

## Editoriale

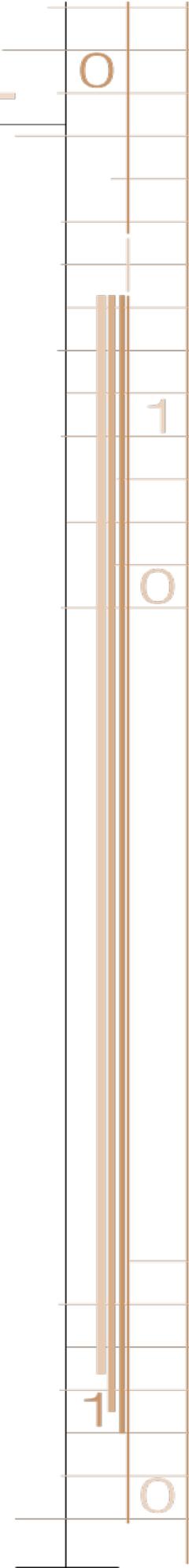
### Chi inventò il computer?

Se si chiede ad un gruppetto di amici chi inventò la radio, molti risponderanno all'unisono col nome di Marconi, ma se si domanda 'chi inventò il computer?' la risposta non sarà più corale: chi citerà IBM, chi Bill Gates, chi Steve Jobs, magari uno ricorderà Charles Babbage e un altro John von Neumann. Provando a consultare il web verranno fuori nomi meno noti, come Konrad Zuse, Vincent Atanasoff, Howard Aiken, George Stibitz, John Mauchly, Presper Eckert e tanti altri. Leggendo le pagine di quotidiani di buona reputazione si trovano nomi impreveduti o improbabili: tre anni fa, il necrologio di padre Roberto Busa, pubblicato da L'Osservatore Romano declamava: «*Se navighi in Internet, lo devi a lui [Busa]. Se usi il pc per scrivere mail e documenti di testo, lo devi a lui*». In occasione della messa in onda del film televisivo *Adriano Olivetti. La forza di un sogno*, una recensione pubblicata su Sette sosteneva che Olivetti «*costruì il primo computer al mondo*» (sic). Il prodotto di *Rai Fiction* (nomen omen) conteneva peraltro errori non meno gravi, assieme a fantasiose teorie complottiste. Anche le storie aziendali possono contribuire alla confusione; lo storico Michael Mahoney sottolineava come il pericolo di distorsione dei fatti sia probabile «*soprattutto per quanto riguarda i computer e l'informatica, perché sono sempre circondati da iperboli pubblicitarie*». La disparità delle risposte può essere attribuita alla scarsa competenza, a una certa pigrizia nel controllare le fonti, a interessi e partigianerie o alla rincorsa dello *scoop* giornalistico, ma è anche frutto dall'obiettiva difficoltà di condividere il significato delle parole 'invenzione' e 'computer'.



In generale, cercare di identificare con sicurezza l'inventore di uno strumento o di un sistema tecnologico, semplice o complesso che sia, è un'opera ardua che, come tutte le indagini storiche, rischia di essere inquinata da pregiudizi, da campanilismi, da incapacità di comprendere l'epoca in cui l'invenzione è avvenuta, nei suoi aspetti sociali, economici e politici. «*La descrizione storica richiede la comprensione delle cose come le capivano le persone dell'epoca, non come le capiamo noi oggi*» ci ricorda lo storico Kenneth May. Un altro rischio è quello di descrivere l'inventore e l'invenzione in modo ingenuo, rasentando la rappresentazione caricaturale di un Archimede Pitagorico, un individuo geniale e solitario che sviluppa un'idea brillante – la metaforica lampadina sopra la testa – e la trasforma in poco tempo in uno strumento definitivo, efficiente e già pronto all'uso. In molte biografie popolari di celebri inventori, questi sembrano vivere in un mondo 'vuoto' dove nessun altro sta perseguendo la stessa idea e in cui essi sono oggetto di incomprendimento e derisione da parte dei contemporanei. E' questa l'immagine epica dell'inventore ottocentesco, a cui si è andata sostituendo, dalla seconda metà del secolo scorso, un'analisi più approfondita e sfaccettata che prende il nome di 'costruzione sociale della tecnologia', analisi che tiene conto degli apporti dei diversi gruppi coinvolti nella costruzione di una determinata invenzione: scienziati, tecnici, utilizzatori, imprenditori, politici, perfino arditi visionari, ognuno dei quali contribuisce a plasmare la novità tecnologica secondo le proprie necessità e le proprie idiosincrasie. Perfino anche coloro che sembrano opporsi alla nuova tecnologia possono dare apporti costruttivi che permettono all'invenzione di diventare matura, utile, efficace ed efficiente.

Il processo dell'invenzione, infatti, non è un fenomeno lineare che un singolo personaggio geniale possa sostenere in tutto il suo corso, almeno non lo è più dall'inizio del XX secolo. Alla semplice ideazione, la nascita di un costrutto mentale che ricombina concetti noti per crearne nuovi, deve seguire una fase di razionalizzazione che serve a verificarne la possibilità di funzionamento, in accordo con le leggi della natura, e a trasformare l'idea in progetto. E' qui, ad esempio, che le tante presunte invenzioni del 'moto perpetuo' si fermano definitivamente. Segue la fase ancor più impegnativa che chiamiamo 'sviluppo', quella che Edison sintetizzava con la frase "*L'invenzione consiste nell'uno per cento di ispirazione e nel novantanove per cento di traspirazione*", cioè di sudore e fatica. Lo sviluppo permette all'invenzione di essere trasformata in un oggetto reale, producibile coi mezzi disponibili all'epoca, ad un costo ragionevole, per un preciso mercato che la deve adottare, facile da usare e sicura nel funzionamento. Proprio durante la fase di sviluppo l'invenzione può essere oggetto di ripensamenti, a volte profondi, che possono perfino cambiarne la destinazione d'uso. Si pensi alla fonografia che era destinata alla dettatura della corrispondenza alle dattilografe, fino a quando un certo Emile Berliner pensò di sostituire il cilindro di Edison con un disco piatto, stampabile economicamente in tante copie. Il successo del fonografo fu assicurato, ma era diventato un mezzo di



distribuzione della musica registrata, dando origine alla profittevole industria discografica. Cambiare la destinazione d'uso di una nuova invenzione, modificandola più o meno drasticamente, è anch'esso un atto inventivo, eppure tutti ricordano Edison e ben pochi Berliner. Proprio l'invenzione del computer è un caso esemplare di costruzione sociale: i tempi erano maturi, le basi tecniche e scientifiche erano disponibili, il bisogno di tale strumento era impellente e ingegneri, matematici, fisici, ma anche *outsider* privi di formali titoli di studio, contribuirono a plasmare la tecnologia informatica. L'invenzione del computer non è quindi attribuibile ad una sola persona e neppure ad un singolo gruppo di persone. Oltre agli ingegneri e ai matematici non si possono dimenticare tutti coloro che contribuirono all'impresa sostenendo e finanziando giovani entusiasti, sviluppando idee innovative che i 'tecnici' trasformarono in realtà, scoprendo nuove destinazioni d'uso, tramutando la nuova tecnologia in oggetti pratici e utili per tutti e, perché no, fondando lucrose nuove industrie. Tutti costoro meritano di essere ricordati.

E' proprio nel caso dei sistemi di elaborazione automatica dell'informazione che il problema dei tanti diversi utilizzi di un'invenzione si manifesta in modo palese. Definire cosa sia un computer è meno semplice di quanto possa apparire. Per secoli la parola indicò la professione del contabile e del matematico che calcolava le tavole astronomiche e fu solo dal 1946 lo Oxford English Dictionary lo definì come una «*macchina per eseguire calcoli*». Nelle ultime edizioni dello OED, il computer è diventato un «*dispositivo elettronico usato per immagazzinare, manipolare e comunicare informazioni, eseguire calcoli complessi o regolare altri dispositivi; capace di ricevere informazioni ed elaborarle in accordo a istruzioni procedurali variabili (programmi, software)*». Da un punto di vista tecnico potremmo tentare un'altra definizione: «*calcolatore elettronico, digitale, automatico, programmabile, per uso universale, cioè macchina capace di eseguire automaticamente qualunque sequenza di operazioni logiche ed aritmetiche su un insieme finito di simboli, in base ad un programma*», in altre parole l'approssimazione reale della Macchina Universale di Turing. E' proprio la verbosità delle definizioni che crea incertezza sull'invenzione: lo storico dell'informatica Michael Williams affermava, provocatoriamente, che se si scelgono opportunamente gli aggettivi e i sostantivi «*si trova sempre il modo di proclamare una qualunque macchina come il 'primo computer'*». Da un punto di vista funzionale, poi, il computer è un oggetto proteiforme, usato per innumerevoli funzioni e che si presenta a noi in forme continuamente diverse. La sua duttilità scaturisce proprio dall'essere programmabile, al punto che si può azzardare che il computer è il software che in quel momento sta eseguendo. Mahoney precisò che «*il computer non è una sola cosa, ma molte cose differenti. Il computer è ciò che noi ne facciamo tramite i compiti che gli affidiamo e i programmi che scriviamo*».

Anche quando si convenga su una certa definizione di computer e su un suo particolare utilizzo, stabilire chi fu il suo inventore e determinare una



ragionevole data dell'invenzione è difficile. Limitandoci ai moderni dispositivi elettronici digitali per uso generale, quelli definiti come 'ad architettura di von Neumann' o 'a programma memorizzato', si può dire che nessuna delle prime realizzazioni fu opera di un singolo individuo isolato, ma fu piuttosto una continua rielaborazione di concetti che erano 'nell'aria' in alcuni ambienti accademici e professionali ai due lati dell'Atlantico (vedi *Mondo Digitale*, n. 46, 2013). Cercare poi di attribuirne la paternità sulla base della cosiddetta 'priorità' – la data precisa di brevetti, pubblicazioni, appunti di laboratorio, dimostrazioni pubbliche – può essere fuorviante. Quale momento cronologico si dovrebbe scegliere? La nascita dell'idea (difficilmente databile), una prima descrizione, un primo prototipo funzionante, l'inaugurazione pubblica, il primo calcolo eseguito, l'entrata in funzione regolare per applicazioni pratiche, la consegna al cliente del primo esemplare? Senza un accordo sull'evento da scegliere, la priorità significa ben poco, come sottolinea Kenneth May : «*Ogni affermazione su chi fece cosa e per primo è poco significativa*» e Richard. W. Hamming si chiede: «*Che cosa significa una data di inaugurazione?*» Il fatto che una macchina sia entrata in funzione pochi mesi prima o dopo un'altra, quando entrambe siano dovute a studi originali e indipendenti, non sembra rilevante; la ricerca scientifica e tecnologica non può essere trattata come una gara di velocità; diversamente da un evento sportivo, non è raro che chi arriva secondo o terzo produca risultati migliori del primo, risultati che poi si imporranno nella prassi, diventando standard 'de facto'.

Non si può perciò che essere comprensivi verso chi non sa rispondere alla domanda 'chi inventò il computer' o risponde in modo approssimativo o fantasioso, perché la domanda in sé "non ha senso", come affermava K. May. La storia di quest'invenzione è stata un fenomeno così complesso che è impossibile concentrarla in poche pagine, a stampa o nel Web – tantomeno nei 140 caratteri di un tweet – ma, proprio per questo, è una storia che dovrebbe essere raccontata e che val la pena di conoscere per capire meglio perché il computer sia nato, perché si sia sviluppato così velocemente e perché sia stato l'innovazione più importante del secolo XX.

Silvio Hénin

# La robotica cognitiva entra in pediatria

Ilaria Baroni - Marco Nalin

**Sommario** *Per il bambino il ricovero in ospedale è un'esperienza traumatica e stressante, che implica non solo la accettazione e gestione della propria malattia, ma anche l'allontanamento dai cari e dagli ambienti familiari. La Robotica Cognitiva può essere utilizzata per creare stimoli e situazioni che mettano il bambino a proprio agio, lo facciano distrarre dalla sua condizione, lo rendano un ascoltatore attivo e quando possibile anche un alleato per il medico nella gestione della patologia e della terapia. Facendo leva sui punti di forza della Pet-Therapy, la sfida è quella di realizzare una vera e propria Robot Therapy, partendo da obiettivi concreti ed arrivando a casi di studio reali.*

**Abstract.** *Hospitalization for a child can be a stressful and traumatic experience, which requires the child not only to accept and cope with his disease, but also to be separated from friends/family and from any familiar environment. Cognitive Robotics can be a viable tool to create stimuli and situations which make the child comfortable, distract him from his condition, make him an active learner and, when possible, an effective allied for the doctor in the management of the disease and therapy. Leveraging on the strengths of the Pet-Therapy, the challenge is to realize an actual Robot Therapy, starting from concrete objectives and real case studies.*

**Keywords:** Robot Assisted Therapy, Cognitive Robotics, Child-Robot Interaction, Assistive Robots, Robots in Hospitals

## 1. Introduzione

Questo lavoro vuole discutere delle possibili applicazioni della Robotica Cognitiva in ospedale. La Robotica Cognitiva è quel ramo della robotica che mira a sviluppare algoritmi intelligenti e architetture di processing che permettano ai robot di imparare e ragionare su come comportarsi, in risposta a obiettivi complessi da portare avanti in ambienti complessi. Molte sono le applicazioni robotiche in clinica, specialmente nella riabilitazione, tramite macchinari complessi, dispositivi aptici, esoscheletri, etc. Tuttavia nei prossimi anni si assisterà anche alla crescente presenza della Robotica Cognitiva, tramite compagni robotici di varie forme e dimensioni (umanoidi, animali, veicoli, etc.) che supporteranno in vari modi il paziente in ospedale. Il primo target per

questo tipo di applicazioni è naturalmente il bambino, che è un nativo digitale ed è più abituato a vedere i robot come possibili agenti sociali e compagni di giochi.

In questo articolo si partirà contestualizzando la complessità dell'esperienza del bambino in Ospedale e si inizierà ad analizzare come passare da terapie "di compagnia" con esseri viventi (come la Pet Therapy o, più appropriatamente Animal Assisted Therapy) a terapie assistite dai Robot (Robot Therapy).

Verrà poi fatto un approfondimento sul perché il bambino è un candidato ideale per questo tipo di soluzioni, grazie alla peculiare percezione del mondo (e dei robot) che ha, e verranno poste le basi per una teorizzazione della Robot Therapy. Infine verrà riportato lo stato dell'arte sull'uso di questo tipo di strumenti e verranno approfonditi alcuni casi di studio concreti verso la realizzazione di terapie assistite da robot.

## 2. I bambino in Ospedale

L'esperienza dell'ospedalizzazione è complessa e traumatica per chiunque, ma per un bambino è ancora più problematica. Essere ricoverati implica il distacco da casa e da tutte le situazioni che sono più familiari, dalle proprie abitudini, dalla propria intimità, nonché l'introduzione in un ambiente che è estraneo e sconosciuto. Gli adulti si adattano con difficoltà e insofferenza a questa situazione, ma hanno la capacità di superarla grazie alla consapevolezza del significato di questa esperienza, mentre i bambini (e spesso anche gli anziani) vivono la situazione con più malessere, perché manca loro la comprensione di quello che sta succedendo.

La separazione dalla famiglia, l'abbandono delle abitudini (orari, pasti, scuola, giochi, contatti con parenti e amici), l'incontro con adulti sconosciuti che li "manipolano" per poterli curare, etc. possono generare esperienze e sensazioni di abbandono, solitudine, paura, disorientamento, depressione, senso di impotenza e la sensazione di invadenza della propria intimità.

Alcune delle principali paure e disagi espressi dai bambini ospedalizzati sono i seguenti:

- Mancanza di comprensione (Perché sono qui? Cosa mi succederà? Cosa sono questi strani strumenti intorno a me? Etc.)
- Disorientamento (Dov'è la mia stanza? Mi manca il mio letto. Dove sono i miei giochi? Perché mi svegliano così presto al mattino?)
- Sensazione di essere invasi (Perché i dottori possono toccarmi tutte le volte che vogliono?)
- Senso di colpa (Sono qui perché sono stato cattivo)
- Paura dell'abbandono e rottura dei legami con i genitori (Quando potrò andare a casa? Quando possono venire a prendermi?)
- Senso di impotenza, rischio di depressione (Quando se ne andrà questa malattia? Non ho fame! Non voglio vedere nessuno!)
- Paura del dolore (Farà male? Cosa sentirò?)

Tutte queste paure possono rendere il bambino un “cattivo paziente”, nel senso che diventerà molto difficile per il medico instaurare con lui un rapporto di fiducia, far sì che segua le sue indicazioni e che collabori nella terapia.

Tuttavia i bambini dispongono anche di risorse proprie, in misura ovviamente diversa a seconda dell'età e del livello personale di maturazione, che possono essere mobilitate per rispondere all'esperienza del ricovero. Lo sviluppo e lo stimolo di queste risorse possono aiutare nella creazione dell'alleanza medico-paziente, che può rendere il processo di cura più facile per entrambi.

Esempi di queste risorse sono:

- I genitori stessi: i genitori sono attori di riferimento per il bambino nel nuovo contesto (il bambino guarderà a come loro si relazionano con i medici, a come loro si preoccupano o meno per certe cose, etc.), possono e devono vivere la situazione con meno ansia del bambino e facilitare la cooperazione con il processo di trattamento.
- Capacità cognitive: la capacità di interpretare e razionalizzare l'esperienza (“la mamma mi ha detto che sono qui perché a casa non si poteva curarmi al meglio”).
- Capacità di gestire le emozioni: ci sono diversi modi per controllare emozioni negative, dall'argomentazione “cognitiva”, cercando di convincersi che la situazione non è così stressante come avevano immaginato in un primo momento, alla capacità di vedere il lato positivo, al ridirigere l'attenzione verso altre attività (ad esempio ludiche), al superamento della paura tramite l'empatia e la socializzazione con altri bambini ricoverati.
- Comprensione delle tempistiche giornaliere: imparare quando succederanno alcune cose (pasti, visite, esami clinici, etc.) dà al bambino una sensazione di controllo, rendendolo più padrone della situazione
- Comprensione delle tempistiche dell'ospedalizzazione: come sopra, ma riguardo a tutta la durata della degenza. Avere dei riferimenti chiari (e.g., “devo aspettare i risultati delle analisi tra tre giorni e se va tutto bene tra una settimana mi dimettono”) dà al bambino un aiuto a controllare e razionalizzare la situazione.
- Capacità di dialogo con gli adulti (e.g., “Dottore, misurerà la mia temperatura oggi?”)
- Capacità di legare con altri bambini (e.g., fare amicizia con il compagno di stanza)
- Possibilità di fare attività autonome (e.g., “oggi leggerò un libro, farò i miei compiti e poi andrò a giocare nella sala comune”).

Per aiutare il bambino in questo processo le pediatrie cercano spesso di fornire spunti per migliorare la degenza, tramite incontri con personaggi (vigili, clown, maestri, ecc), colorando l'ambiente della pediatria, con musica nei reparti, la presenza di psicologhe in corsia, e anche con l'appoggio di terapie alternative, dove in questo caso si contestualizza la Robot Therapy.

### 3. Dalla Pet Therapy alla Robot Therapy

Date le diverse problematiche di un ambiente come la pediatria, non è facile inserire un robot in questo ambito senza aver analizzato come questa attività possa essere di aiuto senza creare stress aggiuntivo ai piccoli pazienti. L'idea di applicare la Robotica Cognitiva in questo campo si è ispirata ai risultati della Pet Therapy e all'impossibilità che spesso si ha di portare in corsia animali (per problemi igienici, logistici, etc.). In questo capitolo si parlerà di Pet Therapy: di che cos'è, del rationale per il quale si è pensato di affiancare l'utilizzo dei robot dove gli animali non possono essere coinvolti e delle possibili sinergie che la Robot Therapy può offrire alle terapie tradizionali.

#### 3.1. Pet Therapy, Animal Assisted Activity e Animal Assisted Therapy

Il problema della degenza in ospedale, o più in generale l'esistenza di malattie invalidanti, ha portato a provare altre forme di terapia che non fossero solo a base di farmaci. Tra queste, nel 1960, è stato introdotto da Levinson il concetto di "Pet Therapy" [1], il cui primo scopo era in realtà centrato più sulla comunicazione. Levinson infatti ha provato che con l'aiuto di un cane, era più facile rompere il ghiaccio con i bambini, creando molto più velocemente una connessione tra paziente e terapeuta. Successivamente il termine Pet Therapy è stato abbandonato a causa della sovrapposizione con il concetto di terapia comportamentali degli animali stessi, dando spazio a due nuove sottocategorie: l'Animal Assisted Activity (AAA), ossia attività per motivare, educare e migliorare lo stile di vita di pazienti con deficit fisici o motori tramite l'utilizzo di animali, e l'Animal Assisted Therapy (AAT), dove l'animale è parte integrante del processo di cura, disegnando interventi che promuovano miglioramenti a funzioni cognitive, fisiche, sociali o emozionali [2]. Sono stati condotti diversi studi sull'AAT e AAA, e si possono definire diversi campi di intervento, a seconda degli obiettivi che si vogliono raggiungere. Di seguito verranno presentati i principali impieghi che sono stati studiati in questo ambito, con riferimento all'applicazione su pazienti in età pediatrica.

Un primo obiettivo sicuramente molto analizzato è quello della possibilità di diminuire stress e ansia, tramite l'attivazione di meccanismi psicosomatici. E' dimostrato infatti che gli animali riescano a ridurre l'ansia in bambini, con il miglioramento dell'umore e del ritmo respiratorio [3], attraverso la comunicazione con l'animale e tramite le percezioni tattili. Tra le applicazioni più interessanti si trovano diversi studi su pazienti pediatrici affetti da cancro [4] [5]. E' molto importante lavorare su questo aspetto poiché, come già enunciato precedentemente, per i bambini è facile passare a stati di ansia e di stress che li porta a cooperare meno con i medici, con conseguenze negative per la cura della patologia.

Un altro ambito ampiamente trattato è quello dell'incremento del senso di auto efficacia [6]: è dimostrato che avere a che fare con un animale e doversi prendere cura di lui, aumenta la capacità di occuparsi anche di se stessi, tramite l'aumento di fiducia e l'innescarsi di meccanismi di responsabilizzazione. Questo anche grazie alle emozioni che il paziente prova durante la cura dell'animale stesso, all'attaccamento che serve a instaurare un legame di fiducia

e al conseguente passo che si esprime nell'identificarsi nell'animale, capacità che viene facilmente trasferita anche sugli esseri umani (meccanismo affettivo-relazionale). Un caso di studio interessante per l'auto efficacia è rappresentato dall'applicazione di AAT con pazienti pediatrici affetti da paralisi cerebrale: è dimostrato in uno studio basato sull'interazione con cavalli, che oltre all'aspetto motorio e di socializzazione, anche l'auto efficacia dei pazienti è migliorata [7]. Sono interessanti anche i meccanismi cognitivi, per il tipo di comunicazione che si instaura tra uomo e animale: comandi semplici e chiari, capire che bisogni ha l'animale e quali azioni compiere per prendersi cura di lui, etc. sono doveri impliciti nell'interazione che creano un valore aggiunto per il bambino.

Anche l'incremento della quantità e qualità di attività fisica è tra gli obiettivi che ci si può porre tramite l'AAT e l'AAA, tramite l'aumento di equilibrio o coordinazione e la scoperta e controllo del proprio corpo. Prendendo come esempio di nuovo l'equitazione, ci sono studi che dimostrano gli effetti benefici di equilibrio e coordinazione anche su pazienti affetti da sindrome di Down [8], e miglioramenti nel controllo del corpo su bambini autistici, tramite interazioni di lungo termine [9].

Un'altra delle capacità note degli animali, che danno ottimo spunto alla creazione di nuove terapie, è quella di creare e rafforzare relazioni sociali. Spesso portando un cane a passeggio nel parco capita di essere fermati da qualche passante che vuole fare una carezza all'animale, o si ferma chiedendo sesso, età o razza. Questo può essere utilizzato per migliorare le relazioni che vanno rafforzate durante la terapia (medici, psicologi, infermieri, ecc.): ecco perché l'AAT e l'AAA vengono considerati validi mezzi di supporto alle relazioni sociali. Questo tipo di supporto viene utilizzato con diverse patologie, soprattutto quelle che evidenziano un Disturbo Pervasivo dello Sviluppo [10], che è caratterizzato da carenza di interazione sociale, di comunicazione verbale e non verbale e dalla diminuzione di attività e interessi.

Insieme a tutti questi obiettivi, il contatto con la natura tramite l'interazione con animali rappresenta un punto fondamentale per i bambini, nonostante spesso venga messo in secondo piano, soprattutto per chi vive in grandi città.

### 3.2. Razionale

L'evidenza dei vantaggi dell'Animal Assisted Therapy si scontra con i vincoli che spesso si incontrano in ambito sanitario, tra i quali l'impossibilità di introdurre animale in corsia, la difficoltà di gestione di queste attività in ambienti frenetici come l'ospedale, le problematiche di salute di alcuni pazienti che richiedono ambienti sterili durante il ricovero (come i degenti operati al midollo osseo), la logistica legata al mantenimento e al sostentamento degli animali, la necessità di strutture idonee alla loro permanenza, etc. Tutte queste barriere hanno stimolato la ricerca verso altre soluzioni, tra le quali la proposta di introdurre il robot in corsia non come sostituto dell'animale, ma come supporto alternativo per cercare di perseguire gli stessi obiettivi, anche dove non fosse possibile altrimenti.

Una cosa che è importante specificare è che il robot non sarà in grado di replicare in tutto e per tutto le caratteristiche che valorizzano particolarmente la Pet Therapy (come potrebbe essere il contatto fisico dato dall'animale, che

presenta calore e pelo). Questa problematica ha fatto emergere la possibilità di modificare leggermente lo scopo la Robot Therapy, anche estendendola oltre i confini delle Pet Therapy tradizionali, grazie a tutte quelle caratteristiche che sono comuni nei robot e possono essere utili per compensare o creare nuovi stimoli, ma sono assenti negli animali (e.g., capacità di dialogo).

### 3.3. La costruzione del concetto di Robot Therapy

Se si considerano gli obiettivi dell'AAT/AAA sopracitati e i vari meccanismi coinvolti, si può costruire uno schema con una mappatura tra meccanismi sollecitati a seconda delle caratteristiche dell'interazione tra bambini e animali. Il primo passaggio che è stato fatto per una definizione della Robot Therapy è stato di affiancare questi meccanismi e queste caratteristiche alle potenzialità dei robot e di dedurre a livello teorico quali connessioni si sarebbero potute stabilire. La tabella 1 ne offre una rappresentazione sintetica.

ANIMAL ASSISTED THERAPY	ROBOT THERAPY
<b>MECCANISMO AFFETTIVO RELAZIONALE</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non indipendenza dell'animale, bisogno di cure</li> <li>- Coccole ed espressioni di affetto</li> <li>- Comunicazione non verbale multilivello (tatto/vista/olfatto)</li> <li>- L'animale non valuta, non contraddice, non giudica</li> <li>- Animale per comunicare tra 2 persone (parlando di lui)</li> <li>- L'animale si adatta alle necessità di chi gioca con lui</li> <li>- L'animale si pone con naturalezza e accetta subito l'umano</li> <li>- Necessità di dover usare un comportamento idoneo con l'animale</li> <li>- L'animale ha memoria di lungo termine e si affeziona</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non indipendenza</li> <li>- Coccole ed espressioni di affetto</li> <li>- Non valutare, contraddire o giudicare</li> <li>- Mezzo utile per far comunicare 2 persone</li> <li>- Il robot può adattarsi alle necessità di chi gioca con lui</li> <li>- Il robot accetta subito il suo interlocutore e si pone con naturalezza</li> <li>- Necessità di usare un comportamento idoneo con il robot</li> <li>- Il robot può avere memoria di lungo termine, e dimostrare attaccamento crescente con l'aumentare degli incontri</li> <li>- Possibilità per il bambino di sfogarsi raccontando proprie preoccupazioni o storie</li> </ul>
<b>MECCANISMO LUDICO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fare movimento divertendosi</li> <li>- Spinta all'esplorazione di ambienti diversi</li> <li>- Gioco inteso come divertimento e risate</li> <li>- Azione terapeutica: sport + obiettivi comportamentali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fare movimento divertendosi</li> <li>- Gioco inteso come divertimento e risate</li> <li>- Azione terapeutica: sport + obiettivi comportamentali</li> <li>- Inversione dei ruoli (bambino dottore e robot paziente)</li> </ul>

MECCANISMO PSICOSOMATICO	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effetto placebo</li> <li>- Concentrazione sull'animale, che permette di distrarsi da altri problemi</li> <li>- Possibilità di accarezzare e accudire l'animale (riduzione dello stress attraverso il tatto)</li> <li>- Presenza fisica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effetto placebo</li> <li>- Concentrazione sul robot (distrazione dai propri problemi)</li> <li>- Possibilità di accudire il robot</li> <li>- Presenza fisica</li> </ul>
MECCANISMO COGNITIVO	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Attenzione su un singolo elemento visivo o uditivo</li> <li>- Necessità di porsi delle domande per riconoscere i bisogni dell'animale</li> <li>- Comandi semplici e chiari per comunicare con l'animale</li> <li>- Sequenza di azioni per prendersi cura dell'animale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessità di porsi delle domande per riconoscere i bisogni del robot</li> <li>- Sequenza di azioni per prendersi cura del robot</li> </ul>

**Tabella 1: In questa tabella sono evidenziate i parallelismi teorici tra AAT e Robot Therapy in base ai diversi meccanismi coinvolti.**

Come si può notare molte delle funzionalità che permettono l'innescio di meccanismi possono essere replicate dal robot. Non bisogna immaginarsi una sostituzione diretta del robot, provando a replicare allo stesso modo i comportamenti dell'animale e le attività. Piuttosto, si intende un adattamento alle condizioni necessarie tramite altre funzionalità che un automa può offrire, con il conseguente disegno di nuove attività. Un esempio può essere rappresentato dalla necessità di azioni per prendersi cura dell'animale o robot: nel primo caso è chiaro che l'animale abbia fame, sete, ecc. Mentre un robot può avere altre problematiche, come la batteria che si scarica, la necessità di dover essere spostato manualmente per via di ostacoli, oppure aver bisogno di supporto in alcune attività (imparare cose, scrivere, ballare, ecc.).

Nonostante questa precisazione, non tutti i vantaggi dell'AAT possono essere forniti dalla Robot Therapy: per esempio la comunicazione non verbale multi livello (tatto, vista e olfatto) non può essere replicata in modo così efficace, così come l'esplorazione di diversi ambienti di gioco, dato che i robot non sono generalmente così agili e affidabili per muoversi facilmente in alcuni ambienti (e.g., all'aria aperta o con l'acqua). Ci sono invece altri aspetti che il robot può offrire in aggiunta, tra i quali la capacità di intrattenere dialoghi, che rende l'interazione adatta a fare giochi più sofisticati, o la capacità di produrre luci e suoni, oppure può permettere al bambino di sfogarsi anche in modo verbale con una figura che non sia un adulto, etc.

#### 4. Percezione del robot dal punto di vista del bambino

Come anticipato l'obiettivo di studi recenti sull'interazione bambino-robot (Child Robot Interaction o CRI) è quello di introdurre questo robot in un reparto pediatrico con lo scopo di facilitare l'esperienza dell'ospedalizzazione e la gestione della patologia, in modo analogo a quanto già accade con le terapie assistite da animali. Tuttavia una prima distinzione fondamentale che salta all'occhio è l'evidente differenza tra un robot (oggetto inanimato) ed un animale (essere vivente).

A questo proposito viene utile la distinzione fatta da Khan et al. [11] tra un livello ontologico ed un livello psicologico quanto si interagisce con il robot. Khan sostiene che a livello ontologico, supponendo che sia possibile che in futuro i robot raggiungano funzionalità simili agli umano, si può distinguere tra due casi: il caso in cui il robot "diventa un umano" (strong ontological claim) o quello in cui il robot "appare umano", ma di fatto rimane un artefatto (weak ontological claim). Questa discussione rimane di difficile risoluzione e apre il dialogo a problemi etici e morali significativi, che non si vogliono affrontare o discutere in questa sede. Sempre Khan però propone anche una seconda distinzione, psicologica, che si concentra sulle capacità e funzionalità che le persone attribuiscono a un robot umanoide. Anche in questo caso distinguiamo tra il caso in cui le persone attribuiscono al robot una "essenza" umana (strong psychological claim) e il caso in cui invece le persone attribuiscono funzionalità di artefatto al robot (weak psychological claim).

Generalizzando il concetto di Khan al concetto di essere vivente (soprattutto animale) in generale si potrebbe dire che non è tanto interessante chiarire il dilemma ontologico sul fatto che il robot sia o non sia "vivo", quanto il fatto di riuscire a far attribuire al robot questa caratteristica dagli esseri umani che interagiscono con lui. In questo senso il bambino è un soggetto ideale, per due motivi: 1) è più abituato ai robot nella sua realtà quotidiana (fatta anche di cartoni animati, film, fumetti, giochi, videogiochi, etc.) e 2) è ancora disponibile a "credere" che il suo immaginario e la sua fantasia possano diventare realtà. Di fatto quando il bambino gioca, il mondo che vive in quel momento diventa vero quasi quanto il mondo reale.

Nel 2011 Nalin et al. [12] hanno studiato la reazione e le aspettative di due classi di una scuola elementare (N=35 bambini) verso un robot umanoide del quale venivano date loro pochissime informazioni. L'idea dello studio era di distaccarsi dagli studi molto strutturati in cui certe attività con il robot erano portate avanti secondo rigidi protocolli che aiutavano a generalizzare i risultati (vincolando le variabili in gioco), ma influenzavano inevitabilmente la percezione del robot, e provare invece a far interagire liberamente i bambini con il robot, "attivandone" tutte le funzioni possibili (quelle che secondo loro il robot aveva). Alla fine dell'interazione un questionario ha cercato di catturare la percezione che i bambini avevano avuto di questo robot. La cosa interessante è stata che la maggior parte di loro ha dichiarato che secondo loro il robot sembrava umano (88.6%), che si comportava come un umano (60%), e che secondo loro provava emozioni (88.6%). Inoltre tutti hanno detto che sicuramente il robot avrebbe

potuto aiutarli se fossero stati tristi o in difficoltà. Infine, tutti i bambini hanno detto che il robot aveva amici e quasi tutti (ad eccezione di uno) hanno detto che il robot aveva sicuramente una famiglia.

Questo studio è stato interessante perché ha fatto confermare quanto teorizzato da Khan, cioè che non è tanto quello che il robot è o non è a fare la differenza (quindi il piano ontologico), quanto le caratteristiche che le persone (i bambini) attribuiscono al robot. In questo caso, se il robot è percepito come qualcosa di vivente (i.e., come un “agente sociale”), indipendentemente dal fatto che lo sia o meno, si può far leva su questa attribuzione per sviluppare terapie simili alle Animal Assisted Therapies e svolgerle con il robot.

Ovviamente, dato che è l’attribuzione delle caratteristiche di agente sociale che le persone (ed i bambini) danno al robot, si ritiene che questo funzionerà soltanto con robot che hanno l’aspetto di agenti sociali (o esseri viventi), come robot umanoidi o a forma di animale, mentre non funzionerà altrettanto bene con altri robot (e.g., a forma di veicoli). Inoltre è importante precisare che il bambino deve aver chiaro di trovarsi di fronte ad un automa, ma gli si deve lasciare spazio per fantasticare con la sua mente. Questo bilanciamento è quello ottimale per massimizzare gli effetti della Robot Therapy.

## 5. Teorizzazione della Robot Therapy

Come suggeriscono Nalin et al. [13], il compagno robotico dev’essere in grado di ridurre il livello di ansia e stress, migliorare la risposta ai trattamenti, migliorare l’auto efficacia, e motivare il bambino a fare attività fisica. Questi punti hanno importanze diverse a seconda del tipo di patologie associate e per questo è importante scegliere la tipologia di robot più adatta a ogni occasione, in modo da ottimizzarne gli effetti. Ad esempio un automa a forma di foca o di cane potrebbe avere atteggiamenti affettuosi più forti e diretti rispetto a un robot umanoide, che invece sarebbe l’ideale per essere un interlocutore verbale credibile.

Tra i target della Robot Therapy la motivazione gioca un ruolo importante: la motivazione intrinseca (i.e., “faccio questo perché è importante per la mia cura”, al contrario della motivazione estrinseca, e.g., “se prendo la medicina, poi mi danno una caramella”) in un bambino è una delle cose più difficili da costruire e al tempo stesso una delle più importanti per rendere il bambino un alleato attivo per il medico. Tuttavia non è sempre facile trovare strumenti motivazionali, soprattutto alcuni che abbiano un effetto duraturo. Per costruire l’intenzione (o motivazione), lo stato dell’arte dei modelli motivazionali suggerisce di basarsi sulla consapevolezza, sull’influenza sociale, sull’auto-efficacia e sulle aspettative riguardo l’esito di certe azioni [14].

Un particolare approfondimento è necessario sul principio della conoscenza come base per costruire la motivazione. Banalmente: per fare la cosa giusta si deve sapere come farla. In uno studio di Janssen et al. [14] si prova come un robot adattivo sia in grado di motivare i bambini a studiare matematica. Il principio si basa sul fatto che per migliorare la risposta ai trattamenti, sia durante la degenza in ospedale che a casa, è indispensabile che il bambino abbia la conoscenza adeguata di quello che sta facendo, e sia motivato a farlo.

Si cerca di sfruttare il robot come un'opportunità per supportare i bambini nel processo di apprendimento e quindi di essere consapevoli dei concetti legati alla propria patologia e a quello che gli accade in ospedale, nei limiti di quello che è giusto sappiano per la loro età, con la possibilità di imparare in modo più divertente e coinvolgente. Questo si lega anche alle aspettative che si generano nel bambino sugli esiti delle proprie azioni (e.g., "se prendo tutte le medicine posso andare a casa prima del tempo"). Una conoscenza corretta farà in modo che le aspettative siano realistiche, creando motivazione verso il raggiungimento dell'obiettivo, e non siano troppo alte, generando frustrazione quando i risultati sono peggiori di quelli attesi [16].

## 6. Stato dell'arte e casi di studio

### 6.1. Autismo

Per i bambini affetti da autismo, interagire con un altro essere umano è spesso un compito molto complesso, perché faticano a interpretare un insieme elevato numero di segnali (e.g., espressioni facciali, gesti, etc.). E' stato osservato che la situazione si semplifica notevolmente quando si ha invece a che fare con un robot, per questo motivo uno dei primi campi di applicazione per la Robot Assisted Therapy è stato proprio l'autismo. Vari studi hanno dimostrato che i robot possono essere un valido supporto per terapie comportamentali e sociali in bambini affetti da autismo [17][18][19][20][21]. In particolare questi studi hanno osservato come i bambini riescano a sviluppare capacità comunicative, percezione del proprio corpo, espressione di emozioni, etc.

Nei bambini affetti da autismo si sono utilizzati robot dalle forme più diverse, dai veicoli, ai robot a forma di animale, ai robot umanoidi, dimostrando che non è tanto la forma del robot, quanto la semplicità di interazione che fa la differenza. In una review metodologica sulla Robot Assisted Therapy, Dautenhahn e Werry [22] suggeriscono che probabilmente diversi robot "terapeutici" potrebbero essere efficaci per diversi requisiti: per esempio alcuni potrebbero rispondere meglio a interazioni fisiche e corporee, mentre altri potrebbero essere più utili per capacità cognitive e mentali. Un'altra conclusione importante della revisione metodologica è che non è ancora stato dimostrato se il bambino riesce a generalizzare le competenze che acquisisce giocando con il robot in interazioni con i pari o con adulti, quindi la ricerca in questo campo è ancora lunga.

