizionali. Tra l'altro, assieme alle strategie di protezione del *copyright*, i servizi di *streaming* stanno contribuendo in maniera significativa a riportare i consumatori a servizi legali, offrendo una comoda alternativa alla pirateria⁵¹.

Ben sintetizza le caratteristiche salienti di questa fase vitale del mercato digitale musicale Edgar Berger, presidente internazionale e CEO di *Sony Music Entertainment*: «L'industria della musica sta affrontando contemporaneamente tre transizioni: dal fisico al digitale, dal PC al mobile e dal download allo streaming»⁵².

⁵⁰ Fonte IFPI (*International Federation of the Phonographic Industry*), «Digital Music Report 2015», in <http://www.ifpi.org/downloads/Digital-Music-Report-2015.pdf>.

⁵¹ La progressiva diminuzione dell'esigenza di possesso della musica (CD o vinile) impone tra l'altro alle case discografiche ed a coloro che compilano le classifiche nuove metodologie affinché le *chart* riflettano in maniera affidabile la popolarità della musica di un artista, non più semplicemente misurabile in termini di numero di copie «vendute» (distribuite dalle *label* ai negozi) di un certo album. Anche se non è semplice individuare una metodologia «esatta», molti paesi anche europei integrano i dati dello streaming nella compilazione delle graduatorie degli album. A seguito di tale inclusione si determina un rallentamento del ritmo con cui i brani si muovono in classifica: il consumo è misurato nel tempo, più che attraverso acquisti singoli.

⁵² Edgar Berger, citazione dal «Digital Music Report 2015» dell'IFPI (*International Federation of the Phonographic Industry*), in <http://www.ifpi.org/downloads/Digital-Music-Report-2015.pdf>.

4. OCCHIO DI BUE: MONOLOGO FINALE

*Può darsi che non siate responsabili
per la situazione in cui vi trovate,
ma lo diventerete se non farete nulla per cambiarla.*

(Martin Luther King)

Si è considerato nell'introduzione come l'informatica sia la scienza delle metodologie generali per risolvere i problemi: ma cosa aggiunge il ri-conoscere l'informatica come scienza?

In prima approssimazione, una sorta di *garanzia* di «oggettività» o «verità»: nel senso comune la metodologia scientifica – in quanto aderente ai fatti o più precisamente, attraverso l'operazione di «misura», ai «dati di fatto» – appare come sicuramente *affidabile*, tale da poter riporre in essa assoluta *fiducia*, come a voler porre *a priori* le distanze da tanti altri contesti ben noti al giorno di oggi fatti di chiacchiere, chimere e asserzioni infondate e ingannevoli.

Senza dubbio la verità scientifica si origina dall'attenersi rigorosamente ai fatti: ma, si badi bene, il «fatto» non (unicamente) il «dato percettivo», così come *attenersi* non ha il significato restrittivo di *limitarsi*.

Lo scienziato deve fare ordine: la scienza si fa con i fatti così come una casa si fa con i mattoni, ma l'accumulazione dei fatti non è scienza più di quanto un mucchio di mattoni non sia una casa.⁵³

Occorre dunque analizzare più accuratamente la pratica scientifica, operando una distinzione esplicita fra il processo attraverso il quale viene concepita una nuova idea ed il complesso di procedure attraverso le quali la nuova idea viene sottoposta a controllo.

Lo scienziato innanzitutto elabora i dati percettivi e crea una serie di interpretazioni che organizza in leggi.

Ma la scienza non si limita alla formulazione delle leggi; nessuno di noi del resto vi si limita, e nessuno di noi, in pubblico col suo lavoro e in privato con la sua coscienza, vive seguendo un elenco di leggi. Condensiamo le leggi in concetti. Così la scienza assume coerenza, forza intellettuale e insieme immaginativa, dai concetti in cui le leggi si incrociano, come nodi in una rete.⁵⁴

⁵³ Poincaré 2012, 140.

⁵⁴ Bronowski 1962, 66-67.

