

Editoriale

Analizzare il mondo digitale nel segno delle intersezioni

La storia dell'Informatica è punteggiata di numerose figure femminili di colore, già a partire dagli anni '50. Particolarmente nota è la vicenda umana ed il contributo scientifico e tecnologico delle calcolatrici¹ nere della NASA nelle missioni spaziali che portarono poi nel 1969 il primo uomo sulla Luna. Sono le protagoniste del film "Hidden Figures" (distribuito in Italia con il titolo "Il diritto di contare"), ovvero Katherine Johnson, Dorothy Vaughan, e Mary Jackson. La prima divenne persona di fiducia per il calcolo delle traiettorie dei razzi nelle missioni Mercury ed Apollo, la calcolatrice nelle cui mani vi furono le vite dei primi astronauti. Insignita della Presidential Medal of Freedom dal presidente Barack Obama nel 2015 e riconosciuta come role model nelle STEM (si pensi alla sua riproduzione come Barbie da parte della Mattel e come pupazzetto nella serie speciale Lego dedicata agli eroi e alle eroine nelle missioni aerospaziali), al suo nome è intitolato il Computational Research Facility della NASA. Vaughan fu pioniera della programmazione dei primi calcolatori digitali acquisiti dalla NASA per accelerare la corsa allo spazio, salvando il posto di lavoro per se stessa e per le sue colleghe calcolatrici destinate ad essere rimpiazzate dalle macchine. Jackson fu la prima donna nera a diventare ingegnere aeronautico presso la NASA, lavorando nel team diretto dalla Vaughan.

Molto meno nota è invece la figura di Gladys West. A Carla Petrocelli, autrice dell'articolo "La magia invisibile del GPS. Gladys West e la forma della Terra" ospitato in questo numero nella rubrica "Ada e le altre", va il merito di farcela scoprire, sottraendola ad un oblio comune a molte informatiche della prima era, oblio particolarmente inesorabile nel caso di quelle dalla pelle scura.

¹ Il termine computer indicava a quei tempi la professione esercitata da matematici e matematiche particolarmente dotati/e per il calcolo, effettuato rigorosamente a mente o al più a mano. Con l'avvento delle macchine calcolatrici, il termine ha perso questo riferimento alle persone ed è diventato poi sinonimo di calcolatore elettronico.

Come infatti sottolineato da Petrocelli, vi è una oggettiva difficoltà a reperire informazioni su queste figure per via della scarsità di fonti che documentino il loro contributo pur importante al progresso scientifico e tecnologico del settore. Gladys West compie una scalata sociale non irrilevante nell’America degli anni ‘50, eludendo grazie al suo talento matematico un destino segnato di lavoro nelle piantagioni di tabacco in Virginia in cui era nata e cresciuta. Il nome di West è legato allo sviluppo del GPS e agli studi di geodesia, nonché all’uso dei calcolatori elettronici per l’elaborazione dei dati satellitari.

Ancora oggi il contributo della comunità afroamericana agli sviluppi dell’Informatica è di assoluto rilievo. Gli scenari sono in un certo senso cambiati rispetto agli anni ‘50, sebbene non drasticamente come si potrebbe pensare. Persistono stereotipi e pregiudizi (in una parola, un bias, per dirla con gli anglosassoni) che persino la società multietnica americana non è ancora riuscita a scardinare, nonostante gli eccellenti contributi degli uomini e delle donne di colore al progresso del Paese e alla sua egemonia scientifica e tecnologica nel mondo. Le loro vicende umane e professionali richiedono una riflessione profonda sul tema della diversità e dell’inclusione, un tema sempre più caldo in ICT. Le informatiche nere in particolare sono attivamente impegnate nel contrasto alle discriminazioni nel loro settore, anche perché per loro alla discriminazione di genere si somma quella razziale. Ed ecco che, quando si considerano gli ostacoli che queste donne sono costrette ad affrontare per affermarsi nella vita, negli studi e nelle professioni, si rende necessaria una cosiddetta “analisi intersezionale”, ovvero l’analisi delle intersezioni fra due o più dimensioni della diversità, nello specifico quelle legate al genere e alla “razza”².

Il potere dirompente delle tecnologie di Intelligenza Artificiale (IA), e la crescente pervasività delle sue applicazioni in tutti gli ambiti della nostra vita, stanno portando all’attenzione della comunità scientifica internazionale innumerevoli questioni legate agli impatti etici, legali, sociali ed economici. Ancora una volta, e forse mai come ora, la comunità afroamericana è in prima fila, contribuendo un preziosissimo sguardo lungimirante e critico sui pericoli che una IA mal progettata, mal implementata e mal applicata può comportare. Emblematica è la

² Il termine odioso di razza, sebbene si riferisca ad un concetto non fondato scientificamente, sarà qui usato analogamente a quanto è fatto in tutti i documenti istituzionali che regolano i principi di uguaglianza e di non-discriminazione a livello nazionale ed internazionale, per esempio la Costituzione Italiana

1968: Olivetti - NASA, una storia da raccontare

Norberto Patrignani

in collaborazione con

Laboratorio-Museo Tecnologico@mente - L'Innovazione Olivetti

Sommario

Questo articolo parla di una storia vera. La storia dell'uso della Olivetti P101, il primo Personal Computer della storia dell'informatica, alla NASA, l'agenzia spaziale statunitense, nell'ambito del Programma Apollo. Nell'esempio descritto, la Olivetti P101 svolge un ruolo fondamentale nel calcolo delle manovre di cambiamento di orbita e rendez-vous delle navicelle spaziali.

Abstract

This article is about a true story. The history of the use of the Olivetti P101, the first Personal Computer in the history of information technology, by NASA, the US space agency, as part of the Apollo Programme. In the example described, the Olivetti P101 plays a fundamental role in calculating the orbit change and rendezvous maneuvers of the spacecrafts.

Keywords: NASA, Olivetti, P101, Personal Computer

1. Introduzione

Questo lavoro nasce nel cuore di Ivrea, al Laboratorio-Museo Tecnologico@mente - L'Innovazione Olivetti (un progetto della Fondazione Natale Cappellaro) proprio in quei luoghi dove è nata la Olivetti P101 [1]. Qui diverse generazioni di persone, che hanno dedicato alle tecnologie digitali buona parte della loro vita, si incontrano regolarmente per raccontare l'affascinante storia industriale della Olivetti a tutte le generazioni e con linguaggi diversi: dall'arte al design, dalla scienza alla tecnologia. Si fanno passeggiate tra le architetture Olivettiane (oggi "Ivrea, città industriale del XX secolo" è il nome con il quale Ivrea è stata inserita nella lista dei patrimoni dell'umanità dall'UNESCO), giochi, "palestre del pensiero" e attività didattiche.

Qui si incontrano Gastone Garziera, Giovanni De Sandre, Giuliano Gaiti (mancato recentemente) del team storico di progetto della Olivetti P101 diretto nel 1963 dall'Ing. Piero Giorgio Perotto (1930-2002), e persone più giovani (ma non di molto) che hanno contribuito insieme a loro a questo articolo. Alcune hanno avuto proprio Garziera e De Sandre come responsabili alla Ricerca e Sviluppo Olivetti negli anni '70 del secolo scorso.

Un giorno del 2019 Garziera e De Sandre portano un documento della NASA (National Aeronautics and Space Administration) del 1968 [2] (vedi fig.1). Da quel giorno, con frequenza "aperiodica" si ritrovano a discutere di come poter raccontare con un linguaggio semplice ma rigoroso quel documento storico anche utilizzando i preziosi appunti di Giuliano Gaiti.

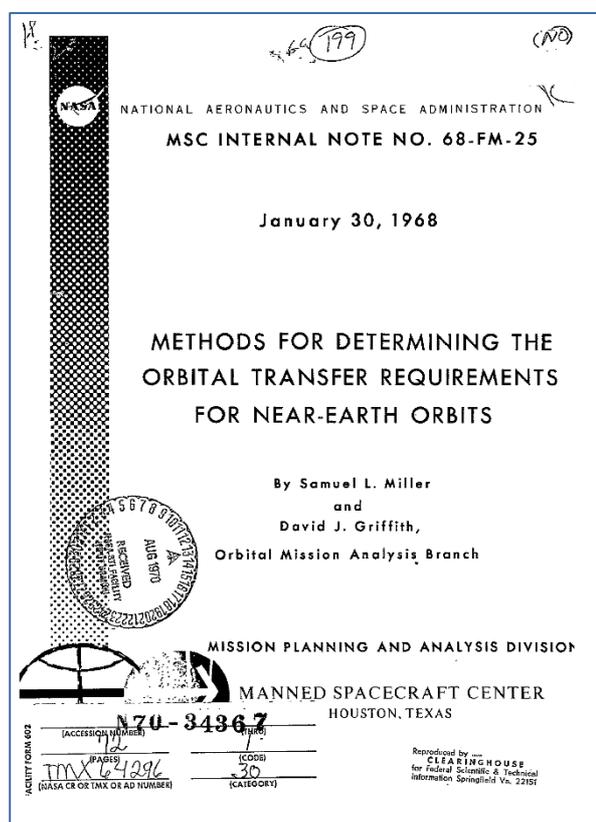


Fig.1

Documento della NASA che descrive l'uso della Olivetti P101 [2]

In questo articolo, come esempio, viene descritto ed esplorato in dettaglio il "Program 1" della NASA riportato a pag.13 del documento stesso (vedi fig.2).