### 6.2. Educazione per i bambini affetti da Diabete

Una delle applicazioni più interessanti studiate recentemente mediante l'utilizzo di robot umanoide e che si vuole portare come esempio di Robot Assisted Activity è quella che riguarda l'educazione di bambini con Diabete di tipo 1.

Il Diabete di tipo 1 è una malattia autoimmune caratterizzata dalla distruzione delle cellule beta pancreatiche, che comporta una insufficienza o inefficacia dell'insulina prodotta dal corpo. Si manifesta spesso in giovane età e per questo è anche chiamato a volte "diabete giovanile". I bambini affetti da questa malattia sono costretti tenere costantemente sotto controllo il livello di glucosio nel sangue (tramite appositi apparecchi chiamati glucosimetri o glucometri) e a regolare manualmente (tramite iniezioni o con apparecchi detti micro-infusori)

l'insulina nel proprio corpo. Questa malattia, che è cronica (cioè non guaribile) e che causa effetti anche molto gravi a lungo andare (necrosi di tessuti di piedi, occhi, etc.), ha impatto ovviamente su tutte le attività che riguardano l'introduzione (dieta e abitudini alimentari) ed il consumo (attività fisica) di zuccheri nel sangue.

Imparare a gestire il livello di glucosio, le iniezioni di insulina, la dieta (non solo per quello che riguarda gli zuccheri, ma anche grassi e proteine) e l'attività fisica e mantenere tutte queste componenti in equilibrio è un'attività che richiede grande dedizione, capacità e attenzione, ma è anche un'attività che è fondamentale per evitare danni a lungo termine dell'organismo. Di fatto in maniera più leggera (i.e., escludendo la gestione "manuale" dell'insulina) concetti simili si applicano anche a bambini con problemi di sovrappeso e obesità e, più in generale, anche a bambini sani.

Il caso di studio quindi riguarda un robot che sia in grado di assistere bambini affetti da Diabete di tipo 1 nella gestione della propria malattia a 360 gradi, partendo dall'educazione, all'autoefficacia, alla motivazione, etc. Una applicazione del genere è stata presentata da Henkemans et al. [23].

Lo studio condotto da Baroni et al. [24] con 22 famiglie di bambini diabetici ed un totale di 80 partecipanti (sia adulti che bambini) ha mirato ad investigare con gli utenti finali quali attività sarebbe effettivamente utile fare con questi pazienti. La ricerca ha raccolto una serie di suggerimenti di attività, la maggior parte dei quali non era legata all'ambiente ospedaliero come si poteva immaginare, ma all'ambiente domestico. Tuttavia si è notato che bambini ed adulti erano mossi da motivazioni diverse: i bambini adorerebbero avere un robot umanoide come compagno di giochi nel fare attività divertenti (giocare, fare sport, etc.), mentre gli adulti sono più preoccupati della gestione della malattia e del fatto che i propri figli ricevano un supporto adeguato, anche dal robot se necessario. Un aspetto interessante delle opinioni dei bambini riguardo alle attività di intrattenimento è stata che molti vorrebbero giocare con lui ai "videogiochi", il che porta a considerare che non vedono il robot come un "videogioco evoluto", quanto piuttosto come un pari con cui confrontarsi.

Un altro gruppo consistente di suggerimenti riguardava poi tutte il supporto che il robot avrebbe potuto dare in tutte le attività di autogestione della patologia, dal conteggio dei carboidrati, al calcolo della dose di insulina, a tutte le informazioni riguardante i vari aspetti della vita quotidiana (e.g., l'attività fisica) e l'impatto che queste hanno sul consumo di zuccheri e sulla necessità di insulina.

Molte risposte hanno ovviamente riguardato gli aspetti educativi, ma i suggerimenti più interessanti hanno riguardato gli aspetti psicologici: sono stati trattati sia da bambini che da adulti supporti che il robot potrebbe dare alla motivazione e alla fiducia in sé, nonché del fatto che potrebbe diventare un confidente con cui sfogarsi quando il bambino non riesce ad esprimere i propri problemi con "le parole degli adulti".

Alcuni di questi concetti sono stati poi testati ad un campo estivo per bambini affetti da Diabete di tipo 1 organizzato dall'associazione Sostegno70 [25]. In questo studio, Kruijff-Korbyova et al. [26] hanno studiato strategie per far sì che

un robot umanoide supportasse i bambini diabetici, in particolare incoraggiando il bambino a confidare abitudini ed esperienze che riguardano la loro malattia ed altri aspetti riguardanti la salute. In questo modo, il robot può diventare un utile strumento per dottori e caregivers per monitorare i comportamenti dei pazienti e contribuire alla loro motivazione. L'idea è stata quella di rendere il robot più "umano" tramite l'introduzione di così dette "off-activity talk" (OTA), ossia dei dialoghi che il robot introduceva di tanto in tanto, ma che non erano strettamente legati all'attività che il bambino stava svolgendo con il robot in quel momento. Ad esempio, durante un gioco venivano chieste informazioni sugli hobbies del bambino, sui suoi amici, sugli adulti con cui vive, etc.

Il robot era un NAO (della Aldebaran Robotics), in un setup da "Wizard-of-Oz", ossia in cui un umano comunicava tramite console remota l'interpretazione di quello che il bambino diceva. Il Robot aveva invece un sistema di dialogo autonomo, decidendo da solo le frasi da dire. La verbalizzazione avveniva tramite il sistema di sintesi vocale multi-lingua e open source scritto in Java che si chiama MaryTTS, con una voce in italiano sviluppata appositamente. Il sistema di dialogo è stato disegnato per assicurare una vastissima varietà di formulazioni per i vari intenti comunicativi.

Lo studio non ha poi rivelato particolari differenze tra il gruppo di bambini con cui il robot utilizzava OTA rispetto a quelli con cui non venivano usate, ma, come suggeriscono gli autori stessi, il questionario per valutare l'impatto del robot in effetti non conteneva elementi specifici per misurare questo. Tuttavia, tra le conclusioni dello studio, si è osservato che i bambini che hanno interagito con il robot (sia introducendo off-activity talk che non) sono stati più capaci di mantenere un diario alimentare rispetto ai bambini che non hanno interagito direttamente con il robot (che facevano parte del gruppo di controllo).

Esperienze come queste possono essere replicate nel reparto pediatrico, utilizzando il robot come compagno che educa, convince e motiva i bambini a gestire correttamente la propria patologia.

### 6.3. Altri casi

Belpaeme et al. [27] presentano un caso di studio interessante in cui il robot umanoide NAO [28] è stato utilizzato nella riabilitazione e fisioterapia con un bambino colpito da ictus. In seguito all'evento acuto il robot è stato utilizzato per far giocare il bambino e rendere le sedute di fisioterapia più coinvolgenti e divertenti. Come riportano Belpaeme et al. l'esperienza è stata considerata dai clinici un successo, possibilmente da ripetere su più vasta scala.

Un caso di studio è stato portato avanti anche con bambini affetti da Sindrome di Down [29]. Anche in questo caso si è notato come il gioco con il robot sia stato utile per sviluppare e migliorare le capacità sociali del bambino.

Altre ricerche sono state fatte nel campo della riabilitazione da bambini affetti da paralisi cerebrale [30] e disordini della colonna vertebrale [31], entrambi suggerendo risultati promettenti nell'uso del robot in questo tipo di terapie.

Il caso più famoso di Robot Assisted Therapy in realtà riguarda gli anziani (specialmente quelli affetti da demenza) ed è portata avanti da un robot a forma

di foca, PARO [32], che ormai è un prodotto commerciale. Tuttavia alcuni studi hanno provato l'applicazione dello stesso robot anche su terapie pediatriche, come nel caso di Shibata et al. [33]. PARO ha dimostrato di ridurre lo stress nei pazienti e nei loro caregiver, di riuscire a stimolare l'interazione tra pazienti e caregiver, a migliorare la loro motivazione e a migliorare le loro capacità di socializzazione.

Anche l'esempio interessante presentato da Csala et al. [34] è stato provato sempre con il robot NAO con bambini sottoposti a trapianto di midollo osseo. Questo tipo di pazienti in particolare deve vivere in stanze sterili e in condizione di isolamento per lunghi periodi (anche mesi), rendendo l'ospedalizzazione ancora più pesante e insostenibile. NAO è stato presentato come un possibile intrattenimento che distrae il bambino da routine giornaliere altrimenti monotone e pesanti.

## 7. Ricerca e Sviluppi Futuri

La strada per creare compagni robotici in grado di interagire in ambienti reali e con persone reali è ancora lunga, anche se la sfida è estremamente affascinante. Il cervello umano è in grado di compensare facilmente imperfezioni nella percezione e incoerenze tra input diversi, ma per un sistema informatico e robotico il compito è estremamente arduo.

La prima sfida è quella di rendere il compagno robotico un compagno credibile e in grado di mantenere relazioni sociali con le persone che interagiscono con loro. Filtraggi e interpretazioni di segnali audio e video sono solo i primi passi per far sì che il robot riesca a capire gli ambienti e le persone che frequenta, ma molta parte della ricerca è concentrata anche sugli algoritmi per risolvere incoerenze nei dati, dati mancanti e sui sistemi a retroazione che si autocorreggono quando eseguono un'azione. Le applicazioni che stanno avendo più successo si sono concentrate su compagni di forma animale (e.g., foche, cani, etc.), per ovvi motivi di semplificazione: l'interazione è prevalentemente tattile e gestuale, mentre la parte linguistica non è coinvolta, se non per semplici comandi vocali.

La ricerca attuale è orientata verso la creazione di compagni umanoidi, per i quali le applicazioni diventano più importanti ed interessanti, come è stato presentato in questo esempio sulle pediatrie. La sfida diventa ancora più complessa se si pensa che l'umano, una volta che stabilisce una relazione sociale, si aspetta che questa evolva nel tempo. Per questo la ricerca si sta concentrando molto su sistemi di memoria che siano in grado di immagazzinare informazioni relativamente alle interazioni passate e, sulla base di queste, permettano di costruire interazioni future più dinamiche e personalizzate.

Anche la forma dei robot influenza notevolmente l'interazione, come già esposto in precedenza, e lo studio di questa rappresenta una sfida ancora aperta. Nel campo dei robot umanoidi, la famosa teoria dell'Uncanny Valley suggerisce che, da un certo livello di realismo fisico in poi, i robot devono essere perfetti nell'interazione, altrimenti vengono percepiti come inquietanti corpi animati, molto simili agli zombie. Anche per questo si spiega il successo che ha avuto il

robot NAO (e altri robot simili), che pur essendo di forma umanoide, mantengono un aspetto di cartone animato che viene facilmente accettato e apprezzato.

Infine un'altra sfida della ricerca in questo campo è trovare strumenti adeguati per la valutazione di impatto ed efficacia delle soluzioni di Robotica Cognitiva. Mentre infatti per la robotica tradizionale è relativamente semplice valutare il successo di un algoritmo (e.g., numero di errori, calcolo di traiettorie, successo in attività specifiche come il grasping, etc.), nella Robotica Cognitiva si lavora su un campo più multidisciplinare, mutevole e soggettivo, che coinvolge direttamente la sfera psicologica ed emotiva delle persone che interagiscono con il robot, rendendo di fatto molto difficile la creazione di strumenti oggettivi per la validazione dei risultati.

## 8. Conclusioni

Lo studio della Robotica Cognitiva in ospedale, e in particolar modo in pediatria, è in pieno sviluppo e sicuramente passerà ancora parecchio tempo prima che questa pratica venga ampiamente diffusa in tutte le pediatrie.

Uno dei primi ostacoli è dovuto dalla scarsa autonomia di molti robot utilizzati nei casi d'uso citati precedentemente: in molti di questi le sperimentazioni avvengono con comandi remoti da console (Wizard of Oz), e questo rende difficile l'utilizzo quotidiano all'interno delle strutture ospedaliere. Inoltre, per il momento i robot utili a questo scopo hanno costi molto elevati che non ne facilitano un'ampia distribuzione. Se un domani il prezzo dei robot da compagnia dovesse diminuire, si potrebbero sfruttare i meccanismi della Robot Therapy anche a casa, continuando il lavoro iniziato in fase di degenza.

Infine tutte le casistiche precedentemente espresse, dimostrano come piccole modifiche all'interazione possano portare grossi cambiamenti nei risultati, per cui ci si aspetta che si continuino ad analizzare le possibili applicazioni con protocolli accurati e approvati da comitati etici, e con la supervisione di personale medico che sia grado di valutare i contenuti e le attività per mantenere questo strumento un vantaggio per il bambino e non un ulteriore ostacolo o motivo di stress.

### Riquadro 1 – La Robotica Cognitiva

Era il 1947 quando il termine “Cibernetica” comparve per la prima volta, coniato dal matematico statunitense Norbert Wiener, per indicare la scienza che studia i fenomeni di autoregolazione, comunicazione e meccanica statistica, sia negli organismi viventi che in tutti i sistemi naturali e artificiali. Quasi 60 anni dopo, il concetto si è evoluto, passando dall’Intelligenza Artificiale, per arrivare alla Robotica Cognitiva: un ramo della scienza che studia come fare in modo che i robot siano in grado di apprendere ad interagire con persone e cose in ambienti complessi nel mondo reale. Per questo motivo include vari campi di studi, tra cui: visione artificiale, riconoscimento vocale, sintesi vocale, sensing di prossimità, pressione, sensori di superfici, capacità anticipatorie e pianificazione, programmazione di movimenti, imitazione di movimenti, capacità di apprendimento, miglioramento dai propri errori, acquisizione di conoscenza di lungo termine, capacità di esplorare lo spazio. Le definizioni di Robotica Cognitiva e le contaminazioni con la robotica tradizionale sono tantissime, ma possiamo distinguere alcune caratteristiche peculiari che la caratterizzano: 1) il robot deve essere in grado di svolgere compiti in maniera autonoma ed efficiente, in ambienti anche sconosciuti; 2) deve interagire e cooperare con altri agenti e sistemi (anche con l’uomo); 3) deve essere in grado di prendere decisioni autonome. Buona parte della ricerca degli ultimi anni si è inoltre concentrata anche sul riconoscimento e sull’espressione di emozioni.

### Riquadro 2 – Il Robot NAO

Nao è uno dei più diffusi Robot umanoidi presenti attualmente sul mercato, prodotto dall’azienda francese Aldebaran Robotics. E’ alto 57 cm e pesa circa 5,4kg. Ha un processore ATOM Z530 a 1,6GHz, ha 1 GB di RAM e monta una memoria FLASH da 2 GB, nella quale è installata una versione embedded di Linux basata su Gentoo ed un middleware proprietario chiamato NaoQi. E’ dotato di connettività WiFi ed Ethernet, e ha anche due sensori infrarossi frontali. Dispone di un sistema di Text-to-Speech e riconoscimento vocale in 19 lingue (incluso l’Italiano), nonché di 2 telecamere frontali a 1,22Megapixel. In quanto a sensori, NAO è dotato di sensori di forza, 36 sensori di posizione (uno per ogni motore), due emettitori sonar e due ricevitori, un giroscopio e un accelerometro, più una varietà di LED sparsi per tutto il corpo (testa, occhi, orecchie, petto e piedi).



## Bibliografia

- [1] Levinson, B. M. (1961). "The dog as a "co-therapist"", *MentalHygiene*, 1962, 46, 59-65.
- [2] Capone, F., Bompadre, G., Cinotti, S., Alleva, E., Cirulli, F. (2007). "Beneficial effects of pet relationships: results of a pilot study in Italy" in Vitale A, Laviola G (a cura di) *Uomini e animali, differenti contesti e modalità di interazione: aspetti applicativi e normativi*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2007 (Rapporti ISTISAN, 07/40).
- [3] Coakley, A.B., Mahoney, E.K. (2009). "Creating a therapeutic and healing environment with a pet therapy program", *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 3, 141-146.
- [4] Gagnon, J., Bouchard, F., Landry, M., Belles-Isles, M., Fortier, M., Fillion, L. (2004). "Implementing a hospital-based animal therapy program for children with cancer: a descriptive study", *European Journal of Oncology Nursing*, 4, 217-222.
- [5] Bouchard, F., Landry, M., Belles-Isles, M., Gagnon, J. (2004). "A magical dream: a pilot project in animal-assisted therapy in pediatric oncology", *European Journal of Oncology Nursing*, 1, 14-17.
- [6] Dimitrijevic, I. (2009). "Animal-assisted therapy-a new trend in the treatment of children and adults", *Psychiatr Danub.*, 2, 236-241.
- [7] Frank, A., McCloskey, S., Dole, R.L. (2011). "Effects of hippotherapy on perceived self-competence and participation in a child with cerebral palsy", *Pediatr Phys Ther*, 3, 301-308.
- [8] Champagne, D., Dugas, C. (2010). "Improving gross motor function and postural control with hippotherapy in children with Down syndrome: case reports", *Pysiother Theory Pract*, 8, 564-571.
- [9] Kern, J.K., Fletcher, C.L., Garver, C.R., Mehta, J.A., Grannemann, B.D., Knox, K.R., Richardson, T.A., Trivedi, M.H. (2011). "Prospective trial of equine-assisted activities in autism spectrum disorder", *Altern Ther Health Med*, 3, 14-20.
- [10] Martin, F., Farnum, J. (2002). "• Animal-assisted therapy for children with pervasive developmental disorders", *West J Nurs Res*, 6, 657-70.
- [11] Kahn, P. H., Ishiguro, H., Friedman, B., Kanda, T (2006). "What is a Human? – Toward Psychological Benchmarks in the Field of Human-Robot Interaction". *Proceedings of 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN06)*, pp. 364-371.
- [12] Nalin, M., Bergamini, L., Giusti, A., Baroni, I., Sanna, A (2011). "Children's perception of a Robotic Companion in a mildly constrained setting". In *proceedings of IEEE/ACM Human-Robot Interaction 2011 Conference (HRI2011 - Robots with Children Workshop)*.

- [13] Nalin, M., Baroni, I., Sanna, A., Pozzi, C. (2012). "Robotic Companion for Diabetic Children", *Proceedings of Conference Interaction Design for Children 2012 (IDC2012)*.
- [14] Nalin, M., Verga, M., Sanna, A., Saranummi, N. (2013). "Directions for ICT Research in Disease Prevention". In: Cruz-Cunha, M. M., Miranda, I. M., & Gonçalves, P. (2013). *Handbook of Research on ICTs for Human-Centered Healthcare and Social Care Services* (2 Volumes), 1-978.
- [15] Janssen, J. B., Van der Wal, C. C., Neerincx, M. A., Looije, R. (2011). "Motivating children to learn arithmetic with an adaptive robot game. In Proceedings of the Third international conference on Social Robotics", *Proceedings of ICSR 2011*, 153–162.
- [16] Oettingen, G., Mayer, D. (2002). "The motivating function of thinking about the future: Expectations versus fantasies". *Journal of Personality and Social Psychology*, 83(5), 1198–1212.
- [17] Duquette, A., Michaud, F., Mercier, H. (2008). "Exploring the use of a mobile robot as an imitation agent with children with lowfunctioning autism". *Autonomous Robots*, 24(2), pp. 147–157.
- [18] Feil-Seifer, D., Mataric, M. J. (2009). "Toward socially assistive robotics for augmenting interventions for children with autism spectrum disorders". In O. Khatib, V. Kumar, & G. J. Pappas (Eds.), "Experimental robotics" (Vol. 54, pp. 201–210). Berlin, Heidelberg: Springer
- [19] Kozima, H., Michalowski, M. P., Nakagawa, C. (2009). "Keepon: A playful robot for research, therapy, and entertainment". *International Journal of Social Robotics*, 1(1), pp. 3–18.
- [20] Robins, B., Dautenhahn, K., te Boekhorst, R., Billard, A. (2005). "Robotic assistants in therapy and education of children with autism: Can a small humanoid robot help encourage social interaction skills?" *Universal Access in the Information Society*, 4(2), pp. 105–120.
- [21] Stanton, C. M., Kahn Jr., P. H., Severson, R. L., Ruckert, J. H., Gill, B. T. (2008). "Robotic animals might aid in the social development of children with autism" (p. 271). ACM Press.
- [22] Dautenhahn, K., Werry, I. (2004). "Towards interactive robots in autism therapy: Background, motivation and challenges". *Pragmatics and Cognition*, 12(1), pp. 1–35.
- [23] Henkemans, O. A., Hoondert, V., Schrama-Groot, F., Looije, R., Alpay, L. L., Neerincx, M. A. (2012). "I just have diabetes: children's need for diabetes self-management support and how a social robot can accommodate their needs". *Patient Intelligence Volume 2012:4*. pp 51-61.
- [24] Baroni, I., Nalin, M., Baxter, P., Pozzi, C., Oleari, E., Sanna, A., Belpaeme, T. (2014). "What a Robotic Companion Could Do for a Diabetic Child". In Proceedings of 23rd IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RoMAN 2014).
- [25] <http://www.sostegno70.org/> (ultimo accesso Settembre 2014)

- [26] Kruijff-Korbayova, I., Oleari, E., Baroni, I., Kiefer, B., Zelati, M. C., Pozzi, C., Sanna, A. (2014). "Effects of Off-Activity Talk in Human-Robot Interaction with Diabetic Children". Proceedings of the 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RoMan 2014).
- [27] Belpaeme, T., Baxter, P., de Greeff, J., Kennedy, J., Read, R., Looije, R. et al (2013). "Child-robot interaction: Perspectives and challenges". In Herrmann, G., Pearson, M., Lenz, A. et al (editors), *Social Robotics, volume 8239 of Lecture Notes in Computer Science*, Springer International Publishing, pp 452-459.
- [28] <http://www.aldebaran.com/en> (ultimo accesso Settembre 2014)
- [29] Lehmann, H., Iacono, I., Dautenhahn, K., Marti, P., Robins, B. (2014). "Robot companions for children with down syndrome: a case study". *Interaction Studies* 03/2014; 15(1), pp. 99-112.
- [30] Kozyavkin, V., Kachmar, O., Ablikova, I. (2014). "Humanoid Social Robots in the Rehabilitation of Children with Cerebral Palsy". [http://www.reha.lviv.ua/fileadmin/articles/Humanoid\\_Social\\_Robots\\_in\\_the\\_Rehabilitation.pdf](http://www.reha.lviv.ua/fileadmin/articles/Humanoid_Social_Robots_in_the_Rehabilitation.pdf) (ultimo accesso Settembre 2014).
- [31] Vircikova M., Sincak, P. (2013). "Experience with the Children-Humanoid Interaction in Rehabilitation Therapy for Spinal Disorders". In "Advances in Intelligent Systems and Computing" Volume 208, 2013, Springer Berlin Heidelberg, pp 347-357.
- [32] <http://www.parorobots.com/> (ultimo accesso Settembre 2014)
- [33] Shibata, T., Mitsui, T., Wada, K., Touda, A., Kumasaka, T., Tagami, K., Tanie, K. (2001). "Mental commit robot and its application to therapy of children." Proceedings of the 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. vol. 2, pp. 1053-1058.
- [34] Csala, E., Nemeth G., Zainko, C.S. (2012). "Application of the NAO humanoid robot in the treatment of marrow-transplanted children". In Proceedings IEEE 3rd International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), pp. 655-659.

## Biografie

**Ilaria Baroni** è project manager presso Telbios S.R.L., a Milano, da Gennaio 2014. Si occupa di ricerche e sviluppi di nuove tecnologie per la telemedicina, con progetti in ambito Europeo. Coopera anche con il dipartimento di R&D di AB Medica S.p.A. con attività legate alla ricerca robotico-medicale. Si è laureata al Politecnico di Milano in Ingegneria Informatica (specializzazione in Robotica), dal 2010 al 2013 ha lavorato presso l'Ospedale San Raffaele, nell'unità "Innovazione e Ricerca nei Servizi alla Vita e alla Salute", cooperando a progetti di Robotica Cognitiva e cloud computing.

Email: [ilariathea@hotmail.com](mailto:ilariathea@hotmail.com)

**Marco Nalin** è Program Manager nel reparto di R&D dell'azienda di telemedicina Telbios S.R.L., a Milano. Si è laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli Studi di Padova nel 2005. Dal 2004 al 2012 ha lavorato presso l'Ospedale San Raffaele, nell'unità "Innovazione e Ricerca nei Servizi alla Vita e alla Salute", cooperando a svariati progetti legati alla tele-medicina, la maggior parte dei quali co-finanziati dalla Comunità Europea. Le sue competenze includono sistemi di monitoraggio remoto dei pazienti, applicazioni mobili per la salute, robotica cognitiva e cloud computing.

Email: [marco.nalin@gmail.com](mailto:marco.nalin@gmail.com)

# Le *mobile app*: sfide tecniche e modelli economici

Chiara Francalanci, Paolo Giacomazzi, Alessandro Poli

**Sommario.** *Le mobile app rappresentano un nuovo paradigma di sviluppo applicativo in continua espansione. I numeri di questo fenomeno sono impressionanti. In media, ogni giorno vengono immesse 500 nuove app nel solo mercato Android e 50 milioni di app vengono scaricate ogni giorno dal solo AppStore. Numerosi e altrettanto significativi sono i casi di startup di successo e sempre più numerose le aziende di sviluppo tradizionali che propongono soluzioni mobile ai loro clienti. Questo articolo fornisce un inquadramento teorico, una rassegna critica e un modello interpretativo del fenomeno delle mobile app.*

**Abstract.** *Mobile apps represent a new application development paradigm that is rapidly growing. Figures are impressive. On average, 500 new Android apps are uploaded every day in the stores and 50 million apps are downloaded every day from the AppStore. Successful startups are numerous and traditional software development companies that include mobile apps in their service portfolio are even more numerous. This paper provides a theoretical framework to understand this phenomenon and a critical survey of existing success stories.*

**Keywords:** Mobile apps, Android, iOS

## 1. Introduzione

Le *mobile app* sono applicazioni software progettate per smartphone o tablet. Esse sono quindi fruibili in mobilità a fronte di una minore potenza computazionale e di inferiori dimensioni del supporto interazionale, ma potendo beneficiare di tutti i servizi disponibili su tali dispositivi. La varietà di tali servizi è notevole e la semplicità con la quale possono essere integrati all'interno di ogni nuova mobile app contribuisce ad aumentarne il valore. Oltre all'accesso a Internet, essi spaziano dalle mappe ai social media, dalla geolocalizzazione ai dispositivi multimediali, dai sistemi di comunicazione sincrona e asincrona alla vastissima gamma di servizi e app che forniscono un'interfaccia applicativa standard e che quindi possono essere integrate all'interno di qualunque nuova app.

Il fatto che le mobile app possono essere utilizzate, appunto, in mobilità e che sono associate a un dispositivo “personale” ha creato nuove opportunità di innovazione prima impensabili. In particolare, qualunque applicazione già esistente in ambiente personal computer può essere ripensata secondo nuovi paradigmi di utilizzo, offrendo nuove funzionalità e, in particolare, potendo beneficiare di una maggior precisione nella profilazione del cliente, che è e deve essere *one-to-one*.

Il mercato ha anche facilitato la distribuzione delle mobile app. Anche gli sviluppatori singoli, non necessariamente professionisti, possono progettare una app e caricarla su uno *store* e, in questo modo, avere accesso a un mercato potenzialmente globale. Gli store sono uno solo per lo standard iOS, lo AppStore, e alcune decine per lo standard Android. Benché il Play Store di Google e il Samsung Apps rappresentino i due principali mercati di mobile app, ne esistono tanti altri. La Tabella 1 ne elenca alcuni, a titolo d’esempio.

Nome	URL	Lingua
Play Store	<a href="http://play.google.com">http://play.google.com</a>	Inglese
Samsung Apps	<a href="http://apps.samsung.com/">http://apps.samsung.com/</a>	Inglese
Amazon App-Shop	<a href="http://www.amazon.com">http://www.amazon.com</a>	Inglese
AndroLib	<a href="http://www.androlib.com">http://www.androlib.com</a>	Inglese
AndroidPit	<a href="http://www.androidpit.com">http://www.androidpit.com</a>	Inglese
TIM Store	<a href="http://www.timstore.tim.it">http://www.timstore.tim.it</a>	Italiano
AppCity	<a href="http://promo.appcity.com/iphone">http://promo.appcity.com/iphone</a>	Francese
Brothersoft	<a href="http://android.brothersoft.com">http://android.brothersoft.com</a>	Inglese
Pdassi	<a href="http://android.pdassi.com/">http://android.pdassi.com/</a>	Tedesco
MerkaMarket	<a href="http://www.merkamarket.com/">http://www.merkamarket.com/</a>	Spagnolo
AppBrain	<a href="http://www.appbrain.com">http://www.appbrain.com</a>	Inglese

**Tabella 1 – Alcuni esempi di mercati elettronici di mobile app.**

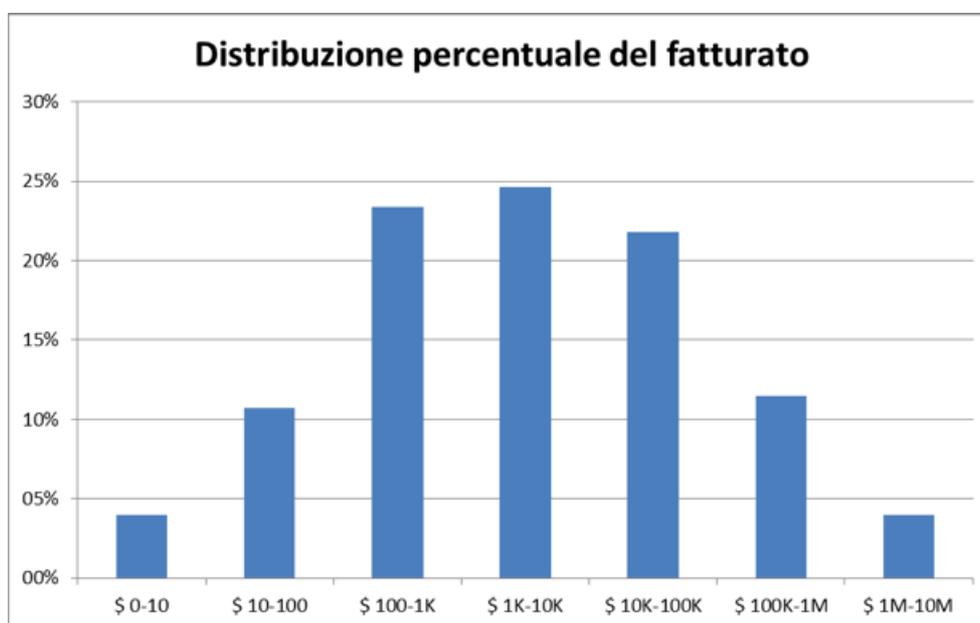
La schiacciante maggioranza delle app distribuite tramite gli store sono pensate per il mercato individuale, piuttosto che per quello aziendale. Esse forniscono dunque servizi utili al singolo utente e sono tecnicamente indipendenti da sistemi preesistenti che, nel mercato aziendale, hanno tradizionalmente rappresentato un freno all’evoluzione. Questa indipendenza tecnologica delle mobile app ne ha favorito una diffusione molto veloce, tuttora in crescita, e ha creato opportunità di lavoro per nuove aziende o per sviluppatori singoli.

In genere, le mobile app sono molto semplici e, pur contenendo tutorial testuali o multimediali, non richiedono interventi di formazione. L’utilizzo è diretto e

spesso immediato, le funzionalità sono organizzate in modo da essere autoesplicative o, in molti casi, vengono rese disponibili incrementalmente man mano che l'utente dimostra di aver appreso le modalità di utilizzo delle funzionalità di base. In generale, semplicità, usabilità, immediatezza, utilità e gioco (*gamification*) sono alcuni fra i principi fondamentali di progettazione delle mobile app.

D'altra parte, gli utenti, non investendo nell'apprendimento della app, sono difficili da fidelizzare. Il processo di acquisto consiste in quattro momenti distinti:

1. *Scoperta della app* – La maggioranza delle applicazioni ottiene il successo attraverso commenti, recensioni e passaparola.
2. *Adozione* – La decisione di installare un'applicazione dipende in larga misura dal modello di monetizzazione che utilizza: per applicazioni gratuite il driver che guida alti volumi di download sono le recensioni degli utenti, mentre per applicazioni a pagamento il fattore determinante è la disponibilità di una versione lite gratuita (modello freemium).
3. *Prova* – Dopo l'installazione c'è una fase in cui la app viene provata dall'utente. A seguito di questa fase, circa il 70% delle applicazioni scaricate viene rimosso dal dispositivo, in particolare solo il 30% delle applicazioni di intrattenimento sopravvive per più di 90 giorni [1].
4. *Utilizzo a lungo termine* – Terminato il periodo di prova l'utente decide se abbandonare l'applicazione o tenerla installata nel dispositivo. Il fattore più importante per l'uso durevole di una app è certamente la sua utilità e originalità, unitamente a fattori di intrattenimento.



**Figura 1**  
Distribuzione percentuale del fatturato cumulato delle mobile app [2].

L'ampia scelta, i ridotti costi di apprendimento, la gratuità della maggior parte delle applicazioni rendono il mercato delle mobile app molto competitivo e altamente dinamico. D'altra parte, i costi di ingresso nel mercato per gli sviluppatori sono pure molto bassi: 25 dollari per la developer console di Google (Android) e 80 dollari per iTunesConnect (iOS). Con questi costi, molti sviluppatori contribuiscono agli store anche soltanto perché loro stessi sentono il bisogno di una determinata app e, poi, decidono di renderla disponibile per tutti, guadagnandosi un po' di fama. Pochissime app, tuttavia, generano un fatturato rilevante da un punto di vista commerciale. La Figura 1 mostra la distribuzione percentuale delle mobile app per fascia di fatturato. Solo il 5% delle mobile app supera il milione di dollari di fatturato totale cumulato nel loro ciclo di vita. A prima vista, il mondo delle mobile app sembra trasferire una percentuale di benefici notevole agli utenti, con ritorni molto bassi per la maggior parte degli sviluppatori. Nel mercato americano, il 50% del fatturato da mobile app è nelle mani di sole 25 aziende.

## 2. Modelli di marketing

Le mobile app operano in un mercato estremamente competitivo, in cui l'offerta – spesso caratterizzata dalla presenza di più app che cercano di soddisfare i medesimi bisogni – supera di gran lunga la domanda. Una tale abbondanza di applicazioni crea inevitabilmente un problema di visibilità e, per gli utenti, una oggettiva difficoltà nell'identificare contenuti di interesse specifico. Questo problema è molto simile al problema di visibilità dei siti sul Web e alla inadeguatezza dei motori di ricerca generalisti nell'individuare contenuti di nicchia. Nel mondo Web, è ben noto come sia facile trovare contenuti di interesse molto generale e, viceversa, difficile scoprire contenuti di interesse più specialistico [3]. Gli store cercano di ovviare a questo problema organizzando le app in diverse categorie (giochi, intrattenimento, informazione, sport, salute, utilità, ecc.). La categoria dei giochi, unita a quella dell'intrattenimento, costituisce l'insieme più ampio delle app disponibili sugli store (si vedano ad esempio le statistiche in [4]). Inoltre, mettono in primo piano le app più nuove nelle diverse categorie, o quelle con più installazioni, o ancora quelle che hanno un fatturato più alto. Hanno poi un gruppo editoriale che seleziona le migliori app, le cosiddette *app featured*, per le diverse categorie di interesse. Da ultimo, rendono disponibili meccanismi di ricerca basati su parole chiave che sono in grado di estrarre, e ordinare per numero di installazioni, le app che hanno in qualche modo una attinenza con le parole di ricerca selezionate.

I meccanismi di ricerca degli store sono tangibilmente meno flessibili di quelli a cui siamo abituati per il Web. Questa differenza è legata all'approccio che ciascuno store adotta nell'implementazione della ricerca. Ad esempio, lo AppStore chiede esplicitamente allo sviluppatore di specificare alcune parole chiave. La ricerca sarà poi basata esclusivamente su queste parole chiave. Di conseguenza, la visibilità di una app dipende dalla capacità (e dalla fortuna) che lo sviluppatore ha nell'associare alla propria app le parole chiave che poi gli utenti utilizzeranno più frequentemente per ricercarla. Il Play Store funziona diversamente. Richiede allo sviluppatore una descrizione testuale della app e

poi utilizza il nome della app e la descrizione per soddisfare le ricerche degli utenti. Il Web abbonda di discussioni su come scegliere il nome della app e come scrivere la descrizione per essere selezionati dal motore di ricerca del Play Store (che è poi quello di Google) con specifiche parole chiave (vedi, ad esempio, [5]). Mancano invece studi rigorosi che misurino precision e recall dei motori di ricerca delle app.

Nonostante tutti questi accorgimenti, resta difficile essere visibili in un mondo che cresce al ritmo di 500 nuove app al giorno. Inevitabilmente, molte aziende ricorrono al marketing come strumento per aumentare la visibilità della propria app. Dal punto di vista del marketing, il ciclo di vita di una mobile app consiste nelle seguenti tre macro fasi:

1. Pre-lancio, ovvero la pianificazione strategica della nuova applicazione.
2. Lancio, comprensivo dello sviluppo e debugging, della preparazione per lo store e della distribuzione e monetizzazione.
3. Il post-lancio, ovvero il supporto durante tutto il ciclo di vita della app (audit utenti, aggiornamenti, evoluzione migliorativa e correttiva).
4. Per ognuna di queste fasi, deve essere pensata una diversa strategia di marketing.

## 2.1. Fase di pre-lancio

La fase di pre-lancio è responsabile del posizionamento strategico della app e, più in particolare, di tutte le scelte funzionali e non-funzionali che possono avere un impatto sulla *customer experience*. Un fattore che distingue le mobile app dalle applicazioni tradizionali è l'opportunità di aggiungere alle funzionalità di base altre funzionalità di divertimento e social. L'obiettivo di queste ultime è la fidelizzazione del cliente tramite *gamification* [6] e l'aumento della propensione dell'utente al marketing spontaneo della app tramite contenuti virali. Tra questo tipo di funzionalità ricordiamo:

1. L'inserimento di giochi interni alla app.
2. L'utilizzo di media, quali video, audio, foto e in generale grafica accattivante.
3. Lo sfruttamento dei siti di social networking tramite pubblicazione sui profili dell'utente (funzionalità tipo *share on Facebook* o *share on Twitter*), allo scopo di incuriosire gli amici.
4. Creazione di una comunità virtuale di utenti legati alla app sui siti di social networking (ad esempio, tramite la creazione di una pagina Facebook dedicata alla app).
5. Far collezionare/raccogliere punti, utilizzando metriche visibili e pubbliche, in modo da creare competizione tra gli utenti (come i punti caramella di Waze, o i punti esperienza di Clash of Clans, o le monete di Plants vs. Zombies).
6. L'interazione tra gli utilizzatori tramite lo scambio di oggetti virtuali, implementando una piattaforma di messaggistica istantanea interna alla app.
7. Consentire alcune personalizzazioni dell'interfaccia applicativa, come la scelta dei colori o di nome e simbolo del proprio personaggio.

Il modo migliore per dare visibilità a un'applicazione è farla arrivare tra le prime nella classifica dello store o tra quelle segnalate dallo store stesso. Questo è possibile raggiungendo il maggior numero di download nel periodo di tempo più breve possibile (un'applicazione gratuita ha maggiori possibilità di raggiungere questo obiettivo), facendo così in modo da essere notati dagli algoritmi per il calcolo del ranking. Il modo in cui la app si presenta all'interno dello store è uno dei fattori chiave che ne determinano il numero di installazioni. In particolare, in fase di pre-lancio bisogna scegliere:

- Il nome con cui sarà distribuita la app, che deve rifletterne la funzione principale, essere semplice, possibilmente unico e autoesplicativo.
- Categoria nella quale pubblicare l'app, legata alla sua funzione principale.
- Icona, gradevole e che richiama la funzionalità principale dell'applicazione.
- Schermate di utilizzo della app, dette *screenshot*, che diano l'idea delle funzionalità della app.