I concetti di cui parla Bronowski⁵⁵ sono dunque delle costruzioni del tutto originali del pensiero attraverso le quali si scoprono somiglianze nascoste e si trova unitarietà nell'infinita varietà percettiva: un *atto creativo* peculiare del singolo scienziato che, come una scintilla, condensa in una visione d'insieme raziocinio e immaginazione, equazioni e sogni. Senza voler fare facile ironia, si intuisce facilmente che tutti noi, se ci fosse caduto un frutto sulla testa stando tranquillamente rilassati sotto un albero, difficilmente saremmo andati col pensiero oltre qualche improprio. Eppure nel 1666 la mela che cade sulla testa di Newton nella sua tenuta a Woolsthorpe è l'ispirazione per capire perché la luna non cada a sua volta sulla terra, o la terra sul sole: l'opera che ne deriva, i *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), comunemente chiamati *Principia*, stabilisce le tre leggi universali del movimento e definisce la legge di gravitazione universale, migliorata solo dopo oltre trecento anni dalla relatività generale di Einstein. La mela diviene quindi la metafora di una intuizione unificante, di una visione sistemica, di un impulso creativo che sdrammatizza l'aura raziocinante che il senso comune attribuisce alla fisica ed anzi avvicina la scienza all'arte.

La creatività è la caratteristica essenziale delle attività cerebrali dell'*Homo sapiens*. Delle infinite realizzazioni che formano il nostro patrimonio culturale, la scoperta scientifica si presta più di ogni altra manifestazione creativa a un'analisi dei meccanismi cerebrali preposti alla sua elaborazione. Se pure non possa sussistere alcun dubbio che gli stessi meccanismi siano implicati nella creatività sia in campo artistico, che in tutti gli altri settori dell'attività umana, i processi che si estrinsecano nella scoperta scientifica sono stati più di ogni altro oggetto di analisi dell'attività creativa. Per una consuetudine di lavoro acquisita sui banchi di laboratorio o sullo scrittoio, lo scienziato più dell'artista è allo stesso tempo attore e spettatore di questa attività che può manifestarsi, sin dal suo primo apparire, perfetta come Minerva nell'atto di emergere dal cervello di Giove, o svelare nella sua incompletezza il lungo travaglio dell'atto creativo. Una differenza essenziale tra la scoperta scientifica e le opere d'arte è che queste ultime sono la risultante dell'attività creativa di un singolo individuo. Non sarebbe possibile modificare, né estendere una cantata di Bach, una pittura di Raffaello o la *Divina Commedia* di Dante. Al contrario la scoperta scientifica, pur avendo origine nel felice intuito di un singolo, diventa immediatamente un'opera collegiale che va incontro ad approfondimento ed estensione a mano a mano che gli studi portano a nuove conoscenze.⁵⁶

⁵⁵ Di Bronowski si vedano anche, oltre al testo appena citato, Bronowski 1961, 1980, 1981.

⁵⁶ Montalcini 1998, 63-64.

Lo stesso Zichichi in merito ribadisce: «Un'opera d'Arte è un punto di arrivo: nessuno potrà mai migliorare la *Pietà* di Michelangelo. Essa è una realtà legata totalmente al suo autore. Una scoperta scientifica è invece sempre migliorabile. Dopo la relatività galileiana è venuta quella di Einstein»⁵⁷.

Il caso della mela di Newton chiarisce tra l'altro che il concetto di cui parla Bronowsky, pur costruendosi in qualche complicatissimo modo attraverso (ma non solo) la percezione, non può essere assolutamente percepito, sia perché generalizza i dati percettivi e in un certo senso astrae da essi, sia perché (e sovente soprattutto) li corregge⁵⁸. Dunque in questa fase, di grande interesse per i teorici dell'apprendimento, durante la quale il concetto viene «creato», vi è certamente una base empirica, ma questa non giustifica né consolida la verità di alcuna legge o concetto.

Il ricorso al fatto assume invece un ruolo determinante nella fase, di grande interesse per gli epistemologi, del «controllo intersoggettivo»: in questa fase infatti il concetto deve poter essere confutato, attraverso le sue conseguenze deduttive, dall'esperienza, allo scopo di essere sottoposto a critica e quindi falsificato o (temporaneamente) corroborato⁵⁹.

«Nella scienza il ricorso al fatto è l'esplorazione del concetto nelle sue conseguenze logiche»⁶⁰: in altri termini gli scienziati controllano il concetto attraverso le sue implicazioni, e lo mettono da parte ogni qualvolta non riscontrino il comportamento logico ed empirico che ci si attende.

La verità della scienza non è dunque la verità rispetto al fatto: essa non è, pertanto, né data dal semplice «attenersi» ai fatti, né tantomeno accettata per fede, o per autorità, o per la convinzione della propria evidenza. La verità della scienza è invece la verità dei concetti che scorgiamo nei fatti: e questa verità, più difficile ma certo più umana, deve essere continuamente cercata sia attraverso un metodo comune, proprio dell'intera società scientifica, sia attraverso un'attività creativa ed un lavoro originale, proprio del singolo membro di tale società.