Il programma Apollo è universalmente noto come il progetto spaziale statunitense culminato con lo sbarco di un essere umano sulla Luna il 20 Luglio 1969. Quel giorno Neil Armstrong e Buzz Aldrin mettono piede sulla Luna e Michael Collins li aspetta restando in orbita lunare per poi ritornare insieme sulla Terra [3].

Le tecnologie digitali hanno svolto un ruolo fondamentale nel programma Apollo: dal software di bordo della navicella spaziale, scritto da Margaret Hamilton, nota come la prima software engineer della storia [4], alle ricerche sui primi circuiti integrati. Forse meno noto è l'utilizzo della Olivetti P101 alla NASA nell'ambito del programma Apollo.

Le caratteristiche principali della Olivetti P101 sono: la sua portabilità, programmabilità (il suo linguaggio di programmazione permette il "salto condizionato", essenziale per implementare i tre costrutti fondamentali "sequenza", "bivio", "ciclo", necessari per la codifica di qualsiasi algoritmo) e interattività (input e output disponibili direttamente all'utente tramite tastiera e stampante). Inoltre, novità assoluta per l'epoca, permette di salvare i programmi e i dati in comode schede magnetiche tascabili [5]. Per tutto questo, viene unanimemente riconosciuto come il primo Personal Computer della storia, come scrive il 15 Ottobre del 1965 il Wall Street Journal, dopo la prima apparizione al padiglione Olivetti alla manifestazione della Business Equipment Manufacturers Association (BEMA) di New York del 1965 [6].

13

INSTRUCTION LISTING OF PROGRAM 1

| | | | | |
|----|----|----|----|----|
| AV | b↓ | bX | R* | R◇ |
| a↑ | b÷ | B÷ | R÷ | R+ |
| R↓ | A÷ | b↓ | R÷ | R- |
| r↑ | - | A+ | R- | R↓ |
| R+ | A÷ | B- | R* | R↓ |
| R+ | C↑ | b↓ | R+ | rX |
| D↓ | b÷ | b÷ | r÷ | R÷ |
| b↑ | c↓ | A÷ | D- | RS |
| S | B÷ | b↑ | ÷ | DX |
| ↑ | c- | - | AX | c↑ |
| b+ | a↑ | A√ | B↑ | c÷ |
| B↓ | r+ | CX | a↑ | C↓ |
| S | R- | S | d↑ | C- |
| ↑ | R÷ | X | ↓ | cX |
| b+ | R↑ | b↓ | - | A◇ |
| b↓ | DX | A√ | A√ | b↑ |
| S | X | CX | B↓ | cX |
| + | A√ | C↓ | S | B↓ |
| b+ | C↓ | S | X | B- |
| a↑ | AX | + | B↓ | A◇ |
| d↑ | A÷ | a↑ | X | V |
| c↑ | - | R↑ | a↑ | |
| c÷ | bX | R- | RX | |

Fig.2

Istruzioni in linguaggio di programmazione della Olivetti P101 del Program1 della NASA fonte: [2]

Perché la NASA adotta la Olivetti P101 per il suo programma Apollo?
La risposta si trova nel documento principale della NASA che ha ispirato questo articolo (vedi fig.1).

Infatti il viaggio di andata e ritorno dalla Terra alla Luna richiede molti aggiustamenti di orbita (vedi fig.3).

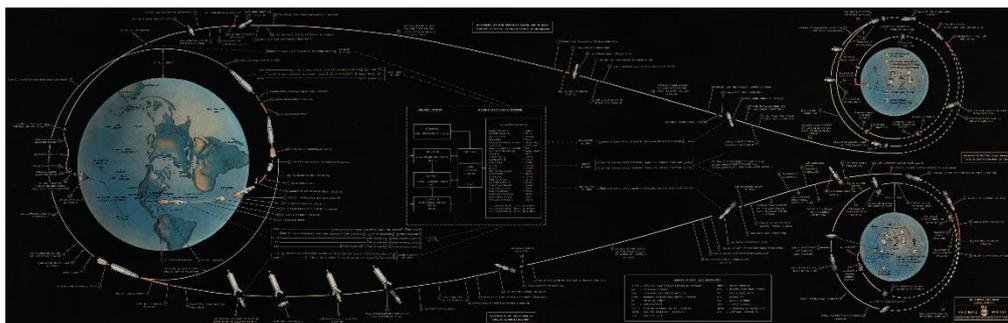


Fig. 3

Manned Lunar Landing Mission Profile (NASA, 1967) - fonte: wikimedia commons

Nel documento della NASA si spiega dettagliatamente che durante le fasi di test del progetto Apollo sono richieste molte manovre di cambio di orbita e di rendez-vous e quindi:

"...This suggests a need for a method that quickly and accurately estimates the changed maneuver. This document provides both a graphical (plots) and an analytical method (Olivetti programs) for estimating the delta V requirements for the orbital transfer maneuvers" [2].

In altre parole, per questi test nasce la necessità di avere un metodo che *rapidamente* (vedi l'*interattività* fornita dalla *Olivetti P101*) e *accuratamente* (vedi la precisione della *Olivetti P101* fino a nove cifre decimali) permetta il calcolo analitico delle variazioni di velocità richieste per le manovre di cambio di orbita.

Nel presente lavoro ci si concentra proprio nel calcolo di ΔV , in particolare delle due variazioni della velocità ΔV_x e ΔV_z necessarie a portare il satellite dall'orbita attuale ad una nuova orbita ellittica.

2. Il Program 1 della NASA (analisi)

Prima di entrare nei dettagli del *Program 1* si può sintetizzare il suo scopo principale:

- in *input* al programma (con le istruzioni "S" della *Olivetti P101*) vengono forniti:

- h (attuale distanza dalla superficie della Terra, in *nautical miles*, **n.mi.**);
- V_1 (velocità attuale tangente alla traiettoria ellittica, in *feet per second*, **fps**);
- γ_1 ("*flight-path angle*" attuale, angolo tra la velocità V_1 tangente alla traiettoria attuale e la normale al vettore posizione, in gradi sessagesimali, vedi fig.4);

la nuova orbita ellittica richiesta viene semplicemente indicata con

- h_p (distanza dalla superficie della Terra al *perielio* della nuova orbita ellittica, in **n.mi.**);
- h_a (distanza dalla superficie della Terra all'*afelio* della nuova orbita ellittica, in **n.mi.**);

- in *output* il programma fornisce tramite l'istruzione di stampa:

ΔV_x (variazione della velocità sull'asse **x** in **fps**)

ΔV_z (variazione della velocità sull'asse **z** in **fps**).

Ad esempio (tratto dal documento NASA) fornendo in input i dati di posizione, velocità e angolo di volo attuali:

$h = 175$ n.mi. (324,1 Km)
 $V_1 = 25291$ fps (27751,3 Km/h)
 $\gamma_1 = 0,898924^\circ$

e la nuova orbita ellittica richiesta con distanza al *perielio* e all'*afelio*:

$h_p = 121$ n.mi. (224,1 Km)
 $h_a = 277$ n.mi. (513,0 Km)

il *Program 1* fornisce in output:

$\Delta V_x = 98,6026$ fps (108,1 Km/h)
 $\Delta V_z = -120,9121$ fps (-132,67 Km/h).

0

1

0

1

0

Dall'esempio si vede l'importanza della precisione di calcolo fino a nove cifre decimali.