Altro fattore importante è la creazione dell'attesa, cioè fare marketing nel senso più tradizionale del termine anche prima che il prodotto venga rilasciato. La creazione dell'attesa applica, di solito, tecniche di marketing spontaneo, fra le quali la creazione di un sito Internet di presentazione della app, la creazione di un blog in cui si informi frequentemente circa lo stato di sviluppo della app, la creazione di profili legati all'app sui principali siti di social networking (Facebook, Twitter, LinkedIn), la segnalazione della app a siti di recensione, la partecipazione a premi e concorsi allo scopo di far notare l'app.

## 2.2. Fase di lancio

In questa fase viene sviluppata e rilasciata l'applicazione prima ai beta tester e, successivamente, sugli store. Almeno inizialmente, il vantaggio nell'usare gli store più noti è nell'affidabilità percepita dall'utente che può contare su un processo serio di revisione e approvazione delle app, in particolare sullo AppStore e sul Samsung store.

Durante questa fase, i produttori di app affiancano di solito al marketing spontaneo altre tecniche di marketing più tradizionali, quali pubblicità su altre app, pubblicità su Facebook, banner su siti Web, eccetera. Inoltre, vengono intraprese le seguenti azioni:

- contattare giornalisti e blog specialistici in modo da far pubblicizzare il lancio dell'applicazione ed eventualmente recensirla;
- raccogliere e analizzare feedback e opinioni dei primi utilizzatori e migliorare di conseguenza il prodotto il più rapidamente possibile;
- potenziare ulteriormente l'attività sui siti di social networking, rendendola più partecipativa tramite il coinvolgimento degli utenti della app.

### 2.3. Fase di post-lancio

In questa fase, la sfida è mantenere vivo l'interesse degli utilizzatori. In genere, il numero di nuove installazioni giornaliere è più elevato i primi giorni e poi tende a calare e stabilizzarsi su valori notevolmente più bassi del picco iniziale. Il tempo di vita medio di una app, come già osservato, è piuttosto breve. Avendo a disposizione un'ampia scelta, gli utenti hanno aspettative elevate e tendono a disinstallare le nuove app molto rapidamente se non sono pienamente soddisfatti e altrettanto rapidamente perdono interesse anche se lo sono. Gli sviluppatori cercano di mantenere elevato l'interesse tramite frequenti rilasci di aggiornamenti della app, aggiornandone la descrizione per evidenziare le novità. Talvolta i nuovi rilasci coincidono con sconti e offerte e sono accompagnati da recensioni poi pubblicizzate sui canali sociali e sul sito della app.

Inoltre, è necessario un continuo ascolto delle opinioni degli utenti per migliorare la app in base ai commenti ricevuti, mostrando in tal modo che il prodotto è in continuo sviluppo. E' molto utile profilare gli utilizzatori, in modo da poter creare versioni personalizzate della app e adottare strategie di marketing mirate a uno specifico segmento di utenti. A questo scopo, è possibile sfruttare piattaforme specializzate in mobile analytics, quali Google Analytics per mobile [7] o Countly Mobile Analytics [8]. Questi strumenti forniscono ulteriori dati oltre al numero di download, tra cui frequenza di interazione, comportamento degli utenti all'interno dell'app, durata di ogni sessione di utilizzo, numero di utenti attivi.

### 3. Modelli tecnologici

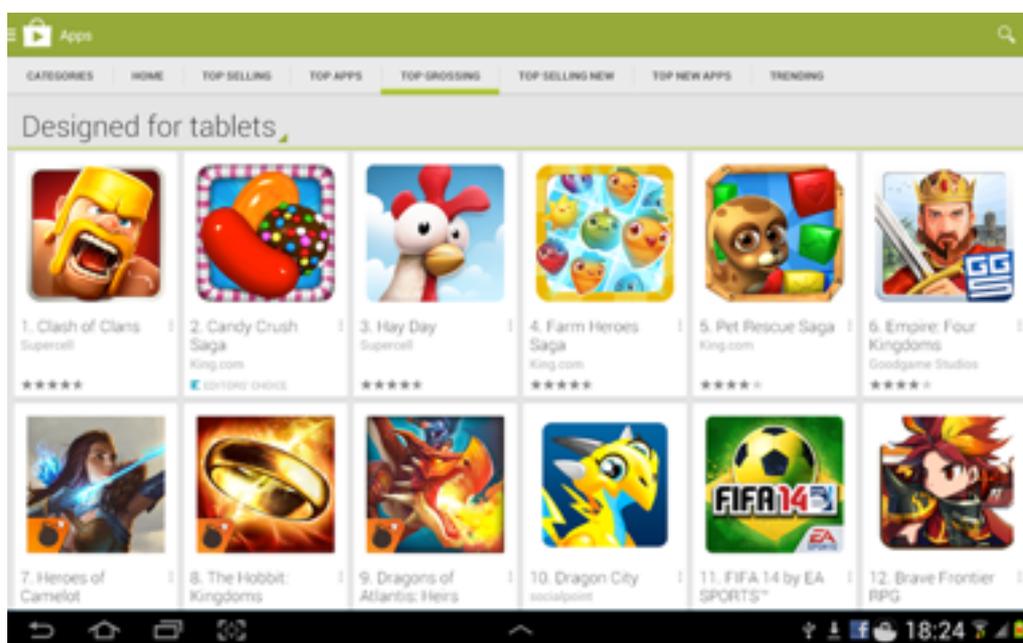
Compresa la dinamicità del mercato delle app, una domanda spontanea che in molti si fanno è quanto sia elevata la complessità tecnica delle app e, di conseguenza, quanto sia tecnicamente difficile essere competitivi. Questa sezione tenta di dare una risposta a questa domanda, che è poi complementata da alcune valutazioni di fattibilità economica nella prossima sezione.

L'architettura tecnica delle mobile app ha due componenti fondamentali: il *front-end*, ovvero le componenti software che risiedono e sono eseguite sul dispositivo mobile, e il *back-end*, ovvero le componenti software che risiedono e sono eseguite su uno o più server ai quali la app si collega via rete. L'interfaccia utente appartiene al front-end, mentre la logica applicativa può essere arbitrariamente suddivisa fra front-end e back-end, come pure il database, che può essere ospitato direttamente dal dispositivo mobile, se la mole di dati non è eccessiva, oppure gestito remotamente su server.

Per quanto riguarda il front-end, i diversi sistemi operativi hanno il loro ambiente di sviluppo. Ad esempio, l'ambiente di sviluppo per Android è Eclipse con sdk (software development toolkit) Android, liberamente scaricabile e installabile su PC Windows, Linux o Mac. Il linguaggio di sviluppo per Android è Java, quindi molto noto e accessibile. Gli sdk offrono una serie di funzioni e librerie specifiche per il mondo mobile che, naturalmente, costituiscono una novità rispetto alla pura programmazione Java. Non si tratta di funzionalità complesse, ma, piuttosto, di un supporto per una programmazione più di alto livello che può avvalersi di codice già pronto per un'ampia gamma di requisiti. Tuttavia,

l'acquisizione della dimestichezza con tali strumenti necessaria ad uno sviluppo efficiente e pianificabile richiede tempo e esperienza.

Un ulteriore elemento di difficoltà è legato alla qualità dell'interfaccia e, più specificamente, della grafica delle app. E' un dato di fatto che le app di successo sono graficamente accattivanti. Non si tratta di semplice usabilità, che pure è fondamentale, ma di vero e proprio design grafico. L'impatto del design grafico sul numero di installazioni è paragonabile all'impatto del packaging sui prodotti alimentari della grande distribuzione. Ad esempio, un'icona esteticamente accattivante può attrarre l'attenzione di utenti potenziali, dato che nella ricerca di app da installare ciò che si trovano di fronte è una pagina di icone senza descrizioni (vedi Figura 2). Solo toccando l'icona accedono alla descrizione della app, ma la scelta di quale icona toccare è puramente grafica. L'impressione di professionalità degli screenshot è poi essenziale per convincere l'utente che vale la pena installare la app e la professionalità è soprattutto legata alla grafica.



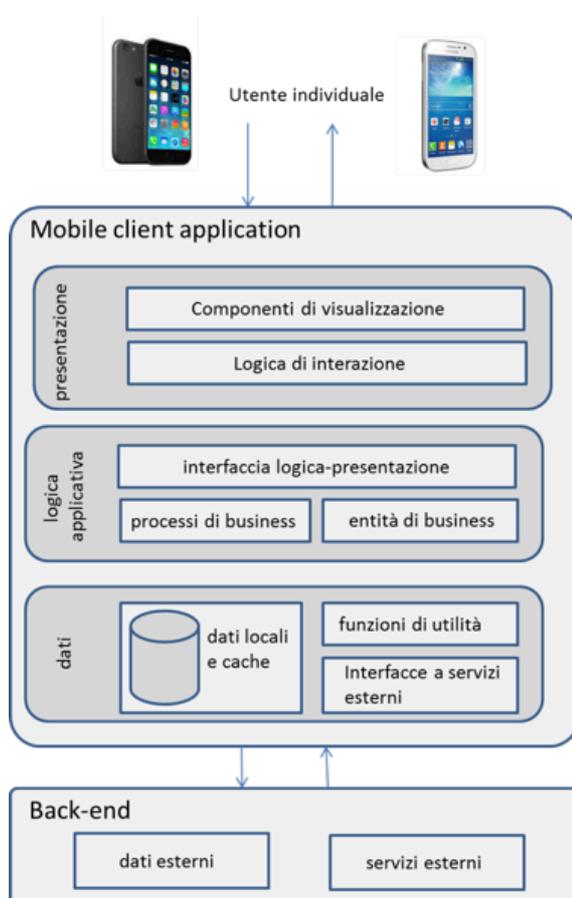
**Figura 2**  
*Una schermata di scelta delle app dal Play Store.*

A testimonianza dell'importanza della grafica e dell'usabilità delle mobile app, esistono numerosi strumenti di rapid prototyping che permettono di implementare facilmente dei mockup dell'interfaccia e farli provare a utenti potenziali. Ricordiamo, fra i tanti, Kimono, TouchGestures, UI Kit, Sketch, Solidify e POP (prototyping on paper).

Vi sono naturalmente molte app che non sono esteticamente belle. Alcune di esse, specialmente se destinate al mercato domestico, hanno anche avuto un discreto successo, come, ad esempio, le app per la visualizzazione delle

estrazioni dei giochi quali Lotto, Superenalotto eccetera, oppure quelle per la visualizzazione del palinsesto TV. Tuttavia, la piacevolezza estetica rappresenta un fattore di intrattenimento e, come tale, è coerente con le aspettative degli utenti individuali di mobile app.

La maggior parte delle mobile app non ha un back-end, ovvero è interamente memorizzata e eseguita sul dispositivo mobile. Questo è forse in relazione con lo sforzo richiesto dallo sviluppo di interfacce mobile gradevoli, forse ancora con il gran numero di sviluppatori individuali che hanno accesso al mercato mobile dati i suoi costi molto ridotti e, da ultimo, con i costi e la complessità dello sviluppo di un back-end.



**Figura 3**  
*Architettura software di una mobile app.*

Una fondamentale differenza fra le app senza back-end e quelle con back-end è che le prime hanno solo costi di sviluppo software e, eventualmente, di design dell'interfaccia grafica. Una volta messe in commercio, non hanno costi di gestione tecnica. Al contrario, una app con back-end ha dei costi di gestione per tutta la sua vita, sia legati alla capacità di calcolo richiesta per il back-end interamente a carico dello sviluppatore, sia legati alla manutenzione del software

di back-end e alla sua gestione operativa. La conseguenza economica di questa differenza è che una app senza back-end può essere lasciata in commercio anche se non ha grande successo, eliminando i costi discrezionali di marketing. Una app con back-end deve invece essere rimossa per eliminarne i costi per lo sviluppatore. Spesso uno sviluppatore ha un successo modesto con le prime app che sviluppa e può continuare a sperimentare solo se i costi vivi sono ridotti.

Una seconda differenza fra i due tipi di app è legata alla complessità tecnica del back-end. La Figura 3 riporta l'architettura completa di una mobile app con back-end. La gestione del back-end include l'accesso a dati e servizi esterni che, a loro volta, generano la necessità di funzioni di caching locale dei dati all'interno del front-end e di funzionalità di interfacciamento coi servizi esterni. Inoltre, il numero di processi e entità di business potenzialmente accessibile dal front-end diventa molto più elevato, rendendo la logica applicativa della app significativamente più complessa. E' estremamente improbabile che uno sviluppatore singolo sia in grado di gestire questa complessità, magari nel proprio tempo libero. Un'architettura come quella riportata nella Figura 3 si giustifica se la app ha una base utenti e un ritorno economico che giustificano un gruppo di progetto che abbia al suo interno competenze di diversi specialisti e che sia in grado di offrire un servizio professionale.

Da questo punto di vista, il cloud rappresenta una semplificazione della complessità di gestione del back-end. I servizi cloud ospitano il back-end di una app garantendone la scalabilità, ovvero lo sviluppatore non deve preoccuparsi di configurare e gestire più macchine man mano che la base utenti si allarga. Inoltre, ha availability elevata e non si verifica il fenomeno dello spegnimento o riavvio tipico dei server fisici o virtuali dei tradizionali servizi di hosting. Da ultimo, offre una serie di servizi aggiuntivi a livello applicativo, quali *chat server* o servizi di broadcasting per la comunicazione con gli utenti della app. Nonostante questi vantaggi, i servizi cloud hanno un costo non irrisorio e che può dipendere da tante variabili di consumo (la dimensione del database, il numero di utenti contemporaneamente attivi, il numero di richieste, la capacità di calcolo, eccetera). Tuttavia, con il cloud è possibile partire a costo zero, scegliendo opportunamente il provider sulla base delle variabili di consumo che determinano il prezzo e delle caratteristiche del servizio di back end [9]. Tale possibilità è praticamente inesistente con i tradizionali servizi di hosting e rende il cloud una tecnologia abilitante per la sperimentazione e lo sviluppo di mobile app con back-end.

Occorre osservare che i costi del back-end restano comunque fortemente influenzati dall'efficienza del software in termini di richiesta di capacità di calcolo. Saper sviluppare un back-end internamente al gruppo di progetto e saper gestire un'infrastruttura hardware restano competenze fondamentali per abbattere i costi, garantire la scalabilità economica del progetto e fornire un servizio in tempo reale a milioni di utenti. Giochi che prevedono un'interazione fra gli utenti della app, quali KaW o Clash of Clans, hanno un back-end proprietario molto efficiente e capace di offrire un servizio in tempo reale a milioni di utenti contemporaneamente connessi.

## 4. Modelli di monetizzazione

Condizione necessaria affinché una app sia profittevole è che i profitti medi per utente superino i costi marginali dovuti allo stesso (ad esempio per la capacità di calcolo del back-end, e per il servizio di assistenza ai clienti).

La sostenibilità economica della maggior parte delle app presenti negli store pubblici è essenzialmente determinata dalla quantità di utenti delle stesse. Infatti, anche tralasciando i costi fissi iniziali di realizzazione, vi sono dei costi di funzionamento e gestione che sono indipendenti dal numero di utenti. Ipotizzando ricavi proporzionali al numero degli utilizzatori della app, il raggiungimento di un break-even (cioè l'uguaglianza puntuale tra costi e ricavi) sarà possibile solo superando una determinata quantità di utilizzatori. Al crescere degli utenti, avremo quindi margini operativi sempre maggiori.

È di estrema importanza, quindi, che gli sviluppatori individuino un modello di monetizzazione che consenta di massimizzare i ricavi complessivi durante l'intero ciclo di vita di una app. A tal fine possiamo classificare i diversi modelli di monetizzazione nelle categorie sotto elencate. È da notare che questi modelli non sono tra loro mutuamente esclusivi, e talvolta diversi modelli possono coesistere per la medesima app, e possono anche mutare nel corso del tempo.

### 4.1. Gratuito

Vengono lasciati liberi e gratuiti l'installazione e l'utilizzo della app. Di per sé questo modello non garantisce ricavi agli sviluppatori. Può però essere utilizzato nella fase di lancio di una nuova app, per estendere rapidamente la base di utenti, facendo accrescere il valore della app grazie alle esternalità di rete; il valore della app cresce cioè grazie al fatto che gli utilizzatori aumentano; si pensi ad esempio al sistema di messaggistica *WhatsApp Messenger*, lanciato inizialmente gratuitamente per gli smartphone Android e reso poi a pagamento quando gli utilizzatori hanno raggiunto una significativa massa critica. Accade anche che app a pagamento vengano offerte gratuitamente a partire da una certa data. Ciò è accaduto in corrispondenza dell'uscita di nuove versioni (è il caso del gioco *Plants vs. Zombies*) con lo scopo di accelerare il loro successo. La rinuncia ai ricavi, in questo contesto, non è particolarmente gravosa, in quanto i clienti disposti a pagare hanno già tipicamente acquistato la vecchia versione. Valore aggiuntivo per gli sviluppatori potrebbe anche derivare dal processo di continua acquisizione di informazioni sugli utenti, che consenta una loro profilazione ed un potenziale sfruttamento economico.

### 4.2. Pubblicità

All'interno delle app possono essere inseriti annunci pubblicitari che generano ricavi per gli sviluppatori. Gli annunci pubblicitari sono tipicamente inseriti sotto forma di *banner* presenti nelle schermate di normale utilizzo delle app, o come immagini a tutto schermo – dette *interstitial* – che si sovrappongono alle schermate della app durante il suo utilizzo. Nella gran parte delle app che non gestiscono internamente la raccolta pubblicitaria, le inserzioni pubblicitarie sono richieste – attraverso l'uso di API appositamente messe a disposizione – da sistemi di distribuzione dedicati, detti *advertising network*, tra cui i più famosi

sono *AdMob* (Google), *iAd* (Apple), *Lumata*, *MillennialMedia*, *MobFox*, *AppBrain*, *Amazon Ad Network*, e *Samsung AdHub*. I ricavi pubblicitari possono aggiungersi ai ricavi delle app a pagamento, o essere la sola modalità di monetizzazione di app gratuite. Tipicamente i network pubblicitari riconoscono agli sviluppatori che ospitano la pubblicità una cifra variabile che dipende dal valore che gli inserzionisti sono disposti ad offrire attraverso un meccanismo implicito di aste sul prezzo. Tipicamente le azioni che determinano l'accredito sono i click sulle pubblicità, con la conseguenza che poi gli utenti vengono ridirezionati su altre pagine o applicazioni. Bisogna tuttavia considerare che la presenza di pubblicità sia spesso mal vista e considerata invasiva da parte degli utenti; ciò potrebbe indurre alcuni utenti ad abbandonare l'utilizzo delle app a favore di altre succedanee, o innalzare le recensioni negative visibili sugli store, avendo la conseguenza di ridurre l'attrattiva verso nuovi potenziali utilizzatori. Inoltre i ricavi pubblicitari sono mediamente molto bassi, e sono necessari alti volumi di utenti al fine di avere ritorni significativi. Una recente analisi del mercato [10], ha osservato ricavi medi lordi pari a 3\$ al mese ogni 1000 utenti.

#### 4.3. Pay-per-download

L'utente paga la app per abilitare il download e l'installazione. Una volta acquistata, la app è liberamente e gratuitamente utilizzabile in modo illimitato. Questa modalità consente agli sviluppatori di incassare subito il prezzo della stessa, dovendo tuttavia assicurarne il funzionamento per un tempo indeterminato e sostenendone i relativi costi operativi. Particolarmente critica è la determinazione del prezzo, in quanto valori troppo elevati scoraggerebbero l'acquisto a favore di soluzioni alternative. Al fine di massimizzare i ricavi, ponendoli al livello della disponibilità a pagare, gli store attualmente consentono una segmentazione degli utenti sulla sola variabile geografica, con un livello di aggregazione pari alla nazione. Un esempio di app *pay-per-download* è *GoodNotes 4*, che consente di prendere appunti e modificare file PDF su tablet Apple; l'elevata reputazione che l'app ha acquisito nel tempo consente di rendere disponibile il download nella sola modalità a pagamento.

#### 4.4. Gratuito + Pay

Combina le modalità *gratuito* e *pay-per-download*. Contemporaneamente vengono messe a disposizione una versione gratuita ed una a pagamento. La versione gratuita è generalmente una versione limitata nelle funzionalità di quella a pagamento, che consente agli utenti di "provare" la app. Infatti, la presenza di un pagamento iniziale scoraggia spesso il download di applicazioni a pagamento. In questa categoria rientra l'app *Runtastic*, utilizzata per tenere traccia di allenamenti e attività sportive; la versione a pagamento offre funzionalità aggiuntive, come l'allenatore vocale, la misurazione delle pulsazioni, e la pausa automatica, altrimenti non disponibili nella versione gratuita. In altri casi, la versione a pagamento è identica alla versione gratuita, con la sola differenza che viene rimossa la pubblicità. Gli utenti con maggiore disponibilità a pagare – cioè quelli che apprezzano particolarmente la app o che la usano con maggiore frequenza – sono quindi invogliati a ottenere la versione a

pagamento. Questo meccanismo può essere tuttavia controproducente per gli sviluppatori, in quanto gli utenti a pagamento saranno particolarmente attivi; ciò determina che a fronte di maggiori costi operativi vi sarà una perdita di entrate pubblicitarie. È quindi necessaria un'attenta valutazione dei costi e dei benefici, e un'accurata determinazione del prezzo.

#### 4.5. Freemium / Acquisti in-app

Il modello *freemium* (combinazione tra le parole *free*, cioè gratuito, e *premium*) consente di rilasciare app ad un prezzo limitato o nullo – accrescendo quindi facilmente la base di utenti – e di fornire la possibilità di acquistare funzionalità aggiuntive o avanzate agli utenti. La funzionalità che consente agli utenti di acquistare i contenuti aggiuntivi si definisce *acquisto in-app*. Così facendo gli utenti si segmenteranno da sé sulla base della loro capacità di spesa e il loro modello di utilizzo delle app. Questo modello di monetizzazione è particolarmente sfruttato all'interno dei giochi, dove viene offerta la possibilità di acquistare livelli aggiuntivi, oggetti virtuali, maggiore "forza" nei confronti degli avversari, eccetera. È il caso di *Clash of Clans*, un gioco di strategia dove i giocatori collaborano, formando dei gruppi, detti clan, alla costruzione e espansione di villaggi, entrando in competizione con altri giocatori. In *Clash of Clans* è possibile acquistare "gemme" virtuali da utilizzare all'interno del gioco, al fine di acquisire vari tipi di risorse utili a progredire nel gioco. Se un gioco riesce a "catturare" gli utenti, le vendite in-app possono rappresentare una fonte consistente e costante di ricavi. Questo modello di monetizzazione è talvolta adottato da app che abbandonano il modello *pay-per-download*. È il caso, ad esempio, di *Swiftkey Keyboard*, una tastiera aggiuntiva dotata di auto-apprendimento, che raggiunta una stabilizzazione nel numero degli acquirenti ha poi reso gratuita l'applicazione e introdotto contenuti aggiuntivi a pagamento. Va evidenziato che il modello "Freemium" si distingue dal modello "Gratuito + Pay" sulla base della frequenza dei pagamenti facoltativi, che possono essere multipli nel freemium, mentre sono un tantum nel "Gratuito + Pay".

#### 4.6. Abbonamento

Anziché vendere singoli contenuti, nelle app viene venduto un abbonamento periodico al servizio; ciò abilita l'utilizzo delle funzionalità delle app. Questo modello, al pari degli acquisti in-app, consente una fonte di ricavi dovuta agli utenti attivi. In questa categoria rientra l'app *Evernote*, che consente di prendere appunti e note e di archivarli sui server degli sviluppatori, al fine di renderli accessibili da più dispositivi; l'app fornisce un limite alla quantità di appunti nella versione gratuita, mentre estende la capacità e fornisce funzionalità aggiuntive (come la ricerca tra i documenti o il blocco con password) a fronte di un abbonamento. Questo è inoltre il modello di monetizzazione più comune per i servizi di lettura di giornali quotidiani, tra i quali, in Italia, il *Corriere della Sera* e *la Repubblica*.

#### 4.7. Contributi spontanei

Le app chiedono agli utenti di fornire un contributo economico spontaneo, confidando nella generosità e riconoscenza degli utilizzatori. Questo modello di monetizzazione non può essere considerato una fonte affidabile di ricavi ed è

generalmente adottato da app amatoriali installabili gratuitamente. Fa affidamento a questa modalità l'app gratuita *OruxMaps*, un visualizzatore di mappe geografiche online e offline con numerose funzionalità, tra cui la possibilità di memorizzare i percorsi seguiti. *OruxMaps* non pone limitazioni all'utilizzo, è priva di pubblicità, e al suo interno offre la possibilità di offrire un contributo spontaneo.

#### 4.8. Offerte speciali

Sebbene non possa essere considerato un modello di monetizzazione in senso stretto – ma piuttosto una strategia – il meccanismo delle offerte speciali consente di promuovere una app per un periodo limitato di tempo, mettendola in vendita ad un prezzo scontato o addirittura gratuitamente. Questa strategia si accompagna in genere a una campagna di marketing (ad esempio attraverso i servizi di promozione di app gratuite come *AppGratis*, *App del giorno*, App gratuita del giorno su *Amazon App-shop*, eccetera), consentendo di rivolgersi ai potenziali clienti aventi una disponibilità a pagare inferiore a quella del target standard, estendendo in questo modo rapidamente la base di utenti. L'aumento repentino dei download, che spesso si verifica grazie a queste campagne, provoca anche un'indiretta promozione sugli store, dato che l'ordinamento delle app nelle schermate è influenzato positivamente dal successo in termini di download delle stesse.

#### Conclusioni

Le mobile app rappresentano dunque un nuovo paradigma di sviluppo e distribuzione di servizi. È pur vero che la maggior parte delle mobile app di successo è rappresentata da giochi o applicazioni di intrattenimento, ma esse rappresentano sempre di più un modello di sviluppo che pone al centro l'utente finale in mobilità e potenzialmente equipaggiato con altri dispositivi oltre allo smartphone, coerentemente col paradigma della *Internet of Things*, o più precisamente *Internet of You*. La varietà delle mobile app e i trend evolutivi delle app di maggior successo testimoniano questo fenomeno tuttora in crescita.

Contrariamente a ciò che si pensa comunemente, le app di maggior successo non sono lo sforzo di un singolo. Rappresentano piuttosto complesse applicazioni che richiedono molteplici competenze e investimenti iniziali non banali, ma d'altra parte si prestano alla realizzazione di modelli di business innovativi e di successo.

#### Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare l'ingegner Paolo Capelli, ex tesista del Politecnico di Milano, per il supporto nella definizione dei modelli interpretativi del fenomeno delle mobile app.

## Bibliografia

- [1] Upbin B. – Why people uninstall apps – Forbes, Novembre 2013.
- [2] <http://www.developereconomics.com/two-important-app-market-trends-to-watch-in-2013/>, archived at <http://www.webcitation.org/6UCLW1s6o>, Febbraio 2013.
- [3] Barbagallo D., Cappiello C., Francalanci C., Matera M. – Enhancing the Selection of Web Sources: A Reputation Based Approach – ICEIS, 2010.
- [4] <http://www.statista.com/statistics/270291/popular-categories-in-the-app-store/>, archived at <http://www.webcitation.org/6UEDWm2sb>, Settembre 2014.
- [5] <http://www.apptamin.com/blog/optimize-play-store-app/>, archived at <http://www.webcitation.org/6UCMEqc4K>, Febbraio 2013.
- [6] Zichermann G., Cunningham, C. – Gamification by design: Implementing game mechanics in web and mobile apps – O'Reilly, 2011.
- [7] <http://www.google.com/analytics>, Ottobre 2014.
- [8] <http://www.count.ly>, Ottobre 2014.
- [9] Mazzucchelli A., Moroni G. – Definition and empirical verification of a methodology for a cost-oriented choice of cloud services providers – Tesi di Laurea, Politecnico di Milano, 2014.
- [10] Capelli P. – Una metodologia per la classificazione dei modelli competitivi delle mobile application – Tesi di laurea, Politecnico di Milano, 2013.

## Biografie

**Chiara Francalanci** è Professore di Sistemi Informativi del Politecnico di Milano, dove si è laureata in Ingegneria Elettronica nell'ottobre 1991. Durante gli studi di dottorato è stata ricercatrice ospite per un periodo di due anni presso Harvard Business School. Ha scritto numerosi articoli sulla progettazione dei sistemi informativi e sul valore economico dell'informatica, svolto attività di consulenza nel settore finanziario e manifatturiero, sia in Italia che negli Stati Uniti, è editor del Journal of Information Technology e senior editor delle AIS Transactions on Enterprise Systems.

Email: chiara.francalanci@polimi.it

**Paolo Giacomazzi** è professore di Multimedia Internet al Politecnico di Milano, dove si è laureato con lode in Ingegneria Elettronica. Ha svolto un periodo di ricerca presso la University of Mississippi, presso il National Center for Wireless Communications. Ha svolto attività di ricerca e consulenza nel settore delle reti di telecomunicazione fisse e mobili. Attualmente, si occupa di sistemi previsionali relativi sia al traffico Internet, sia ad altri domini applicativi fra i quali i social media, la grande distribuzione, e il mass market in generale.

Email: giacomaz@elet.polimi.it

**Alessandro Poli** è nato a Cremona nel 1981. Si è laureato al Politecnico di Milano in Ingegneria Informatica e ha ottenuto il titolo di dottore di ricerca in Ingegneria dell'Informazione dal Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria del Politecnico di Milano, dove attualmente è impiegato come assegnista di ricerca. I suoi interessi accademici sono rivolti alle reti peer-to-peer video streaming, all'ottimizzazione di infrastrutture ICT, all'analisi semantica dei social media per la reputazione dei brand e la predizione, e all'analisi del mercato delle mobile app.

Email: [alessandro.poli@polimi.it](mailto:alessandro.poli@polimi.it)

0

1

0

1

0

# Apologia della ragione scientifica - II: strumenti per decidere

Angelo Luvison

**Sommario.** *Svariati Paesi, inclusa l'Italia, si trovano a fronteggiare tempi duri e scenari complessi. La società civile sembra scossa da fenomeni di caos ed esclusione – fra cui il famigerato digital divide – molte economie sono in recessione, moltissimi giovani sono classificati come NEET (Not [engaged] in Education, Employment or Training), ecc. La soluzione alla crisi non si trova in ricette pronte all'uso; è necessario piuttosto focalizzarsi su: ricerca e innovazione, formazione e istruzione scientifiche d'eccellenza, nonché sullo sviluppo delle conoscenze relative. Le basi si trovano in strumenti quali: razionalità scientifica, probabilità e statistica bayesiana, pensiero logico. Nel nostro Paese, questo compito non è facile, ma dovremmo almeno tentare. L'articolo mostra diversi significativi esempi del cosiddetto “pensiero scientifico critico”, sempre più richiesto da aziende high tech per le nuove posizioni di lavoro – si pensi anche ai big data – derivate da ICT, smart grid, green economy, advanced manufacturing, ecc.*

**Abstract.** *Today, a number of countries, Italy included, are facing very hard times. The social living leans towards chaos and exclusion – let alone the notorious digital divide – many economies have already plummeted, a high percentage of young persons belongs to the NEET (Not [engaged] in Education, Employment or Training) group, and so on. The solution cannot be based on ready-to-use recipes. Instead, a long-term strategy is needed to focus on: research and innovation; scientific training and education of excellence; and, therefore, development of the ensuing skills. The basis for that lies in the ability to master tools such as: scientific reasoning, probability and Bayesian statistics, mathematical logic. A task not at all easy in our country, but we should at least try. The paper shows a few meaningful examples of the so-called “scientific critical thinking”, increasingly required by high-tech companies, especially for the new jobs – think of big data – e.g., from ICT, smart grid, green economy and advanced manufacturing.*

**Keywords:** Problem solving, Mathematical oddities, Ubiquitous Euler's  $e$ , Benford's law, Analytics

## 1. Introduzione

*La matematica è la porta e la chiave delle scienze.  
Trascurare la matematica è un'offesa al sapere, poiché chi la ignora non può  
conoscere le altre scienze o le cose del mondo*

Ruggero Bacone

La cultura tecnico-scientifica italiana negli ultimi decenni non sembra godere di grande prestigio, e spesso neppure di buona cittadinanza, presso i non addetti ai lavori. È l'effetto dell'ostilità all'educazione scientifica radicata nella tradizione italiana, a partire da personalità pur notevoli come Benedetto Croce e Giovanni Gentile – avversari in politica ma con radici filosofiche comuni – in poi. Incancellabile dalla memoria è, ad esempio, l'episodio (1911) in cui Croce sbeffeggia il grande matematico ed epistemologo Federigo Enriques come dilettante incompetente in campo filosofico, oltre a qualificarlo di “ingegno minuto”, caratteristica che sarebbe comune a tutti gli scienziati.

Le motivazioni e le conseguenze di questa polarizzazione della cultura italiana hanno per effetto la ricerca della contrapposizione, anziché di un rapporto armonico che riconosca la fondamentale unità dei saperi. Unità intesa non in modo retorico o ingenuo, bensì rispettosa dello statuto epistemologico individuale di ogni scienza metodologicamente fondata.

Scienza e ragione, fra l'altro, sono fortemente connesse in quanto la scienza è lo sviluppo culminante del pensiero razionale. Un esempio della scarsa influenza nella politica e nella società di scienza e ragione è il caso “stamina”: nemmeno l'unanime appello del mondo scientifico biomedicale, guidato dalla senatrice a vita Elena Cattaneo, contro questa ingannevole ricetta per una malattia gravissima ha tuttora convinto larghi strati dell'opinione pubblica, del sistema politico, del mondo giudiziario.

Altri temi sui quali, soprattutto in Italia, l'irrazionalità si esprime ai massimi livelli sono quelli affini delle biotecnologie, dell'ingegneria genetica e, soprattutto, degli OGM (Organismi Geneticamente Modificati) in agricoltura (cibo e coltivazioni). Sorprende la disinformazione mediatica capeggiata da gastronomi, agronomi e associazioni di consumatori “bio”, fomentati da pensatori modesti ma egregi uomini d'affari ed eccellenti imprenditori di sé stessi. Tutti costoro, seguaci di una “sociologia naïf”, oltre che di mass media e talk show, godono del supporto ideologico ispirato da guru internazionali. Fra questi ultimi, un'attivista politica e ambientalista indiana è abituale frequentatrice di programmi televisivi, durante i quali i suoi strali si appuntano, in particolare, sul *golden rice*, un riso GM-modificato, che invece potrebbe fare un gran bene all'infanzia nelle aree più povere e depresse del mondo. Risulta che tale filosofa-ambientalista sia anche consulente di istituzioni pubbliche. Al contrario, le argomentazioni sostenute da studiosi seri e competenti – fra i quali Gilberto Corbellini, Dario Bressanini, Antonio Pascale – hanno scarsa presa sull'opinione pubblica prigioniera di credenze ingannevoli. Per una visione scientifica e

documentata dell'intera questione, senza nulla concedere alla retorica o ai pregiudizi, si rinvia agli articoli, ancora della senatrice Cattaneo, usciti su *// Sole 24 Ore* nel luglio 2014.

Parafrasando Francisco Goya, questi e altri casi ci parlano, quale più quale meno, di una ragione dormiente che partorisce mostri. In molte occasioni, gli scienziati sembrano costituire, invece, il bersaglio prediletto di buona parte dei media e degli opinion maker.

Svariati Paesi, inclusa l'Italia, si trovano a fronteggiare tempi duri e scenari complessi. La società civile sembra scossa da fenomeni di caos ed esclusione – fra cui il famigerato *digital divide* – molte economie sono in recessione, moltissimi giovani sono classificati come NEET (*Not [engaged] in Education, Employment or Training*), ecc. La soluzione alla crisi non si trova in ricette pronte all'uso; è necessario piuttosto focalizzarsi su: ricerca e innovazione, formazione e istruzione scientifiche d'eccellenza, nonché sullo sviluppo delle conoscenze relative.

Questo articolo, in continuità con il precedente [1], verte sull'importanza di un'adeguata preparazione tecnico-scientifica, partendo dal fatto prima sottolineato che la scienza nel nostro Paese è penalizzata rispetto a una cultura tradizionalmente orientata all'idealismo in tutte le sue declinazioni o qualificazioni ("vetero-", "neo-", ecc.). La tesi non è certamente nuova né originale, talché è oggetto di preoccupazione diffusa, come il lettore potrà agevolmente osservare scorrendo la vasta letteratura in proposito.

Anche nei settori più propriamente tecnici si deve riscontrare che non vi sono ancora segnali *concreti* di inversione di tendenza da parte dei nostri decisori politici, se si escludono annunci episodici o scontati riferimenti a modelli di migliori pratiche, quali la Silicon Valley e l'Università di Stanford, popolate bensì da ricercatori e ingegneri di origine italiana. Eppure, è accertato che l'offerta di professioni qualificate giunge oggi dalle imprese a maggiore contenuto tecnologico.

Venendo alle infrastrutture più avanzate, secondo l'Autorità per le garanzie nelle telecomunicazioni, le prestazioni delle connessioni a banda larga su rete fissa in Italia (47<sup>a</sup> con una velocità media di 5,2 Mbit/s) risultano inferiori alle best practice internazionali. Ricordiamo che fino alla metà degli anni Novanta del secolo scorso si investiva in modo sostanzioso nelle fibre ottiche e nei relativi apparati: quei tempi sembrano ormai definitivamente andati.

Lo scenario di tecnologie e servizi ICT (*Information and Communications Technology*) sta diventando sempre più articolato e complesso, con macrotendenze così sintetizzabili: 1) il numero di dispositivi connessi a Internet (IoT, *Internet of Things*) nel 2020 supererà di parecchie volte la popolazione mondiale; 2) il *cloud computing*, spingendo su architetture aperte, richiederà standard altrettanto aperti e software di tipo *open source*; 3) strumenti e tecniche quantitative giocheranno un ruolo fondamentale nei *big data*, soddisfacendo requisiti crescenti di grandezza, complessità e velocità; a questo proposito, la teoria delle reti complesse [2], [3] ci potrà aiutare. Inoltre, l'esplosione della connettività di rete, caratterizzante questo nuovo scenario ICT,

provocherà una radicale trasformazione del business. Purtroppo, non sembra che l'Italia attuale sia sufficientemente attrezzata in capacità di innovazione per fronteggiare un contesto globale caratterizzato da aspra competizione.

Naturalmente, non possiamo trascurare le poche lodevoli eccezioni che hanno permesso di costruire un Paese moderno, avanzato, industriale, che fa funzionare le infrastrutture di supporto all'intera economia nazionale. Ed è da sottolineare con forza che le eccezioni nazionali sono state permesse in virtù dell'alta formazione e dell'istruzione erogate da prestigiosi istituti tecnici, dalle facoltà scientifiche, dalle scuole di ingegneria e dai politecnici italiani. Ma occorre andare avanti per riprendere a crescere.

Il fenomeno big data, cioè delle grandi moli – o serie – di dati non strutturati prodotti dai moderni sistemi di transazione, interazione, monitoraggio e localizzazione, è oggetto di particolare attenzione da parte di aziende e imprese high tech per generare valore economico tanto per sé stesse quanto per i propri clienti [4]: “tutto mi parla di te” sembra essere il *Leitmotiv* di chi segue le nostre tracce in Rete.