Tutto questo implica che la metodologia di approccio, scoperta e condivisione del mondo sia, per sua stessa natura, sorgente di valori. In altri termini diventa essenziale ed imprescindibile che ogni scienziato sia *indipendente* nella propria esplorazione della verità e nello stesso tempo *generoso*

⁵⁷ Zichichi 1999, 68-69.

⁵⁸ Si pensi ad esempio alla continua sostituzione di un'isotropia perfetta all'anisotropia del campo visuale o ancora alla correzione prospettica dei grossolani parallelismi visivi.

⁵⁹ Non è nostra intenzione soffermarci sui metodi e sui risultati dell'esame logico delle asserzioni scientifiche: d'altro canto il «criterio di demarcazione» adottato non ci esime dal dichiararne esplicitamente l'origine popperiana.

⁶⁰ Bronowski 1962, 67.

e *tollerante* nei confronti dei colleghi: tolleranza che non è certo indifferenza ma scambio continuo, paziente, privo di pregiudizi o di autorità. Per la stessa ragione è indispensabile che una società scientifica sia *libera*. Ogni suo membro può certamente dissentire dagli altri membri, ma deve in ogni caso portare loro *rispetto*, attraverso un'attribuzione reciproca di un valore personale equivalente: a sua volta questo rispetto comporta di per sé tutta una serie di profondi sentimenti morali quali *giustizia, lealtà, trasparenza, umiltà, democrazia reale*.

Tutti questi valori appaiono, in questo contesto, necessità logiche indispensabili ad una società impegnata nella esplorazione della verità. «Se questi non esistessero, la società degli scienziati dovrebbe inventarli per rendere possibile la pratica scientifica. Nelle società in cui questi valori non esistevano la scienza ha dovuto infatti crearli»⁶¹. ed ancora: «se vivessimo l'era della scienza, questi valori farebbero parte integrante della cultura cosiddetta moderna»⁶². In sintesi: una comunità scientifica non può tollerare che di essa possa far parte un uomo arrogante, corrotto, dispotico, illiberale, razzista, pena la perdita di ogni credibilità e la disgregazione del senso di comunità in quanto tale.

Analizzando dunque la prassi scientifica, non ne deriviamo tanto una serie di norme tecniche, quanto e soprattutto l'esigenza di un'etica che ingloba quei valori grazie ai quali, soltanto, siamo unanimemente persuasi che l'umanità potrà sopravvivere in pace: gli uomini, afferma Bronowski, «hanno chiesto giustizia e rispetto precisamente quando lo spirito scientifico si è diffuso tra loro»⁶³. E se attraverso le conquiste della tecnica si è riusciti a minacciare così da vicino l'uomo stesso, non è alla scienza che bisogna chiedere giustificazione, bensì a quei gruppi sociali ed a quelle ideologie che si sono richiamati a valori ben diversi da quelli che ispirano e reggono una società scientifica.

È a questo punto che si comprende come nessun progresso scientifico e tecnologico possa prescindere dalla cultura intesa nell'accezione di Dario Fo precedentemente espressa: la stretta interdipendenza fra cultura, sviluppo scientifico e tecnologico con un'etica che metta al centro i diritti inalienabili di ogni essere umano è l'unica chiave per un futuro vivibile.

«La lezione della scienza è che il concetto è più profondo delle sue leggi, e l'azione di giudicare più critica del giudizio»⁶⁴. È dunque in una so-

⁶¹ *Ivi*, 83.

⁶² Zichichi 1999, 47.

⁶³ Bronowski 1962, 91.

⁶⁴ *Ivi*, 95.

cietà fortemente caratterizzata dallo sviluppo tecnologico, che si deve realizzare la frase di Gandhi: «il mezzo sta al fine come il seme sta all'albero».

È proprio il metodo, il modo con cui ci poniamo davanti alle cose, alle persone, alla vita tutta a permettere a noi stessi, e ai nostri obiettivi, di diventare alti e grandi.

Come scienziati, conosciamo i grandi progressi che scaturiscono da una soddisfacente filosofia dell'ignoranza e il grande progresso che nasce dalla libertà di pensiero; è nostra responsabilità ribadire il valore di questa libertà: insegnare che il dubbio non va temuto, ma accolto volentieri e discusso. Esigere tale libertà è un dovere nei confronti delle generazioni future.⁶⁵

A sipario chiuso e luci spente...