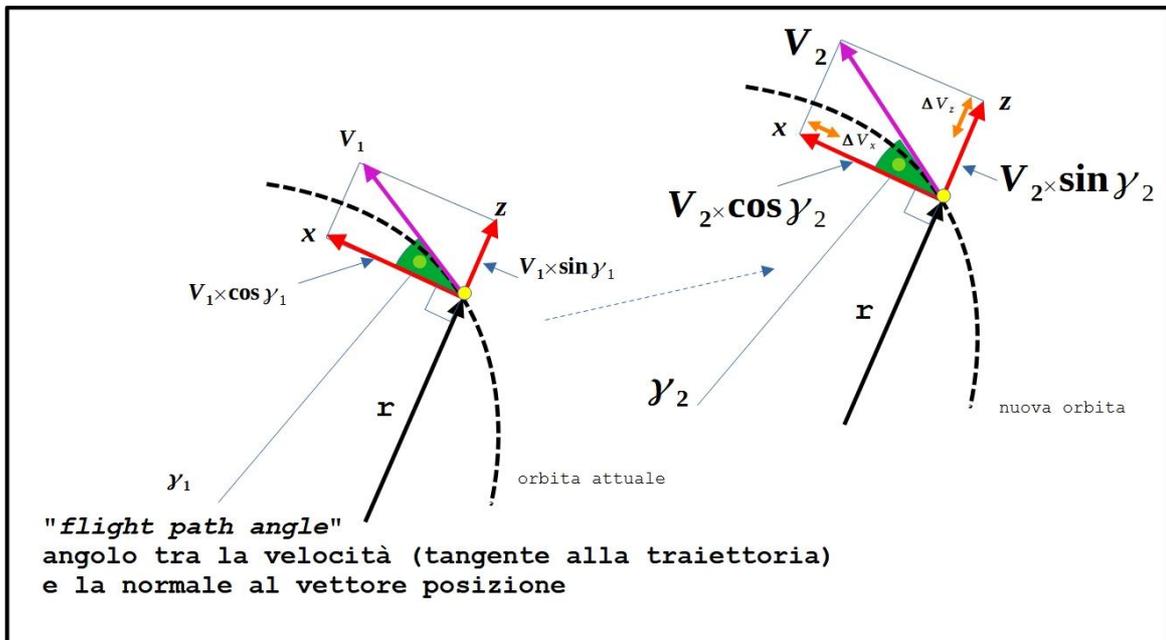


Fig.4

Flight-path angle γ_1 , velocità V_1 tangente e sue componenti x , z

Nel *Program 1* della NASA vengono utilizzate alcune costanti:

$r_E = 3441,3$ (n.mi.) raggio della Terra in *nautical miles* n.mi.

$\mu = 62751 \frac{(n.mi.)^3}{s^2}$ costante gravitazionale della Terra

$C_{RG} = 57,29577951^\circ$ fattore di conversione da radianti a gradi

$C_{mf} = 6076,115486$ (ft/n.mi.)
 fattore di conversione
 dai n.mi./s
 ai feet per second (fps)

Il *Program 1* inizia con l'input di h (attuale distanza dalla **superficie** della Terra, in *nautical miles*, **n.mi.**) e per calcolare r la distanza dal **centro** della Terra, somma il raggio della Terra in **n.mi.**:

$$r = h + r_E = h + 3441,1 \text{ (n.mi.)}$$

Quindi passa al calcolo della nuova orbita ellittica richiesta usando i due parametri forniti in input

h_p (distanza dalla **superficie** della Terra al *perielio* della nuova orbita ellittica, in **n.mi.**);

h_a (distanza dalla **superficie** della Terra all'*afelio* della nuova orbita ellittica, in **n.mi.**);

con questi dati calcola la distanza dal **centro** della Terra al *perielio*

$$r_p = h_p + r_E = h_p + 3441,1 \text{ (n.mi.)}$$

e la distanza dal **centro** della Terra all'*afelio*

$$r_a = h_a + r_E = h_a + 3441,1 \text{ (n.mi.)}$$

quindi calcola il semiasse maggiore a e l'eccentricità e dell'ellisse della nuova orbita

$$a = \frac{(r_a + r_p)}{2}$$

$$e = 1 - \frac{r_p}{a}$$

Per calcolare le due variazioni della velocità ΔV_x e ΔV_z dalla fig.4 si vede che:

$$\Delta V_x = V_2 \times \cos \gamma_2 - V_1 \times \cos \gamma_1$$

$$\Delta V_z = V_1 \times \sin \gamma_1 - V_2 \times \sin \gamma_2$$

come riportato a pag.12 del documento della NASA.

V_1 (in **fps**) e γ_1° (in **gradi**) sono forniti in ingresso al *Program 1*. Per il calcolo di $\sin \gamma_1$ e di $\cos \gamma_1$ si vede facilmente che, dopo aver trasformato γ_1° in radianti tramite il fattore di conversione C_{RG}

$$C_{RG} = 57,29577951^\circ$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{C_{RG}} \gamma_1^{\circ}$$

Come noto, per $\gamma_1^{\circ} < 5^{\circ}$ il valore dell'angolo espresso in radianti si può approssimare al seno dell'angolo stesso:

$$\gamma_1 \approx \sin \gamma_1$$

infatti nel documento della NASA (pag.12) specifica:

"This program should not be used when the flight-path angle of either ellipse exceeds 5° at the point of transfer, since a small angle approximation is used for both the sine, and cosine of γ_1 "

ovvero il programma si può usare solo se la condizione $\gamma_1^{\circ} < 5^{\circ}$ è vera.

Quindi una volta ricavato $\sin \gamma_1$ dall'approssimazione:

$$\gamma_1 \approx \sin \gamma_1$$

si ricava facilmente $\cos \gamma_1$ dalle proprietà della circonferenza trigonometrica:

$$\cos \gamma_1 = \sqrt{1 - \sin^2 \gamma_1}$$

Ora si hanno: V_1 (fornito in input in fps), $\sin \gamma_1$ e $\cos \gamma_1$ (ricavati da γ_1 fornito in input).

Per il calcolo di ΔV_x e ΔV_z :

$$\Delta V_x = V_2 \times \cos \gamma_2 - V_1 \times \cos \gamma_1$$

$$\Delta V_z = V_1 \times \sin \gamma_1 - V_2 \times \sin \gamma_2$$

restano da calcolare la velocità tangenziale V_2 nella nuova orbita e il seno e il coseno del nuovo *flight-path angle*: $\sin \gamma_2$ e $\cos \gamma_2$.

Per calcolare la velocità tangenziale V_2 nella nuova orbita sono sufficienti:

- la distanza dal centro della Terra r (in n.mi.),
- il semiasse maggiore a (in n.mi.) della nuova orbita ellittica e
- la costante gravitazionale della Terra μ

$$\mu = 62751 \frac{(n.mi.)^3}{s^2}$$

Infatti secondo *una delle formule principali dell'astrodinamica* la velocità tangenziale V_2 è data da:

$$V_2 = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)} \quad (n.mi./s)$$

Per calcolare il nuovo *flight-path angle* γ_2 invece si fa ricorso ad un'altra formula fondamentale dell'astrodinamica che fornisce $\cos \gamma_2$ conoscendo:

- il semiasse maggiore a della nuova orbita,
- l'eccentricità e della nuova orbita e
- la posizione r :

$$\cos \gamma_2 = \sqrt{\frac{a^2(1-e^2)}{r(2a-r)}}$$

e quindi anche $\sin \gamma_2$:

$$\sin \gamma_2 = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma_2} = \sqrt{1 - \frac{a^2(1-e^2)}{r(2a-r)}}$$

Ora si possono infine calcolare ΔV_x e ΔV_z :

$$\Delta V_x = V_2 \times \cos \gamma_2 - V_1 \times \cos \gamma_1$$

$$\Delta V_z = V_1 \times \sin \gamma_1 - V_2 \times \sin \gamma_2$$

si può così sintetizzare il risultato dell'analisi con il diagramma di flusso (vedi fig.5)