Non sorprende quindi che aziende d'avanguardia ad alto contenuto tecnologico, come Google, Apple, Amazon, Microsoft e IBM, ricerchino persone *smart* (abili, “svegli”, “in gamba”), sottoponendo test, rompicapo, quiz di *critical thinking* e pensiero creativo nelle interviste per l'assunzione [5], [6]. In molte università americane si offrono corsi di master per formare esperti di dati e analisti [7], cioè per coloro che in generale operano in settori di business, economia e finanza, utilizzando modelli analitici (o *analytics*). Sono anche offerti insegnamenti universitari di *algorithmic thinking* in corsi di computer science con rompicapi di tipo algoritmico, che coinvolgono, implicitamente o esplicitamente, procedure più o meno codificate per risolvere problemi decisionali [8].

La nuova disciplina emergente va sotto il nome di *data science*, e i suoi adepti sono *data scientist*. Il saper prendere decisioni ponderate e intelligenti sui dati è diventato uno degli skill più importanti in tutte le aree delle attività con alto contenuto tecnologico. Il processo per apprendere le necessarie tecniche strumentali è molto impegnativo, essendo richieste conoscenze concernenti una gran varietà di argomenti e tecnologie.

Colloqui di lavoro del tipo indicato sono anche condotti in modo da valutare la capacità del candidato a riflettere, ragionare e analizzare informazioni in maniera critica ed efficace per arrivare a una decisione corretta (problem solving). Alcuni dei test proposti sollecitano l'attitudine al ragionamento probabilistico-bayesiano, altri a quello logico, altri ancora alla mentalità interdisciplinare. In ogni caso, il denominatore comune va ricercato nel minimo indispensabile di competenze scientifiche e matematiche, già discusse in [1]<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Lo sconcertante problema delle tre porte, trattato esaustivamente in quell'occasione, è illustrato come test d'intelligenza nel romanzo *Resistere non serve a niente* di Walter Siti, vincitore del Premio Strega 2013, ambientato nel mondo di banchieri e broker finanziari. C'è da dire che il problema è stato anche citato in altri romanzi (p. es. *Lo strano caso del cane ucciso a mezzanotte* di Mark Haddon) così come è stato proposto nel cinema (*21* con l'attore Kevin Spacey). Peraltro, la dimostrazione in [1] della sua non intuitiva soluzione sembra particolarmente convincente, a detta degli amici che hanno avuto la bontà e la pazienza di esaminarla.

In questo articolo di survey si riprende la stessa metodologia di [1] basata su concetti di razionalità scientifica, probabilità e statistica, pensiero logico, calandola nel contesto degli skill e degli strumenti sempre più richiesti da imprese d'avanguardia, con esempi rivolti a contesti reali. Riassumendo quanto prima detto, tali contesti derivano dall'offerta di nuove posizioni di lavoro per esperti di dati e di analisi – sia qualitative sia quantitative – (i già citati scienziati di dati), in seguito all'esplosione dei big data e quindi, in ultima istanza, in tutti i comparti dell'economia avanzata e della società in cui l'ICT gioca un ruolo dominante. A titolo di esempio, oltre all'ICT stessa, ricordiamo i principali ambiti applicativi: smart city, smart grid, green economy, advanced manufacturing, sanità, formazione e istruzione online (MOOC, *Massive Open Online Course*). I modelli analitici utilizzati sono prevalentemente predittivi e orientati alle decisioni, che devono perciò seguire processi metodologico-argomentativi rigorosi di *scientific critical thinking* (pensiero scientifico critico). Processi e decisioni che esigono peraltro una non trascurabile componente di creatività per arrivare a trovare soluzioni nuove a modelli di business in grado di fronteggiare i cambiamenti e le trasformazioni in atto.

Di singolari e fortunate coincidenze, statisticamente sorprendenti, si sono occupati saggi e scrittori come Carl Jung, Arthur Koestler, Primo Levi, esperti di probabilità come Persi Diaconis, David Hand, Frederick Mosteller<sup>2</sup>, e divulgatori matematici come Alex Bellos, Ennio Peres. Ciò significa che l'argomento delle coincidenze, di per sé affascinante e avvincente, merita un approfondimento (paragrafo 2) sia pure nei limiti di scopo della presente trattazione. Il tema, peraltro, è propedeutico a molti argomenti dopo sviluppati.

La soluzione di test, casi, problemi dipende dalla loro corretta formulazione. Nei paragrafi 3 e 4, si forniscono esempi di come, inquadrando un problema in modo improprio, si possa arrivare a decisioni incongrue. Gli strumenti principali sono la regola (o teorema) di Bayes nonché tutto il modo logico di ragionare che ne consegue.

Riferendosi ad applicazioni interdisciplinari, interessante è considerare la pervasività del numero irrazionale  $e = 2,7182818\dots$  di Eulero in problemi di probabilità apparentemente irrelati<sup>3</sup>. Senza dire dei metodi di calcolo comunemente adottati da ingegneri elettrotecnici ed elettronici, dove la  $e$  è diffusissima. Il paragrafo 5 ne riporta diversi esempi provenienti dai campi più disparati: calcolo del *throughput* di protocolli di comunicazione; scelta ottimale fra molti candidati (segretaria, moglie/marito); estrazione di carte da mazzi diversi; ecc.

Il paragrafo 6 esamina una di quelle stranezze che capitano spesso in probabilità, la legge di Benford, indicandone i settori applicativi, oltre che i poco noti legami con un'altra curiosità matematica, la successione dei numeri di Fibonacci.

Completano la rassegna le conclusioni nel paragrafo 7 e tre riquadri (strumenti di probabilità, crescita esponenziale, vincite sorprendenti alla lotteria) che approfondiscono o integrano alcuni aspetti illustrati nel testo.

<sup>2</sup> A chi diceva "ci sono le bugie, le bugie sfacciate e le statistiche", Mosteller rispondeva piccato "è facile mentire con le statistiche, ma è ancora più facile mentire senza".

<sup>3</sup> Il numero  $e$  è una costante, il cui simbolo è in onore di Eulero, ma non è da confondere con la "costante di Eulero-Mascheroni", che è un altro bell'oggetto matematico, un po' misterioso, che qui non consideriamo.

## 2. Coincidenze impossibili?

*Il fato se la ride delle probabilità*

Edward George Bulwer-Lytton

*Con un campione sufficientemente grande, qualunque stranezza è possibile*

“Legge dei numeri molto grandi” di Persi Diaconis e Frederick Mosteller

Non è affatto intuitivo comprendere – o riuscire a far comprendere – che di fronte a “un numero sufficientemente elevato di casi” anche gli eventi più strani, cioè di minor probabilità, possano accadere. D’altro canto, è diffusa la tendenza ostinata, o *pareidolia* in linguaggio psicologico, a vedere schemi e regolarità in sequenze puramente casuali di dati. Con *pareidolia* s’intende un processo psichico consistente nella elaborazione fantastica di percezioni reali incomplete, spiegabile con sentimenti o processi associativi, e che porta a immagini illusorie apparentemente dotate di una nitidezza materiale (per esempio, l’illusione che si ha, guardando le nuvole, di vedervi montagne coperte di neve, battaglie, ecc.). *Pareidolia* è quindi il contrario della logica dimostrativa intessuta di pro e contro di una data tesi.

Per una di quelle curiose e felici concomitanze (sincronicità secondo Carl Jung, singolarità secondo altri), che si verificano con non troppa infrequenza, mentre stavo scorrendo (marzo 2012) il libro *Coincidenze* [9], il suo autore Ennio Peres mi telefonò per chiedermi un contributo al mensile *Linus*. È da notare che con Peres non ci siamo mai parlati telefonicamente, né prima né dopo: i nostri (rari) contatti sono avvenuti e avvengono solo per email. Non si creda però a un caso di telepatia, quanto piuttosto a un evento che rientra tranquillamente nella sfera delle probabilità. Come osserva acutamente il matematico Persi Diaconis, “una giornata veramente insolita è una in cui non accade niente di insolito”.

In definitiva quando i casi sono tantissimi – o le combinazioni di eventi moltissime – tutto può accadere. Ma in un mondo governato dalle probabilità non vi può essere certezza; di grande perspicacia è la sentenza: “Al mondo di sicuro ci sono solo la morte e le tasse”, attribuita – forse arbitrariamente – a Benjamin Franklin.

Nel seguito del paragrafo, si illustra la probabilità dell’evoluzione biologica, mentre il riquadro 1 riassume un certo numero di strumenti fondamentali – testi, formule, teoremi – utili e d’uso comune in calcolo delle probabilità.

### 2.1. La vita e il caso

Charles Darwin ha stabilito i fondamenti della moderna biologia evolutiva con due concetti fondamentali: tutte le specie sono collegate le une alle altre tramite un antenato comune, e la selezione naturale riflette lo scambio (*interplay*) tra l’informazione ereditaria (in termini moderni, geni) e l’ambiente in cui le specie evolvono. Il percorso della discendenza di specie da un antenato comune è tradizionalmente rappresentato con un albero filogenetico. Analogamente, anche le storie dei geni possono essere descritte come alberi, benché possano

differire significativamente dalla storia delle specie perché i geni sono influenzati da eventi evolutivi quali la duplicazione, la perdita o il trasferimento laterale.

Vediamo cosa succede in un caso di selezione, detto “Collo di bottiglia selettivo nei meccanismi di singolarità”<sup>4</sup>. Questo meccanismo si applica a una qualsiasi situazione in cui possibilità diverse siano sottoposte a un processo di selezione che permette la sopravvivenza di una sola di esse. La più familiare di tali situazioni si presenta nella selezione naturale darwiniana, in cui vari organismi possono competere per le risorse disponibili all’interno di ecosistemi; in questa lotta per l’esistenza, consegue alla fine il successo l’organismo meglio adattato all’ambiente e più capace degli altri a riprodursi nelle condizioni ambientali prevalenti. Si possono trovare, o simulare, molti altri casi di un processo fondamentalmente simile, a seconda della natura delle entità in competizione fra loro e di quella dei criteri di selezione. Così come si fa negli esperimenti di bioingegneria, molecole replicanti soggette a mutazioni possono essere costrette a passare per una strozzatura predisposta in modo tale da lasciar passare solo quelle molecole che presentano un’attività catalitica predeterminata, selezionando infine il più efficiente fra i catalizzatori rimasti.

Per definizione, un processo di selezione di questo tipo è ristretto alle varianti reali che sono soggette a esso. Potrebbero benissimo esistere un organismo o una molecola più adatti di quello o quella selezionati, solo che, se la variante richiesta non viene proposta, non può essere ovviamente selezionata. Quando, come spesso accade, hanno origine per caso più varianti, la probabilità che una di esse venga offerta per la selezione dipende dal numero di opportunità che essa ha di presentarsi.

Questa relazione può essere calcolata direttamente. Poniamo che  $p$  sia la probabilità dell’evento al primo tentativo, allora la probabilità che esso *non* abbia luogo è di  $1 - p$  in un singolo tentativo e di  $(1 - p)^n$  in  $n$  tentativi. La probabilità  $P(n)$  che l’evento si verifichi se vengono date  $n$  occasioni è quindi di  $1 - (1 - p)^n$ . È interessante notare che il calcolo di  $P(n)$ , essendo la sua relazione bene approssimata da  $n \times p$  per  $n$  grande, può essere effettuato in modo piuttosto semplice. Alcuni valori rappresentativi di  $P(n)$  sono mostrati in tabella 1.

Ciò che con questo calcolo si intende illustrare è che il *caso non esclude l’inevitabilità*. Persino eventi altamente improbabili accadranno con una certezza quasi assoluta qualora si forniscano loro abbastanza occasioni. Un’interessante regola empirica è che, se si moltiplica il reciproco della probabilità dell’evento singolo per un po’ meno di sette, si ottiene il numero di casi necessari per avere una probabilità di verificarsi del 99,9%.

<sup>4</sup> Il resto di questo sottoparagrafo si basa sostanzialmente su [10].

Gioco	Probabilità $P(n)$ per $n=1$	Valore di $n$ per $P(n) = 99,9\%$
Lancio di una moneta	1/2	10
Lancio di un dado	1/6	38
Roulette (con un solo zero)	1/37	252
Lotteria (sette cifre)	1/10 <sup>7</sup>	69 x 10 <sup>6</sup>
Mutazioni puntiformi (errori di duplicazione)	1/(3 x 10 <sup>9</sup> ) per divisione cellulare	20 x 10 <sup>9</sup> divisioni

**Tabella 1.** Dal caso alla necessità. Gli esempi illustrano il numero  $n$  di occasioni richieste affinché un evento di probabilità  $p$  abbia il 99,9% di probabilità di accadere. Le stime sono basate sulla formula  $P(n) = 1 - (1 - p)^n$ , nella quale  $P(n)$  è la probabilità di occorrenza dell'evento in  $n$  prove. (Fonte: [10], con rielaborazioni).

Come indicato nella tabella, addirittura un numero di sette cifre della lotteria uscirà in 999 casi su 1000 con 69 milioni di estrazioni. Questo dato usualmente non è noto agli acquirenti dei biglietti della lotteria, ma ha implicazioni profondamente significative per la storia della vita. Essa permette la possibilità di un'ottimizzazione selettiva in circostanze date, purché la gamma delle possibili varianti possa essere esplorata in modo esauriente. Il motto dell'evoluzione sembra essere *festina lente*, laddove procede inesorabile senza mai chiedersi a che cosa una mutazione possa servire. Né un evolucionista si pone questa domanda, ma si chiede piuttosto "che cosa è successo?".

Si noti che il meccanismo sottostante alla tabella 1 è di crescita esponenziale [1]: un suo approfondimento si trova nel riquadro 2.

### 3. Le trappole cognitive della mente

*La vita a volte fa in modo che ciò che sembra prevedibile non accada mai e che l'imprevedibile diventi la tua vita.*

Viggo Mortensen, nel film *Appaloosa* (2008) di Ed Harris

Gli esempi di probabilità seguenti non necessitano di calcoli complessi, ma implicano sottigliezze non indifferenti dal punto di vista concettuale. Infatti, mostrano che, ricorrendo a soluzioni istintive basate sull'intuizione, si arriva spesso a risultati fallaci. In molti casi, non è vero che "la probabilità è senso comune ridotto a calcolo", come sosteneva il pur grandissimo Laplace.

Purtroppo, in questa materia le scorciatoie alla via maestra si possono praticare solo dopo che la si padroneggia più che bene.

Gli studi empirici [11] del Nobel Daniel Kahneman e colleghi, di grande rilevanza non solo nel contesto della psicologia applicata all'economia, hanno inaugurato un fertile filone di ricerche nella teoria delle decisioni (per una loro concisa illustrazione si rinvia a [1]). In estrema sintesi, la tesi sostenuta da Kahneman è che l'*Homo oeconomicus* è tutt'altro che razionale quando deve prendere decisioni strategiche, tesi basata su decine di esperimenti volti a dimostrare il presunto "collasso, o scacco, della ragione".

### 3.1. Interviste "rischiose"

Questo paragrafo potrebbe essere scherzosamente intitolato "Quando il calcolo delle probabilità ti può salvare la pelle".

L'eccessivo rischio finanziario, per non dire d'altre cause, non è certamente una caratteristica recente né una peculiarità di questi ultimi sette-otto anni. Già il caso di poco precedente, la bolla speculativa della new economy all'inizio del 2000, è istruttivo sotto questo profilo: allora ci fu chi comprò per milioni di dollari startup, con pochissimi dipendenti, che non offrivano prodotti né tecnologie né servizi, se non un ambizioso business plan. Non ci si può certo stupire se vi furono poi fallimenti a catena.

Una leggenda metropolitana narra che nei ruggenti anni di quel periodo consulenti di banche di investimento e società finanziarie in Wall Street facessero ricorso a una tecnica un po' troppo spiccia per valutare i candidati all'assunzione e saggiarne la velocità di reazione in situazioni di rischio [5]. Come è noto, molti nordamericani sono tuttora affascinati dall'epopea del Far West e dalle armi, nonché dalla roulette russa, gioco reso popolare dal film // *cacciatore* di Michael Cimino con una memorabile interpretazione di Robert De Niro.

"Giochiamo alla roulette russa" – esordiva il fantasioso reclutatore – "Giovanotto, sei legato alla sedia. Qui c'è una pistola a tamburo, a sei colpi, tutti vuoti. Introduco due pallottole in camere adiacenti. Chiudo il cilindro e lo faccio ruotare. Ti punto la pistola alla testa e premo il grilletto. Click. Sei ancora vivo. Che fortuna! Ora, prima di discutere il tuo curriculum, tirerò nuovamente il grilletto: preferisci: a) che faccia ruotare prima il tamburo, o b) che prema subito il grilletto?".

Non è certamente opportuno cercare di risolvere il problema, venato di un umorismo un po' macabro, per via sperimentale: con il ragionamento basato sulle probabilità emerge che è più conveniente (*sic!*) farsi sparare un altro colpo subito, piuttosto che dopo aver fatto girare il tamburo.

Infatti, essendoci due pallottole, quattro camere su sei sono vuote. Ogni volta che l'intervistatore ruota il cilindro e preme il grilletto, si hanno quattro su sei, o due su tre, probabilità di sopravvivere, cioè il 67%.

I quattro colpi vuoti sono tutti contigui. Se all'inizio l'intervistatore preme il grilletto e il giovanotto sopravvive, significa che uno delle camere vuote gli ha salvato la vita. Per tre di queste quattro camere vuote, la camera successiva

sarà ancora vuota. La rimanente (quarta) camera vuota è proprio prima di una delle due pallottole. Questo significa che, *se non si ruota il cilindro*, si hanno tre su quattro probabilità di salvare la pelle, cioè il 75%. Il 75% è maggiore del 67%, perciò la strategia ottimale per il giovane intervistato è di chiedere di non ruotare più il tamburo.

### 3.2. Il paradosso del razzista, ovvero quando l'ignoranza (statistica) genera paura

Il ragionamento per risolvere correttamente questo caso e il successivo utilizza la regola di Bayes, approfondita nel riquadro 1.

In una città vive un nero ogni dieci abitanti (la probabilità di essere nero è del 10%). Una persona denuncia di essere stata aggredita da un uomo di pelle scura. La polizia simula più volte la scena, nelle stesse condizioni di luce, con persone diverse nella parte dell'aggressore. Nell'80% dei casi l'uomo indica correttamente se il simulatore è bianco o nero (cioè, il test è preciso all'80%). Ma nel 20% si sbaglia. Domanda: quant'è giustificata la sua convinzione che il vero colpevole sia nero?

All'80%, sarà la risposta più frequente. Invece, non è così! Per fare una stima corretta bisogna tener conto di quanti neri ci sono in città. Il 10%, abbiamo detto. Dunque, su 100 persone 10 sono nere. Di queste, 2 verranno identificate erroneamente come bianche e 8 correttamente come nere. Dei rimanenti 90 bianchi, 18 verranno identificati erroneamente come neri. La probabilità che l'aggressore sia nero è dunque solo di  $8/26$ , dal momento che ne identifica 26 come neri ma solo 8 lo sono effettivamente. Il valore  $8/26$  è quasi il 31%, altro che l'80%!

Si aggiunga che se i neri fossero non il 10% ma, per esempio, l'1% (cifra assai più vicina alla realtà degli immigrati in Italia) la probabilità di avere ragione per l'agredito crollerebbe a poco meno del 4%. Invece, con l'aumentare del numero dei neri le probabilità dell'agredito di avere ragione aumenterebbero significativamente. Fin quasi alla certezza assoluta. Ma allora egli vivrebbe in una città in cui tutti (a parte lui) sono neri.

Tirando le somme, la lezione da trarre è che dobbiamo guardare ai fatti, alla scienza, non alla paura.

Questo paradosso ci porta direttamente alla "fallacia dell'accusa", un caso giudiziario esemplare nella giurisprudenza USA e, quindi, oggetto di studio nelle scuole di legge statunitensi.

### 3.3. "Lo Stato di California contro i Collins", ovvero la fallacia dell'accusa

*People v. Collins*, un procedimento legale in California nel quale si è fatto uso del calcolo delle probabilità, fornisce un eccellente esempio di come caratterizzando in modo impreciso il contesto del problema possa portare a una decisione errata [7].

La storia è rapidamente detta. Un'anziana, mentre camminava in un viale di un sobborgo di Los Angeles, venne assalita e derubata. Un testimone dichiarò di

aver visto una donna bianca con capelli biondi raccolti a coda di cavallo correre per il viale ed entrare in un'auto (parzialmente) gialla guidata da un nero con baffi e barba. Una coppia – i Collins, appunto – corrispondente all'incirca alla descrizione fu arrestata e successivamente processata. Al processo l'accusa convocò, come teste, un giovane docente di probabilità della sede locale (Long Beach) dell'Università statale di California<sup>5</sup>, che prese in considerazione le sei caratteristiche, indicate dall'accusa stessa: uomo nero con barba – probabilità di un 1/10; uomo con baffi – 1/4; donna con capelli biondi – 1/3; donna con coda a cavallo – 1/10; automobile parzialmente gialla – 1/10; coppia interetnica in auto – 1/1.000. Applicando la regola del prodotto, il professore ottenne immediatamente la probabilità di 1/12.000.000 che la coppia fosse in possesso delle caratteristiche indicate dalla testimone.

La giuria emise un verdetto di colpevolezza, confermata in appello, ma il ricorso finale alla Corte Suprema della California rovesciò il giudizio, a causa dell'insufficiente fondatezza nei valori numerici dei sei fattori di colpevolezza e l'ovvia mancanza della loro indipendenza statistica.

Ma c'è un elemento ancora più importante. Anche se la conclusione dell'accusa fosse stata corretta da un punto di vista aritmetico (valori realistici e indipendenza statistica), ciò non avrebbe provato irrefutabilmente la colpevolezza dei Collins. Il punto chiave non è la probabilità che la coppia accusata corrisponda alla descrizione della testimone, ma la probabilità che *vi siano* altre coppie corrispondenti alla descrizione. La probabilità di almeno un'altra coppia, su 12 milioni, in linea con la descrizione risulta essere almeno del 41% (si può usare la regola di Bayes con la distribuzione di probabilità binomiale o, essendo il numero delle coppie molto alto e 1 su 12 milioni molto piccolo, l'approssimazione con la funzione di distribuzione di probabilità di Poisson – si vedano [14], [15] e anche il riquadro 1). Questo secondo calcolo fu condotto da Laurence Tribe [12], allora giovane assistente (*law clerk*) del giudice capo. Tribe avrebbe poi intrapreso una brillante carriera accademica a Harvard, avendo come studente e assistente Barack Obama, oltre a numerosi altri allievi di successo.

L'ovvia morale della storia è che una scorretta impostazione del problema non può che condurre a decisioni sbagliate.

C'è però un "però". Il procedimento basato sulla regola di Bayes è indubitabilmente convincente e senza pecche dal punto di vista probabilistico, a differenza del metodo che assume l'indipendenza statistica delle probabilità singole e seguito in prima istanza. Tuttavia, anche la decisione della Suprema Corte sarebbe potuta essere diversa, qualora fossero emerse dal dibattito altre evidenze o prove significative contro i Collins, aumentandone così la probabilità *a posteriori* di colpevolezza.

<sup>5</sup> Parlando di curiose e fortuite coincidenze, è interessante notare [12] che l'accusatore Ray Sinetar era cognato di Ed Thorp il geniale matematico, amico di Claude Shannon. Abbiamo già incontrato Thorp nel lavoro [13] sul primo vero computer "indossabile" realizzato per vincere alla roulette, e sulla teoria dell'informazione applicata ai giochi d'azzardo. Forse, l'ingenuità dell'accusatore fu di rivolgersi a un docente poco esperto, anziché al proprio cognato, ben più versato nelle probabilità.

Si può notare che il metodo di calcolo qui adottato è lo stesso del paradosso del razzista (paragrafo 3.2) e dei test medici nell'articolo [1]. Proprio come i risultati dei test medici possono essere equivocati se non si applica (correttamente) Bayes, la fallacia dell'accusatore riguarda il fraintendimento di informazioni probabilistiche: l'errore risulta dallo scambio della "probabilità di essere in possesso delle caratteristiche di colpevolezza" con la "probabilità di essere colpevoli, stante il fatto che si presentano le caratteristiche di colpevolezza".

Nel 1994 il Federal Judicial Center statunitense ha pubblicato e distribuito a tutti i giudici federali il *Reference Manual on Scientific Evidence*, una corposa guida introduttiva all'applicazione di metodi scientifici in campo forense. Il *Reference Manual* è rapidamente diventato un best seller, tant'è che oggi è giunto alla terza edizione. Non risulta che qualcosa di analogo sia stato predisposto per i magistrati italiani.

## 4. L'approccio bayesiano

*Puoi trovare la verità con la logica solo se l'hai già trovata senza di essa*  
Gilbert K. Chesterton



Thomas Bayes (1701 - 1761)

Come detto, il teorema – o regola – di Bayes è uno strumento potente di calcolo, consentendo di aggiornare (ovviamente in termini probabilistici) l'informazione che aumenta sulla base dell'esperienza. Infatti, anche se al crescere delle osservazioni a favore, un evento non diventa sempre più vero, diventa tuttavia "più verosimile", cioè più probabile.

Il teorema di Bayes costituisce il punto di partenza per l'approccio soggettivo alle probabilità – o *Bayesianism* (ragionamento bayesiano) come si tende a dire oggi – basato sulla interpretazione della probabilità come "grado di convinzione (soggettiva)". L'origine è bensì la regola bayesiana (usata da tutti gli esperti del settore), ma il bayesianesimo va

oltre il metodo di calcolo, essendo inteso come una concezione paradigmatica delle probabilità: il "probabilismo". In questo ambito, tuttora insuperabili sono i due volumi *Teoria delle probabilità* (1970) di Bruno de Finetti, grande matematico del Novecento.

### 4.1. L'analisi bayesiana dei big data

Saper prendere decisioni fondate su criteri probabilistico-bayesiani è un mezzo utilissimo per governare – e non subire – l'incertezza nei diversi campi di applicazione. A questo scopo è indispensabile separare ciò che è

“segnale” (informazione utile) da quanto è “rumore” (disturbo), obiettivo primario di ogni tipo di comunicazione. Con tecniche sia qualitative sia quantitative, Nate Silver, statistico ed esperto di politica, ha correttamente previsto l'esito elettorale in tutti i 50 Stati delle ultime elezioni presidenziali USA nel 2012 [16], dimostrando le potenzialità applicative della metodologia [17]. Tant'è che, secondo molti opinionisti, i big data associati all'analisi bayesiana sono da ritenere i veri vincitori delle ultime elezioni americane: Obama e il suo staff hanno saputo leggere nel cuore degli elettori che interagivano tra di loro – tramite personale computer e/o smartphone – scambiandosi pareri e opinioni. Le informazioni utili prodotte da queste interazioni sono state in quantità impressionante.

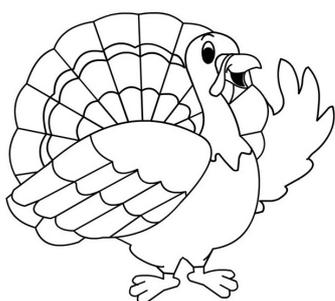
Se da un lato algoritmi *data driven* – alimentati cioè dalle masse imponenti di dati – dimostrano di poter essere realizzati con sempre maggiore efficacia, dall'altro lato si rende necessario lo sviluppo di nuovi strumenti matematici. La disciplina detta *analytics* (che potremmo tentare di rendere in italiano con “analiticità”), essendo rivolta a scoprire e sfruttare le regolarità nei dati, si basa sull'applicazione di statistica, programmazione software, ottimizzazione matematica.

Nel trattare i big data è necessario un pacchetto di competenze di analytics quali: 1) basi dati per gestire e visualizzare masse imponenti di dati non strutturati; 2) conoscenza di tecniche di apprendimento automatico, di reti neurali e di inferenza statistica; 3) modelli predittivi per valutare l'affidabilità delle conclusioni. Si comprende allora come il paradigma bayesiano, e, casomai, la legge di Benford (cfr. il paragrafo 6), possano avere un ruolo non marginale in questo nuovo importante settore.

#### 4.2. C'era una volta un tacchino “induttivista”...

*Hope for the best, prepare for the worst*

Esempio di pragmatismo British



William Feller [14] raccomanda, giustamente, grande cautela nel caricare di significati metafisici la regola di Bayes (si veda anche il riquadro 1). A questo proposito, Feller cita Platone che con argomentazioni di tipo induttivo cercava di dimostrare l'esistenza di Atlantide, nonché quei filosofi settecenteschi che pretendevano di demolire la meccanica newtoniana.

Un istruttivo esempio di azzardata applicazione filosofica è la metafora del “tacchino induttivista”

nella forma ideata da Bertrand Russell.

La storia<sup>6</sup> riguarda un tacchino sempre più convinto della benevolenza dell'allevatore che lo nutre, fino a quando questi non gli tira il collo. Fin dal primo giorno il tacchino osserva che, nell'allevamento dove è stato portato, gli viene

<sup>6</sup> Il testo seguente è adattato da Wikipedia.

dato il cibo alle 9 del mattino. E da buon induttivista non è precipitoso nel trarre conclusioni dalle sue osservazioni; ne compie molte altre in una vasta gamma di circostanze: di mercoledì e di giovedì, nei giorni caldi e nei giorni freddi, sia che piova sia che splenda il sole. Così arricchisce ogni giorno il suo elenco di una proposizione osservativa nelle condizioni più disparate, finché non è pienamente soddisfatto. Allora elabora un'inferenza induttiva come questa: "Mi danno il cibo alle 9 del mattino". Sfortunatamente, però, la sua conclusione si rivela incontestabilmente falsa alla vigilia del *Thanksgiving Day*, quando finisce in pentola, cotto a puntino.

Aveva già capito tutto Ennio Flaiano che nel *Diario degli errori* commentava amaramente: "Aumentano gli anni e diminuiscono le probabilità di diventare immortali".

Con logica opposta alla logica dimostrativa, i catastrofisti, millenaristi, apocalittici di tutte le latitudini non tengono conto dei sistematici fallimenti delle loro profezie sulla fine del mondo, evento (quasi) certo, ma non prevedibile *a priori*. La fine del mondo è stata vaticinata e con impressionante regolarità nel corso della storia umana, sempre con grande cassa di risonanza da parte dei mezzi di comunicazione di massa: oltre agli organi del corpo, si è forse evoluta nell'umanità l'esigenza di pronosticare il futuro senza argomentazioni valide. Coloro che annunciano catastrofi cosmiche diventano interessanti soltanto se si oppongono alla ragione. Anche una delle ultime profezie, quella attribuita (erroneamente) all'ignaro popolo maya, è andata, com'era del tutto ovvio, disattesa. Sembra ancora quanto mai attuale l'ammonimento di Orazio: "Non cercar di sapere quel che avverrà domani". Corre peraltro l'obbligo di osservare che i profeti dell'apocalisse nel lunghissimo termine avranno sicuramente ragione, quando il mondo finirà.

In sintesi, l'approccio basato sull'induzione non offre certezze assolute, ma consente valutazioni attente, oculute e pragmatiche sulla base degli assiomi della probabilità. Russell e molti altri hanno correttamente evidenziato i limiti del ragionamento esclusivamente basato sull'esperienza. Ma usare la mancanza di certezze assolute per ricusare le argomentazioni scientifiche sarebbe un limite ancora peggiore, perché non consentirebbe alcun progresso. L'assunto corretto è che l'esperienza è madre di scienza e che l'uso della ragione si può migliorare, purché tenacemente e costantemente esercitato. Il probabilismo ben temprato con Bayes e strumenti simili ci offre modelli interpretativi della realtà, che non si stupiscono di cigni neri, fenomeni naturali catastrofici, atti terroristici, crolli economico-finanziari, vincite strabilianti al gioco d'azzardo e altri eventi estremi, sia positivi sia negativi.

### 4.3. Sulla percezione dei rischi

L'approccio bayesiano è fondamentale anche nella valutazione dei rischi. "Il rischio è, tecnicamente, la probabilità che si verifichi un evento indesiderato. Quanto più grande è la probabilità e quanto più è indesiderato l'evento, maggiore è il rischio" è la definizione semplice, elegante, ineccepibile, proposta da Simona Morini [18].

Anche se il rischio è vissuto nell'opinione comune con scarsa o nulla razionalità, i tecnici, al contrario, sono capaci di articolare applicazioni e innovazioni che riducono i rischi, senza bisogno di ricorrere al famigerato "principio di precauzione" tanto caro ad ambientalisti, filosofi continentali e neoluddisti in genere. Il principio di precauzione, nella sua formulazione più radicale, condurrebbe alla stasi completa perché pretende la garanzia dell'assenza completa di rischi. Applicandolo alla lettera, non dovremmo neppure mangiare o uscire di casa.

Invece, l'analisi dei rischi, basata su una ponderazione oculata delle probabilità (probabilismo, *Bayesian assesment*, *rational critical thinking*), è quanto è necessario per contemperare tanto lo sviluppo e la crescita dell'economia quanto l'attenzione alla natura. I rischi si possono – e si devono – controllare, mitigare, minimizzare, ma non certo azzerare.

A protezione dai rischi ci sarebbero le assicurazioni, tuttavia: "Ci sono cose peggiori della morte. Se hai passato una serata con un assicuratore, sai esattamente cosa intendo", ammonisce un pungente Woody Allen.

## 5. L'ubiquità del numero e di Eulero: la regola del 37%

Forse il lettore sarà sorpreso, tanto quanto lo sono stato io, a scoprire come il numero irrazionale  $e = 2,7182818\dots$  si materializzi, quasi per magia, in problemi di probabilità, apparentemente diversi: calcolo del *throughput* in sistemi di telecomunicazione; scelta del migliore candidato (segretaria, moglie/marito,...); estrazione di due carte successivamente sempre differenti da due mazzi diversi; ecc. La ragione di base è che il numero  $e$  fa capolino in un gran numero di relazioni matematiche (riquadro 1). Nella fattispecie, si presenta laddove per molti problemi in ambiti probabilistici diversi il calcolo combinatorio è uno strumento fondamentale e, quindi, unificante. Questo calcolo, riguardando ordinamenti, configurazioni e combinazioni di elementi distinti, risponde a domande del tipo: "In quanti modi è possibile...?", "Quanti/quante sono...?". Ebbene, possono risultare tante, tantissime combinazioni che, non raramente, sono in numero sorprendentemente alto (riquadro 2).

Né si deve dimenticare la relazione, giudicata da molti la più bella della matematica, ovvero l'identità di Eulero:  $e^{i\pi} + 1 = 0$ , dove  $i$ , per definizione, è l'unità immaginaria,  $i = \sqrt{-1}$  ovvero  $e^{i\pi} = -1$ . Da quest'ultima identità, che rappresenta la rotazione di un vettore di  $\pi$  radianti su un piano cartesiano<sup>7</sup>, discende la metodologia comunemente impiegata in elettrotecnica, elettronica e telecomunicazioni per l'analisi o la sintesi di sistemi. Si tratta del ben noto calcolo operativo basato sulla notazione di Oliver Heaviside, dove però la  $i$  è solitamente sostituita dalla  $j$  per evitare confusioni con il simbolo della corrente elettrica.

<sup>7</sup> In probabilità, oltre a  $e$ , anche  $\pi$  emerge con impressionante frequenza. Per esempio, il "problema dell'ago di Buffon" stabilisce una relazione tra un esperimento puramente casuale, cioè una simulazione aleatoria, e  $\pi$ . (Il conte di Buffon è il grande naturalista francese ricordato anche per la lapidaria sentenza: "Le style c'est l'homme même – Lo stile è l'uomo stesso").

### 5.1. Sistemi di comunicazione Aloha

I sistemi Aloha si basano su protocolli di comunicazione per l'accesso multiplo a un mezzo condiviso da parte di  $n$  utilizzatori. Sono stati proposti e sviluppati – in particolare da Norman Abramson – negli anni Settanta del secolo scorso per consentire l'accesso radio alle sedi dell'Università delle Hawaii, sparpagliate su diverse isole. La variante a slot del protocollo è quella che garantisce la massima efficienza (o throughput), riportato in tabella 2 [19].

Il calcolo, che qui vi risparmiamo, facendo elegante uso degli strumenti indicati nel riquadro 1 – distribuzione binomiale e formula limite per la  $e$  – conduce a un throughput massimo del 37% circa, precisamente  $1/e = 0,367879\dots$ , allorché il numero di stazioni del sistema tende a infinito. Con 100 stazioni l'efficienza massima è un po' superiore, cioè 0,370, e 0,372 con 50. Un numero di stazioni anche solo di qualche decina fornisce prestazioni vicine al caso (peggiore) di infinite stazioni. Inoltre, sempre in [19] è dimostrato che, qualsiasi sia  $n$ , il massimo è raggiunto quando il numero medio di tentativi di trasmissione da parte delle stazioni è 1.

Numero $n$ di stazioni	1	2	5	10	20	50	100	$\infty$
Throughput massimo	1	0,5	0,41	0,387	0,377	0,372	0,370	0,368

**Tabella 2.** Protocollo Slotted Aloha: throughput massimo al crescere del numero  $n$  di stazioni. (Da [19]).

Il throughput massimo del protocollo, al variare di  $n$ , è anche calcolabile analiticamente mediante la formula  $(1 - 1/n)^{(n-1)}$  [19], il cui limite (per  $n$  tendente all'infinito) è appunto  $1/e$ .

### 5.2. Il problema della dote

Si tratta del problema (della dote o della segretaria o dell'anima gemella, ecc.) di sapersi fermare al momento giusto in una ricerca sequenziale (strategia di *optimal stopping*), problema affrontato da molti studiosi – fra cui il noto esperto di giochi matematici Martin Gardner.

Consideriamo la versione data, come il solito, da Mosteller [20]. Un re, per provare la saggezza di un suo giovane consigliere, gli offre l'occasione di sposare la damigella di corte in possesso della dote maggiore. L'ammontare di tutte le doti è scritto su altrettanti foglietti di carta che vengono opportunamente mischiati. Un foglietto è estratto a sorte e il consigliere deve scegliere se la corrispondente dote sia la più alta o meno. Decidendo di sì, prende in sposa la damigella (con la relativa dote) se coglie nel segno; altrimenti, non ottiene alcunché. Se non opta per l'ammontare scritto sul primo foglietto, può

scegliere o rifiutare il successivo, e così via finché non sceglie una damigella oppure l'elenco è giunto al termine. Naturalmente, una volta che il consigliere decide di andare avanti, non può più tornare a una dote già rifiutata. In tutto, partecipano 100 nobili fanciulle, ciascuna con una differente dote: qual è la scelta ottimale da seguire per massimizzare la probabilità che la damigella prescelta sia la più ricca?

In generale, la questione è se vi sia o no una chance maggiore di 1/100, essendo cento le damigelle. Il più delle volte, si fanno poche prove prima di scegliere, quando addirittura non ci si ferma alla prima che capita, rischiando però grosso. La soluzione del problema – basata sulla tabella 3 – pur elegante, non è intuitiva né facilmente prevedibile.

$n$	$s$	probabilità massima	$n$	$s$	probabilità massima
1	1	1,00	10	4	0,399
2	1	0,50	20	8	0,384
3	2	0,50	50	19	0,374
4	2	0,458	100	38	0,371
5	3	0,433	$\infty$	$n/e$	$1/e$ (~ 0,368)

**Tabella 3.** Problema della dote con  $n$  candidate: valori  $s$  di scelta ottimale e corrispondente probabilità massima di vincita. (Da [20]).