*Non ho bisogno di denaro.
Ho bisogno di sentimenti,
di parole, di parole scelte sapientemente,
di fiori detti pensieri,
di rose dette presenze,
di sogni che abitino gli alberi,
di canzoni che facciano danzare le statue,
di stelle che mormorino all'orecchio degli amanti.
Ho bisogno di poesia,
questa magia che brucia la pesantezza delle parole,
che risveglia le emozioni e dà colori nuovi.*

(Alda Merini)

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Assante 2009 E. Assante, *Copio, dunque sono. La rivoluzione elettronica che sta cambiando la musica*, Roma, Coniglio, 2009.
- Bauman 2011 Z. Bauman, *Modernità liquida*, Roma - Bari, Laterza, 2011 (*Liquid Modernity*, Cambridge, Polity Press; Oxford, Blackwell Publishers Ltd, 2000).
- Bronowski 1961 J. Bronowski, *Il senso comune della scienza*, Milano, Comunità, 1961 (*The Common Sense of Science*, London, Heinemann, 1951).

⁶⁵ Feynman 2002, 157.

- Bronowski, 1962 J. Bronowski, *Scienza e valori umani*, Milano, Comunità, 1962 (*Science and Human Values*, New York, J. Messner, 1956).
- Bronowski 1980 J. Bronowski, *Le origini della conoscenza e dell'immaginazione*, Roma, Newton Compton, 1980, (*The Origins of Knowledge and Imagination*, Yale University, 1978).
- Bronowski 1981 J. Bronowski, *Il senso del futuro*, Milano, Comunità, 1981 (*A Sense of the Future. Essay in Natural Philosophy*, Cambridge, MIT Press, 1977).
- Byrne 2013 D. Byrne, *Come funziona la musica*, Milano, Bompiani - RCS Libri, 2013 (*How Music Works*, San Francisco, McSweeney's, 2012).
- Di Nardo - Zocchi 1999 N. Di Nardo - A.M. Zocchi, *Internet. Storia, tecnica, sociologia*, Torino, UTET Libreria, 1999.
- Feynman 2002 R.P. Feynman, *Il piacere di scoprire*, Milano, Adelphi (Biblioteca Scientifica 33), 2002.
- Hofstadter 1984 D.R. Hofstadter, *Gödel, Escher, Bach: un'eterna ghirlanda brillante*, Milano, Adelphi (Biblioteca Scientifica), 1984.
- Hofstadter - Sander 2015 D.R. Hofstadter - E. Sander, *Superfici ed essenze. L'analogia come cuore pulsante del pensiero*, Torino, Codice, 2015 (*Surfaces and Essences. Analogy as the Fuel and Fire of Thinking*, New York, Basic Books, 2013).
- Kuhn 1999 T.S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino, Einaudi, 1999 (Chicago - London, University of Chicago Press, 1962).
- Montalcini 1998 R.L. Montalcini, *L'asso nella manica a brandelli*, Milano, Baldini & Castoldi, 1998.
- Negroponte 1995 N. Negroponte, *Essere digitali*, Milano, Sperling & Kupfer, 1995.
- Papert 1998 S. Papert, «Collegatevi alla rete, non è in classe che si impara», Intervista di F. Leoni, *Telèma IV*, 12 (primavera 1998), 38-41.
- Pirsig 1981 R.M. Pirsig, *Lo zen e l'arte della manutenzione della motocicletta*, Milano, Adelphi, 1981.
- Poincaré 2012 J.H. Poincaré, *La scienza e l'ipotesi*, Bari, Dedalo, 2012 (1989).
- Prigogine 1981 I. Prigogine, *La nuova alleanza. Uomo e natura in una scienza unificata*, Milano, Longanesi, 1981.
- Tahan 2015 (1996) M. Tahan, *L'uomo che sapeva contare*, Milano, Salani, 2015 (*O homin que calculava*, 1996).

Watzlawick - Beavin -
Jackson 1971

P. Watzlawick - J.H. Beavin - D.D. Jackson, *Pragmatica della comunicazione umana. Studio dei modelli interattivi, delle patologie e dei paradossi*, Roma, Astrolabio, 1971.

Zichichi 1999

A. Zichichi, *Perché io credo in colui che ha fatto il mondo. Tra Fede e Scienza*, Milano, il Saggiatore, 1999.