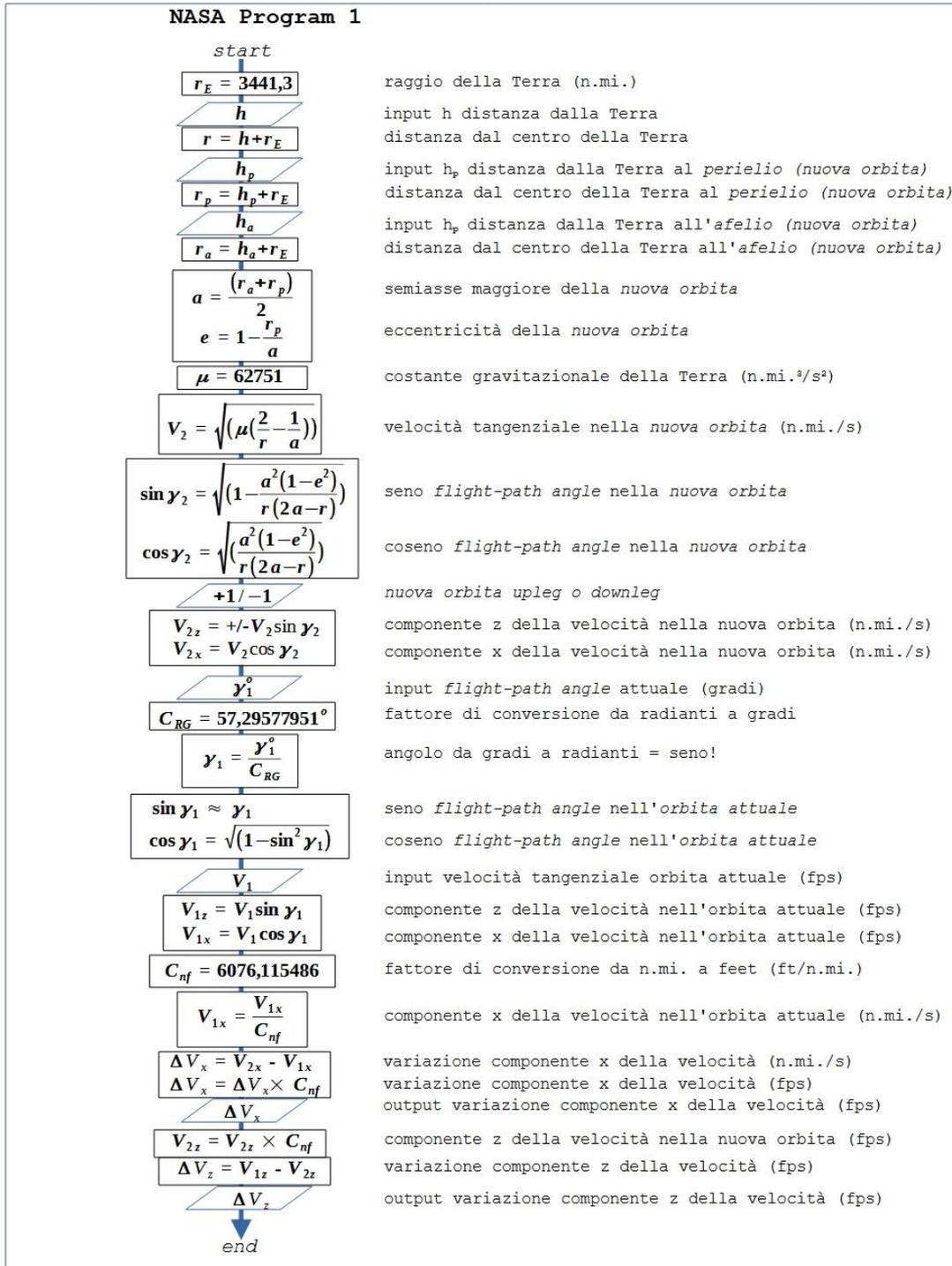


Fig.5

Diagramma di flusso del Program 1

3. Il Program 1 della NASA (codifica con Olivetti P101)

Per descrivere la codifica del Program 1 della NASA in linguaggio di programmazione della Olivetti P101 si può affiancare l'INSTRUCTION LISTING OF PROGRAM 1 del documento originale ad una descrizione affiancata ai cambiamenti interni alla macchina tramite i suoi registri (vedi fig.6):

| | | Registri Olivetti P101 | | | | | |
|---|---|--|-----------|---|-------|---|---|
| | | M | A | B | b | c | c |
| A | V | /* arrivo salto inc. da V | | | | | |
| a | : | /* INIZIO CODIFICA COSTANTE | | | | | |
| R | : | /* "3" raggio della Terra r_3 | | | | | |
| r | : | /* "1," in nautical miles n.mi. | | | | | |
| R | + | /* "4" | | | | | |
| R | + | /* "4" | | | | | |
| D | : | /* "3" fine costante M=3441,3 | | | | | |
| | | 3441,3 | | | | | |
| b | : | /* copia M in b = 3441,3 (r_3) | | | | | |
| | | | | | r_3 | | |
| S | : | /* attendi input (h) | | | | | |
| | | h | | | r_3 | | |
| M | : | /* A = M = (h) | | | | | |
| | | h | h | | r_3 | | |
| b | + | /* A = A + b = (r_3+h+r_3) | | | | | |
| | | h | r | | r_3 | | |
| B | : | /* B = A = (r_3+h+r_3) | | | | | |
| | | h | | r | r_3 | | |
| S | : | /* attendi input (h_p) | | | | | |
| | | h_p | | r | r_3 | | |
| M | : | /* A = M = (h_p) | | | | | |
| | | h_p | h_p | r | r_3 | | |
| b | + | /* A = A + b = ($r_3+h_p+r_3$) | | | | | |
| | | h_p | r_p | r | r_3 | | |
| b | : | /* b = A = ($r_3+h_p+r_3$) A=b= r_3 | | | | | |
| | | h_p | r_3 | r | r_3 | | |
| S | : | /* attendi input (h_s) | | | | | |
| | | h_s | r_3 | r | r_3 | | |
| M | + | /* A = A+M = 3441,3+h _s = r_3 = h_s+r_3 | | | | | |
| | | h_s | r_3 | r | r_3 | | |
| b | + | /* A = A + b = r_3+r_p | | | | | |
| | | | r_3+r_p | r | r_3 | | |
| a | : | /* INIZIO CODIFICA COSTANTE | | | | | |
| d | : | /* "2" fine costante M=2 | | | | | |
| | | 2 | | | | | |

| | | M | A | B | b | C | c |
|---|---|--|-----------|-------|-------|-------|-----|
| c | : | 2 | r_3+r_p | r | r_3 | | 2 |
| c | : | /* A = A:c = $a=(r_3+r_p)/2$ | | | | | |
| | | a | r | r_3 | | | 2 |
| b | : | /* A=b= r_p , b=A= $a=(r_3+r_p)/2$ | | | | | |
| | | | r_p | r | a | | 2 |
| b | : | /* A=A:b= r_p/a | | | | | |
| | | | r_p/a | r | a | | 2 |
| A | : | /* A = A : A = (r_p/a) / (r_p/a) = 1 M= r_p/a !!! | | | | | |
| | | r_p/a | 1 | r | a | | 2 |
| - | : | /* A = A - M = $e=(1-(r_p/a))$ | | | | | |
| | | r_p/a | e | r | a | | 2 |
| A | : | /* A = A : A = 1 M= e !!! | | | | | |
| | | e | 1 | r | a | | 2 |
| C | : | /* C=M=e | | | | | |
| | | e | 1 | r | a | e | 2 |
| b | : | /* A=A:b= (1/a) | | | | | |
| | | e | 1/a | r | a | e | 2 |
| c | : | /* A=C=2 C=A=(1/a) | | | | | |
| | | e | 2 | r | a | e | 1/a |
| B | : | /* A=A:B= (2/r) | | | | | |
| | | e | 2/r | r | a | e | 1/a |
| c | - | /* A=A-C= (2/r)-(1/a) | | | | | |
| | | e | $2/r-1/a$ | r | a | e | 1/a |
| a | : | /* INIZIO CODIFICA COSTANTE | | | | | |
| r | : | /* "1" | | | | | |
| R | - | /* "5" | | | | | |
| R | : | /* "7" | | | | | |
| R | : | /* "2" | | | | | |
| D | x | /* "6" fine costante M=62751= μ | | | | | |
| | | μ | | r | a | e | 1/a |
| x | : | /* A=A*xM = $\mu((2/r)-(1/a))$ | | | | | |
| | | μ | $2/r-1/a$ | r | a | e | 1/a |
| A | √ | /* A= $\sqrt{A} = \sqrt{\mu((2/r)-(1/a))} = V_2$ in n.mi./s!!! | | | | | |
| | | μ | V_2 | r | a | e | 1/a |
| C | : | /* A=C=e C=A= V_2 | | | | | |
| | | μ | e | r | a | V_2 | 1/a |

Si può notare un uso molto sofisticato delle istruzioni e dei registri da parte delle persone della NASA che programmavano la Olivetti P101 (vedi fig.7).

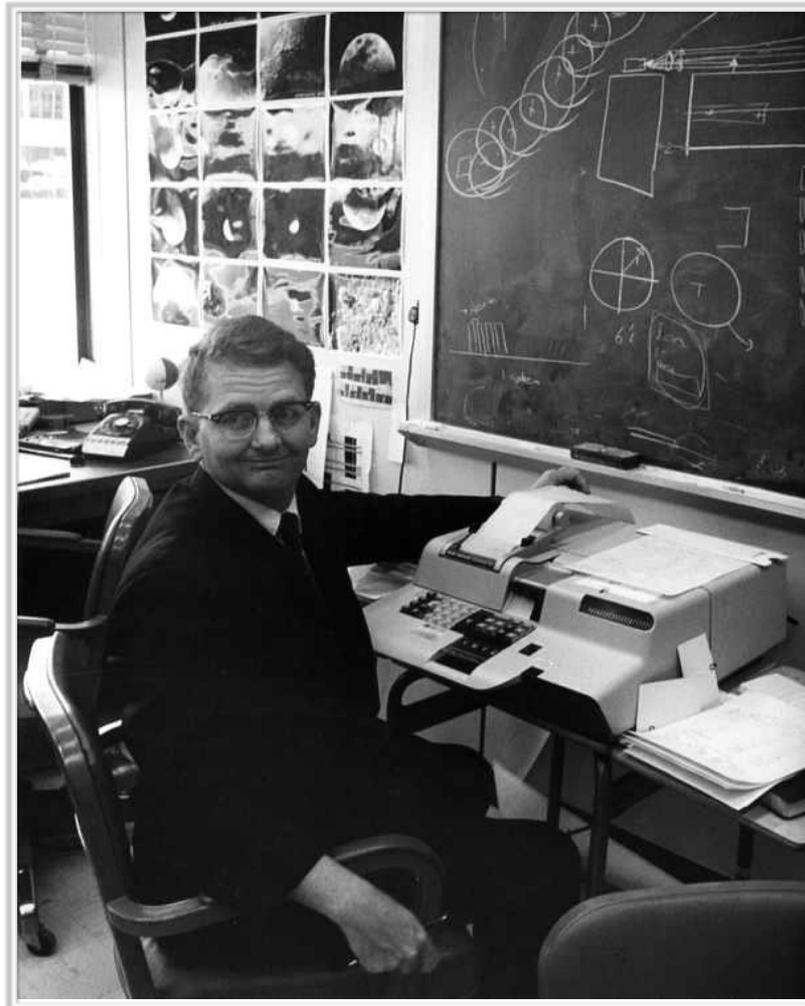


Fig.7

La Olivetti P101 in azione alla NASA (fonte: Archivio Storico Olivetti)