La tabella in prima colonna riporta il numero  $n = 1, 2, 3, \dots$  di doti ("candidate" a essere prescelte), in seconda la candidata  $s$  corrispondente alla probabilità massima di successo, la quale è espressa nella terza colonna. Da essa, risulta chiara la strategia ottimale: per  $n = 100$ , si lasci passare la 37° candidata e si scelga poi la prima dote che risulta la più alta rispetto a tutte le precedenti.

Per valori di  $n$  ancora maggiori la regola – o algoritmo di scelta – è di far passare approssimativamente la frazione  $1/e$  della distinta e scegliere poi la dote migliore di tutte quelle già viste: la probabilità di vincita è prossima a  $1/e$ , il massimo teoricamente possibile.

Questo gioco, che a prima vista sembrerebbe garantire solo una probabilità di vincere pari a  $1/n$ , ha un esito sorprendente, in quanto la semplice strategia delineata assicura una probabilità di vincita di oltre  $1/3$  anche per valori grandissimi di  $n$ .

Naturalmente, la conseguenza di questi risultati è che un'analisi accurata e attenta nella scelta del partner può ripagare coloro che sono tuttora single. Come diceva Oscar Wilde, la felicità di un uomo sposato dipende dalle donne

che non ha sposato (in modo meno sessista, oggi si direbbe che la felicità di chi è sposato dipende da coloro che non ha sposato).

Ancora una volta è opportuno ribadire che massimizzare la probabilità non significa la *certezza* di vincita (si ricordi anche il problema dell'auto e delle tre porte in [1]). E poi, Roberto "Freak" Antoni – già componente di spicco del gruppo rock demenziale degli Skiantos – non ci ha forse spiegato che "la fortuna è cieca, ma la sfortuna ci vede benissimo"? Va bene, non diceva proprio la "sfortuna", ma il senso è quello.

### 5.3. "To match" or "not to match"?

Questo rientra nella categoria dei problemi di *match* (accoppiamento, corrispondenza, abbinamento) o *coincidence*, per esempio, in giochi di carte [14], [20]. Gli accoppiamenti possono presentarsi in ciascuna delle  $n$  posizioni e in diversi posti simultaneamente. Il problema risale a Pierre Rémond de Montmort (1708), che lo risolse nel 1713, quasi contemporaneamente a Nicholas Bernoulli; fu poi generalizzato da Laplace e molti altri studiosi.



In una partita a carte, due amici con due normali mazzi di 52 carte, accuratamente mescolati, girano ciascuno una carta sul tavolo. Procedono così sino alla fine del mazzo. Se durante tutto lo svolgimento del gioco non escono mai contemporaneamente due carte uguali, tanto in seme quanto in valore, vince chi ha puntato su *no-match*; se invece, almeno una volta, escono due carte esattamente uguali, vince l'altro, che ha puntato su *match*. Su quale evento conviene puntare?

*Soluzione.* Di  $n!$  permutazioni di  $n$  oggetti, quelle complete o "dismutazioni" (in inglese *derangement*, confusione)<sup>8</sup> sono circa  $n!/e$ , mentre nelle restanti si presenta almeno una coincidenza. Quindi scommettendo su *no-match* si vince con probabilità  $e^{-1} = 0,36789\dots$ , mentre la probabilità di vincere puntando su *match* è maggiore, cioè  $1 - e^{-1} = 0,63212\dots$

L'esperimento precedente può essere formulato anche in altri modi folcloristici. In particolare, i due mazzi possono essere sostituiti da  $n$  lettere e altrettante buste, sulle quali una segretaria per dispetto del principale si diverte a realizzare associazioni completamente casuali. In alternativa, si possono immaginare i cappelli depositati in un guardaroba, poi mescolati e distribuiti casualmente agli ospiti. Se una persona ottiene il proprio cappello, si parla di abbinamento corretto.

È interessante analizzare la dipendenza da  $n$  della probabilità di *match*, per esempio, come si rapporta il caso di 8 persone con quello di 10.000. Questa probabilità, fatto assai sorprendente, è praticamente indipendente da  $n$  e vale, in prima approssimazione, un po' meno di  $2/3$  [14].

<sup>8</sup> Dati  $n$  elementi, una permutazione completa (dismutazione, derangement) è una permutazione tale che nessuno degli elementi appaia nella posizione originale (<http://en.wikipedia.org/wiki/Derangement>).

#### 5.4. A che giova “strozzare” strade e fiumi?

In tutti i problemi di traffico – stradale, telefonico, accesso a un servizio, ecc. – il punto di partenza per valutazioni analitiche è la distribuzione di Poisson, che ruota attorno alla  $e$  di Eulero (riquadro 1). In particolare, molti di noi si lamentano di avere spesso provato, in autostrada o in città, il disagio dovuto a un restringimento di carreggiata che fa passare da due corsie a una sola. Come succede, per



esempio, in una rotonda, causando nelle ore di punta code lunghissime in tutte le direzioni e in ogni verso. Questa è la ragione per cui in molte grandi città gli automobilisti hanno la sensazione che la rotonda sia un intoppo messo lì apposta per farli arrivare tardi al lavoro o a cena.

Stupefacente è la pervicace ostinazione degli amministratori pubblici nell'affrontare senza adeguati criteri progettuali i problemi di viabilità e trasporto, quando sembrano ignorare un principio semplice ma fondamentale. Se in un punto di una qualsiasi rete stradale si crea una strozzatura – temporanea o permanente – e qualora il numero di veicoli che arrivano nell'unità di tempo sia superiore al numero dei mezzi smaltibili nello stesso tempo, la coda non può che continuare ad allungarsi. L'effetto, inevitabilmente, è una congestione che si propaga a macchia d'olio nella rete.

Eppure, sarebbero sufficienti poche semplici cognizioni di teoria delle code e di congestione del traffico [15], [19] per non torturare l'automobilista e non inquinare più del necessario l'aria respirata.

Considerazioni analoghe si applicano ai detriti sia naturali sia artificiali che occupano l'alveo di fiumi e torrenti montani provocando, con impressionante periodicità, alluvioni e disastri (davvero imprevedibili?) dopo poche ore di pioggia, sia pure intensa. Nonostante l'innegabile antropizzazione selvaggia, sarebbe auspicabile che si cominciasse almeno col tenerne puliti i letti eliminando strozzature e intoppi che impediscono il regolare defluire dell'acqua, evitando così che anche un rigagnolo, apparentemente insignificante, possa provocare danni enormi.

Beninteso, la manutenzione preventiva da sola non basta; gli interventi indicati sono certamente indispensabili – e non sono quasi mai fatti – ma rappresentano non più che rimedi palliativi insufficienti per risolvere il problema del dissesto dei territori interessati. In altri termini, per essere risolutivi è necessario intervenire radicalmente e organicamente sull'intero sistema idrogeologico con opere di ingegneria, non soltanto idraulica, commisurate ai rischi.

## 6. Legge di Benford e sequenze di Fibonacci

Uno dei misteri più avvincenti della matematica, in quanto sembra sfuggire all'intuizione e al senso comune (come il paradosso del compleanno illustrato in [1]), riguarda la legge di Benford, o legge della prima cifra<sup>9</sup>. Essa è attribuita al fisico Frank Benford, che la formulò nel 1938, analizzando sfilze di dati numerici (*dataset*) provenienti dai più disparati ambiti applicativi. Ma già quasi cinquant'anni prima, eravamo nel 1881, era stata scoperta dall'eccentrico matematico e astronomo Simon Newcomb. Nel suo articolo (di due paginette apparse su *American Journal of Mathematics*), Newcomb esordisce facendo notare che nei prontuari dei logaritmi le pagine con le tabelle che hanno "1" come prima cifra sono molto più consuete delle altre, probabilmente perché usate più spesso: "That the ten digits do not occur with equal frequency must be evident to any one making much use of logarithmic tables, and noticing how much faster the first pages wear out than the last ones. The first significant figure is oftener 1 than any other digit, and the frequency diminishes up to 9".

La legge di Benford corrisponde alla distribuzione di probabilità (discreta) che attribuisce alla cifra  $d$  la probabilità  $p_d = \log_{10}(d+1) - \log_{10} d = \log_{10}(1 + 1/d)$ , con  $d = 1, 2, \dots, 9$ . Queste probabilità valgono

$$p_1 = 0,301 \quad p_2 = 0,176 \quad p_3 = 0,125 \quad p_4 = 0,097$$

$$p_5 = 0,079 \quad p_6 = 0,067 \quad p_7 = 0,058 \quad p_8 = 0,051 \quad p_9 = 0,0456$$

La distribuzione  $\{p_d\}$  differisce, quindi, in modo significativo dalla distribuzione uniforme con pesi  $1/9 = 0,111\dots$

Sfruttando le proprietà elementari dei logaritmi è agevole determinare la funzione di distribuzione di probabilità (o cumulativa) della prima cifra  $D$  considerata variabile aleatoria

$$P(D \leq d) = \log_{10}(d+1), \text{ con } d = 1, 2, \dots, 9$$

Feller dimostra in [15] che  $\{p_d\}$  è plausibile come distribuzione della prima cifra significativa per numeri presi casualmente da una gran mole di costanti fisiche o di dati sperimentalmente osservati. Molto chiara è anche l'evidenza empirica della legge, esemplificata in [9]. Quella di Benford è, inoltre, l'unica distribuzione sulle cifre significative *invariante* rispetto ai cambiamenti di scala. In altri termini, se i dati sottostanti sono tutti moltiplicati per una stessa costante non nulla (per esempio nella conversione da un sistema metrico a un altro o quando i valori monetari sono espressi in un'altra valuta), i dati nella nuova scala devono soddisfare esattamente la stessa legge.

<sup>9</sup> Da non confondere con la legge della controversia: "La passione è inversamente proporzionale alla quantità di informazione di cui si dispone" (Timescape, 1980) del fisico e scrittore di fantascienza Gregory Benford.

Un esperto di statistica potrebbe quindi scommettere, con probabilità a suo favore, che un numero scelto a caso nelle tavole di logaritmi, nella dichiarazione dei redditi o in qualsiasi compendio di numeri casuali, abbia la prima cifra significativa minore di 5. Al contrario, uno scommettitore ingenuo, puntando sull'uniformità delle nove cifre (tutte le cifre equiprobabili), si aspetterebbe che la probabilità di una cifra minore o uguale a 4 sia 4/9: in realtà questa probabilità risulta prossima a 0,7. (Ricordate: a lungo andare, il banco vince sempre, in tutti i giochi d'azzardo!).

Non è sorprendente che i funzionari dell'IRS (*Internal Revenue Service*), il servizio delle entrate del Governo federale degli USA – l'analogo della nostra Agenzia delle entrate – verifichino regolarmente se i dati dichiarati dai contribuenti siano basati sulla legge di Benford anziché sulla distribuzione uniforme. Quando capita il secondo caso, viene loro più di un dubbio – se non la certezza – riguardo alla veridicità della dichiarazione. Una ricorrente leggenda metropolitana narra che anche Bill Clinton sia stato colto in fallo. In realtà, l'analisi delle sue dichiarazioni dei redditi dal 1977 al 1992 ha rilevato che i numeri sono sì un po' "aggiustati", però senza evidenza di frode.

Un impensabile accordo con la legge è fornito dalla successione dei numeri di Fibonacci (in origine, Leonardo da Pisa), definiti dalla relazione

$$F_n = F_{n-2} + F_{n-1}, \text{ per } n \geq 3, \text{ con } F_1 = 1 \text{ e } F_2 = 1$$

Ne consegue che

$$F_n = 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, \dots$$

Per esempio, considerando i primi 100, 1.000, 10.000 numeri di Fibonacci, la distribuzione delle nove cifre risulta come nella tabella 4 [21].

Prima cifra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Percentuale su 100	30	18	13	9	8	6	5	7	4
Percentuale su 1.000	30,1	17,7	12,5	9,8	8,0	6,7	5,6	5,3	4,5
Percentuale su 10.000	30,1	17,6	12,5	9,7	7,9	6,7	5,8	5,1	4,6
Legge di Benford	30,1	17,6	12,5	9,7	7,9	6,7	5,8	5,1	4,6

**Tabella 4.** Frequenza (in per cento) della cifra iniziale nei primi 100, 1.000 e 10.000 numeri di Fibonacci. (Da [21]). Per comodità di confronto si riportano anche i valori di frequenza di Benford.

È da ricordare anche che

$$\lim_{n \rightarrow \infty} F_n / F_{n-1} = \Phi = (1 + \sqrt{5}) / 2 = 1,61803\dots$$

dove  $\Phi$  – talora denotato con la minuscola  $\phi$  o anche con *Phi* – è il rapporto aureo, simbolo scelto in onore dello scultore greco Fidia, rappresentando la lettera iniziale del suo nome scritto con l'alfabeto greco:  $\Phi\epsilon\iota\delta\acute{\iota}\alpha\varsigma$ . Alcune statue realizzate da Fidia per il Partenone di Atene seguono il canone aureo. Tuttavia non esiste documentazione storica la quale accerti che la scelta dello scultore sia stata voluta scientemente.

Un altro risultato importante, derivabile da una delle tante formule attribuite a Jacques Binet (e disponibili su Wikipedia), è che l' $n$ -esimo numero di Fibonacci uguaglia  $\Phi^n / \sqrt{5}$  arrotondato all'intero più vicino. Vi sono undici numeri di Fibonacci nell'intervallo 1-100, ma solo tre in totale nei tre successivi intervalli di cento: i numeri di Fibonacci, in definitiva, seguono una legge di potenza.

Anche la successione dei numeri primi, pur non soddisfacendo la legge di Benford in senso stretto, segue una sua generalizzazione [22].

È possibile estendere la legge alle cifre dopo la prima. La distribuzione della cifra  $m$ -esima, all'aumentare di  $m$ , approssima rapidamente la distribuzione uniforme con il 10% di ognuna delle dieci cifre. La quarta cifra ( $m = 4$ ) è già sufficiente per approssimare una distribuzione uniforme, infatti, "0" appare nella quarta cifra il 10,02% delle volte, mentre "9" vi appare per il 9,98%.

L'anomala e curiosa stranezza della prima cifra viene quasi equiparata a una misteriosa legge di natura; i tentativi per spiegarla vanno dal soprannaturale alla teoria matematica della misura. Considerazioni alla Benford trovano applicazione in molti settori, dal rilevamento di informazioni numeriche e immagini artatamente manipolate alla partizione della memoria nei computer. In generale, hanno grande importanza nella diagnosi di modelli matematici in biologia, economia, finanza, ecc., in cui si richieda lo studio della prima cifra di grandi moli di dati di origine casuale.

Il numero di pubblicazioni sull'argomento è conseguentemente molto cresciuto negli ultimi anni. Fortunatamente i conduttori di programmi pseudoscientifici, pronti a servizi sensazionalistici su mistero e paranormale, non sembrano essersi ancora accorti della legge – o, forse, non l'hanno capita. Pertanto, ci hanno risparmiato i travisamenti e le banalizzazioni esoteriche sull'argomento solitamente propinati per aumentare l'audience.

La ragione del perché la legge di Benford si manifesti rimane, peraltro, un po' sfuggente. Anche se al lettore versato nella teoria statistica delle comunicazioni non sarà passato inosservato che la formula  $\log(1 + 1/d)$  è strutturata come la capacità, definita da Claude Shannon, di un canale di comunicazione AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), disturbato, cioè, da rumore gaussiano a spettro di frequenza costante. Il modello AWGN risulta dall'applicazione del teorema del limite centrale in teoria delle probabilità. Sembra, perciò, possibile

ipotizzare che proprio in questa analogia risieda l'intrinseca ragione "fisico-matematica" per legittimare la legge di Benford. In altri termini, il criterio generale sembra essere che ogni sfilza di numeri a massima entropia, nel senso di Shannon, segua una distribuzione in accordo con tale legge.

## 7. Conclusioni

*Al mondo ci sono tre tipi di persone: quelle che sanno contare e quelle che non sanno contare*

Ian Stewart

*Dove si insegna, ci sia il divertimento*

Michel Eyquem de Montaigne

L'Italia appare oggi poco competitiva sulla scena mondiale, benché, ancora recentemente, il nostro Paese fosse riconosciuto protagonista nell'arena tecnologica e scientifica, per esempio in quella dell'ICT [23]: occorre quindi trovare le chiavi per tornare almeno a quel passato prossimo. Una società più istruita, competente e costantemente aggiornata è l'unica che possa garantire posti di lavoro qualificati e che possa formare personale preparato per quegli stessi posti. Ricerche empiriche di Enrico Moretti – economista italiano da vent'anni all'Università di Berkeley – mostrano che in una città media degli USA, e non solo nella Silicon Valley, per ogni posto di lavoro in aziende d'avanguardia (ICT, smart grid, transizione energetica, ecc.) se ne generano altri cinque in settori tradizionali [24]. Anche noi, per recuperare, non possiamo che seguire una strategia fondata su: ricerca e innovazione tecnologica, più (formazione del) capitale umano in settori tecnico-scientifici. Investire in queste direzioni significa investire nel futuro del Paese. Purtroppo, anche molti nostri manager d'impresa presentano carenze cognitive, di preparazione professionale, e scarsa capacità di aggiornamento (di stare, cioè, al passo con i tempi).

Peraltro, già adesso i lavoratori della conoscenza contribuiscono concretamente all'economia italiana. Per apprezzare l'entità di questo impatto, anche in prospettiva futura, è significativo uno studio commissionato dalla Società Italiana di Fisica alla società di consulenza Deloitte. Il risultato è che le imprese che basano le loro attività su conoscenze generate dalla fisica e dalla tecnica elettronica oggi impiegano un milione e mezzo di dipendenti e contribuiscono al nostro PIL per più del 7%.

Prendiamo in prestito la tesi sostenuta in [25]: "Viviamo in una società fondata su scienza e tecnologia. La scienza, è il caso di dirlo, ci circonda. Eppure, i programmi scolastici delle materie scientifiche rimangono gli stessi di cinquant'anni fa. Perché l'insegnamento della scienza possa acquistare un senso, occorre invece fare delle scelte metodologiche e di contenuto che rompano rispetto alla tradizione e che consentano innanzitutto di far assaporare agli studenti "il gusto di fare scienza" – e, continuano gli autori – "Se chiedessimo agli studenti delle superiori quali sono le materie meno amate, le

materie scientifiche sarebbero ai primi posti". A sua volta, una formazione attenta alla cultura scientifica deve innestarsi su un'istruzione così orientata fin dalla scuola dell'obbligo, a partire da nozioni elementari di probabilità.

Beninteso, come ammonisce saggiamente Montaigne, gli studenti imparando dovrebbero anche divertirsi senza essere afflitti dalla monotonia di una didattica greve e tediosa, ancorata a cliché vecchi e stantii. In questo modo, anche gli insegnanti, oltre a fare un'attività di per sé più utile, potrebbero trovare proprie ragioni di maggiore gratificazione.

Non è mai stato così facile e così poco costoso, come oggi, produrre informazioni quantitative e dati statistici. A tutto questo si aggiungono la crescita esponenziale degli *open data* (cioè la diffusione gratuita e in forma "aperta", tale da facilitarne il riutilizzo, dei dati riguardanti il funzionamento delle organizzazioni pubbliche e private) e, più recentemente, lo sviluppo dei big data. Il processo di apprendimento della scienza dei dati (*data science*) è stimolante, richiedendo conoscenze su una vasta gamma di argomenti e tecnologie.

L'analoga scienza delle decisioni, cioè la capacità di arrivare a scelte ponderate e intelligenti basate sui dati disponibili, costituisce uno degli skill più importanti in tutte le aree delle attività di business, private e pubbliche. Il cambiamento basato su una dotazione di competenze qualitative (soft) e quantitative (hard) favorisce chi possiede conoscenze di questo tipo; infatti, decidere con intelligenza significa sapere prendere decisioni migliori per ottenere migliori risultati. Parafrasando il detto anglosassone "quando il gioco si fa duro i duri cominciano a giocare", si potrebbe dire che quando "il gioco si fa *smart*, le persone *smart* cominciano a giocare".

A proposito di evoluzione, decisioni e io cosciente, le più recenti ricerche biologiche e di neuroscienze hanno provato che la biologia non è destino, e questa è la buona notizia. D'altra parte, i risultati sui processi decisionali, mostrando che l'attività cerebrale ad essi collegata precede l'azione cosciente, hanno aperto la strada a nuove ricerche sull'esistenza (o meno) del libero arbitrio e, quindi, sui meccanismi decisionali. Anche se il dibattito filosofico-scientifico che ne sta scaturendo è certamente molto stimolante, una sua valutazione qui è ben oltre lo scopo del presente lavoro – per non dire delle competenze dell'autore.

Per concludere, menzioniamo alcuni argomenti (importanti nella prospettiva adottata nell'articolo), che non hanno trovato qui spazio, ma che potrebbero essere oggetto di illustrazione in altre occasioni. Si segnalano, in particolare, per la loro influenza sulla nostra vita quotidiana: il dilemma dei prigionieri come problema di teoria dei giochi; il truffaldino schema di Ponzi, alla base del crac Madoff; le scelte sociali, in politica e democrazia (dal paradosso del Marchese de Condorcet ai teoremi dei Nobel Kenneth Arrow e Amartya Sen); l'intelligenza collettiva nelle reti sociali e nel Web 2.0. Altrettanto interessante sarebbe approfondire le tecniche bayesiane utilizzate dal geniale Alan Turing per decrittare il cifrario tedesco Enigma nella seconda guerra mondiale.

### Riquadro 1 – Una cassetta degli attrezzi di probabilità

*If you're not thinking like a Bayesian, perhaps you should be*  
John Allen Paulos

Elenchiamo, sia pure in forma schematica, alcuni strumenti e risorse – libri, relazioni, formule – essenziali per affrontare i problemi trattati nell'articolo.

Tuttora insuperabili per riuscire a “far di conto”, pur non certamente facili, sono i due volumi sulle probabilità di William Feller [14], [15], ricchissimi di esempi ed esercizi pratici. Altrettanto prezioso e impegnativo è il libretto di Frederick Mosteller che discute più di cinquanta problemi di probabilità, pubblicato originariamente nel 1965 dalla Addison-Wesley e successivamente ristampato dalla Dover nel 1987 [20]. (I 50 “sfidanti” problemi promessi, in realtà, sono 56). A chi avesse tempo si segnala il corso online sulle probabilità, a livello undergraduate, tenuto al MIT da John Tsitsiklis [26]. Il sito relativo contiene *tutto* il materiale del corso, dai video alle note delle lezioni. Ovviamente, anche Wikipedia costituisce oggi un imprescindibile riferimento di base per questa materia.

Uno strumento fondamentale di teoria delle probabilità è la regola, o teorema, del reverendo Thomas Bayes (1701-1761), pubblicato postumo nel 1763. Questo risultato può essere derivato come segue.

La probabilità  $P(AB)$  dell'evento congiunto  $A$  e  $B$  è  $P(AB) = P(A/B)P(B) = P(B/A)P(A)$ , dove  $P(A/B)$  e  $P(B/A)$  sono le probabilità subordinate o condizionate.

Ne discende subito la forma speciale della **regola di Bayes:  $P(A/B) = P(B/A)P(A)/P(B)$** .

Le probabilità  $P(A)$  e  $P(B)$  sono anche dette *probabilità a priori*, quindi, le condizionate  $P(A/B)$  e  $P(B/A)$  diventano *probabilità a posteriori*.

Intuitivamente, il teorema descrive come la probabilità nell'osservare l'evento  $A$  sia modificata dall'osservazione di  $B$ . Se però  $P(B/A) = P(B)$ , allora  $P(AB) = P(A)P(B)$  e  $P(A/B) = P(A)$ , cioè gli eventi  $A$  e  $B$  sono statisticamente indipendenti e non vi è influenza alcuna sulle loro probabilità condizionate.

Una forma semplificata del teorema s'incontra nel caso binario di  $A$  e  $\neg A$  (cioè  $A$  e “non  $A$ ”) mutuamente esclusivi:  $P(A/B) = P(B/A)P(A)/[P(B/A)P(A) + P(B/\neg A)P(\neg A)]$ . Tale situazione, in pratica molto comune, è quella degli esempi discussi nei paragrafi 3 e 4. È disponibile online un utilissimo simulatore interattivo sviluppato per questo contesto da Mike Shor [27].

Nel corso dei secoli, la letteratura statistica ha visto un acceso dibattito filosofico sulla validità del teorema di Bayes [17]. Feller [14], per esempio, mette, correttamente, in guardia, su un suo uso irrazionale (cfr. il tacchino “induttivista” in 4.2). Entrando nel merito della discussione, vale la pena di ricordare che il

teorema costituisce una conclusione perfettamente valida in quanto dedotta dagli assiomi di probabilità e dalla definizione di probabilità condizionata.

L'unico punto possibile di disputa è se, in una applicazione pratica, si abbiano (o no) valori affidabili (o anche ragionevoli) per le probabilità *a priori* e *a posteriori*. Una questione di questo tipo, naturalmente, deve essere posta per un *qualsiasi* risultato derivante da un modello matematico applicato a problemi del mondo fisico.

Altri strumenti specifici fra le distribuzioni di probabilità sono la binomiale e quella di Poisson, rispettivamente:

$$P(k; n, p) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$$

$$P(n) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^n}{n!}$$

Ricordiamo che la distribuzione di probabilità binomiale (nel discreto), in certe condizioni, è approssimata dalla poissoniana (nel continuo). Il risultato consegue da uno dei tanti sviluppi in serie o limiti in cui appare la *e* di Eulero, due esempi per tutti:

$$e = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} = \frac{1}{0!} + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \frac{1}{4!} + \dots$$

e

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$$

La relazione  $(1 + 1/n)^n$  esprime anche la maturazione annuale di un capitale iniziale di € 1 per il quale l'interesse composto del 100% – valore peraltro assai poco realistico – sia corrisposto *n* volte nell'arco dell'anno. Se *n* = 365, cioè se l'interesse viene calcolato giorno per giorno, il capitale iniziale risulta moltiplicato per  $(1 + 1/365)^{365} = 2,71456\dots$  Jakob Bernoulli (1683) ha studiato la formula  $(1 + 1/n)^n$ , mentre Eulero ha successivamente dimostrato che il suo limite (capitalizzazione continua) è esattamente *e*.

Più in generale  $(1 + m/n)^n$ , con *m* intero positivo o negativo, tende a  $e^m$  al crescere dell'intero *n*. L'importante caso particolare  $1/e$  (cioè, *m* = - 1) corrisponde al limite di  $(1 - 1/n)^n$ .

Poiché fattoriali, permutazioni e combinazioni sono frequenti nei calcoli combinatori di probabilità, un'altra formula utile è l'approssimazione di Sterling quando il fattoriale *n!* è molto grande

$$n! \sim \sqrt{2\pi n} \left(\frac{n}{e}\right)^n, \text{ per } n \rightarrow +\infty$$

Per non appesantire la trattazione, non ci dilunghiamo su questi e altri aspetti teorici, che lasciamo ai testi già citati e ai manuali di analisi matematica. D'altra parte, è poco elegante – si dice un po' ironicamente – esibire in pubblico troppe formule. Lo scopo di riportare le relazioni precedenti è unicamente per mostrare che problemi dalle origini più disparate possono presentare metodi di soluzione molto simili.

Un altro punto sottolineato nell'articolo è l'importanza dei processi decisionali basati sulla razionalità scientifica e sulla consapevolezza dei fatti concreti – non certamente sul dogmatismo scientifico (scientismo). Un cenno meritano perciò il critical thinking e le tecniche di argomentazione logica – il saper produrre ragionamenti rigorosi, fondati sui fatti accertati, cogenti e, in quanto tali, sempre passibili di affinamenti o, addirittura, di confutazioni. Sfortunatamente, capacità di problem solving, ragionamento logico e critica in autonomia sono competenze non ancora diffusamente curricolari. In quest'ambito, fondamentali e aggiornati sono i testi della filosofia della scienza Franca D'Agostini, in particolare, i due manuali sulla logica [28] e [29].

## Riquadro 2 – Crescita esponenziale, singolarità, coincidenze

*La somma delle coincidenze ci dà la certezza*  
Aristotele

La crescita esponenziale è stata ampiamente trattata in [1]. Ma, poiché fornisce uno strumento importante sia in bioinformatica sia nella teoria delle reti, sembra opportuno qui riprenderla. Per illustrare il concetto, implicito nel sottoparagrafo 2.1 sull'evoluzione biologica, riportiamo l'efficace apologo raccontato da Albert Bartlett, fisico all'Università del Colorado.

Immaginate una popolazione di batteri che si riproducono, ciascuno scindendosi in due ogni minuto. Due diventano quattro, quattro diventano otto e via dicendo. Mettete un batterio in una provetta alle ore 11,00 del mattino, per scoprire che a mezzogiorno la provetta è piena. A che ora è piena la metà?

La provetta è mezza piena solo alle 11,59 e alle 11,55 ci sarebbe ancora un sacco di spazio libero, il 97% del totale. Credete forse che i batteri si rendano conto di essere sul punto della catastrofe con tutto quello spazio a disposizione?

Del resto, abbiamo già visto in [1] che il valore teorico di una rete sociale, essendo proporzionale a  $2^n - n - 1$ , cresce esponenzialmente con  $n$ . David Hand [30] definisce questa situazione come "legge delle combinazioni", applicabile quando molte persone o oggetti possono interagire, rispettivamente in social network o nella Internet delle cose (IoT, *Internet of Things*). Con  $n = 30$  il numero di gruppi diversi che si potrebbero costituire è superiore a un miliardo.

Se  $n = 100$  il risultato è circa  $10^{30}$ , un numero che colpisce per l'ordine di grandezza.

Oggi, grazie a Internet, esistono altre forme di aggregazione dell'informazione e delle preferenze, anche di quelle che non passano per il mercato: si pensi agli studi sulla cosiddetta "intelligenza collettiva" (*wisdom of crowds*) [31] su cui si basa il Web 2.0, sempre più caratterizzato dalla interattività per cui l'utente è contemporaneamente fruitore e produttore – o *prosumer* (*producer + consumer*) secondo la terminologia del futurologo Alvin Toffler, ormai di alcuni decenni fa. Considerando che il Web attualmente ha circa 2,5 miliardi di utenti, ne consegue un numero stratosferico di possibili sottoinsiemi di elementi che interagiscono. Ecco perché eventi con probabilità molto bassa diventano quasi certi se hanno abbastanza chance di accadere (cfr. anche il paragrafo 2).

Tutto ciò è alla base del principio di improbabilità, tant'è che un estratto del libro di Hand (*Le Scienze*, aprile 2014, pp. 58-61) è significativamente intitolato "Mai dire mai", che riecheggia il ben noto film di James Bond.

### Riquadro 3 – Lotterie e probabilità: lo Stato biscazziere

*Chi fida nel Loto, no magna né cruo né coto (Chi spera nel Lotto non mangia né crudo né cotto)*

Proverbio veneto

*Suam habet fortuna rationem*

Petronio, *Satyricon*

Il proverbio sul Lotto è certamente vero, ma ci sono anche le singolarità, le improbabilità, i cigni neri: un evento deve pur accadere (si veda anche la tabella 1); analogamente, la fortuna ha una sua logica (copyright di Petronio).

È possibile legare insieme coincidenze singolari, serendipità e (forse) legge di Benford, come nello scambio di email fra me e Peres, uscito poi nella rubrica "Scherzi da Peres" sulla rivista *Linus* nel settembre 2013 (pp. 121-122). Riporto la mia lettera iniziale:

[Caro Ennio,] vorrei proporti una riflessione sul gioco d'azzardo, tema sempre più di moda, soprattutto in tempi di crisi, in cui si ricercano alternative per ottenere facili, ancorché illusori, guadagni. [...].

C'è, tuttavia, un caso reale che mi rende perplesso: quello di Joan Ginther – "The Luckiest Woman on Earth" secondo *Harper's Magazine* (agosto 2011) – che al Gratta e Vinci texano ha vinto almeno quattro volte dal 1993 al 2010 per un totale di oltre 10 milioni di dollari. La sua fortuna è mitica perché, considerando tutta la sua carriera di giocatrice, avrebbe accumulato ben 20 milioni di dollari. Fatto interessante è che trattasi di un'ex professoressa di matematica con una laurea di dottorato in statistica (Università di Stanford).

La vicenda mi fa però venire più di un dubbio e dovrebbe essere bene analizzata approfondendo tutte le circostanze. Sintetizzando al massimo, direi che vi sono soltanto tre spiegazioni possibili. La prima (*dumb luck*), basata su pure e fortunate coincidenze – possibili, anche se improbabili – è che la Ginther sia stata baciata con sospetta regolarità dalla dea bendata. La seconda (*inside job*) è che ci sia stata una sorta di combutta fra la Ginther e i titolari degli esercizi commerciali dove ha vinto, in particolare in un distributore di benzina (tre dei quattro premi milionari). La reticenza dei negozianti nel rilasciare dichiarazioni in merito è piuttosto significativa. Il fatto è che la lotteria che vediamo in televisione è completamente (?) casuale, mentre il meccanismo del Gratta e Vinci è assai differente. E qui viene la terza spiegazione (*code cracking*), legata alla serendipity – cioè fortuna coniugata con il talento – per cui la Ginther potrebbe avere utilizzato una strategia che sfrutta le probabilità a favore. Per esempio, potrebbe avere applicato – è solo una mia congettura – la *legge di Benford*, la quale smentisce la credenza popolare che la distribuzione della prima cifra significativa relativa a un insieme di numeri generati casualmente in un insieme reale sia uniforme. [...].

Ed ecco l'acuta risposta di Peres:

[...] in merito alla vicenda della signora Joan Ginther, tra le ipotesi che avanzi, a me sembra molto più verosimile la prima. Bisogna sempre pensare che, anche un evento estremamente improbabile, prima o poi, in qualche parte del mondo, ha la possibilità di verificarsi. A mio avviso, se la signora avesse trovato un sistema (lecito o truffaldino) per vincere, non si sarebbe limitata a farlo solo quattro volte, nell'arco di 18 anni. Comunque, tra le tante fortune che Joan Ginther può vantare, bisogna includere anche quella di non risiedere in Italia... Da noi, infatti, le vincite fuori dell'ordinario vengono automaticamente bollate come fraudolente e non pagate. Ne sanno qualcosa i coniugi Walter Scognamiglio e Angela Antidormi, residenti ad Avezzano, che nel 2001, nel giro di 15 giorni, vinsero tre premi da 2 miliardi di lire al Gratta e Vinci, in maniera del tutto regolare. Il Ministero delle Finanze, però, bloccò la riscossione dei premi, per presunte manomissioni dei tagliandi vincenti. I due, ovviamente, avviarono un'azione legale per reclamare i propri diritti; ma siccome, nell'euforia della vincita, avevano abbandonato il lavoro, dovettero cominciare a contrarre dei debiti, per poter tirare avanti. Non so come si sia risolta questa faccenda, ma ho la forte sensazione che l'abbia spuntata il nostro Stato biscazziere...

A mio avviso, la coincidenza rimane perlomeno strana. È anche da notare che le tre possibilità prima suggerite non sono mutuamente esclusive. Tuttavia, della legge di Benford in questo caso sarebbe da provare l'applicabilità, se non altro in modo empirico. Se fosse così, avremmo la riprova che (secondo Virgilio e, secoli dopo, Machiavelli) *audentes fortuna iuvat*, o che "il caso aiuta la mente preparata" (Louis Pasteur), due icastiche locuzioni che compendiano il senso della serendipità – una felice combinazione di fortuna e merito.

## Bibliografia

- [1] Luvison, A. (2013). "Apologia della ragione scientifica", *Mondo Digitale – Rassegna critica del settore ICT*, vol. XII, n. 45, 1-28, [http://mondodigitale.aicanet.net/2013-1/articoli/05\\_LUVISON.pdf](http://mondodigitale.aicanet.net/2013-1/articoli/05_LUVISON.pdf) (ultimo accesso settembre 2014).
- [2] Barabási, A.-L. (2011). *Lampi. La trama nascosta che guida la nostra vita*, Einaudi.
- [3] Luvison, A. (2012). "Strategie di business innovation: il valore della rete" in Cannata, M., Pettineo, S. (a cura di) *Manager e imprese di fronte al cambiamento. Strategie e strumenti*, ebook, Fondazione IDI, 245-263, <http://www.fondazioneidi.it/web/guest> (ultimo accesso settembre 2014).
- [4] Sfeir, J. (2014). "Come estrarre valore economico dai 'Big Data'", *AEIT*, vol. 101, n. 1-2, 44-48.
- [5] Poundstone, W. (2004). *How Would You Move Mount Fuji? Microsoft's Cult of the Puzzle—How the World's Smartest Companies Select the Most Creative Thinkers*, Little Brown & Co.
- [6] Poundstone, W. (2013). *Sei abbastanza sveglio per lavorare in Google? Test, quiz, rompicapi e indovinelli: tutto quello che devi sapere per sostenere un colloquio di lavoro ai tempi dell'economia globale*, Mondadori.
- [7] Davenport, T., Kim, J. (2013). *Keeping Up with the Quants: Your Guide to Understanding + Using Analytics*, Harvard Business Review Press.
- [8] Levitin, A., Levitin, M. (2011). *Algorithmic Puzzles*, Oxford University Press.
- [9] Peres, E. (2010). *Un mondo di coincidenze. Curiosità, teorie e false credenze in merito ai capricci del Destino*, Ponte alle Grazie.
- [10] de Duve, C. (2008). *Alle origini della vita*, Longanesi.
- [11] Kahneman, D. (2012). *Pensieri lenti e veloci*, Mondadori.
- [12] Schneps L., Colmez, C. (2013). *Math on Trial: How Numbers Get Used and Abused in the Courtroom*, Basic Books.
- [13] Luvison, A. (2012). "Teoria dell'informazione, scommesse, giochi d'azzardo", *Mondo Digitale – Rassegna critica del settore ICT*, vol. XI, n. 42, 1-16, [http://mondodigitale.aicanet.net/2012-2/articoli/05\\_luvison.pdf](http://mondodigitale.aicanet.net/2012-2/articoli/05_luvison.pdf) (ultimo accesso settembre 2014).
- [14] Feller, W. (1968). *An Introduction to Probability Theory and Its Applications: Volume I*, 3rd ed., Wiley.
- [15] Feller, W. (1971). *An Introduction to Probability Theory and Its Applications: Volume II*, 2nd ed., Wiley.
- [16] Silver, N. (2012). *The Signal and the Noise. The Art and Science of Prediction*, Allen Lane.
- [17] McGrayne, S.B. (2012). *The Theory That Would Not Die: How Bayes' Rule Cracked the Enigma Code, Hunted Down Russian Submarine, & Emerged Triumphant from Two Centuries of Controversy*, Yale University Press.