BIBLIOGRAFIA

- [1] Perotto, P.G. (2015). P101. Quando l'Italia inventò il personal computer, Edizioni di Comunità.
- [2] Miller S.L., Griffith D.J. (1968, January 30). Methods for determining the orbital transfer requirements, National Aeronautics and Space Administration (NASA), Mission Planning and Analysis Division, Orbital Mission Analysis Branch, MSC INTERNAL NOTE NO. 68-FM-25, Manned Spacecraft Center, Houston, Texas.
- [3] Brooks C.G., J.M. Grimwood, L.S. Swenson (1979). Chariots for Apollo: A History of Manned Lunar Spacecraft, NASA Special Publication-4205, NASA History Series, 1979.
- [4] NASA (2010). About Margaret Hamilton. A scientific study of the problems of digital engineering for space flight systems, with a view to their practical solution, Office of Logic Design, NASA.
- [5] Olivetti (1965). Manuale di programmazione, Programma 101.
- [6] WSJ (1965, 15 October). Desk-top size computer is being sold by Olivetti for first time in US, Wall Street Journal.

BIOGRAFIA

Norberto Patrignani. Docente di Computer Ethics alla Scuola di Dottorato del Politecnico di Torino, rappresentante nazionale italiano al TC9-Technology and Society dell'IFIP (International Federation for Information Processing), membro dell'ACM (Association for Computing Machinery) Committee on Professional Ethics e dell'ACM SIGCAS (Special Interest Group on Computers and Society). Dal 1974 al 1999 ha lavorato alla Ricerca Olivetti di Ivrea. Ha conseguito il diploma in Elettronica all'I.T.I. Montani di Fermo, la laurea in Informatica all'Università di Torino e il dottorato di ricerca in Computer Ethics alla Uppsala University (Svezia).

L'evoluzione dell'Intelligenza Artificiale: dall'automazione del lavoro al condizionamento reciproco

Carlo Milani e Vivien García

Sommario

L'IA affascina e spaventa. Uno spauracchio si aggira per il mondo: il timore che esseri tecnologici intelligenti sostituiranno gli esseri umani in (quasi) tutte le loro attività, a partire dal lavoro. L'IA se ne occuperebbe automaticamente, agendo come un aiutante magico, capace di svolgere qualsiasi compito assegnato.

Attingendo alla prospettiva di Gilbert Simondon sull'alienazione tecnica, sosteneremo che l'automazione è in realtà il livello più basso possibile di interazione uomo-macchina. L'analisi di Simondon offre un metodo per prendere le distanze sia dalla tecnofobia che dalla tecnofilia, promuovendo una cultura tecnica capace di sviluppare "macchine aperte", caratterizzate da un certo livello di variabilità nel loro funzionamento reciproco con gli umani.

Ricordando alcune tappe fondamentali nella storia dell'IA, sosteneremo che le cosiddette macchine digitali "intelligenti", basate su algoritmi di riduzione dei dati, sono caratterizzate da una modellazione statistica che talvolta tende, a prescindere dall'intenzione degli esseri umani coinvolti, a incorporarne alcuni presupposti ideologici, credenze e valori. Usando la nostra analisi dell'interazione umana con i motori di ricerca potenziati dall'IA, mostreremo come i sistemi automatizzati stiano diffondendo il condizionamento reciproco tra umani e macchine. Più gli esseri umani si rivolgono a queste macchine in modo meccanicamente semplice e non ambiguo, più esse agiscono "automaticamente" e sembrano "intelligenti".

Infine analizzeremo lo sfruttamento di questi sistemi di condizionamento reciproco in una miriade di micro-attività digitali a scopo di lucro. L'IA in questo contesto si manifesta come un essere tecnico di formazione antropologica e manipolazione comportamentale, molto lontano dall'ideale di "macchina aperta" proposto da Simondon.

Abstract

A bogeyman lurks around the world: the fear that intelligent technological beings will substitute human beings in (almost) all their activities, starting from work. In this sense, AI is often perceived as a magical helper, a high technology (maybe the highest one) potentially capable of performing any task. Guided by Gilbert Simondon's takes on technical alienation, this paper argues that automation is actually the lowest form of human-machine interaction.

Recalling some milestones in the history of AI, it makes some suggestions on why, regardless of their human design, the so-called 'intelligent' digital machines based on data reduction algorithms, tends to incorporate ideological assumptions, beliefs and values. And by analysing human interactions with search engines, it shows that automated systems implies human-machine mutual conditioning: the more humans address these machines in a mechanically, simple and unambiguous way, the more the latter act 'automatically' and appear 'intelligent'.

Drawing on this analysis this paper finally discusses the exploitation of that mutual conditioning mechanics by a myriad of for-profit digital micro-activities. "Trained" machines, in this context, are far away from the ideal of the Simondonian "open machine".

Keywords: human-machine interaction, automatism, technical alienation, digital labor, convivial technologies, open machine, hacker pedagogy, organic internet

1. Introduzione. IA, automazione e disoccupazione

Gli effetti sui salari sono fra le maggiori preoccupazioni riguardo all'IA (Intelligenza Artificiale). Agitano lo spauracchio della disoccupazione di massa di origine tecnologica. L'argomento non è nuovo: lo difendeva anche il padre nobile della cibernetica, Norbert Wiener [Wiener, 1949]. Consiste principalmente nell'affermare che i cambiamenti tecnologici porteranno alla disoccupazione strutturale, poiché l'automazione sostituirà un numero sempre maggiore di compiti umani.

Automazione è qui intesa in particolare come aspetto tecnico e applicativo della cibernetica e della teoria dei sistemi. L'automazione è quindi l'impiego di macchine, articolate in procedure complesse, capaci di regolare il proprio funzionamento e di controllare mediante organi sensibili la qualità del lavoro prodotto. Il timore è che, con l'informatica moderna, non solo i lavori manuali (come nelle prime ondate di automazione industriale) ma anche i lavori intellettuali che implicano progettazione, creatività e capacità decisionali potrebbero essere effettuati da macchine "intelligenti". Da cui verrebbe inferito che un aumento dell'IA coincide con un aumento dell'automazione e quindi con un aumento della disoccupazione.

Nell'ultimo decennio diversi leader dell'industria tecnologica hanno rinnovato la previsione; Bill Gates ha dichiarato che la diffusione della "software automation" avrebbe causato una drastica riduzione dei posti di lavoro nei successivi vent'anni [Stiegler, 2017]. L'IA, nei suoi termini stessi, gioca su opposizioni classiche (esseri umani vs. cose, naturale vs. artificiale, creatore vs. creazione) che possono facilmente evocare l'idea di una competizione tra esseri umani e macchine.

L'automazione e i suoi effetti sull'occupazione non sono però necessariamente negativi. Nel "Frammento sulle macchine" [Marx, 1973], Marx considera la possibilità che il surplus lavorativo si trasformi in tempo libero. A suo parere la condizione necessaria di una tale trasformazione è un cambiamento radicale nel modo di produzione derivante da una rivoluzione proletaria.

Il nostro obiettivo qui non è sottolineare la rilevanza o meno di questi opposti approcci alla questione, né di valutare se l'automazione avrà ripercussioni benefiche o pregiudizievoli sull'occupazione, ma di mettere in discussione i presupposti impliciti dell'automazione in sé.

Adottando un punto di vista prevalentemente economico, si stabilisce spesso un'equivalenza fra progresso tecnologico e aumento del livello di automazione. Il filosofo della tecnologia Gilbert Simondon offre una prospettiva diversa rispetto all'automazione, in opposizione all'idea marxista dell'alienazione tecnica:

L'alienazione dell'uomo in relazione alla macchina non ha solo un senso socio-economico; ha anche un senso psico-fisiologico; la macchina non prolunga più lo schema corporale, né per gli operai, né per coloro che possiedono le macchine. [Simondon, 2020, 136]

Per riconsiderare l'automazione dobbiamo comprendere meglio questo possibile accoppiamento tra essere umano ed essere tecnico.

L'automazione è in realtà il livello più basso possibile di interazione uomo-macchina. Attingendo alla prospettiva di Simondon sull'alienazione tecnica, prenderemo le distanze sia dalla tecnofobia che dalla tecnofilia, promuovendo una cultura tecnica capace di sviluppare "macchine aperte", caratterizzate da un certo livello di variabilità nel loro funzionamento reciproco con gli umani.

Ricordando alcune tappe fondamentali nella storia dell'IA, sosteneremo che le cosiddette macchine digitali "intelligenti", basate su algoritmi di riduzione dei dati, sono caratterizzate da una modellazione statistica che tende talvolta, a prescindere dall'intenzione degli esseri umani coinvolti, a incorporarne alcuni presupposti ideologici, credenze e valori.

In questo articolo useremo la nostra analisi dell'interazione umana con le tecnologie potenziate dall'IA per mostrare come i sistemi automatizzati stiano diffondendo il condizionamento reciproco tra umani e macchine. Analizzeremo infine lo sfruttamento di questi sistemi di condizionamento reciproco in una miriade di micro-attività digitali a scopo di lucro. L'IA in questo contesto si manifesta come un essere tecnico di formazione antropologica e manipolazione

comportamentale, molto lontano dall'ideale di "macchina aperta" proposto da Simondon

2 L'alienazione tecnica come automazione

2.1 Automagico

L'automazione porta con sé una sorta di elemento magico perché le macchine operano in un modo nascosto o non compreso dall'utente umano e per questo apparentemente "magico".

Simondon esamina il mistero che circonda l'oggetto tecnico in situazioni di alienazione tecnica, connettendolo all'automazione. Le macchine altamente automatizzate sono solitamente sovradeterminate da un punto di vista psico-sociale e tendono a produrre un'immagine dai connotati magici. L'introduzione del termine "automagico" nel linguaggio colloquiale sembra corroborare questa analisi. In *Psychosociologie de la technicité*, Simondon fa un esempio per spiegarne le origini:

L'oggetto domestico è spesso accusato di meccanizzare la vita: ma in realtà è la donna in una situazione domestica che chiede a una lavatrice o ad altre macchine di sostituirla in un compito difficile che ha paura di far male. Le fiabe ritraggono noi ex casalinghe, cariche di lavoro, che ci addormentiamo mentre lavoriamo, prese dallo sconforto; ma le fate le sorvegliano, e le formiche o gli gnomi vengono a lavorare durante la notte. Quando si svegliano, tutto è chiaro, tutto è pronto. La lavatrice moderna è magica in quanto è automatica, e non in quanto è una macchina. È questo automatismo che si desidera, perché la casalinga desidera vicino a sé, per darle coraggio, un'altra casalinga, oscura e misteriosa, che sia lo spirito benevolo della lavanderia, così come il frigorifero è quello della cucina moderna. "Moderno" significa "magico", per il subconscio individuale dell'utente. [Simondon, 2014, 76-77]

Viene considerata "la donna in una situazione domestica" e, come tale, in una certa posizione nel quadro dei rapporti di potere dell'epoca. Si insiste anche sul fatto che gran parte del lavoro di produttori e venditori sta nel "catturare [la] fame di magia" [Simondon 2014, 76] dei loro potenziali clienti. Così, anche se la dimensione tecnica dell'automazione non ha nulla di magico, a livello psicosociale genera questa sensazione. La macchina automatizzata sembra far nascere un doppio dell'operatore. La sua funzionalità ripetitiva sembra assicurare il successo del completamento del compito e quindi libera l'operatore dall'ansia da prestazione. Per questo Simondon considera un mito l'idea di una completa sostituzione umana da parte delle macchine automatizzate, una versione rinnovata del racconto del Golem. La tecnicità non porta necessariamente automazione, ma gli umani si aspettano spesso che l'oggetto tecnico fornisca un'automazione magica. Esso però può soddisfare questa esigenza solo in modo imperfetto e del tutto illusorio.

Infatti, sostiene Simondon, l'automazione corrisponde a un grado di perfezione tecnica piuttosto basso. Al contrario, le "macchine aperte" si caratterizzano per la

loro apertura: integrano il loro "milieu associato" nel loro funzionamento, e possono quindi tollerare maggiori interazioni con gli esseri umani. Ad esempio,

Le macchine da calcolo moderne non sono dei puri automi, sono esseri tecnici che, oltre ai loro automatismi aggiuntivi (o di decisione di funzionamento di commutatori elementari), possiedono ampie possibilità di commutazione dei circuiti, che permettono di codificare il funzionamento della macchina restringendone il margine di indeterminazione. [...]. È ancora tramite il margine d'indeterminatezza e non per gli automatismi che le macchine possono essere raggruppate in insiemi coerenti, scambiare informazione le une con le altre tramite il coordinatore che è l'interprete umano. Anche quando lo scambio d'informazione è diretto tra due macchine (come tra un oscillatore pilota e un altro oscillatore sincronizzato a impulsi), l'uomo interviene come essere che regola il margine d'indeterminazione affinché sia adatto al miglior scambio possibile d'informazione. [Simondon, 2021, 14]

Simondon parla dall'ambiente tecnico degli anni Cinquanta e Sessanta del XX secolo. Purtroppo, da allora le macchine elettroniche sono state sviluppate nella direzione del reciproco condizionamento fra esseri umani ed esseri tecnici. Il condizionamento può essere visto come una particolare forma di automazione, cioè l'automazione di un comportamento attraverso l'iterazione ripetuta di modelli semplici, ma in evoluzione, prendendo in considerazione alcuni feedback (retroazioni) e inserendoli in uno schema esistente. Questo condizionamento è possibile e anzi necessario perché corrisponde al condizionamento parallelo su larga scala degli esseri umani coinvolti nelle interazioni con le cosiddette macchine intelligenti.

2.2 Macchine aperte, esseri umani e IA

Secondo Simondon, gli schemi deterministici delle macchine automatizzate implicano un ambito ridotto di operazioni possibili. Invece le macchine aperte sono soggette a una certa gamma di variabilità.

Il vero perfezionamento delle macchine, quello di cui si può dire che eleva il grado di tecnicità, corrisponde non a un accrescimento dell'automatismo, ma al contrario al fatto che il funzionamento di una macchina contenga un certo margine di indeterminazione. [Simondon, 2021, 13]

Le risposte di un automa perfetto alle variazioni del milieu sono predeterminate. Le macchine aperte, al contrario, hanno un margine di indeterminazione; possono riadattare i loro schemi in base a queste variazioni. Come tali, hanno una vasta gamma di possibilità di interazione con gli esseri umani.

La macchina che è dotata di un alto grado di tecnicità è una macchina aperta e l'insieme delle macchine aperte presuppone l'uomo come organizzatore permanente, come interprete vivente delle macchine le une in rapporto alle altre. Lungi dall'essere il sorvegliante di una squadra di schiavi, l'uomo è l'organizzatore permanente di una società degli oggetti tecnici [...]. In tal modo l'uomo ha la funzione di essere il coordinatore e l'inventore permanente delle macchine che

sono intorno a lui. È tra le macchine che operano insieme a lui. La presenza dell'uomo accanto alle macchine è un'invenzione continua. [Simondon, 2020, 13-14]

In questa visione, le relazioni umane con gli oggetti tecnici non sono strumentali. La rappresentazione delle macchine come schiavi meccanici è alla base dell'idea di esseri umani che utilizzano oggetti tecnici come mezzi per addomesticare le forze naturali. Ma una tale ispirazione dominatrice non può che produrre servitù umana e tecnica, in opposizione a qualsiasi forma di emancipazione, perché “è difficile liberarsi trasferendo la schiavitù ad altri esseri, uomini, animali o macchine; regnare su un popolo di macchine che soggiogano il mondo intero, vuol dire ancora regnare e ogni regno implica l'accettazione di schemi di asservimento” [Simondon, 2017, 144]. Per evitare questo tipo di situazione, e per ridurre l'alienazione, è necessario sviluppare un legame più stretto con gli oggetti tecnici favorendo una cultura tecnica.

Le analisi di Simondon sono seducenti. Risuonano ancora con i nostri tempi e permettono di uscire dalla sterile opposizione fra tecnofilia e tecnofobia. Tuttavia, alcuni aspetti sembrano superati rispetto alla tecnologia digitale. Il modello simondoniano di esseri umani con macchine individuali nel loro milieu associato appare limitato rispetto a reti globali di dispositivi vari e reticolari, integrati in processi di regolazione e governance algoritmica. L'approccio di Simondon è più rilevante della sua analisi. Il saggio *Del modo di esistenza degli oggetti tecnici* è quasi contemporaneo alla nascita dell'IA nel 1956 e alle pretese di imitare le funzioni cognitive umane. Si impone una rassegna storica e “tecnica” per continuare la nostra riflessione, ponendola in una prospettiva storica. Gli oggetti tecnici sono infatti soggetti all'evoluzione sia dei materiali che delle teorie; nuovi materiali, nuove implementazioni e nuove idee influenzano la comparsa di nuovi artefatti e ne orientano le interazioni con gli esseri umani e l'ambiente circostante.

3. Rinascimento dell'IA

3.1 La cibernetica, il fondamento dell'IA

La storia dell'IA è passata attraverso diverse fasi alternando grandi speranze e cocenti delusioni: le "primavere" di grandi e costosissimi progetti e gli "inverni" di abbandono e dismissione della maggior parte delle attività di ricerca e sviluppo, crollo degli investimenti, e fallimento di molti programmi.