- [18] Morini, S. (2014). *Il rischio. Da Pascal a Fukushima*, Bollati Boringhieri.
- [19] Pattavina, A. (2007). *Reti di telecomunicazioni. Networking e Internet*, seconda edizione, McGraw-Hill.
- [20] Mosteller, F. (1987). *Fifty Challenging Problems in Probability with Solutions*, Dover.
- [21] Knot, R. (2014). *The Mathematical Magic of the Fibonacci Numbers*, <http://www.maths.surrey.ac.uk/hosted-sites/R.Knott/Fibonacci/fibmaths.html#section7> (ultimo accesso settembre 2014).
- [22] Luque, B., Lacasa, L. (2009). "The first-digit frequencies of prime numbers and Riemann zeta zeros", *Proceedings of the Royal Society*, pubblicato online: <http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/early/2009/04/17/rspa.2009.0126.full.pdf> (ultimo accesso settembre 2014).
- [23] Biocca, A., Luvison, A. (2014). "Un secolo di telecomunicazioni nelle riviste AEI/AEIT", *AEIT*, vol. 101, n. 6, 20-28.
- [24] Moretti, E. (2013). *La nuova geografia del lavoro*, Mondadori.
- [25] Mayer, M., Parisi, G. (2014). "Appassionare alla scienza", *MicroMega*, n. 6, 22-31.
- [26] Tsitsiklis, J. (Fall 2013). *Probabilistic Systems Analysis and Applied Probability*, MIT OpenCourseWare 6.041SC, <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-041sc-probabilistic-systems-analysis-and-applied-probability-fall-2013> (ultimo accesso settembre 2014).
- [27] Shor, M. (2014). "Bayes rule simulator", Interactive applet on *Game Theory .net*. <http://www.gametheory.net/mike/applets/Bayes/Bayes.html> (ultimo accesso settembre 2014).
- [28] D'Agostini, F. (2012). *I mondi comunque possibili. Logica per la filosofia e il ragionamento comune*, Bollati Boringhieri, 2012.
- [29] D'Agostini, F. (2014). *Logica in pratica. Esercizi per la filosofia e il ragionamento comune*, Carocci.
- [30] Hand, D. (2014). *Il caso non esiste. Perché le cose più incredibili accadono tutti i giorni*, Rizzoli.
- [31] Surowiecki, J. (2005). *The Wisdom of Crowds*, Anchor Books.

## Biografia

**Angelo Luvison**, ingegnere elettronico dal 1969 (Politecnico di Torino), si è perfezionato in teoria statistica delle comunicazioni al MIT e in management aziendale all'INSEAD-CEDEP di Fontainebleau. È consulente per la formazione permanente dei dirigenti industriali. È stato professore di *Teoria dell'informazione e della trasmissione* all'Università di Torino. Per oltre trent'anni in CSELT, ha svolto e coordinato ricerche in teoria delle comunicazioni, reti di fibre ottiche ad alta velocità, società dell'informazione. Ha ricoperto la posizione di segretario generale dell'AEIT. Detiene sette brevetti ed è autore, o coautore, di oltre 180 pubblicazioni. È *Life Member* dell'IEEE.

Email: [angelo.luvison@alice.it](mailto:angelo.luvison@alice.it)

# La robotica al servizio delle neuroscienze: stato dell'arte e problemi aperti

Edoardo Datteri

**Sommario** *La robotica contemporanea intrattiene uno stretto legame con le neuroscienze e con le scienze cognitive. Da una parte, il progresso nella comprensione delle basi neurali e cognitive del comportamento dei sistemi viventi stimola lo sviluppo di sistemi robotici sempre più efficienti e in grado di operare in contesti ambientali relativamente caotici o poco strutturati. Dall'altra, la robotica fornisce significativi contributi sperimentali alla ricerca neuroscientifica e cognitiva. In questo articolo discuteremo alcuni esempi di quest'ultima direzione di ricerca, tracciando le linee generali delle procedure sperimentali seguite, indicando alcune tipologie di contributi che tali procedure hanno fornito alla ricerca sui meccanismi del comportamento animale, ed elencando alcuni problemi di metodo che chiunque si proponga di sottoporre la robotica "al servizio" delle neuroscienze e delle scienze cognitive deve considerare e affrontare.*

**Abstract.** *Contemporary robotics research is deeply intertwined with neuroscientific and cognitive science research. Advancements in the understanding of the neural and cognitive mechanisms underlying animal behaviour often inspire and stimulate the development of more and more efficient robotic systems. Conversely, robots are often deployed as experimental platforms to test neuroscientific and cognitive science hypotheses. In this article, we discuss the latter research approach from a methodological point of view. By describing some interesting examples of it, we identify some ways in which robots can contribute to the discovery of animal sensory-motor mechanisms, and introduce some methodological problems that are likely to emerge in the use of robots to test neuroscientific and cognitive science hypotheses.*

**Keywords:** Biorobotics; Simulations in neuroscience; Computational neuroscience; Cognitive science; Mechanisms of animal sensory-motor coordination.

## 1. Introduzione

La robotica contemporanea intrattiene un duplice legame con lo sviluppo delle neuroscienze e delle scienze cognitive. Da una parte, il progresso nella comprensione delle basi neurali e cognitive del comportamento dei sistemi viventi ha spesso stimolato lo sviluppo di sistemi robotici efficienti e in grado di operare in contesti ambientali relativamente caotici o poco strutturati. Dall'altra, in molti casi la costruzione di robot ha fornito contributi significativi al progresso delle neuroscienze e delle scienze della mente. I due legami che abbiamo appena tracciato corrono in direzione opposta: nel primo caso le scienze del comportamento animale e umano si pongono, per così dire, "al servizio" della robotica; nel secondo caso è la robotica a porsi "al servizio" delle neuroscienze e delle scienze della cognizione. In queste pagine ci proponiamo di esplorare quest'ultima direzione di ricerca che, pur avendo una storia relativamente lunga, è stata raramente oggetto di attenzione metodologica. Senza la pretesa di fornire un esaustivo stato dell'arte discuteremo alcuni esempi significativi provando a chiarire le linee generali delle procedure sperimentali seguite, indicando alcune tipologie di contributi che tali procedure hanno fornito alla ricerca sui meccanismi del comportamento animale, ed elencando alcuni problemi di metodo che chiunque si proponga di sottoporre la robotica "al servizio delle neuroscienze" deve considerare e affrontare. Prima di iniziare è opportuno sottolineare ulteriormente la distinzione tra le due direzioni di ricerca che abbiamo appena introdotto.

### 1.1. La "biologically inspired robotics"

Le neuroscienze e le scienze cognitive condividono l'obiettivo di scoprire i meccanismi che sottostanno a vari aspetti del comportamento animale e più specificamente umano, distinguendosi soprattutto per l'uso di differenti concetti teorici: le scienze cognitive tendono infatti alla scoperta dei meccanismi *mentali* che stanno alla base del comportamento animale, teorizzando dunque sulle *rappresentazioni*, sulle *aspettative*, sulle *intenzioni* che lo determinano; le teorie neuroscientifiche fanno invece riferimento ai meccanismi *neurali* che sottostanno al comportamento, chiamando dunque in causa l'interazione di natura elettrica e chimica tra regioni del sistema nervoso e del sistema muscolare animale. Lungo tutta la storia dell'Intelligenza Artificiale e della robotica, teorie di entrambi i tipi hanno spesso costituito fonte di ispirazione per la realizzazione di sistemi robotici efficienti e robusti: si tratta dei cosiddetti "biologically-inspired robots" (Meyer & Guillot, 2008), di cui troviamo molti esempi nella cosiddetta *robotica a comportamenti*, elaborata intorno agli anni'90 del secolo scorso (Arkin, 1998) e profondamente radicata nella cibernetica e nell'Intelligenza Artificiale connessionista (Cordeschi, 2002).

I teorici della robotica a comportamenti proposero alcuni principi guida per la costruzione di robot in grado di svolgere efficientemente il proprio compito in ambienti simili a quelli in cui ordinariamente vivono gli esseri umani, ambienti dunque relativamente imprevedibili e potenzialmente pericolosi per l'incolumità del sistema. Con una certa quota di semplificazione molti di essi sostennero che i robot costruiti fino ad allora – in quella che venne chiamata la fase "classica"

dell'Intelligenza Artificiale – incorporavano meccanismi senso-motori *sequenziali*, basati sui seguenti passi: (1) lettura dei sensori ed elaborazione di una rappresentazione interna quanto più dettagliata, completa e integrata possibile dell'ambiente circostante; (2) pianificazione di una sequenza di azioni adatta al raggiungimento dell'obiettivo prefissato; (3) esecuzione del piano di azioni. Una struttura sequenziale di questo tipo, si sostenne, può essere funzionale allo sviluppo di robot industriali che operano in ambienti statici e precisamente noti *a priori*, ma non allo sviluppo di sistemi in grado di interagire prontamente ed efficientemente con ambienti di vita ordinaria. Nel tempo necessario a costruire la rappresentazione dell'ambiente (passo 1) quest'ultimo infatti probabilmente cambierà, rendendo l'azione conseguente obsoleta e dunque inefficiente; nessuna pianificazione a lungo termine (passo 2) potrà inoltre ritenersi affidabile in un ambiente in continuo cambiamento.

Anche il più piccolo insetto, si osservò, supera grandemente i robot dell'Intelligenza Artificiale "classica" in fatto di reattività, robustezza ed efficienza nel perseguire i propri obiettivi. Al fine di realizzare sistemi robotici in grado di operare in ambienti non precisamente strutturati e prevedibili come quelli industriali, i teorici della robotica a comportamenti pensarono dunque di trarre ispirazione dai meccanismi viventi senso-motori animali. Due caratteristiche molto generali di tali meccanismi colpirono la loro attenzione, poiché in netta contrapposizione con le caratteristiche dei sistemi sequenziali descritti sopra: essi sono, in larga parte, meccanismi *distribuiti* e *paralleli*. Le operazioni necessarie a elaborare gli stimoli sensoriali e a produrre un comportamento motorio sono *distribuite* tra vari moduli, ognuno dei quali è responsabile dell'elaborazione di un frammento degli stimoli in ingresso e della conseguente produzione di una singola componente del comportamento finale; tali moduli agiscono inoltre in *parallelo*. Le architetture a comportamenti presentano proprio queste caratteristiche. Ogni modulo, o *comportamento*, esegue un particolare tipo di elaborazione sensoriale finalizzata alla produzione di un particolare tipo di azione motoria. Per realizzare un robot in grado di muoversi autonomamente nell'ambiente potremo, per esempio, dotarlo di un comportamento – che chiameremo *repulsivo* – deputato alla rilevazione di ostacoli e alla produzione di azioni motorie di sterzata; dovremo però dotarlo anche di un comportamento *attrattivo* in grado di rilevare la presenza dell'obiettivo (per esempio, di un essere umano da raggiungere) e di produrre movimenti di sterzata *verso* di esso. A ogni istante avremo dunque un'azione repulsiva e una attrattiva. Un meccanismo ulteriore di coordinazione produrrà *una sola azione motoria* combinando quelle appena prodotte dai vari comportamenti.

L'architettura senso-motoria appena descritta presenta alcuni elementi di interesse. In primo luogo, ogni comportamento è da solo in grado di "far muovere" il robot: se i vari comportamenti agiscono in parallelo, il danneggiamento di uno di essi non bloccherà totalmente il robot (per esempio un danno al comportamento attrattivo impedirà al robot di raggiungere il proprio obiettivo spaziale ma non di continuare a salvaguardare la propria struttura fisica evitando gli ostacoli). Un robot di questo tipo possiederà dunque una forma di *robustezza* ai danni non semplice da ottenere attraverso una struttura

di controllo totalmente sequenziale (in cui il danno a un modulo bloccherebbe l'azione di tutti quelli successivi). Alcuni robot a comportamenti possiedono inoltre repertori comportamentali ricchi ed efficienti, ottenuti attraverso la combinazione di un numero elevato di moduli relativamente "semplici" nella loro struttura senso-motoria e per questo di esecuzione *rapida*: alcuni dei primi robot a comportamenti erano in grado di eseguire in maniera relativamente veloce compiti che, attraverso un'architettura sequenziale, avrebbero richiesto cicli percezione-azione molto più lunghi (alcuni di essi sono descritti in Brooks, 1991).

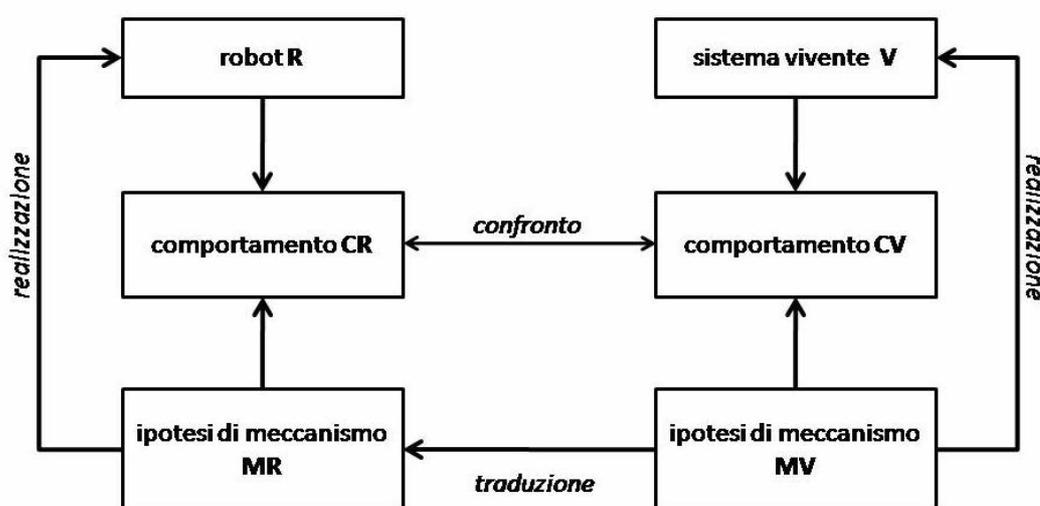
Si è spesso discusso sulla reale portata delle idee proposte dai teorici delle architetture a comportamenti. Oggi è chiaro che essi commisero un'eccessiva semplificazione nel caratterizzare le architetture della robotica "classica" come puramente sequenziali; dopo alcuni successi iniziali, inoltre, le architetture a comportamenti rivelarono alcune importanti limitazioni (per una discussione più approfondita si veda Datteri, 2008). Tuttavia, in molti casi l'idea di trarre ispirazione dai meccanismi senso-motori animali è stata feconda. Alcuni ricercatori hanno addirittura tentato di implementare versioni adattate dei meccanismi all'opera in particolari specie animali, replicandone dunque a grana più fine la struttura funzionale. Arbib e Liaw (1995), per esempio, hanno riprodotto alcune strategie di navigazione e pianificazione motoria delle rane, mentre Arkin et al. (2000) hanno implementato alcuni meccanismi senso-motori della mantide religiosa. In questi studi, come abbiamo più volte sottolineato, il fine dell'ispirazione biologica era quello di realizzare sistemi robotici robusti, reattivi ed efficienti nello svolgimento di qualche compito di utilità pratica. Nelle sezioni che seguono vedremo come la riproduzione a grana fine di meccanismi senso-motori animali possa essere guidata anche da un obiettivo di natura totalmente diversa, cioè quello di valutare empiricamente teorie neuroscientifiche e cognitive sul comportamento dei sistemi viventi.

## 1.2. La biorobotica

Gli studi cosiddetti *biorobotici* condividono con quelli che abbiamo appena discusso il proposito di implementare (versioni adattate di) meccanismi di controllo senso-motorio animale. Si distinguono nettamente da essi, tuttavia, per il fine che guida tale proposito: l'implementazione robotica in questo caso è finalizzata alla comprensione dei meccanismi neurali e cognitivi dei sistemi viventi. Prima di discutere alcuni esempi proviamo a tracciare le linee generali di questa metodologia.

Abbiamo appena sottolineato che negli studi biorobotici, come in quelli "biologically inspired", si realizzano robot che implementano (versioni adattate di) particolari meccanismi di controllo senso-motorio animale. Tali meccanismi costituiscono il prodotto di indagini empiriche condotte nell'ambito delle neuroscienze e delle scienze cognitive. È un'ipotesi neuroscientifica quella secondo cui i meccanismi di controllo senso-motorio implementati da Arbib e Liaw nello studio citato siano proprio quelli che governano il comportamento delle rane, e lo stesso dicasi per lo studio di Arkin et al. (2000) sulla mantide religiosa. Alla luce di questa precisazione, che per brevità abbiamo sottinteso, avremmo dunque dovuto affermare che negli studi biorobotici e "biologically inspired" si realizzano robot che implementano meccanismi *ipotetici* di controllo

senso-motorio animale *formulati nell'ambito delle neuroscienze o delle scienze cognitive*. Ora, non tutte le ipotesi scientifiche sono ugualmente plausibili: alcune saranno solo speculazioni iniziali in attesa di prime valutazioni empiriche, mentre altre saranno state già accreditate da numerosi esperimenti o riflessioni teoriche (pur rimanendo comunque *fallibili*: non si può escludere in linea di principio che esse verranno sconfessate da qualche futuro risultato sperimentale). Negli studi biorobotici la costruzione di un sistema robotico basato su una particolare ipotesi di meccanismo biologico è mossa proprio dallo scopo di valutarne la plausibilità (e non, come nel caso degli studi "biologically inspired", dallo scopo di costruire robot più efficienti).



**Figura 1**  
Schema della metodologia biorobotica.

Osserviamo la parte destra dello schema di Figura 1 (adattato da Datteri, 2012). Supponiamo di avere osservato il comportamento (che chiamiamo CV) di un certo sistema vivente V in qualche circostanza ambientale. Supponiamo inoltre di avere formulato un'*ipotesi* MV sul meccanismo che potrebbe aver prodotto quel comportamento, oppure sul meccanismo che, in quelle particolari circostanze ambientali, produce regolarmente quel comportamento. Può essere difficile valutare "a mente", oppure con carta e penna, se l'*ipotesi* MV sia plausibile o meno – ovvero, se il meccanismo MV sia davvero in grado di produrre il comportamento CV nelle circostanze ambientali considerate. Il metodo biorobotico, analogo sotto molti aspetti ai metodi simulativi spesso adottati nell'Intelligenza Artificiale (Newell & Simon, 1961), costituisce una strategia potenzialmente utile per svolgere tale valutazione. Esso consiste nel realizzare un sistema robotico R *che implementi proprio il meccanismo MV in esame* (più verosimilmente, una sua versione MR opportunamente adattata per l'implementazione: discuteremo questo punto nella sezione 3.2), ovvero, in breve, nel realizzare una *simulazione robotica* di MV. Il comportamento del robot

R (indicato con CR nella parte sinistra dello schema) viene poi confrontato con quello del sistema vivente in esame. Se il robot R riesce a replicare il comportamento CV, si può essere indotti a concludere che MV è un'ipotesi plausibile: *in simulazione*, infatti, MV ha prodotto proprio il comportamento che si desiderava spiegare. Se invece R non riesce a riprodurre il comportamento CV, si può essere indotti – in base alla stessa idea di metodo – a concludere che l'ipotesi MV non descrive il meccanismo effettivamente operante nell'animale. La costruzione di R è dunque funzionale alla valutazione sperimentale dell'ipotesi neuroscientifica o cognitiva MV: ecco in che senso la robotica, in questa metodologia di ricerca, è posta “al servizio” delle neuroscienze e delle scienze della mente.

È opportuno sottolineare sin d'ora due caratteristiche significative della metodologia appena schematizzata. Anzitutto, la costruzione di una simulazione robotica offre un'opportunità sperimentale non permessa da una simulazione che “giri” esclusivamente su un calcolatore digitale: quella, cioè, di valutare se il meccanismo senso-motorio in esame possa produrre il comportamento da spiegare in un ambiente *simile alla nicchia ecologica* in cui vive il sistema vivente oggetto di studio, o comunque in un ambiente non simulato. Se il meccanismo MV venisse riprodotto attraverso un programma per calcolatore, sarebbe ovviamente necessario simulare un ambiente nel quale collocare il sistema virtuale (se non altro, al fine di impartire al meccanismo gli stimoli sensoriali in risposta ai quali esso dovrà produrre le azioni motorie simulate). È lecito supporre, alla luce delle grandi risorse computazionali necessarie per la simulazione di un ambiente caotico e dinamico come quello in cui vivono ordinariamente i sistemi viventi, che tale ambiente virtuale ne costituirebbe, nella maggior parte dei casi, una versione severamente impoverita o distorta; che esso riprodurrebbe, cioè, solo un sottoinsieme ristretto degli stimoli sensoriali e delle condizioni al contorno che caratterizzano la nicchia ecologica di V. In tali condizioni, eventuali differenze tra il comportamento della simulazione R e quello del sistema vivente V potrebbero essere imputate alle differenze tra i due ambienti, più che all'inadeguatezza del meccanismo MV; l'applicazione del metodo simulativo non fornirebbe dunque basi troppo solide per valutare la plausibilità dell'ipotesi teorica in esame. Ecco perché, secondo molti ricercatori, la simulazione biorobotica (che in molti casi permette l'osservazione del comportamento del robot nella nicchia ecologica di V) fornisce opportunità sperimentali decisamente più promettenti di quelle fornite dalle simulazioni puramente informatiche. Discuteremo alcune possibili obiezioni a questa tesi nella sezione 3.1.

È inoltre molto importante, per comprendere a fondo le potenzialità del metodo che stiamo discutendo, identificare con precisione il tipo di risultati teorici che esso permette di ottenere. Dal fatto che R riesca a riprodurre il comportamento CV potremo concludere, al massimo, che MV è *uno* dei meccanismi potenzialmente realizzati nel sistema vivente V. In sé tale risultato sperimentale non ci permette di escludere che V, in realtà, realizzi un meccanismo MV' totalmente diverso da MV, finora sconosciuto ed egualmente in grado di produrre il comportamento da spiegare. Non ci fornisce dunque basi

convincenti per sostenere che MV è *proprio* il meccanismo che cercavamo. Vari meccanismi molto diversi tra di loro potrebbero produrre lo stesso comportamento; il metodo biorobotico ci permette di identificare uno o più di tali meccanismi, senza però indicarci quale sia quello “giusto”. Per compiere tale passo ulteriore sarà necessario procedere attraverso altre metodologie di indagine sperimentale. Per esempio, attraverso tecniche che permettano di dissezionare il sistema nervoso di V e cercare traccia dei componenti menzionati nell'ipotesi MV.

Questa considerazione non depone affatto a sfavore dell'utilità del metodo biorobotico. Vi sono varie circostanze in cui può essere utile – ai fini della ricerca neuroscientifica o cognitiva – chiedersi se un certo meccanismo ipotetico *possa in linea di principio* produrre il comportamento da spiegare. Alcuni esempi tratti dalla storia della biorobotica ci permetteranno di esaminare più da vicino queste circostanze.

## 2. Il ruolo della biorobotica nello studio del comportamento: alcuni esempi

### 2.1. Sostegno a una concezione meccanicistica dei sistemi viventi

Uno dei primi studi aderenti al metodo appena descritto risale, più o meno, al 1915; ben prima, dunque, della costruzione dei primi calcolatori digitali. In quegli anni due ingegneri, John Hammond Jr. e Benjamin Miessner, presentarono al pubblico un automa, chiamato Seleno, in grado di dirigersi verso fonti di luce. Il meccanismo di controllo era basato su due fotocellule al selenio disposte nella parte frontale del robot: quando la fotocellula di destra (o quella di sinistra) veniva colpita dalla luce, il retrostante motore di sterzata virava verso destra (o verso sinistra). L'automa catturò l'attenzione del fisiologo Jacques Loeb, che qualche anno prima aveva presentato alcune ipotesi sui meccanismi che producono varie forme di comportamento animale (Loeb, 1900). Il comportamento delle falene, che inesorabilmente si dirigono verso fonti luminose, può essere spiegato secondo Loeb ipotizzando che gli organi motori dell'insetto colpiti dalla luce si muovano più velocemente rispetto a quelli in ombra. Loeb riconobbe nell'automa Seleno una sorta di “prova costruttiva” della sua ipotesi: Seleno (R nello schema di Figura 1) incorporava, in una versione leggermente modificata, il meccanismo (MV) che egli aveva proposto per spiegare il comportamento delle falene (V). Il robot, alla prova dei fatti, riusciva a dirigersi verso fonti di luce, replicando così – nei suoi aspetti rilevanti – il comportamento delle falene. La sua ipotesi meccanicistica, dando buona prova di sé “in simulazione”, ne usciva dunque rafforzata (si veda il monumentale testo di Cordeschi, 2002, per una discussione di questo esempio).

Si ricordi quanto abbiamo appena sottolineato: il comportamento di Seleno non fornisce basi per concludere che il meccanismo ipotizzato da Loeb sia *proprio quello* realizzato nel sistema nervoso delle falene; esso, al più, indica che quel meccanismo è in grado di riprodurre il comportamento da spiegare. Le falene potrebbero implementare un meccanismo totalmente differente ed egualmente funzionante. Tuttavia la conclusione teorica tratta da Loeb ebbe una certa

risonanza tra i fisiologi dell'epoca. Erano infatti diffuse tesi di stampo *vitalista*, secondo cui molte forme di comportamento animale, soprattutto quelle che manifestano orientamento verso uno scopo, *non possono essere spiegate in termini meccanici* ma solo attraverso il riferimento a una sorta di "spirito" o "forza vitale" di natura non meccanica. Il mero fatto che un meccanismo riuscisse a generare un comportamento simile a quello delle falene (e di qualsiasi altro insetto *fortotropico*), al di là del fatto che tale meccanismo fosse proprio quello realizzato nel sistema nervoso delle falene, bastò a sferzare un forte colpo alle tesi vitaliste e dunque a infondere fiducia, tra i biologi dell'epoca, nella possibilità di una spiegazione meccanicistica di altri aspetti del comportamento animale. Ecco dunque uno dei modi in cui il metodo biorobotico ha contribuito al progresso della ricerca neuroscientifica e cognitiva: *fornendo basi empiriche a sostegno di un orientamento meccanicista nello studio del comportamento*.

## 2.2. Formulazione di un repertorio di possibili spiegazioni meccanicistiche

La tipologia di contributi teorici che abbiamo appena discusso è, al giorno d'oggi, di interesse esclusivamente storico: il vitalismo gode infatti di credito scarso o nullo nel panorama della ricerca contemporanea. Altri e più recenti esempi illustrano ulteriori sensi in cui la biorobotica può contribuire allo studio del comportamento animale. Uno di essi è esemplificato dallo studio sulla navigazione degli astici descritto in (Grasso et al., 2000).

Come le falene si dirigono verso fonti luminose così gli astici, esplorando i fondali marini, si dirigono verso le proprie fonti di nutrimento: quale meccanismo permette loro di raggiungerle? È noto che le loro antenne includono dei *chemorecettori*, ovvero dei sensori in grado di rilevare la concentrazione di particolari sostanze chimiche. Si potrebbe dunque supporre che essi siano in grado di localizzare fonti di nutrimento risalendo le scie chimiche disperse nell'acqua dalle potenziali prede. L'obiettivo dello studio condotto da (Grasso et al., 2000) è quello di valutare l'efficacia del seguente meccanismo, del tutto analogo a quello implementato in Seleno: in base a tale meccanismo, l'animale a ogni istante sterza verso il lato corrispondente all'antenna che percepisce maggior concentrazione chimica (e che, probabilmente, corrisponde alla direzione relativa dell'obiettivo). Per valutare questa ipotesi essi costruiscono un piccolo robot mobile, chiamato RoboLobster, in grado di muoversi nell'acqua attraverso ruote e fornito di due chemorecettori localizzati frontalmente. Negli esperimenti RoboLobster viene collocato sul fondale di una vasca piena d'acqua, a una certa distanza da una fessura che rilascia una scia chimica percepibile dai chemorecettori. Lo scopo di tali esperimenti è naturalmente quello di valutare se RoboLobster (R), implementando il meccanismo MV appena descritto, riesce a raggiungere la sorgente chimica riproducendo dunque il comportamento (CV) degli astici (V). Se così fosse si potrebbe concludere che il meccanismo MV "funziona", ovvero che è un meccanismo quantomeno plausibile. Non certo, come abbiamo sottolineato, che MV è proprio *il* meccanismo realizzato negli astici; ma questa considerazione non sminuisce l'utilità sperimentale di RoboLobster.

Gli autori dello studio sottolineano infatti che, fino a quel momento, i comportamenti chemotattici degli astici erano stati studiati senza tenere conto delle reali caratteristiche dell'ambiente in cui essi si manifestano. Il metodo biorobotico era già stato applicato in alcuni studi precedenti, in cui il comportamento del robot era però stato osservato in ambienti sostanzialmente impoveriti rispetto alla nicchia ecologica degli astici. All'epoca dello studio che stiamo discutendo, dunque, non erano ancora disponibili ipotesi solide sul meccanismo che potrebbe generare un comportamento chemotattico nelle reali condizioni di vita dell'astice: capire se il meccanismo MV *potrebbe* generare il comportamento da spiegare in quelle condizioni costituiva dunque un risultato di rilievo, ancorché preliminare, in una fase tanto embrionale della ricerca. Il metodo biorobotico, in questo caso, permetteva dunque di formulare *un repertorio di possibili ipotesi meccanicistiche* tra cui poi selezionare, con ulteriori esperimenti, quelle che più si avvicinano al meccanismo realmente realizzato negli astici.

È opportuno osservare che, negli esperimenti descritti in (Grasso et al., 2000), RoboLobster si dimostra *incapace* di raggiungere con sufficiente affidabilità la sorgente chimica. A valle di alcune riflessioni metodologiche, che riprenderemo nella sezione 3, gli autori escludono dunque il meccanismo MV dal repertorio delle possibili ipotesi meccanicistiche sulla chemotassi degli astici: come abbiamo sottolineato nella sezione 1.2, se il sistema robotico che simula MV non genera il comportamento da spiegare (come è accaduto a RoboLobster), si può essere indotti a screditare l'ipotesi teorica MV. Si tratta comunque di un risultato di un certo rilievo teorico: nella ricerca scientifica il rifiuto di un'ipotesi precedentemente formulata rappresenta un successo teorico tanto importante quanto una sua eventuale corroborazione. Il rifiuto dell'ipotesi MV contribuisce infatti, se non altro per esclusione, a delimitare l'insieme delle possibili spiegazioni del comportamento in esame. Un altro studio biorobotico che ha contribuito alla formulazione di un repertorio di possibili spiegazioni meccanicistiche è relativo all'orientazione spaziale della formica del deserto *Cataglyphis* (Lambrinos et al., 2000).

### 2.3. Identificazione del meccanismo che connette componenti biologici noti

Gli studi biorobotici che abbiamo appena descritto si muovevano in fasi relativamente embrionali della ricerca sul comportamento di particolari specie animali. Data la mancanza di ipotesi meccanicistiche mature sui comportamenti in esame, la semplice identificazione di ipotesi plausibili (poiché "funzionanti" in simulazione) costituiva comunque un risultato di un certo interesse. Altri studi biorobotici si collocano invece in fasi più avanzate della ricerca: vari componenti del meccanismo che potrebbe produrre il comportamento da spiegare sono già stati identificati attraverso altre tecniche di indagine neuroscientifica e/o cognitiva. Conoscere i "pezzi" del meccanismo, però, non significa necessariamente conoscere gli schemi della loro connessione e le dinamiche delle loro interazioni; non significa cioè conoscere l'organizzazione del meccanismo di cui fanno parte. Negli studi biorobotici di cui discuteremo un esempio, il meccanismo simulato corrisponde a un'ipotesi (MV) sul modo in cui

quei componenti noti, simulati nel sistema, potrebbero essere organizzati nel sistema vivente in esame. La strategia è la stessa: se il robot R riesce a riprodurre il comportamento da spiegare, si può essere indotti a concludere che quei componenti sono proprio organizzati, in V, come prescritto dall'ipotesi MV.

L'oggetto dello studio condotto da (Reeve et al., 2005) riguarda ancora una volta l'orientazione verso la fonte di stimoli sensoriali. In questo caso si tratta della *fonotassi* dei grilli, ovvero della loro capacità di raggiungere altri membri della propria specie riconoscendone e seguendone i richiami sonori. Il sistema nervoso dei grilli è stato analizzato in gran dettaglio: è nota la struttura fisica dei loro organi uditivi, e molti neuroni o gruppi neurali coinvolti nell'elaborazione sonora sono stati già identificati. Come tali componenti siano connessi tra di loro, formando un meccanismo di coordinazione senso-motoria adatto a produrre un comportamento fonotattico, è però una questione ancora aperta. Il robot descritto in (Reeve et al., 2005) è costituito da una piattaforma in grado di muoversi con relativa agilità su terreni erbosi, controllata da una rete neurale artificiale che fa capo a due sensori uditivi. La rete neurale artificiale simula il comportamento di alcuni dei neuroni e dei gruppi neurali appena menzionati. Nel complesso, dunque, la rete neurale costituisce l'implementazione di uno dei modi in cui i vari componenti noti del sistema nervoso del grillo, isolati dalla ricerca neuro-etologica, possono essere connessi in un meccanismo. Negli esperimenti il robot viene posto su un terreno erboso, a una certa distanza da un generatore che emette i richiami sonori dei grilli. In varie sessioni sperimentali esso si rileva in grado di raggiungere il generatore, corroborando dunque l'ipotesi MV. L'esempio del robot-grillo illustra dunque un altro potenziale ruolo del metodo biorobotico: quello di *indicare possibili schemi di organizzazione meccanicistica di certi componenti noti* del sistema vivente in esame. Anche lo studio biorobotico sul sistema visivo della locusta descritto in (Blanchard et al., 2000), quello sul mantenimento della postura negli esseri umani descritto in (Chou & Hannaford, 1997), e quello sulla navigazione dei ratti descritto in (Krichmar et al., 2005) mettono alla prova ipotesi sull'organizzazione meccanicistica di componenti noti del sistema V.

È interessante notare come gli esperimenti condotti attraverso il robot-grillo abbiano sia corroborato l'ipotesi meccanicistica in esame sia stimolato l'approfondimento e la revisione di alcuni suoi aspetti. In alcune sessioni sperimentali il robot stentava a raggiungere il suo obiettivo, nonostante il circuito neurale indicasse la direzione corretta. Sulla base di ulteriori controlli gli autori hanno concluso che tali difficoltà non erano dovute a limitazioni del meccanismo di elaborazione uditiva, bensì a limitazioni del meccanismo di controllo motorio. Si trattava infatti di un meccanismo cosiddetto a "circuito aperto": i comandi venivano semplicemente inviati ai motori, senza controllare che essi fossero stati eseguiti correttamente. Il robot non era dunque in grado di correggere opportunamente i propri movimenti nel caso fossero stati temporaneamente ostacolati da impedimenti fisici (oggetti che si frapponevano lungo il cammino, resistenza ai movimenti causata dall'erba e altro ancora). Questa considerazione, stimolata dall'osservazione del comportamento del robot, ha indotto gli autori a perfezionare la propria ipotesi congetturando la presenza, nel

sistema nervoso dei grilli, di meccanismi di controllo “a circuito chiuso” che garantiscano una corretta esecuzione dei comandi motori.

In altre prove sperimentali il robot manifestava difficoltà di movimento in prima battuta difficili da diagnosticare. Indagini più approfondite hanno identificato la probabile fonte di tali difficoltà nel fatto che i sensori uditivi del robot erano collocati troppo vicino ai motori, il cui suono a tratti “copriva” il richiamo da seguire. Tale problema era senz'altro risolvibile allontanando i due componenti o scegliendo motori meno rumorosi. Tuttavia questa diagnosi richiamò l'attenzione dei ricercatori sul fatto che gli organi uditivi dei grilli sono, come nel robot, posizionati molto vicino agli arti dell'insetto. Si può dunque supporre che anche nei grilli il rumore causato dai movimenti dell'insetto interferisca con l'elaborazione sonora. Probabilmente, essi suggerirono, l'insetto dispone di qualche meccanismo che permetta di “cancellare” gli effetti sonori dei propri atti motori nel momento in cui vengono prodotti. Per una discussione più approfondita di questo e altri esempi in cui l'implementazione biorobotica ha stimolato la *nascita di nuovi quesiti scientifici* o la *revisione di particolari aspetti di ipotesi già formulate* si veda (Datteri, 2012).

### 3. Questioni di metodo scientifico

Le interessanti opportunità sperimentali permesse dalla biorobotica, che nella sezione precedente abbiamo introdotto e illustrato attraverso alcuni esempi, hanno legittimamente attratto l'attenzione di molti neuroscienziati e scienziati cognitivi lungo tutto il corso del XX secolo (il neuroscienziato Mitsuo Kawato ha addirittura affermato che “l'unico modo per comprendere a fondo il funzionamento del cervello consiste nel costruire, o ricostruire, sistemi artificiali che realizzano funzioni cerebrali”, Kawato, 2008). Il metodo biorobotico è stato discusso nelle principali riviste scientifiche (inclusa *Nature*: si veda Webb, 2002), e i progressi nella ricerca neuroscientifica e nella tecnologia robotica delle ultime due decadi hanno ulteriormente rafforzato l'entusiasmo nei confronti delle sue potenzialità. Nell'attestare l'importanza di tale strategia di ricerca è opportuno considerare alcune difficoltà metodologiche connesse alla realizzazione di un “buon” esperimento biorobotico: le insidie di metodo annidate nello schema di Figura 1 sono infatti molte e non semplici da neutralizzare. Senza la pretesa di una discussione approfondita, vale la pena quantomeno introdurre alcuni di questi potenziali problemi.

Si tratta di problemi detti, nella letteratura epistemologica e scientifica, di *sottodeterminazione teorica*. Abbiamo osservato che, negli studi biorobotici, la concordanza o la differenza tra il comportamento CR del robot e quello CV del sistema vivente in esame possono indurre a corroborare o screditare, rispettivamente, l'ipotesi in esame MV. La cautela è necessaria, tuttavia: concordanze o differenze tra CR e CV potrebbero essere dovute anche ad *altri* fattori, che elencheremo nei seguenti paragrafi. Dunque, il risultato del confronto tra CR e CV non determina univocamente il successo o l'insuccesso della teoria in esame – che dunque è *sottodeterminata* dal risultato sperimentale. Nessuno studio scientifico è immune dai problemi di sottodeterminazione teorica: in nessun caso si può escludere, in linea di principio, che i risultati sperimentali

siano dovuti a fattori che non hanno nulla a che fare con l'ipotesi che si desiderava valutare (per esempio a errori favorevoli o sfavorevoli degli strumenti di misura). La conduzione di uno studio biorobotico procede dunque, analogamente al procedere di qualsiasi studio scientifico, affrontando e tentando di arginare, volta per volta, i più seri problemi di sottodeterminazione teorica che emergono agli occhi del ricercatore. Vediamo dunque più da vicino alcune categorie di tali problemi.

### 3.1. L'ambiente sperimentale

Nella sezione 1.2 abbiamo sottolineato quella che viene spesso ritenuta una virtù del metodo biorobotico rispetto ai metodi simulativi spesso utilizzati in Intelligenza Artificiale: il fatto che il robot può essere collocato in ambienti molto simili a quello in cui si manifesta il comportamento da spiegare. A un esame più attento questa virtù perde un po' della sua attrattiva iniziale. Nel momento in cui il sistema V diventa oggetto di studio scientifico, esso viene tipicamente collocato in circostanze ambientali artefatte e sostanzialmente impoverite rispetto a quelle che caratterizzano la sua nicchia ecologica originaria. I comportamenti fonotattici dei grilli oggetto dello studio citato in precedenza non sono stati studiati nei prati di periferia, bensì in un laboratorio attrezzato con un piccolo *tapis-roulant* (tipicamente sferico) in grado di rilevare ogni minimo movimento dell'animale; le capacità di memorizzazione dei ratti, oggetto dello studio biorobotico descritto in (Burgess et al., 2000), non vengono studiate nei pertugi di una vecchia casa oppure nei sentieri umidi di campagna, ma in labirinti sperimentali e sotto condizioni ambientali rigorosamente controllate. La predisposizione di un ambiente sperimentale "artificiale" permette proprio di identificare i fattori ambientali maggiormente responsabili del comportamento dell'animale; in un ambiente caotico tale opera di discriminazione, necessaria per identificare i meccanismi senso-motori in atto, sarebbe molto difficile da compiere.

Collocare il robot R nella nicchia ecologica dell'animale, dunque, non sembra essere necessariamente una buona idea. Si potrebbe più ragionevolmente pretendere, invece, che R venga posto nelle *stesse* (accuratamente controllate) condizioni ambientali in cui è stato osservato il comportamento di V. In caso contrario, potrebbero emergere problemi di interpretazione dei risultati sperimentali. L'incapacità del robot R di replicare il comportamento dell'animale potrebbe essere infatti imputata a una particolare condizione *perturbante* presente nell'ambiente di R e non in quello di V; in tal caso non sarebbe ragionevole "dare la colpa" al meccanismo implementato? Analogamente, il fatto che R abbia riprodotto con successo il comportamento dell'animale potrebbe essere dovuto a fattori ambientali *ad hoc*, non presenti nell'ambiente in cui V è stato osservato, che lo facilitavano notevolmente: non sarebbe dunque ragionevole imputare questo successo alla "bontà" del meccanismo MV.

È dunque importante, per condurre uno studio biorobotico rigoroso, porre particolare attenzione alla relazione tra le circostanze ambientali in cui viene posto il robot e quelle in cui è stato osservato il sistema vivente in esame (non necessariamente coincidenti con quelle che sussistono nella sua nicchia ecologica). Sono proprio considerazioni di questo tipo a giustificare l'interesse dello studio sull'astice che abbiamo descritto nella sezione 2.2 e a sollevare

perplexità, per esempio, nei confronti dello studio biorobotico sull'orientazione spaziale dei ratti descritto in (Burgess et al., 2000). In conclusione di questa sezione osserviamo come, quanto più l'ambiente sperimentale in cui è stato studiato il sistema V è impoverito e artefatto, tanto meno schiacciante appare il confronto tra le virtù delle simulazioni biorobotiche e quelle delle simulazioni puramente informatiche: se i fattori ambientali presi in considerazione sono pochi e non troppo caotici, la simulazione informatica rappresenta un'alternativa praticabile e relativamente più economica rispetto alla costruzione di un robot. L'opportunità di realizzare una simulazione robotica deve dunque essere valutata con attenzione tenendo in considerazione le caratteristiche dell'ipotesi da controllare e dell'ambiente sperimentale in cui si desidera osservare il comportamento del sistema.

### 3.2. L'accuratezza implementativa

A rigore, il robot R dovrebbe costituire un'*implementazione accurata* del meccanismo ipotizzato MV. Altrimenti, non è chiaro perché il comportamento di R dovrebbe fornirci basi empiriche per corroborare o screditare MV. Si noti che l'accuratezza implementativa *non* è un requisito dei buoni studi "biologically inspired", in cui l'ispirazione biologica è meramente funzionale alla realizzazione di sistemi efficienti e robusti. L'efficienza, al contrario, non è un requisito dei "buoni" studi biorobotici: se il modello MV, per esempio, prevede che certi processi interni al sistema agiscano lentamente, anche il robot dovrà necessariamente essere "rallentato" negli aspetti corrispondenti, a spese ovviamente della velocità complessiva d'esecuzione. Se le caratteristiche di MV non vengono fedelmente riprodotte nel robot R, ritardi inclusi, si potrà dire che quest'ultimo implementa in realtà un meccanismo MR diverso, sotto qualche aspetto, da MV: in tal caso, perché dovremmo imputare le eventuali concordanze o discrepanze tra i comportamenti del robot e quelli del sistema vivente al meccanismo MV?

Il requisito dell'accuratezza implementativa non è facile da definire con precisione (per qualche spunto ulteriore si veda Datteri, 2012). Non è nemmeno semplice da soddisfare: per esigenze pratiche o teoriche è spesso necessario adattare l'ipotesi biologica all'implementazione robotica, introducendo dunque differenze significative tra il meccanismo MV e il meccanismo MR realmente implementato nella macchina (si veda ancora lo schema di Figura 1). Notevoli sforzi di accuratezza caratterizzano i già citati studi biorobotici sulla navigazione dei ratti (Krichmar et al., 2005), sul mantenimento della postura negli esseri umani (Chou & Hannaford, 1997) e sulla fonotassi dei grilli (Reeve et al., 2005). Lo studio sull'astice che abbiamo discusso nei paragrafi precedenti presenta spunti particolarmente interessanti per riflettere su questo importante requisito metodologico. Gli autori intraprendono una delicata e accurata ricerca delle possibili cause dell'inefficienza di RoboLobster; in particolare si chiedono se essa dipenda da certi aspetti del robot che non hanno alcuna relazione con l'ipotesi MV da controllare (ovvero, da alcune delle differenze tra MR e MV). Per valutare tali possibilità essi tentano di capire, attraverso ulteriori prove sperimentali, se modificando tali aspetti il comportamento del robot cambia o meno, sotto certi aspetti ritenuti rilevanti. Così non è: R continua a mancare il

suo obiettivo anche a seguito di tali modifiche. Gli autori concludono dunque che le differenze tra MR e MV non influiscono significativamente sul comportamento del robot: l'inefficienza di RoboLobster non è dovuta a dettagli implementativi del robot bensì, secondo gli autori, proprio all'inadeguatezza dell'ipotesi MV. Le argomentazioni condotte dagli autori costituiscono esempi molto interessanti per riflettere sulle sottili ma cruciali difficoltà connesse alla valutazione dell'accuratezza implementativa dei biorobot.

#### 4. Conclusioni

In questo articolo abbiamo discusso, e illustrato attraverso alcuni esempi, il ruolo svolto dagli studi biorobotici nella scoperta dei meccanismi che stanno alla base del comportamento animale. Abbiamo inoltre introdotto alcuni problemi di carattere metodologico che è necessario affrontare per poter progettare e condurre dei "buoni" esperimenti biorobotici. La consapevolezza di tali problemi non depone affatto a sfavore delle potenzialità del metodo descritto (per una rassegna aggiornata dei molti studi di successo in biorobotica si veda Floreano et al., 2014) ma può anzi contribuire a rafforzare la solidità e il rigore delle argomentazioni coinvolte nell'interpretazione dei dati sperimentali e nella valutazione delle ipotesi teoriche in esame.

Abbiamo necessariamente trascurato alcune varianti della metodologia biorobotica, tra cui quelle connesse allo sviluppo delle cosiddette interfacce *bioniche* o cervello-macchina, che permettono di controllare i movimenti di artefatti robotici sulla base di segnali rilevati dal sistema nervoso animale. Attraverso tecnologie di questo tipo si spera di riuscire a costruire protesi robotiche che permettano di recuperare facoltà motorie o comunicative a soggetti affetti da gravi danni neurologici. Secondo molti ricercatori, le interfacce bioniche aprono inoltre nuove e significative opportunità sperimentali per la scoperta dei meccanismi che soggiacciono al comportamento motorio o addirittura alle capacità cognitive degli animali, esseri umani inclusi. La metodologia adottata a tale scopo mostra qualche aspetto in comune con quella biorobotica (Karniel et al., 2005; Reger et al., 2000). Insieme, la biorobotica e la bionica illustrano varie metodologie attraverso le quali la robotica può essere posta "al servizio" delle neuroscienze e delle scienze cognitive: metodologie più volte esplorate sin dagli inizi del XX secolo e oggi sempre più spesso adottate nei laboratori di ricerca, anche sull'onda dei notevoli progressi nella tecnologia robotica e nelle scienze del comportamento animale compiuti nelle ultime decadi di ricerca sperimentale.

#### Bibliografia

- Arbib, M. A., & Liaw, J.-S. (1995). Sensorimotor transformations in the worlds of frogs and robots. *Artificial Intelligence*, 72(1-2), 53–79.
- Arkin, R. C. (1998). Behavior-based robotics. The MIT Press.
- Arkin, R. C., Ali, K., Weitzenfeld, A., & Cervantes-Pérez, F. (2000). Behavioral models of the praying mantis as a basis for robotic behavior. *Robotics and Autonomous Systems*, 32(1), 39–60.

- Blanchard, M., Rind, F. C., & Verschure, P. F. M. J. (2000). Collision avoidance using a model of the locust LGMD neuron. *Robotics and Autonomous Systems*, 30(1-2), 17–38.
- Brooks, R. A. (1991). New Approaches to Robotics. *Science*, 253(5025), 1227–1232.
- Burgess, N., Jackson, A., Hartley, T., & O'Keefe, J. (2000). Predictions derived from modelling the hippocampal role in navigation. *Biological Cybernetics*, 83(3), 301–12.
- Chou, P. C., & Hannaford, B. (1997). Study of human forearm posture maintenance with a physiologically based robotic arm and spinal level neural controller. *Biological Cybernetics*, 76(4), 285–98.
- Cordeschi, R. (2002). *The Discovery of the Artificial: Behavior, Mind and Machines Before and Beyond Cybernetics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Datteri, E. (2008). Intelligenza artificiale: elaborazione simbolica e coordinazione senso-motoria. In S. Gensini & A. Rainone (Eds.), *La mente. Tradizioni filosofiche, prospettive scientifiche, paradigmi contemporanei* (pp. 237–254). Roma: Carocci.
- Datteri, E. (2012). *Filosofia delle Scienze Cognitive. Spiegazione, previsione, simulazione*. Roma: Carocci.
- Floreano, D., Ijspeert, A. J., & Schaal, S. (2014). Robotics and Neuroscience. *Current Biology*, 24(18), R910–R920.
- Grasso, F. W., Consi, T. R., Mountain, D. C., & Atema, J. (2000). Biomimetic robot lobster performs chemo-orientation in turbulence using a pair of spatially separated sensors: Progress and challenges. *Robotics and Autonomous Systems*, 30(1-2), 115–131.
- Karniel, A., Kositsky, M., Fleming, K. M., Chiappalone, M., Sanguineti, V., Alford, S. T., & Mussa-Ivaldi, F. A. (2005). Computational analysis in vitro: dynamics and plasticity of a neuro-robotic system. *Journal of Neural Engineering*, 2(3), S250–65.
- Kawato, M. (2008). From “understanding the brain by creating the brain” towards manipulative neuroscience. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 363(1500), 2201–14.
- Krichmar, J. L., Seth, A. K., Nitz, D. A., Fleischer, J. G., & Edelman, G. M. (2005). Spatial navigation and causal analysis in a brain-based device modeling cortical-hippocampal interactions. *Neuroinformatics*, 3(3), 197–221.
- Lambrinos, D., Möller, R., Labhart, T., Pfeifer, R., & Wehner, R. (2000). A mobile robot employing insect strategies for navigation. *Robotics and Autonomous Systems*, 30(1-2), 39–64.
- Loeb, J. (1900). *Comparative physiology of the brain and comparative psychology*. New York: G.P. Putnam's Sons.

Meyer, J., & Guillot, A. (2008). Biologically Inspired Robots. In B. Siciliano & O. Khatib (Eds.), *Springer Handbook of Robotics* (pp. 1395–1422). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Newell, A., & Simon, H. A. (1961). Computer simulation of human thinking. *Science*, 134(3495), 2011–2017.

Reeve, R., Webb, B., Horchler, A., Indiveri, G., & Quinn, R. (2005). New technologies for testing a model of cricket phonotaxis on an outdoor robot. *Robotics and Autonomous Systems*, 51(1), 41–54.

Reger, B. D., Fleming, K. M., Sanguineti, V., Alford, S., & Mussa-Ivaldi, F. A. (2000). Connecting brains to robots: an artificial body for studying the computational properties of neural tissues. *Artificial Life*, 6(4), 307–324.

Webb, B. (2002). Robots in invertebrate neuroscience. *Nature*, 417(6886), 359–363.

## Biografia

**Edoardo Datteri**, dottore di ricerca in Filosofia, svolge attività di ricerca in Filosofia della Scienza presso l'Università degli Studi di Milano-Bicocca. I suoi interessi di ricerca vertono soprattutto sul ruolo delle simulazioni robotiche nelle scienze cognitive e sulla struttura delle spiegazioni neuroscientifiche oltre a numerosi articoli comparsi su riviste internazionali e nazionali del settore, è autore di "Filosofia delle Scienze Cognitive, Spiegazione, previsione, simulazione" (Carocci, 2012) e, assieme a Federico Laudisa, de "La natura e i suoi modelli. Un'introduzione alla filosofia della scienza" (Archetipo, 2011).

Email: edoardo.datteri@unimib.it

# La nuova sfida dei CIO: Monitorare e gestire il lato oscuro del digitale

Andrea Bruno Granelli

**Sommario.** *Fino ad oggi, il dibattito sulle tecnologie digitali si è focalizzato sulle meraviglie rese possibili dal loro uso, lasciando in secondo piano i problemi e gli inconvenienti connessi con tutte le innovazioni introdotte dall'uomo durante la sua storia - i loro lati oscuri.*

*Dalle imprecisioni presenti in Wikipedia all'indebolimento della privacy come valore consolidato, dal "mito del multitasking" all'impatto ecologico dei data center e dell'hardware dei computer, dal sovraccarico informativo indotto dall'eccesso di posta elettronica ai limiti delle comunità on-line, i costi nascosti delle tecnologie digitali sono in costante crescita.*

*Mantenere tutti i vantaggi offerti dalle tecnologie digitali, evitandone gli effetti collaterali peggiori, comporta un nuovo approccio: un approccio che riconosca i limiti dei sistemi digitali e rifiuti il "pensiero unico" sulla loro perfezione.*

*Abbiamo voluto chiamare questo nuovo approccio digital awareness: una forma di alfabetizzazione digitale che vada oltre il semplice uso di strumenti specifici, che sia in grado di rendere conto delle profonde implicazioni organizzative, psicologiche e sociologiche connesse con il digitale, e dei suoi diversi lati oscuri. Abbiamo deciso, inoltre, di abbracciare la definizione data di recente dall'Unione europea di eLeadership: essere un leader nell'attuale scenario, fortemente tecnologico, in continua e rapida evoluzione, un manager ha bisogno di un nuovo set di abilità e conoscenze, che unisca alle tecniche tradizionali del management una maggiore consapevolezza degli impatti reali delle tecnologie digitali: gestione del tempo e della conoscenza, raccolta di informazioni, analisi dei dati, smart work, e coordinamento di gruppi di lavoro in remoto.*

**Abstract.** *Up until now, the debate on digital technologies revolved around the wonders made possible by their use, almost forgetting the issues and drawbacks connected with all of the innovations introduced by humanity over time - their dark sides.*

*From the inaccuracies found in Wikipedia to the weakening of privacy as a value, from the "multitasking myth" to the ecological impact of data centers and computer hardware, from the e-mail induced*

*information overload to the limits of online communities, the hidden costs of digital technologies are continually increasing.*

*In order to keep all of the advantages offered by digital technologies, while avoiding their worst side effects, a new approach is needed: an approach that acknowledges the limits of digital systems and refuses the dominant stance on their perfection.*

*We call this new approach digital awareness: a form of digital literacy that goes beyond the mere use of specific tools, conscious of their organisational, psychological and sociological implications, fully aware not only of the upsides connected with a strong use of technologies, but also of their several drawbacks.*

*And we finally agree with the definition recently gave by the European Union of eLeadership: to be a leader in this fast-paced, ever-changing and technology-laden scenario, managers and entrepreneurs need a new set of skills, that mixes the traditional managing techniques with an increased consciousness of the impacts of digital technologies: knowledge and time management, information gathering, data analysis, remote work, and the coordination of remotely located workgroups.*

**Keywords:** Dark Side, eLeadership, Digital Awareness, Rhetorics, CIO

## 1. Introduzione

Negli ultimi anni si è parlato fin troppo delle meraviglie del digitale, delle sue capacità di cambiare i destini delle aziende e fare arricchire i suoi start-upper. Risparmio del tempo, automazione dei processi, capacità di governo di procedure complesse, simulazione di comportamenti futuri, contenuti personalizzati, potenza infinita di calcolo, monitoraggio in tempo reale dei dati ambientali, lavoro virtuale, nuovi terminali iper-potenti, e l'elenco potrebbe continuare a lungo.

Nonostante il contributo del digitale all'innovazione e alla crescita dell'economia e della società, però, le sue dimensioni problematiche – che potremmo chiamare il suo lato oscuro – stanno prendendo spazio, non solo sui giornali, ma anche – forse soprattutto – nella testa di manager e imprenditori.

Il tema è delicato e controverso: va pertanto inquadrato e compreso in maniera non preconcetta e soprattutto all'interno delle più generali dinamiche dell'evoluzione tecnologica. Solo, infatti, analizzando il fenomeno nella sua articolazione e complessità si può restituirne la ricchezza, l'applicabilità diffusa e anche la sua fascinosa, pur cogliendone (e controllandone) le dimensioni più critiche e criticabili. Nel mondo delle imprese e del commercio, tali criticità sono particolarmente rilevanti in quanto l'ICT influisce fortemente su tutta la catena del valore: sulla dimensione produttiva, su quella amministrativo-contabile e anche su quella relazionale-comunicativa. I rischi economici derivanti da "devianze del digitale" sono potenzialmente devastanti.

Non basta dunque minimizzare o esorcizzare il lato oscuro per contenerne il rischio, né è utile per contrastare il crescente sospetto nei confronti delle Rete e delle sue potenti tecnologie, o il sempre più diffuso timore che le sue promesse – spesso troppo enfatizzate e generalmente accettate acriticamente – non possano essere mantenute.

La questione non è recente ma, negli ultimi tempi, la sua rilevanza e diffusione è cresciuta con vigore. Le inesattezze e falsificazioni di *Wikipedia*, il potere sotterraneo e avvolgente di *Google*, la fragilità psicologica indotta dagli universi digitali, il finto attivismo politico digitale svelato dall'espressione *click-tivism*, il diluvio incontenibile della posta elettronica, il pauroso conto energetico dei data center, i problemi di privacy legati a un uso "ingenuo" dei social media sono solo alcuni dei problemi che stanno emergendo, con sempre maggiore intensità e frequenza. E a questi temi sotterranei si stanno aggiungendo criticità conclamate e intimorite: il datagate, i suicidi di giovani attivati (anche) da post maligni su facebook, le fabbriche (chiamate "click-farm") a Dhaka in Bangladesh di "I like it" per aumentare i follower – e quindi la "credibilità" e il peso – di alcuni blog, ...

Non parliamo dunque di rigurgiti tecnofobici, ma di fatti concreti che incominciano a minacciare la solidità delle aziende fortemente digitalizzate.

Vediamone alcuni tra i meno frequentati, anche se – per una trattazione più articolata e sistematica – rimando al mio libro del 2013 [1].

## 2. Alcuni lati oscuri

Un primo problema è legato alla privacy e all'uso delle informazioni personali. L'esplosione del *datagate* ha portato il tema alla ribalta. A parte il commento di Obama poco dopo il fatto – ha parlato di "modesto abuso della privacy" .. – la cosa per me più curiosa è stata la reazione del giorno dopo da parte non solo dei media ma anche di molti sedicenti esperti, i quali si ponevano pubblicamente domande del tipo: "Ma come è possibile che ciò sia avvenuto?" "Dimostratemi che quello che è capitato è vero!" Come se gli addetti ai lavori non sapessero che ciò era possibile. Si poteva certo sperare che ciò non accadesse, attività un po' ingenua ma comprensibile. Ma "cadere dalle nuvole" e rimanere stupito per il fatto che fosse tecnicamente possibile .... Questo è inammissibile; bisogna proprio travisare la realtà

Un'altra criticità è legata al consumo energetico dell'ecosistema digitale. Il New York Times ha recentemente denunciato che i *datacenter* hanno consumato nell'ultimo anno 30 miliardi di watt di elettricità a livello mondiale, quanto l'energia prodotta da 30 centrali nucleari [2]. *DatacenterDynamics* ha calcolato che negli ultimi anni il consumo è cresciuto di quasi il 20% percento anno su anno, anche se nel 2013 la crescita si è ridotta al 7%. Questi numeri sono ancora più inquietanti se misuriamo la ridondanza e "sporcizia digitale" presente sulla Rete: secondo IDC, il 75% del mondo digitale è una copia [3] mentre ICF International stima che – già nel 2009 – la "posta-pattumiera" rappresentava il 97% di tutte le mail in circolazione (62.000 miliardi di messaggi) [4].

Oppure il mito del lavorare in parallelo: uno studio della Stanford University [5] dimostrava, già nel 2009, che il *multitasking* - alla lunga - è nocivo. Che chi ne fa troppo uso non riesce più a districarsi "tra le informazioni importanti e quelle senza importanza". Anzi spesso finisce per arrivare "alla decisione più irrazionale". Oggi i neuroscienziati hanno dimostrato che i costi del *task switching* - il tempo richiesto dal cervello per passare da una mansione ad un'altra - sono molto elevati, rendendo quindi il multitasking particolarmente inefficiente.

Oppure ancora l'efficacia dei nuovi terminali *touch*: secondo una ricerca portata avanti da Miratech - con l'ausilio di un *eye tracker* per tracciare lo sguardo dell'utente - tendiamo a leggere più distrattamente su un iPad che su carta (I tempi di lettura sono simili ma lo sguardo è più prolungato sulla carta), al costo di una minore capacità di memorizzare le informazioni rilevanti all'interno del contenuto [6].

Per non parlare della produttività. Secondo le ricerche di Gloria Mark, esperta di "Interazione uomo-macchina" alla Irvine University, si sta diffondendo una vera e propria epidemia di quella che lei chiama "*concentratio interrupta*": "la giornata di chi lavora in un ufficio moderno è spezzettata in segmenti, non più lunghi di 11 minuti, che spesso diventano soltanto 3" a causa di *tweet*, SMS, telefonate non filtrate, *warning* automatici, *alert* di eMail, memento elettronici, ... [7]. Questa selva di stimoli elettronici incomincia a generare comportamenti aberranti come ad esempio il panico di fronte a scelte impossibili ("quale mail apro per prima?") oppure l'automatismo di risposta ("rispondo al SMS o continuo il lavoro ... ma se poi mi dimentico?").

Oltre a creare problemi di per sé, queste criticità stanno inducendo tre nuovi comportamenti - sempre più diffusi - che, a mio modo di vedere, possono a loro volta rinforzare i problemi esistenti, creando una sorta di ciclo vizioso: impoverimento informativo (riduzione progressiva delle informazioni utilizzate), alienazione informatica (essere guidati e non guidare i programmi e le *apps*), e "pensiero unico" del digitale (ritenere che il digitale sia la soluzione la panacea di tutti i mali). Questi fenomeni - approfonditi nel mio libro - sono fenomeni subdoli, poco apparenti, ma sempre in agguato e potenzialmente temibili.

Il loro contrasto parte innanzitutto da un loro svelamento, dal rendersi cioè conto che esistono e dal comprendere i potenziali impatti. La posta in gioco è molto alta. Non solo per gli sprechi e i danni che un cattivo utilizzo di queste potenti tecnologie comporta.

Una disillusione del digitale - e in generale dell'innovazione - causata da uno svelamento non guidato e contestualizzato di molti suoi errati utilizzi e false promesse potrebbe essere drammatica, soprattutto di questi tempi: le instabilità ed erraticità delle nuove tecnologie - fenomeno in parte costitutivo e tipico di ogni rivoluzione tecnologica, come ci ricorda l'*hype cycle* di Gartner Group - verrebbero intese come dimostrazione delle false promesse. E ciò rischierebbe di interrompere quel flusso di innovazione e sperimentazione - necessario soprattutto in tempi di crisi e di discontinuità - che è sempre accompagnato da errori e malfunzionamenti (oltre che da sogni e spericolatezze). E purtroppo ci

sono già le prime avvisaglie di questi comportamenti, come ad esempio il controverso articolo di fondo comparso su *The Economist*, intitolato evocativamente *Innovation Pessimism* [8].

### 3. Latî oscuri venuti recentemente alla ribalta

Proprio perché il digitale ha sviluppato un pensiero unico, tendiamo a difendere le nostre credenze anche quando le evidenze sono schiaccianti.

Come non ricordare il caso delle tabacco: quanto tempo abbiamo impiegato per dire che il fumo fa male e a poterlo scrivere sulle sigarette?

Lo stile di vita costruito dai produttori di sigarette per il fumatore (pensiamo all'uomo "macho" di Marlboro Country o al simpatico Cammello di Camel) e alimentato da fiumi di risorse pubblicitarie è stato difficile da incrinare ... Nel caso del digitale, le potenze in gioco sono infinitamente più grandi. Solo Apple vale quasi come la Borsa italiana (al netto delle fluttuazioni del mercato ...). Proviamo ad immaginare quanto valgono – insieme – Apple, IBM, HP, Microsoft, France Telecom, Intel, Nokia, Oracle, SAP, EMC, Google, Twitter, facebook, Nintendo, China Telecom, Huawei, Samsung, AliBaba, ... Quest'ultima si è quotata recentemente, raggiungendo un valore di borsa di 200 miliardi di dollari.

Tutte queste aziende – insieme – formano un gigantesco aggregato economico centrato sulle tecnologie digitale e che ha costruito – nei fatti – un gruppo di credenze (un pensiero unico dunque) sul digitale, che può essere riassunto nelle seguenti tre regole:

1. "il digitale è sempre cosa buona e giusta";
2. "più digitale possiedi, meglio è";
3. "se qualcosa della tua soluzione digitale non funziona correttamente, la prossima release risolverà il problema"

È un pensiero unico molto molto pericoloso, che è stato costruito, orientato e rafforzato dalle riviste (specializzate e non), dai convegni, dalle pubblicità e – naturalmente – dai fornitori. Uno degli effetti di questo pensiero unico è che la gente ha timore ad esplicitare le cose che non vanno, i problemi che insorgono usando il digitale. La credenza che si è diffusa è che quando qualcosa non funziona correttamente è più probabile che sia colpa dell'utente e della sua scarsa conoscenza, che richiede pertanto una dose ulteriore di alfabetizzazione.

Vediamo allora tre aspetti problematici che sono venuti alla ribalta solo recentemente.

Innanzitutto la scarsa qualità dei numeri prodotti per descrivere il fenomeno del digitale e il suo impatto sulle aziende e sulla società. Vediamone alcuni:

- La diffusione della banda larga in Italia potrebbe fare risparmiare fino a 30 miliardi di euro all'anno [9].
- Con il trasferimento dei dati online l'Italia può risparmiare 35 miliardi di Euro [10].

- Lo sviluppo di modelli di management orientati alle logiche della social organization potrebbe *generare un valore compreso tra 900 e 1.300 miliardi di dollari* [11].
- L'attuazione di un'agenda digitale può liberare in Italia risorse *per oltre 70 miliardi di euro* [12].
- Il beneficio che gli utenti hanno dai servizi digitali gratuiti (Consumer surplus del digitale) *vale 250 miliardi di euro ed è raddoppiato in tre anni* [13].

Questi numeri parlano da soli e non richiedono commenti. Mai l'espressione "dare i numeri" è stata più calzante!

Questa produzione caotica di numeri inattendibili ma sempre positivi sta nascondendo un fenomeno molto critico per le future generazioni: il reale impatto occupazionale del digitale. Il giornale liberista The Economist, ad esempio, ha pubblicato – nel 2014 – addirittura due allarmanti dossier sul tema [14] [15]; McKinsey – dal canto suo – sta incrementando le riflessioni sul digitale e sul lato oscuro dell'impatto occupazionale. Bastano due citazioni da queste pubblicazioni per dare il senso di quanto il tema sia rilevante e minaccioso:

- "Innovation, the elixir of progress, has always cost people their jobs. In the Industrial Revolution artisan weavers were swept aside by the mechanical loom. Over the past 30 years the digital revolution has displaced many of the mid-skill jobs that underpinned 20th-century middle-class life. One recent study by academics at Oxford University suggests that 47% of today's jobs could be automated in the next two decades [14].
- "As machine learning advances at exponential rates, many highly skilled jobs once considered the exclusive domain of humans are increasingly being carried out by computers. ... productivity gains will further divide the haves from the have-nots." [16].

Ci sarebbe allora da chiederci, come mai ci facciamo solo oggi queste domande? Infine l'uso di Internet come arma da parte del terrorismo. In questi giorni – grazie all'aumento delle preoccupazioni legate al rafforzamento del terrorismo di matrice islamica – ci stiamo rendendo conto di quanto la Rete ci renda fragili e impreparati ad un suo uso meno democratico e libertario e più terrorifico.

Non solo il fatto che in un mondo iperconnesso (e l'11 settembre ci aveva dato chiare avvisaglie, ad esempio, sull'intima connessione della "Rete" aeroportuale, dove il suo accesso da un aeroporto poco controllato permette di raggiungere – dall'interno – qualsiasi luogo iperpresidiato) è facile propagare in maniera virale azioni pericolose, ma anche che il mondo iperconnesso tende a guardare le stesse cose. Infatti l'11 settembre aveva fatto capire all'Occidente il potere dei media – in quel caso la TV – di replicare, enfatizzare e propagare un atto violento ma dall'elevato contenuto simbolico. Le recenti esecuzioni mandate on line su youtube ne sono la versione 2.0, grazie alla quale chiunque può generare "con facilità" – a distanza di click – terrore nel mondo. In ultimo, abbiamo anche appreso che il reclutamento di terroristi avviene con grande facilità online.

#### 4. Che fare ?

Il guardare con sospetto questi atteggiamenti – estremi, scomodi ma sempre connaturati alla ricerca del nuovo – rischia di aprire nella ricerca e nell'innovazione legata al digitale una fase di conservazione, di sospettosità e di contabilizzazione ragionieristica della sperimentazione che può essere deleteria.

È dunque necessario comprendere davvero il fenomeno e non fermarsi alla superficie, spesso luccicante, ma ingannevole. E poi va costruita una cultura del digitale, che apra a una maggiore comprensione, anche degli aspetti più scomodi e che, soprattutto, dia indicazioni su come maneggiare queste tecnologie, su cosa possiamo chiedergli e che cosa va assolutamente evitato.

Ciò che serve è dunque molto di più di una banale alfabetizzazione digitale, di un addestramento agli strumenti digitali o ai suo linguaggi sempre più criptici; ciò che serve è una vera e propria educazione digitale che ci aiuti a cogliere le peculiarità di questo straordinario ecosistema reso possibile dal digitale, e a guidarne le logiche progettuali e i processi di adozione, tenendo a bada – nel contempo – le sue dimensioni problematiche.

Non basta addestrare a uno strumento o raccontare le meraviglie degli scenari tecnologici. Bisogna costruire comprensione, sensibilità e senso critico nei confronti del fenomeno digitale nel suo complesso, parlando anche di come costruire criteri “obiettivi” per scegliere le applicazioni digitali, dei lati oscuri e degli aspetti più problematici, delle precondizioni di utilizzo e soprattutto delle implicazioni organizzative, psicologiche e linguistiche.

Serve dunque una nuova capacità, che si basi su un sapere integrato che alcuni – tra cui l'Unione Europea – incominciano a chiamare *eLeadership*: un insieme di competenze che uniscano, rafforzino e adattino (in qualche modo ridefinendole) le tecniche manageriali alle conoscenze “non superficiali” del digitale – la cosiddetta “*digital awareness*”.

Una autentica “consapevolezza digitale” è molto più di una banale alfabetizzazione, che si limita a fornire una infarinatura sulle tipologie di strumenti disponibili e sulla modalità standard di utilizzo: usare efficacemente le tecnologie digitali, adattandole ai nostri bisogni quanto più possibile, comporta infatti una loro conoscenza approfondita, oltre ad un pizzico di passione. A complicare ulteriormente le cose, la vastità dell'ambito del digitale: il numero elevatissimo di tecnologie ed applicazioni rendono vano qualsiasi tentativo di familiarizzare con tutti gli strumenti principali offerti dal digitale; è più importante comprendere i meccanismi di fondo ed i processi che la digitalizzazione rende possibili.

Dobbiamo quindi essere in grado di afferrare:

- le precondizioni di utilizzo del digitale (culturali, organizzative, normative,...)
- alcuni specifici strumenti digitali – oggi particolarmente importanti – e le loro specificità in termini di funzionalità, dati (sia in input che in output), punti di forza/di debolezza e interfacce

- le implicazioni organizzative, psicologiche e linguistiche e cioè cosa deve essere cambiato per usare al meglio le soluzioni tecnologiche adottate
- i criteri "obiettivi" di scelta di un certo tipo di soluzione tecnologica, con particolare attenzione agli impatti e agli effetti "collaterali"
- gli elementi per costruire Business Case realistici (evitando di sovrastimare i ricavi e sottostimare costi, rischi e tempi attuativi)
- i lati oscuri e gli aspetti più problematici del digitale.

E-leadership vuol dire anche che il digitale è in grado di ibridare e ridefinire l'essenza stessa della leadership. In piena *knowledge economy*, vi sono almeno cinque "competenze manageriali" da cui partire, per rileggere la figura del leader sotto la lente del digitale:

- Gestione della conoscenza personale e di gruppo, sua aggiornamento, e contributo all'innovazione (sistemi di *knowledge management*, ambienti *wiki*, *ePortfolio*, siti personali, ...)
- Luci e ombre dell'*info-sourcing* sulla Rete: saper evitare gli *hoax* di Wikipedia e (ri)conoscere le insidie dell'algoritmo usato da Google, saper attingere dal nuovo *data journalism* e dal fenomeno della *content creation*, ...
- Raccolta e gestione info sul territorio utili al business: le nuove frontiere del marketing territoriale supportato dal digitale (*sensoristica*, *open & big data*, *geomarketing*, realtà aumentata, reti neurali, ...)
- Gestione del tempo e ruolo della "personal communication" (*eMail*, *chat*, *twitter*, *what'up*, ... e le nuove piattaforme corporate: *yammer*, *bluekiwi*...)
- Gestione di collaboratori e team da remoto: le nuove frontiere del project management "remotizzato" e delle riunioni in "telepresenza" (video-comunicazione arricchita, *outsourcing*, *crowdsourcing*, *workflow management system*, ...)

L'autentico eLeader deve essere in grado di rifondare, ed adattare alla luce del mutato contesto, le attitudini e le competenze di tipo umanistico che gli permettono di capire, persuadere, negoziare e dirimere i conflitti. Sono, a ben guardare, saperi antichi, che poco hanno a che fare con le specificità del momento storico, ma che fanno parte di quella *retorikè téchne* (arte del ragionare e del dire) che era – per le civiltà antiche – la competenza fondamentale dei leader del tempo. Proprio il rapporto tra retorica, leadership e digitale è al centro del mio ultimo libro, scritto insieme a Flavia Trupia – vera esperta dell'antica arte [17].

Il nuovo set di competenze – tecnologiche, ma anche umanistiche e retoriche – può essere alla base di una nuova "Agenda Digitale", non solo per l'Italia, ma per tutto il contesto aziendale. Una nuova strategia basata su un assunto fondamentale: ripartire dai problemi da risolvere o dalle concrete opportunità da cogliere e non (più) solo dal potere abilitante delle tecnologie (o meglio, dalle loro promesse). Adottare un approccio *market-driven*, in grado di rimettere al

centro i processi operativi e i dati effettivamente utili, evitando le lusinghe di strategie *technology-driven* che hanno oramai mostrato il fianco.

Questo approccio ha alcune specifiche implicazioni.

Innanzitutto, forza ad analizzare i processi e reingegnerizzarli prima di introdurre l'automazione. L'IT introduce sempre delle novità, che però possono diventare molto velocemente *legacy*, e quindi vincoli. Troppo spesso si sono automatizzate procedure inutili e controlli ridondanti; e – una volta automatizzate – queste procedure diventano una barriera al cambiamento e cristallizzano lo *status quo*.

In secondo luogo, pone il dato utile al centro della progettazione: *Big Data* non è necessariamente una buona notizia, anzi ... Parafrasando il grande poeta Coleridge, nella sua *La ballata del vecchio marinaio*: «Acqua, acqua dovunque e neppure una goccia da bere». In generale più dati dobbiamo gestire, più costi dobbiamo sostenere e ciò fa anche aumentare il rischio di perdere di vista i dati effettivamente utili, di non riconoscerli, di non comprendere il valore potenzialmente esprimibile; oltretutto, il valore di un dato dipende dalla conoscenza approfondita dei processi operativi o dei comportamenti dei clienti che li generano. Il valore non può essere solo svelato da algoritmi neurali quasi magici che producono interpretazioni "non spiegabili"; ad esempio la *data mining* è stato – ad oggi – al disotto delle attese (rispetto agli investimenti allocati) e questa criticità si acuirà con il crescere dei "dati spazzatura".

Va infine affrontato lo scabroso tema del diluvio della posta elettronica e delle riunioni inutili, lunghissime e inefficaci, vera a propria "peste del XXI secolo". Queste ultime, in particolare, sono letteralmente esplose grazie alla facilità con cui si possono organizzare in remoto. Il nocciolo del problema non si risolve banalmente limitandosi a ridurre forzatamente le riunioni o cambiare il sistema di posta elettronica con altri sistemi di comunicazione digitale che promettono meno invasività. Si devono invece analizzare in profondità i processi comunicativi dell'azienda e i comportamenti generati di conseguenza, per comprendere perché queste criticità si manifestano con tale frequenza. Per quanto riguarda la posta elettronica – per esempio – le cause sono sostanzialmente tre:

- Volumi eccessivi (pensiamo al numero di messaggi di email o all'esplosione delle informazioni da elaborare) senza conseguenti azioni di contenimento né la ricerca di applicazioni più "robuste"
- Uso improprio e stabilizzato di comportamenti da neofita, imparati e assimilati appena ci si è avvicinati allo strumento (che spesso presenta funzioni molto sofisticate che richiedono però diverse fasi di addestramento)
- Abuso consapevole dello strumento, per fini personali o volutamente lesivi per l'azienda)

Bisogna dunque incominciare a misurare in maniera oggettiva l'impatto economico del "lato oscuro", facendone emergere i costi nascosti, spesso non contabilizzati perché sfuggenti o difficilmente quantificabili. Come ci ricorda

Einstein, poiché "non tutto ciò che conta può essere contato", si rischia di non contare ciò che davvero conta. E, nel caso del digitale, non si tratta solo degli elevati costi infrastrutturali, degli sprechi (acquisto di software inutili o sostanzialmente inefficaci, obsolescenza programmata dei *device*), della perdita di efficienza, ma anche degli elevati consumi energetici, dell'impatto ambientale non trascurabile, della perdita di efficacia (e di concentrazione) di manager e *professional* e della progressiva incapacità di pensare *out-of-the-box*, e quindi – alla lunga – di innovare. Basta dunque "dare i numeri"! Reintroduciamo – anche nel mondo digitale – un serio pensiero strategico ed un approccio credibile al *business modeling*. E per scongiurare il rischio più minaccioso e sottile – che il digitale ci "scappi di mano" senza che ce ne accorgiamo (come è già capitato con la posta elettronica) – occorre un monitoraggio costante non solo delle spese tecnologiche o del funzionamento delle infrastrutture, ma anche (forse soprattutto) dell'adeguatezza e correttezza del comportamento degli utilizzatori.

Il rischio è che la profezia di Donald Norman – psicologo, designer ed esperto di interazione – si avveri, rendendoci "esseri analogici intrappolati in un mondo digitale", senza speranza, e senza via di scampo.