L'evento seminale dell'IA fu la conferenza estiva dell'IA del Dartmouth College, organizzata da John McCarthy, Marvin Minsky, Nathan Rochester di IBM e Claude Shannon nel 1956. Nel 1955, McCarthy aveva coniato il termine "Intelligenza Artificiale" per ottenere il finanziamento dell'evento [McCarthy et al., 1955]. Voleva distinguersi dalla "vecchia" cibernetica, termine coniato dal greco antico *kubernetes* (*gubernator* in latino), da cui derivano i termini attinenti al “governo”.

Norbert Wiener aveva contribuito notevolmente alla diffusione del termine “cibernetica” [Wiener 1950, 1961], definita come “controllo e comunicazione nell'animale e nella macchina”. Allo stesso tempo, aveva sviluppato un profondo pessimismo sull'evoluzione dei sistemi di controllo e comunicazione: razzi, robot,

catene di montaggio automatizzate, reti di computer sono tutti derivati da applicazioni di ingegneria cibernetica. In piena guerra fredda, metteva in guardia contro il rischio per le democrazie di combattere il totalitarismo con le armi del totalitarismo stesso, costruendo servomeccanismi: sistemi di retroazione in grado di scatenare un'apocalisse nucleare semplicemente premendo un pulsante.

McCarthy e Minsky cercavano di migliorare i sistemi di comunicazione tra esseri umani e macchine, in un'epoca in cui i computer occupavano intere stanze, erano meno potenti di una calcolatrice tascabile e la comunicazione avveniva con pile di schede perforate. Ma questi giovani ricercatori non condividevano il pessimismo del vecchio Wiener.

Il termine da loro preferito, "intelligenza artificiale", introduceva anche un riferimento diretto all'intelligenza anche se, di fatto, si trattava pur sempre di automatizzare sistemi di controllo e comunicazione.

Per circa trent'anni, la potenza di calcolo rimase insufficiente per raggiungere ciò che pionieri come Allen Newell e Herbert A. Simon avevano immaginato, come un computer campione del mondo di scacchi o addirittura un General Problem Solver (GPS) capace non solo di simulare il pensiero umano, ma di risolvere ogni possibile problema [Newell, Shaw, e Alexander, 1958]. Poi, a partire dalla seconda metà degli anni Ottanta, la diffusione dei Personal Computer (PC) e l'evoluzione del progetto di difesa militare DARPA in quello che oggi conosciamo come Internet, portarono gradualmente la cibernetica e l'IA ovunque

Oggi rimangono intatte le questioni fondamentali: "chi saranno i kubernetes?", "chi governerà l'IA e come?". Enormi sforzi vengono fatti nella propaganda di forme di IA "buona e gentile", per scongiurare gli avvertimenti di Wiener, che però sembrano più che mai attuali e riguardano l'intero pianeta [Brockman, 2019].

Ogni "primavera" dell'IA porta un'infinità di articoli, saggi e titoloni che annunciano la nascita di una nuova generazione di esseri intelligenti. Porta anche film, serie TV, videogiochi, una massa di conversazioni e attenzione spasmodica. Negli ultimi settant'anni vari approcci hanno occupato le luci della ribalta, hanno guadagnato slancio e hanno attirato notevoli finanziamenti privati e pubblici.

Eppure, secondo l'esperto di algoritmi evolutivi e ricercatori di IA da un trentennio, Robert Elliot Smith,

La realtà dell'attuale IA è che non ci sono stati spettacolari cambiamenti di paradigma; ciò che è cambiato è la disponibilità, l'ubiquità, la velocità e l'interconnessione dei computer e, cosa più importante, l'enorme interesse commerciale dietro l'impresa IA. Questa empia convergenza di scientismo, computazione e mercificazione è diventata essa stessa un sistema complesso, che si esibisce in modi difficili da comprendere e controllare, manifestando al tempo stesso tutti i difetti e i pregiudizi già evidenziati (traduzione nostra). [Smith, 2019, 300].

Esploriamo questa congiuntura senza precedenti tra bias umani e macchinici, cioè fra le inclinazioni cognitive e operative degli umani (sia di chi ha ideato i

modelli in base ai quali vengono addestrate le macchine, sia dei "semplici" utenti) e il rinforzo comportamentale che le macchine stesse inducono negli utenti umani.

3.2 Condizionamento reciproco uomo-macchina dietro l'apprendimento profondo

A prescindere dalla stagione, alcune applicazioni concrete filtrano dai laboratori di ricerca per approdare sul mercato; spesso le merci spuntano in settori lontani da quelli inizialmente immaginati. Oggi possiamo interagire con assistenti vocali alla ricerca della nostra musica preferita, con bot che imperversano sui social network, con sistemi di riconoscimento facciale che fanno capolino quasi ovunque e così via. Queste e molte altre comodità derivano dalla ricerca nel vasto campo dell'IA, ma siamo lontani dall'aver capito come funziona l'intelligenza degli esseri viventi e ancor più dall'averla riprodotta artificialmente.

Come Smith discute approfonditamente nel suo saggio, nella seconda decade del XXI secolo stiamo assistendo a un ennesimo revival dell'IA grazie a un rinnovato interesse per una nuova versione del paradigma connessionista. Nel connessionismo l'analogia funzionale si sposta dalla mente (tipica del paradigma simbolico-cognitivista) al cervello umano e alle reti neurali biologiche. L'attività della mente risulta distribuita tra le connessioni delle unità di calcolo (i "neuroni"); non è quindi analizzabile nei singoli processi cognitivi. La macchina connessionista "impara" iterando modelli di calcolo sotto forma di algoritmi, principalmente costruiti condizionali di tipo IF-THEN-ELSE [Skarda, 1992].

Uno dei principi connessionisti più importanti è che le reti di unità semplici, indipendentemente dai simboli utilizzati, possono descrivere ciò che si suppone stia dietro il comportamento intelligente, cioè i fenomeni mentali. Queste unità sono per lo più uniformi e interconnesse, ma ci sono diversi tipi di connessioni e unità possibili a seconda del modello adottato. Il modello connessionista di gran lunga più comune e conosciuto è ispirato al cervello. Si parla quindi di reti neurali, in cui i singoli nodi (le unità di calcolo) delle reti sono le unità che rappresentano i neuroni, mentre le connessioni tra loro potrebbero rappresentare le sinapsi.

Il modello connessionista usato nell'apprendimento delle macchine deriva dal primo comportamentismo, il quale postula che l'apprendimento è il risultato della formazione di associazioni tra Situazioni (e gli stimoli che ne derivano) e Risposte (S-R). Negli animali tali associazioni, che possono essere misurate e quantificate, costituiscono abitudini caratteristiche, suscettibili di rafforzarsi o indebolirsi a seconda del tipo e della frequenza degli accoppiamenti S-R. Sono, come affermava Edward L. Thorndike nel suo libro del 1898, "la connessione di un certo atto con una certa situazione e il conseguente piacere" [Thorndike, 1898, 29]. Grazie alle ricompense, certe risposte arrivano a surclassare le altre perché gli animali le associano a sensazioni piacevoli nel corso dei processi di apprendimento per tentativi ed errori. I connessionisti, come i comportamentisti, credono che l'apprendimento possa essere adeguatamente spiegato senza fare riferimento a stati interni non osservabili.

Probabilmente non è un caso che l'attuale diffusione delle tecniche di *deep learning* (apprendimento profondo) per l'addestramento dell'"intelligenza" nelle macchine si sviluppi in parallelo con l'ampia diffusione degli approcci comportamentali nella psicologia umana e in molti altri campi, per quanto mescolati a quelli cognitivi. Allontaniamoci un po' dalla singola macchina di calcolo, dal clamore per questo o quel risultato di "macchine che battono le prestazioni degli umani", dalla matematica e dagli algoritmi intelligenti, dall'enorme potenza di calcolo. Consideriamo in maniera più generale il funzionamento concreto dei processi di *deep learning*. Sottoinsieme del *machine learning* (in italiano, correttamente tradotto con apprendimento automatico), indica un insieme di tecniche basate su reti neurali artificiali organizzate in diversi strati, dove ogni strato/livello (layer) calcola i valori per quello successivo. Si basa su classi di algoritmi di apprendimento automatico che utilizzano livelli multipli (iterazioni, cioè ripetizioni procedurali) per estrarre progressivamente caratteristiche di livello superiore dall'input grezzo.

La nostra ipotesi è che si tratta di una tipologia di apprendimento automatico che può essere descritta come un modo di condizionare le macchine. Il condizionamento può essere visto come una particolare forma di automazione, cioè l'automazione di un comportamento attraverso l'iterazione ripetuta di modelli semplici, ma in evoluzione, prendendo in considerazione alcuni feedback (retroazioni) e inserendoli in uno schema esistente. Questo condizionamento è possibile e anzi necessario perché corrisponde al condizionamento parallelo su larga scala degli esseri umani coinvolti nelle interazioni con le cosiddette macchine intelligenti.

Più gli esseri umani si rivolgono a queste macchine in modo meccanicamente semplice e non ambiguo, andando incontro alla tendenza degli algoritmi a semplificare e quantificare seguendo schemi di automazione, più le macchine agiscono "automaticamente" e sembrano "intelligenti". L'esperienza acquisita dagli esseri umani con i motori di ricerca sul World Wide Web è forse il modo più semplice per esemplificare questa tesi.