## Bibliografia

- [1] Granelli, A. (2013). Il lato oscuro del digitale. Breviario per (soprav)vivere nell'era della Rete, Franco Angeli, Roma
- [2] Glanz J. (22 settembre 2012) "The Cloud Factories. Power, pollution and the Internet", *New York Times*
- [3] Nadkarni A. (9 gennaio 2013). The economics of copy data - IDC
- [4] ICF International, McAfee (aprile 2009) The Carbon Footprint of E-mail spam Report
- [5] Ophir E., Nass C., Wagner A. D. (agosto 2009) Cognitive control in media multitaskers - Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, Vol. 106 n. 37
- [6] Miratech (novembre 2011) La lecture sur un iPad est plus superficielle que sur un journal
- [7] Mark G., Gonzales V., Harris J. (2005) No task left behind? Examining the nature of fragmented work - Proceedings of the Conference in Human Factors in Computer Systems, Portland, Oregon
- [8] (12 gennaio 2013) "Innovation Pessimism. Has the idea machine broken down?", *The Economist*
- [9] (maggio 2010). Confindustria Servizi Innovativi e Tecnologici - Progetto Italia Digitale
- [10] (febbraio 2011) The Cloud Dividend: part two. The economics benefits of Cloud Computing to business and the wider EMEA economy. Comparative analyses on aggregated industry sectors

- [11] Chui M., Manyika J., Dobbs R. et al. (luglio 2012). The social economy: unlocking value and productivity through social technologies - McKinsey Global Institute
- [12] Osservatorio Agenda Digitale della School of management del Politecnico di Milano - Atti del convegno "Qual è la vera Agenda Digitale di partiti e coalizioni?" - 15 febbraio 2013
- [13] Bughin J., Manyika J. (febbraio 2014). The mobile Internet' consumer dividend - McKinsey Quarterly
- [14] (18 gennaio 2014) "Coming to an office near you. The Effect of today's technology on tomorrow's jobs will be immense - and no country is ready for it", The Economist
- [15] (4 ottobre 2014) "Wealth without workers, workers without wealth", The Economist,
- [16] Kirkland R. (settembre 2014) The great decoupling. Interview with Erik Brynjolfsson, Jeremy Howard, Robert Shiller - McKinsey Quarterly
- [17] Granelli, A., Trupia, F. (2014). Retorica e business. Intuire, ragionare, sedurre nell'era digitale, Egea, Milano

## Biografia

**Andrea Granelli** è presidente e fondatore di Kanso, società di consulenza nell'innovazione e il change management. Nel 1989 entra in McKinsey presso l'ufficio di Lisbona. Nel 1995 diventa il braccio destro di Nichi Grauso – fondatore di Video On Line (VOL) – partecipando al lancio di Internet in Italia. Nel 1996 vende VOL a Telecom Italia e fa nascere tin.it di cui fa l'amministratore delegato per diversi anni. Nel 2001 è nominato amministratore delegato di Tilab e responsabile di tutte le attività di Ricerca e Sviluppo del gruppo Telecom. Nella sua attività professionale ha creato molte aziende e lanciato diverse iniziative, oltre a tin.it: TILab, Loquendo, il fondo Saturn (fondo di Venture Capital di 280 milioni di dollari basato a New York), l'Interaction Design Institute di Ivrea, l'Esposizione permanente di tecnologia presso i chioschi di S. Salvador a Venezia e il laboratorio Multimediale dell'Università La Sapienza di Roma. Scrive periodicamente di tecnologie digitali e innovazione su quotidiani e riviste e ha pubblicato molti libri. Ha inoltre curato la voce Tecnologie della comunicazione per la nuova enciclopedia Scienza e Tecnica della Treccani. È presidente dell'associazione archivio storico Olivetti.

Email: [andrea.granelli@kanso.it](mailto:andrea.granelli@kanso.it)

# Il nuovo regolamento europeo in ambito privacy: Quali sono i punti di attenzione per le aziende italiane?

Antonio Piva - Attilio Rampazzo - Luca Spongano

*“Il nuovo Regolamento Europeo della privacy sarà una riforma che andrà innanzitutto a beneficio delle persone fisiche, rafforzando i loro diritti alla protezione dei dati e la loro fiducia nell’ambiente digitale; semplificherà notevolmente il quadro giuridico per le imprese e il settore pubblico. Ciò dovrebbe stimolare lo sviluppo dell’economia digitale in tutto il mercato interno dell’Unione Europea ed oltre, in linea con gli obiettivi della strategia dell’Europa 2020 e dell’Agenda digitale europea. Infine, la riforma aumenterà la fiducia tra le autorità di contrasto e faciliterà gli scambi di informazioni e la cooperazione tra le autorità stesse nella lotta contro le forme gravi di criminalità, garantendo nel contempo alle persone fisiche un livello elevato di protezione”<sup>1</sup>*

## 1. Introduzione

Se partiamo dalla concezione che sono dati personali tutte le informazioni riconducibili ad una persona, alla sua vita privata, professionale o pubblica come il nome, la foto, l’indirizzo e-mail, gli estremi bancari, i post nei social network o i referti medici, ci rendiamo conto dell’importanza di una normativa che garantisca e tuteli questo tipo di informazioni. La Carta dei diritti fondamentali dell’Unione europea afferma, infatti, che “ogni persona ha diritto alla protezione dei dati di carattere personale che la riguardano” in tutti gli ambiti della propria esistenza: a casa, al lavoro, quando fa acquisti oppure segue una cura medica, a scuola, su Internet. Nell’era digitale, poter raccogliere e conservare dati personali è diventato fondamentale e necessario anche per il

---

<sup>1</sup> Comunicazione della Commissione UE: “Salvaguardare la privacy in un mondo interconnesso Un quadro europeo della protezione dei dati per il XXI secolo” (Bruxelles, 25.1.2012; COM(2012) 9 final).

funzionamento dei sistemi stessi (si pensi, per esempio, all'utilizzo dei cookies<sup>2</sup>). In un mondo globalizzato, i trattamenti successivi alla raccolta, come la comunicazione fra imprese ed il trasferimento di dati a paesi terzi, sono diventati un fattore imprescindibile.

In questo contesto quasi tre anni fa, il 25 gennaio 2012, la Commissione europea ha ufficialmente presentato con un Regolamento Europeo<sup>3</sup>, la proposta di aggiornamento della normativa concernente la tutela delle persone fisiche con riguardo al trattamento dei dati personali e alla libera circolazione di tali dati.

Il Regolamento in questione, non solo andrà a sostituire la direttiva 95/46/CE in materia di protezione dei dati personali - recepita dal legislatore italiano con la legge 675/96, successivamente sostituita dal D.Lgs. 196/03, il nostro attuale "Codice Privacy" - ma uniformerà ed armonizzerà a livello europeo la legislazione in materia di protezione dei dati personali, risalente ormai a quasi 20 anni fa. Le imprese europee saranno agevolate da un quadro legislativo comune, senza così dover far fronte a normative differenti in ciascuno stato membro.

Il Regolamento UE, come atto "self-executing" (ai sensi dell'art. 288 del Trattato sul funzionamento dell'Unione europea - TFUE), sarà direttamente ed immediatamente esecutivo e non necessiterà del recepimento da parte degli Stati membri, divenendo operativo dal momento in cui sarà approvato. In linea con l'approccio pragmatico scelto dalla Commissione UE, sarà lasciato agli Stati membri ed alle Autorità competenti in materia un certo margine per mantenere o adottare, in conformità al Regolamento, norme specifiche di settore.

L'ultima versione del Regolamento, approvato in prima lettura dal Parlamento Europeo, è del 12 marzo 2014<sup>4</sup>, il cui testo è stato votato in maniera schiacciante (621 voti a favore, 10 contrari e 22 astensioni). Questo passaggio ha rappresentato un'importante impulso, formale e sostanziale, nel progresso dell'iter legislativo di approvazione. L'approvazione finale del documento - che secondo le ultime previsioni avverrà entro la prima metà del 2015 - spetterà al Parlamento Europeo attraverso la procedura legislativa ordinaria di co-decisione

<sup>2</sup> I cookies sono piccoli file di testo che i siti visitati dall'utente inviano al suo terminale, dove vengono memorizzati per essere poi ritrasmessi agli stessi siti alla successiva visita. Sono usati per eseguire autenticazioni informatiche, monitoraggio di sessioni e memorizzazione di informazioni degli utenti. Alcune operazioni non potrebbero essere compiute senza l'uso dei cookie, che in alcuni casi sono quindi tecnicamente necessari: a titolo esemplificativo, l'accesso all'home banking e le attività svolte sul proprio conto corrente online (visualizzazione dell'estratto conto, bonifici, pagamento di bollette, ecc.) sarebbero più complesse da svolgere e meno sicure senza la presenza di cookie in grado di identificare l'utente e mantenerne l'identificazione nell'ambito della sessione.

<sup>3</sup> Al riguardo si veda il Comunicato Stampa del Garante privacy, pubblicato il 7 Febbraio 2012.

<sup>4</sup> Il Testo emendato era stato già votato il 21 Ottobre 2013 dalla Commissione Libe (Libertà civili, giustizia e affari interni). È importante precisare che la bozza di Regolamento è stata e a tutt'oggi è, ancora, discussa in seno al Consiglio "Giustizia e affari interni" (GAI).

con il Consiglio Europeo<sup>5</sup>. I Titolari del trattamento (imprese private, enti pubblici, studi professionali, etc.) avranno tempo due anni dalla pubblicazione del testo definitivo per mettersi in regola con gli adempimenti derivanti<sup>6</sup>.

## Campo di applicazione

Le norme interesseranno tutti quei soggetti (anche extraeuropei) che sono chiamati a trattare (in maniera automatizzata o meno) i dati relativi, per esempio, a clienti, dipendenti, studenti, utenti, fornitori. In sostanza, viene introdotto il principio dell'applicazione del diritto dell'Unione Europea anche ai trattamenti di dati personali non svolti nell'UE, se relativi all'offerta di beni o servizi a cittadini UE o tali da comportare il monitoraggio dei loro comportamenti.

Il Regolamento, come espressamente affermato anche nei relativi *considerando* al testo, si applicherà anche al trattamento di identificativi prodotti da dispositivi, applicazioni, strumenti e protocolli, quali gli indirizzi IP, i cookies e i tag di identificazione a radiofrequenza, salvo il caso in cui tali identificativi non si riferiscano a una persona fisica identificata o identificabile.

Le aziende e le istituzioni pubbliche dovranno, pertanto, adottare politiche ed attuare misure adeguate per garantire ed essere in grado di dimostrare che il trattamento dei dati personali effettuato sia conforme - fin dalla fase embrionale - a tutte le disposizioni del Regolamento.

Di importanza non secondaria, sarà l'impianto sanzionatorio. Al fine di rendere punibile chiunque, persona di diritto pubblico o di diritto privato, non ottemperi alle disposizioni del Regolamento, quest'ultimo richiederà agli Stati membri di garantire sanzioni efficaci, proporzionate e dissuasive e di adottare tutte le misure necessarie per la loro applicazione. L'Autorità di Controllo potrà arrivare ad imporre sanzioni amministrative pecuniarie fino a 100 milioni di Euro o fino al 5% del fatturato mondiale annuo (se superiore) nel caso di un'impresa.

Nella trattazione che segue viene fornita una sintesi, per punti distinti, delle principali e fondamentali novità derivanti dalla proposta di nuovo Regolamento Europeo.

## Dovere di documentazione e di informazione

Sarà necessario elaborare un sistema documentale di gestione della privacy contenente tutti gli atti, regolarmente aggiornati, elaborati per soddisfare i requisiti di conformità al Regolamento. È l'applicazione operativa del principio di rendicontazione (o di "accountability"), secondo cui il Titolare del trattamento deve conservare la documentazione di tutti i trattamenti effettuati sotto la propria responsabilità, indicando obbligatoriamente - per ognuno di essi - una serie "nutrita" di informazioni, tali da assicurare e comprovare la conformità di

<sup>5</sup> Si tratta del c.d. "trilogo", secondo il cui procedimento l'adozione definitiva di un Regolamento avviene a seguito della negoziazione congiunta tra Parlamento, Consiglio e Commissione Europea. Al riguardo si vedano, in particolare, gli articoli 288, 289 e 294 del TFUE (Trattato sul funzionamento dell'Unione europea).

<sup>6</sup> Si veda l'art. 91 del testo del Regolamento presentato dalla Commissione UE il 25.01.2012

ciascuna operazione alle disposizioni del Regolamento (qualcosa di simile al Documento Programmatico sulla Sicurezza, ma di portata più ampia).

In tal senso, acquisirà ancora più importanza il principio di trasparenza e di informazione nei confronti dell'interessato, che il Titolare del trattamento farà valere sia attraverso l'adozione di politiche concise, trasparenti, chiare e facilmente accessibili, sia mediante la resa di informazioni e comunicazioni con un linguaggio semplice e chiaro (in particolare se le informazioni sono destinate ai minori). Ancora più rilevante diverrà l'obbligo di resa dell'informativa privacy e della acquisizione "granulare" dei consensi (specifici per ogni tipologia di trattamento), quando dovuti. Il Regolamento amplierà il contenuto da inserire nell'Informativa rispetto al dettato dall'art. 13 dell'attuale Codice Privacy (si veda la sintesi riportata nel riquadro sottostante)

**Le informazioni da fornire all'interessato**  
**L'informativa: D.Lgs. 196/03 e Regolamento Europeo**

PRINCIPALI ADEMPIMENTI CODICE PRIVACY	PRINCIPALI NOVITA' DEL REGOLAMENTO EUROPEO
<b>Finalità e modalità</b> del trattamento	<b>Tabella sinottica "standard"</b> (art 13.bis)
<b>Natura obbligatoria / facoltativa</b> del conferimento	Informazioni concernenti la <b>sicurezza del trattamento</b>
Conseguenze di <b>rifiuto di rispondere</b>	Periodo di <b>conservazione</b> / criteri per determinarlo
Soggetti / categorie ai quali i dati possono essere <b>comunicati</b> o che possono venirne a conoscenza come Responsabili o Incaricati	Diritto di proporre <b>reclamo</b> all'Autorità di C. e sue coordinate
Ambito di <b>diffusione</b>	Intenzione, se del caso, di <b>trasferire</b> dati
<b>Diritti di accesso e altri diritti</b> (Art.7)	Informazioni, se del caso, sull'esistenza della <b>profilazione</b>
<b>Estremi identificativi</b> del Titolare / Rappr. nello Stato / Resp. del trattamento / Resp. riscontro all'interessato	<b>Ogni altra informazione necessaria</b> per garantire un trattamento equo
Sito / modalità per conoscere <b>elenco dei Resp.</b>	Informazioni, se del caso, su <b>trasmissione alle autorità pubbliche</b> durante gli ultimi 12 mesi consecutivi.

### Valutazione d'impatto sulla protezione dei dati

I Titolari dovranno effettuare una Valutazione degli impatti privacy (*Data Protection Impact Analysis* – DPIA) fin dal momento della progettazione del processo aziendale e degli applicativi informatici di supporto, nei casi in cui il trattamento alla base degli stessi, per sua natura, oggetto o finalità, presenti rischi specifici per i diritti e le libertà degli interessati. In particolare, a titolo meramente esemplificativo e non esaustivo, la DPIA andrà realizzata per trattamenti quali: la valutazione sistematica di aspetti della personalità dell'interessato o quelli volti ad analizzarne la situazione economica, l'ubicazione, lo stato di salute, l'affidabilità o il comportamento, mediante un trattamento automatizzato; per trattamenti di dati concernenti la vita sessuale, la prestazione di servizi sanitari, lo stato di salute, la razza e l'origine etnica; o, ancora, per trattamenti di dati in archivi su larga scala riguardanti minori, dati genetici o dati biometrici, a sorveglianza di zone accessibili al pubblico, in

particolare se effettuata mediante dispositivi ottico-elettronici (video-sorveglianza).

Stando a quanto disposto dal Considerando n° 70 del Regolamento, verrà abolito l'obbligo di Notificazione di specifici trattamenti<sup>7</sup> all'Autorità di Controllo (il nostro attuale Garante Privacy). Tale adempimento è considerato dal Legislatore europeo come un obbligo che comporta oneri amministrativi e finanziari senza aver mai veramente contribuito a migliorare la protezione dei dati personali (in particolare per le piccole e medie imprese). È pertanto necessario (continua il testo del Regolamento) abolire tale obbligo generale di notificazione e sostituirlo con meccanismi e procedure efficaci che si concentrino piuttosto su quelle operazioni di trattamento che potenzialmente presentano rischi specifici per i diritti e le libertà degli interessati, per la loro natura, portata o finalità. In tali casi sarà necessaria una valutazione d'impatto sulla protezione dei dati, da effettuarsi prima del trattamento, che verta, in particolare, sulle misure, sulle garanzie e sui meccanismi previsti per assicurare la protezione dei dati personali e per comprovare il rispetto del Regolamento.

### **Designazione di un Data Protection Officer - DPO (o Privacy Officer)**

Già nel 2006, il Presidente del Garante Privacy Francesco Pizzetti, affermava *“Vedo con molto favore l'istituzione della figura del Data Protection Officer (DPO) specialmente per le aziende e le corporation medie e grandi. La diffusione di questa figura non potrebbe che aiutare l'azione del Garante e la diffusione stessa della privacy nell'ambito delle strutture di impresa”*<sup>8</sup>. Con l'avvento del nuovo Regolamento troverà previsione la nuova figura del “Responsabile per la protezione dei dati”. Le categorie che dovranno adempiere saranno<sup>9</sup> tutte le autorità ed organismi pubblici e, in ambito privato, le imprese che trattino i dati di un certo numero di persone (c.d. interessati) o tipologie di dati che per natura, oggetto o finalità siano definite categorie “a rischio” dalla normativa.

Il DPO andrà designato per un dato periodo - quattro anni in caso di servizi esternalizzati in outsourcing – e in funzione delle qualità professionali, della

<sup>7</sup> Si vedano al riguardo l'art. 37 del D.Lgs. 196/03 e i Provvedimenti emessi dal Garante Privacy in cui vengono individuati alcuni trattamenti (nell'ambito di quelli previsti dall'art. 37) che presentano minori rischi per i diritti degli interessati e sono pertanto esonerati dall'obbligo di notificazione [doc. web n. 852561; doc. web n. 993385; doc. web n. 996680; doc. web n. 1823225].

<sup>8</sup> Parole rilasciate nel 2006, in occasione dell'European Privacy Officers Forum – Epof (associazione che riunisce i Privacy Officers operanti all'interno di circa 35 società multinazionali con sede in Europa). Rif. Newsletter del Garante Privacy n. 278 del 19 giugno 2006.

<sup>9</sup> I casi di designazione necessaria del DPO sono, ad oggi, ambito ancora dibattuto in seno al Consiglio Giustizia e Affari Interni (GAI). In ambito privato, nel testo del 25 Gennaio 2012, l'obbligatorietà del DPO trova previsione per le imprese private di almeno 250 o più dipendenti; nella versione del 12 Marzo 2014, per le aziende che effettuano trattamenti di almeno 5.000 interessati in 12 mesi consecutivi. Si ricordi, comunque, che la designazione del DPO è obbligatoria nelle istituzioni dell'Unione Europea e, da alcuni anni, in diversi Stati Membri, in base all'art. 18 della Direttiva 95/46/CE. Con la continuazione delle discussioni del c.d. trilogio (rif. nota n.5) si svilupperà definitivamente il tema del DPO

conoscenza specialistica della normativa. I Titolari del trattamento dovranno assicurarsi che ogni altra eventuale funzione professionale della persona che rivestirà il ruolo di DPO sia compatibile con i compiti e le funzioni dello stesso in qualità di DPO e non dia adito a conflitto di interessi (dovrà quindi essere autonomo, indipendente e non ricevere alcuna istruzione per l'esercizio delle sue attività).

Il DPO, il cui mandato potrà essere rinnovabile, potrà essere assunto oppure adempiere ai suoi compiti in base a un contratto di servizi. Il Titolare del trattamento, che a seconda della forma contrattuale, potrà essere datore di lavoro o committente, dovrà fornire al DPO tutti i mezzi inclusi il personale, i locali, le attrezzature e ogni altra risorsa necessaria per adempiere alle sue funzioni e per mantenere la propria conoscenza professionale. I principali compiti del DPO, il cui nominativo andrà comunicato all'Autorità di Controllo e al pubblico, saranno quelli di:

- sensibilizzare e consigliare il Titolare in merito agli obblighi (misure e procedure tecniche e organizzative) derivanti Regolamento;
- sorvegliare l'applicazione delle politiche compresa l'attribuzione delle responsabilità, la formazione del personale che partecipa ai trattamenti e l'effettuazione degli audit connessi;
- sorvegliare l'applicazione del Regolamento, con particolare riguardo alla protezione fin dalla progettazione, alla protezione di default, alla sicurezza dei dati, alle informazioni dell'interessato ed alle richieste degli stessi per esercitare i diritti riconosciuti;
- controllare che il Titolare effettui la Valutazione d'impatto sulla protezione dei dati (c.d. DPIA) e richieda all'Autorità di Controllo l'autorizzazione preventiva o la consultazione preventiva nei casi previsti;
- fungere da punto di contatto per l'Autorità di Controllo per questioni connesse al trattamento e consultarla, se del caso, di propria iniziativa;
- informare i rappresentanti del personale (es. rappresentanti sindacali) sui trattamenti che riguardano i dipendenti.

Si può quindi affermare, che si procede verso la creazione di una nuova categoria professionale che dovrà disporre di precise e specifiche competenze sia giuridiche che informatiche nell'ambito della protezione dei dati personali. In questa medesima direzione va inteso lo strumento di apprendimento e di verifica realizzato da AICA con il Modulo di Certificazione "Protezione dei dati personali – Privacy e Sicurezza" all'interno della Certificazione "Diritto e ICT".

Allo stato attuale non ci sono figure professionali specifiche che possano fregiarsi del titolo di DPO, né probabilmente ci saranno a breve specifiche certificazioni data la specifica volontà del legislatore europeo di affidare agli atti delegati della Commissione europea questa materia. Da una parte si può quindi affermare che non sono strettamente indispensabili (anche se, nella nostra opinione, vivamente consigliate) certificazioni per ricoprire il ruolo del DPO, quanto invece necessaria una "conoscenza specialistica della normativa e delle pratiche in materia di protezione dei dati, e della capacità di adempiere ai compiti".

Dall'altra parte, è probabile che le uniche certificazioni relative al DPO che avranno un valore nei prossimi anni - al fine della designazione del DPO - saranno solo e soltanto quelle già internazionalmente riconosciute e rilasciate da organismi che operano da anni nel settore come per esempio quelle riguardanti lo standard EUCIP, lo standard e-CF (European e-Competence Framework) ed e-CFPlus, ai quali hanno collaborato il Cepis ed AICA, o certificazioni rilasciate da ISACA<sup>10</sup> e da IAPP<sup>11</sup> (p.e. CISA, CISM, CIPP, CISPP e simili) poiché dirette a verificare competenze effettive e non certificazioni semplicemente formali. Certamente queste figure avranno necessità anche di un background tecnico, organizzativo e giuridico sulla protezione dei dati. In questa direzione può essere utilizzata la già citata certificazione "Protezione dei dati personali - Privacy e Sicurezza" di AICA.

### Attuazione dei requisiti di sicurezza dei dati

L'attuale normativa privacy prevede, in capo ai Titolari del trattamento, l'adozione di differenti tipologie di misure di sicurezza: quelle minime (predefinite ed indicate nell'Allegato B al Codice Privacy); quelle idonee (individuata a seguito di analisi del rischio e in relazione alle conoscenze acquisite, al progresso tecnologico, alla natura dei dati ed alle specifiche del trattamento); quelle prescritte dal Garante Privacy (mediante i Provvedimenti generali e specifici). L'attuale testo del Regolamento affronta il tema della sicurezza dei dati in maniera generica, lasciando aperta, come vedremo, la determinazione di dettaglio delle misure da adottare a futuri interventi da parte del Comitato europeo per la protezione dei dati<sup>12</sup> e della Commissione UE.

L'attuale testo del Regolamento richiede la messa in atto di misure tecniche e organizzative adeguate per garantire un livello di sicurezza appropriato, in relazione ai rischi che il trattamento comporta. L'adeguatezza di tali misure deve derivare dai risultati della valutazione di impatto (DPIA), dall'evoluzione tecnica e dai costi di attuazione. Tale politica di sicurezza deve includere: a) la capacità di assicurare che sia convalidata l'integrità dei dati personali; b) la capacità di assicurare riservatezza, integrità, disponibilità e resilienza dei sistemi e dei servizi che trattano i dati personali; c) la capacità di ripristinare la disponibilità e l'accesso ai dati in modo tempestivo, in caso di incidente fisico o tecnico che abbia un impatto sulla disponibilità, sull'integrità e sulla riservatezza dei sistemi e dei servizi di informazione; d) in caso di trattamento di dati personali sensibili, misure di sicurezza aggiuntive per garantire la consapevolezza dei rischi e la

<sup>10</sup> ISACA - conosciuta come Information Systems Audit and Control Association, ora ISACA è solo un acronimo che identifica l'Associazione Internazionale che raggruppa un'ampia gamma di professionisti che operano nell'IT Governance.

<sup>11</sup> IAPP - International Association of Privacy Professionals.

<sup>12</sup> Il Comitato europeo per la protezione dei dati sostituirà il gruppo per la tutela delle persone con riguardo al trattamento dei dati personali istituito con direttiva 95/46/CE. Il comitato sarà composto dal responsabile dell'Autorità di controllo di ciascuno Stato membro e dal Garante europeo della protezione dei dati. Il Comitato contribuirà all'applicazione uniforme del Regolamento in tutta l'Unione Europea.

capacità di adottare in tempo reale azioni di prevenzione, correzione e attenuazione, contro le vulnerabilità riscontrate o gli incidenti verificatisi, che potrebbero costituire un rischio per i dati; e) un processo per provare, verificare e valutare regolarmente l'efficacia delle politiche, delle procedure e dei piani di sicurezza attuati per assicurare la continua efficacia. Le misure appena citate devono come minimo: a) garantire che ai dati personali possa accedere soltanto il personale autorizzato agli scopi autorizzati dalla legge; b) proteggere i dati personali conservati o trasmessi dalla distruzione accidentale o illegale, dalla perdita o dalla modifica accidentale e dalla conservazione, trattamento, accesso o comunicazione non autorizzati o illegali; nonché c) assicurare l'attuazione di una politica di sicurezza in relazione con il trattamento dei dati personali. È assai probabile che l'adesione a codici di condotta (approvati ai sensi dell'articolo 38 del Regolamento) o un meccanismo di certificazione (approvato ai sensi dell'articolo 39 del Regolamento) possano essere utilizzati come elementi per dimostrare la conformità ai requisiti di sicurezza sopra elencati.

Sarà il Comitato europeo per la protezione dei dati l'ente deputato ad emettere orientamenti, raccomandazioni e migliori prassi, per le misure tecniche e organizzative, compresa la determinazione di ciò che costituisce l'evoluzione tecnica - per settori specifici e in specifiche situazioni di trattamento dei dati - in particolare tenuto conto degli sviluppi tecnologici e delle soluzioni per la protezione fin dalla progettazione e per la protezione di default.

Inoltre, se necessario, la Commissione UE potrà adottare atti di esecuzione per precisare i requisiti delle misure sopra elencate, in particolare per: a) impedire l'accesso non autorizzato ai dati personali; b) impedire qualunque forma non autorizzata di divulgazione, lettura, copia, modifica, cancellazione o rimozione dei dati personali; c) garantire la verifica della liceità del trattamento.

### **Privacy by design e Protezione di default**

Si tratta dell'esplicitazione del principio dell'incorporazione della privacy fin dalla progettazione del processo aziendale e degli applicativi informatici di supporto, ovvero la messa in atto di meccanismi per garantire che siano trattati - di default - solo i dati personali necessari per ciascuna finalità specifica del trattamento (si tratta della riattualizzazione in chiave moderna del principio di necessità sancito dal Codice Privacy). I Titolari del trattamento dovranno, pertanto, prevedere meccanismi di protezione dei dati fin dalla progettazione delle attività e per l'intera gestione del ciclo di vita dei dati - dalla raccolta alla cancellazione - incentrandosi sistematicamente sulle garanzie procedurali in merito all'esattezza, alla riservatezza, all'integrità, alla sicurezza fisica ed alla cancellazione dei dati. Tali meccanismi andranno identificati sia nel momento in cui si definiscono le finalità e i mezzi del trattamento sia all'atto del trattamento stesso, tenuto conto dell'evoluzione tecnica (e dei costi di attuazione) delle migliori prassi (best practices) internazionali e dei rischi del trattamento. A livello operativo vorrà dire sia fare in modo che la quantità dei dati raccolti e la durata della conservazione (o eventuale diffusione) non vada oltre il minimo necessario per le finalità perseguite, sia predisporre meccanismi che garantiscano che, di

default, non siano resi accessibili dati ad un numero indefinito di persone e che gli interessati siano in grado di controllarne il flusso. Questo avrà un forte impatto nello sviluppo di software destinati al trattamento di dati (es. CRM, ERP, gestionali aziendali) e sul rinnovamento del parco informatico delle amministrazioni, delle imprese e degli studi professionali.

### **Obblighi di segnalazione in caso di Violazione sui dati**

Con la nozione di violazione dei dati personali (c.d. “personal data breaches”), si intende: la distruzione, la perdita, la modifica, la rivelazione non autorizzata o l'accesso, in modo accidentale o illecito, ai dati personali trasmessi, memorizzati o comunque elaborati.

I Titolari del trattamento, in caso di una violazione come sopra descritta, dovranno mettere in atto due differenti azioni: la notificazione della violazione all'Autorità di controllo e la segnalazione al diretto interessato.

Nel primo caso, accertata la violazione, la relativa notificazione dovrà contenere una serie nutrita di informazioni: la natura della violazione medesima, le categorie e il numero di interessati coinvolti; l'identità e le coordinate di contatto del DPO; l'elenco delle misure raccomandate per attenuare i possibili effetti pregiudizievoli della violazione dei dati; la descrizione degli impatti derivanti; le misure proposte o adottate per porre rimedio alla violazione e attenuarne gli effetti.

Inoltre, l'Autorità di Controllo conserverà un registro pubblico delle tipologie di violazione notificate.

Nel caso in cui, poi, la violazione rischi di pregiudicare i dati, attentare alla vita privata, ai diritti o agli interessi legittimi dell'interessato, il Titolare, dopo aver provveduto alla notificazione, dovrà comunicare la violazione al diretto interessato senza ritardo. In mancanza l'Autorità di Controllo, considerate le presumibili ripercussioni negative della violazione, potrà obbligare il Titolare a farlo. La comunicazione all'interessato dovrà essere esaustiva e redatta in un linguaggio semplice e chiaro e descrivere la natura e le conseguenze della violazione, le misure raccomandate per attenuare i possibili effetti pregiudizievoli, i diritti esercitabili dall'interessato. La comunicazione non sarà richiesta quando il Titolare dimostrerà in modo convincente all'Autorità di Controllo di aver utilizzato le opportune misure tecnologiche di protezione (es. cifratura) e che tali misure sono state applicate, proprio, ai dati violati (es. furto tablet con dati sanitari cifrati). Queste misure tecnologiche di protezione devono rendere i dati incomprensibili a chiunque non sia autorizzato ad accedervi.

### **Riconoscimento di nuovi diritti**

Il testo del Regolamento riconosce, sancendoli nel testo, nuovi diritti. In particolare si fa riferimento al Diritto all'oblio e Diritto alla portabilità del dato (rispettivamente, *right to be forgotten / right to erasure* e *data portability*).

Con Diritto alla portabilità del dato si intende il riconoscimento sia del diritto dell'interessato a trasferire i propri dati (es. quelli relativi al proprio “profilo utente”) da un sistema di trattamento elettronico (es. Social Network) ad un altro

senza che il Titolare possa impedirlo, sia del diritto di ottenere gli stessi in un formato elettronico strutturato e di uso comune che consenta di farne ulteriore uso. Tale diritto dovrebbe trovare applicazione quando l'interessato ha fornito i dati al sistema di trattamento automatizzato acconsentendo al trattamento o in esecuzione di un contratto.

L'impulso alla base del diritto all'oblio nasce per regolare la diffusione del dato nella "rete"<sup>13</sup>, in maniera tale che l'interessato abbia diritto di ottenere dal Titolare del trattamento la loro cancellazione totale e la rinuncia ad una loro ulteriore diffusione. Per rafforzare il "diritto all'oblio" nell'ambiente on-line, il Titolare che ha pubblicato dati personali, potrà essere obbligato ad informare i terzi (che trattano i medesimi dati), della richiesta dell'interessato di cancellare qualsiasi link, copia o riproduzione dei suoi dati personali. Per garantire tale diritto, sarà necessario che il Titolare del trattamento prenda tutte le misure ragionevoli, anche di natura tecnica, in relazione ai dati della cui pubblicazione è responsabile avendoli immessi per primo in rete. Il diritto all'oblio potrà, poi, permettere di gestire meglio i rischi connessi alla protezione dei dati online: si potrà richiedere, ottenendola, la possibilità di cancellare i propri dati se non sussistono motivi legittimi per mantenerli<sup>14</sup>.

## Conclusione

La rilevanza generale della proposta, come appare chiaro, ha una notevole portata. Non si tratterà di una semplice revisione, bensì di un intervento normativo a fronte dell'esperienza maturata negli ultimi anni su settori sino ad oggi solo sfiorati, che avrà effetti anche sulla concezione stessa della 'privacy', facendola calare sempre all'interno dei processi e dell'organizzazione aziendale non più come elemento/adempimento successivo ma presupposto ancillare e propedeutico già nelle fasi di progettazione dei processi.

Il fine primario del nuovo quadro giuridico sarà, poi, quello di apportare migliorie per le persone fisiche e per i Titolari del trattamento (aziende, imprese, enti pubblici), di dimostrarsi valido anche per i prossimi anni ed in grado di reggere gli impatti posti, in particolare, dall'avvento delle nuove tecnologie (pensiamo

<sup>13</sup> La Corte di Giustizia dell'Unione Europea si è pronunciata, il 13 maggio 2014, in tema di diritto all'oblio su Google, nell'ambito della causa tra Google Spain e Google Inc., da una parte, e Agencia Española de Protección de Datos (AEPD) e il sig. González, dall'altra. L'Agenzia di protezione spagnola aveva accolto la denuncia depositata dal sig. González contro Google Spain e Google Inc., ordinando a quest'ultima di adottare le misure necessarie per rimuovere dai propri indici alcuni dati personali riguardanti l'interessato e impedirne il futuro accesso.

<sup>14</sup> Al riguardo si vede il servizio on-line messo a disposizione da Google attraverso il quale l'interessato può – se non ricopre nella vita pubblica un ruolo tale da giustificare l'ingerenza nei suoi diritti fondamentali con l'interesse preponderante del pubblico ad avere accesso all'informazione personale - richiedere che l'informazione che lo riguarda non venga più messa a disposizione del pubblico tramite indicizzazione sul motore di ricerca.

per esempio alle sfide, in ottica privacy, derivanti dal Cloud Computing<sup>15</sup> o dall'Internet of Things - IoT).

Si può quindi affermare che si assisterà ad un passaggio da un sistema di tipo formalistico come quello attuale, ad uno di alta responsabilizzazione sostanziale in cui sarà richiesto un ruolo proattivo ai Titolari del trattamento.

In conclusione, una risposta efficace ed efficiente agli obblighi sopra descritti non potrà non passare dalla predisposizione e formalizzazione di un preciso organigramma privacy interno che "regoli il traffico" e vada a definire il "chi fa cosa", coerentemente alle mansioni aziendali<sup>16</sup>. Di non meno importanza sarà anche, da una parte la predisposizione, a livello contrattuale in caso di trattamenti esternalizzati, di precise clausole che prevedano la sottoscrizione di Service Level Agreement (SLA) o Privacy Level Agreement (PLA)<sup>17</sup>, dall'altra la predisposizione di un "Sistema 231" (responsabilità amministrativa delle persone giuridiche), che si sostanzia sempre più in pratiche di controllo interno aziendale - anche secondo lo schema PDCA: Plan, Do, Check, Act - per la protezione dell'organizzazione dalla commissione dei reati presupposto quali i reati informatici ed i trattamenti illeciti di dati (di cui, in particolare, all'art. 24 del D.Lgs. 231/2001).

## Biografie

**Antonio Piva**, laureato in Scienze dell'Informazione, Vice Presidente dell'ALSI (Associazione Nazionale Laureati in Scienze dell'Informazione ed Informatica) e Presidente della commissione di informatica giuridica. Ingegnere dell'Informazione, docente a contratto di diritto dell'ICT, qualità e comunicazione all'Università di Udine. Consulente su Governo Elettronico, Agenda Digitale ed innovazione nella PA locale, Auditor Sistemi informativi e 231, è consulente e valutatore di sistemi di qualità ISO9000, Privacy e Sicurezza presso Enti pubblici e privati. Ispettore AICA presso scuole ed enti di formazione. Membro del Consiglio Nazionale del Forum Competenze Digitali, è Presidente della Sezione Territoriale AICA del Nord Est.

Email: antonio@piva.mobi

<sup>15</sup> Lo scorso agosto è stata pubblicata la ISO/IEC 27018:2014 Information Technology -- Security Techniques -- Code of Practice for Protection of Personally Identifiable Information (PII) in public clouds acting as PII processors Si tratta di un set di regole costruito sugli standards ISO 27001 e 27002 per garantire il rispetto dei principi e delle norme privacy da parte dei providers di public cloud che se ne dotano.

<sup>16</sup> Al riguardo si indica la norma ISO/IEC 29100:2011 Information Technology -- Security Techniques -- Privacy framework che fornisce i riferimenti per la gestione di un Sistema di Gestione della Privacy

<sup>17</sup> Nell'ambito della famiglia di norme ISO/IEC 27000 sono state pubblicate le seguenti norme che danno ottime linee guida sull'argomento:

- ISO/IEC 27036-1: 2014 - Information security for supplier relationships — Part 1: Overview and concepts
- ISO/IEC 27036-2: 2014 - Information security for supplier relationships — Part 2: Requirements

ISO/IEC 27036-3:2013 - Guidelines for ICT supply chain security

**Attilio Rampazzo**, CISA CRISC, C|CISO CMC consulente di Sistemi Informativi e Sicurezza delle Informazioni in primaria azienda di Servizi Informatici italiana. Ha maturato un'esperienza pluriennale nello sviluppo e conduzione di progetti informatici in ambito bancario e finanziario, nei quali la qualità e la sicurezza hanno ricoperto un ruolo determinante. E' Vice Presidente di AICA sez. Nord Est e CISA Coordinator e Research Director in ISACA Venice chapter. Svolge attività come Valutatore di Sistemi di Sicurezza delle Informazioni e di Sistemi di Gestione dei Servizi (cert. AICQ Sicev) presso CSQA Certificazioni. Trainer accreditato APMG per ITIL, ISO 20000 e Cobit 5. Docente ai corsi per LA ISO/IEC 27001, LA ISO/IEC 20000-1, LA ISO 22301 riconosciuti AICQ Sicev. Socio AICA, AICQ, ISACA Venice chapter, ASSOVAL, ANIP.

Email: attilio.rampazzo@gmail.com

**Luca Spongano**, ha conseguito il Master in Diritto delle Nuove Tecnologie ed Informatica Giuridica presso l'Alma Mater Studiorum di Bologna - Facoltà di Giurisprudenza di Bologna (Cirsfid). Ha operato, tra gli altri, come esperto legale nel diritto delle nuove tecnologie e diritto dell'informatica, addetto alla gestione della normativa in ambito Protezione dei dati personali all'interno del Presidio Privacy della seconda Multiutility italiana, contribuendo alla definizione e mantenimento del Sistema di Gestione Privacy dell'intero Gruppo. È autore sulla rivista telematica informatico/legale Filodiritto. È membro del Gruppo Diritto ICT e Privacy nonché Consigliere della Sezione Territoriale AICA dell'Emilia Romagna. È curatore del "Privacy Blog" ([www.lucaspongano.it/wordpress/](http://www.lucaspongano.it/wordpress/)) inerente le tematiche del diritto dell'informatica con un focus sulle tematiche Privacy. Svolge attività di assistenza e consulenza in ambito Privacy.

Email: lucaspongano@gmail.com