Innanzitutto la maggior parte delle persone non ha idea di come funzionino gli algoritmi di ricerca. In questo senso patiscono decisamente l'alienazione tecnica segnalata da Simondon. In ogni caso, il macchinario al lavoro non è aperto allo scrutinio umano, ma nascosto, configurando una *black box*, una scatola nera e chiusa. Gli input entrano nella scatola attraverso l'angusto spazio vuoto deputato all'interrogazione umana; gli output escono sotto forma di liste di risultati ordinati secondo criteri non espliciti, ma certamente personalizzati e su misura in base alla domanda stessa e, se non alla persona stessa, almeno al profilo disponibile della persona. Questa crescente personalizzazione contribuisce alla sensazione di trovarsi di fronte a comportamenti intelligenti.

In secondo luogo l'essere umano tende a rapportarsi al sistema di ricerca come a un oracolo: non solo non comprende i dettagli del suo funzionamento e non è quindi in grado di intervenire, riparare e modificare l'essere tecnico, ma addirittura

vi si avvicina come a una fonte automatica di verità, o almeno di risposte generate in modo automatico, cioè automaticamente.

Certo, il lavoro di ricerca in un enorme bacino di dati è svolto da algoritmi, che operano a velocità straordinarie navigando nei meandri della rete. Eppure, se guardiamo più da vicino, scopriamo l'esistenza di un lavoro altrettanto fondamentale svolto dagli esseri umani in modo spesso del tutto inconsapevole, eppure talvolta veicolato sotto forma di "uso corretto" dell'interfaccia del sistema.

Consideriamo un'esperienza comune. Quando gli umani iniziano a riempire il campo vuoto del motore di ricerca di Google, dove il cursore lampeggia, di solito hanno cura di inserire qualche parola chiave che sembra adatta a descrivere ciò che stanno cercando. Tendono a evitare di complicare troppo le cose e non di rado optano per le ricerche suggerite dal sistema, cioè quelle più ricercate. Il comportamento umano nei confronti della macchina è quindi semplificato e adattato a parametri statisticamente quantificabili. SE la maggior parte degli utenti con caratteristiche analoghe a me (ad esempio, il browser configurato in lingua italiana) ha cliccato un certo risultato, ALLORA automaticamente il sistema proporrà quel risultato per primo, perché statisticamente più cliccato dal gruppo di utenti a cui il sistema mi ha assegnato. ALTRIMENTI cercherà un risultato più vicino a quelle che ha identificato come caratteristiche che mi determinano, assimilandomi statisticamente ad altri utenti. Il costrutto condizionale IF-THEN-ELSE è all'opera

Semplificazione e quantificazione non sono concetti comuni per definire "l'intelligenza", eppure questi sono i due principali attributi degli attuali sistemi di IA. Questo comportamento non è il risultato del caso, una caratteristica "emersa" dalle macchine grazie a un implacabile processo evolutivo, ma il risultato di un lungo processo di selezione, aggiustamento e perfezionamento di algoritmi e tecniche basato su presupposti teorici e ideologici.

3.3 I fondamenti tecnologici dell'IA

La prima base tecnologica dell'IA è la semplificazione. Gli umani semplificano le loro domande perché questa è una condizione per rendere le loro domande comprensibili alle macchine.

Per comodità, continuiamo con l'esempio del motore di ricerca. Come fanno le macchine a "capire" e distinguere il significato di una domanda umana su argomenti lontani relativi a contesti differenti, come un concetto legato alla teologia, alla storia dell'arte, al risultato di una partita di calcio giocata decenni fa o alla prossima programmazione del cinema della zona? Dopo il fallimento dell'approccio dei sistemi esperti (in cui i problemi vengono rappresentati mediante simboli comprensibili dall'essere umano), i ricercatori hanno cominciato a supporre che non fosse rilevante per le macchine capire la semantica e si sono liberati del problema del contesto semplicemente ignorandolo. I sistemi hanno solo bisogno di semplificare la domanda e di essere in grado di calcolarne la rilevanza "indovinando" a cosa si riferisce la domanda.

Questo approccio connessionista si è dimostrato straordinariamente efficace perché è un modo di "trovare un risultato" estremamente economico dal punto di vista computazionale. Invece di essere effettivamente "esperto" di qualsiasi argomento, il sistema deve "solo" aver classificato le informazioni in base a parole chiave appropriate. Quando queste parole chiave vengono trovate nella richiesta, il sistema evita di vagliare altre possibili risposte che non contengono quelle parole chiave. Le parole chiave sono modelli estremamente semplificati che rappresentano la conoscenza reale descrivendo alcuni dei suoi aspetti, non la conoscenza stessa. Non stiamo negando l'incredibile utilità di questo tipo di tecnica, ma sottolineando la necessità di essere consapevoli dei limiti strutturali di queste procedure di modellazione. Una citazione molto nota dello statistico inglese George Box spiega chiaramente questo problema: "Tutti i modelli sono sbagliati, ma alcuni sono utili" [Box, 1979].

Naturalmente stiamo semplificando, ma il punto essenziale da tenere a mente è che queste procedure euristiche abilitate algoritmicamente (riduzione dei dati, ecc.) sono necessarie per far fronte alle sottigliezze dei linguaggi umani naturali.

Cosa succede però se una data parola chiave appare sia in una serie di risultati di teologia che in una serie di risultati di partite di calcio? In realtà è un'ipotesi meno ridicola di quanto possa sembrare a prima vista. Ad esempio: dal portatile con cui stiamo scrivendo questo articolo, apriamo un browser web, andiamo alla pagina di un motore di ricerca e inseriamo la query "Mano di Dio". Si può fare lo stesso con la voce, chiedendo a un assistente vocale "Cos'è la mano di Dio?" I possibili risultati riguardano la teologia, se si cercava l'antico motivo dell'arte ebraica e cristiana per rappresentare Dio senza raffigurare una figura umana completa. Ma anche a una famosa partita di calcio durante la Coppa del Mondo FIFA del 1986, quando il calciatore argentino Diego Maradona segnò con la mano, riferendosi poi a quell'episodio come "Mano di Dio". Può riferirsi anche a una scultura di Auguste Rodin (1898 circa), o a un film di Paolo Sorrentino.

La seconda base tecnologica degli attuali sistemi di IA aiuta a superare queste difficoltà facendo ampio uso di metodi probabilistici. Gli esseri umani tendono ad accettare un risultato della macchina in base alla sua probabile correttezza, perché questa verità statistica è una condizione per effettuare la ricerca in un tempo ragionevole. Nel linguaggio corrente si usa spesso il termine probabilità, ma è una forzatura semantica. Le probabilità di lancio di una moneta sono calcolate su un evento molto semplice, con due soli risultati possibili (testa o croce) e che tra l'altro è stato ripetuto molte volte.

Al contrario, è la prima volta che io eseguo la ricerca "La mano di Dio", portando la mia storia personale (anche di profilazione web) con l'aiuto/mediazione di uno specifico portatile, in una situazione complessa con uno specifico browser web impostato in una lingua determinata, e così via. Come può il sistema prevedere cosa sto effettivamente cercando, se questa è la prima volta nella storia del mondo che questo evento si verifica, insieme a un numero non minimo di variabili? In breve, i metodi statistici usati in data science assegnano un numero a ogni risultato nel database disponibile e, tramite algoritmi di riduzione dei dati,

calcolano la possibilità che questo numero (risultato) sia quello che sto cercando, se si tratta di arte, calcio, film, teologia, ecc. restituendo un elenco ordinato di risultati desiderabili [Gleich, 2015].

A prescindere dalle varie teorie della probabilità, si può sottolineare che le operazioni di ordinamento dei risultati sono effettuate sulla base di parametri scelti dall'umano secondo le sue convinzioni personali e soggettive. Gli algoritmi vengono utilizzati per evitare la soggettività umana, ma in realtà le loro "probabilità" sono solo valutazioni soggettive dei possibili risultati, derivate dalle procedure statisticamente discutibili della cosiddetta data science, portando a rafforzare preesistenti pregiudizi molto umani come il razzismo [Noble, 2018] o la disuguaglianza nel processo decisionale di *predictive policing* [Babuta, 2018]. I sistemi di riconoscimento facciale sono infatti relativamente precisi nell'identificare individui classificati come "caucasici" negli Stati Uniti, ma molto meno abili nell'identificazione di individui "di colore", perché sono stati "nutriti" con fotografie di persone perlopiù "caucasiche". Allo stesso modo, individui classificati come "di colore" sono statisticamente considerati più inclini a commettere reati, banalmente perché le "intelligenze artificiali" sono state "nutrite" con i dati pregressi del casellario giudiziario statunitense, secondo cui le persone "di colore" delinquono più di altri gruppi.

Oltre alla semplificazione della modellazione, il secondo elemento da considerare è che la probabilità basata sulla statistica è molto diversa dalla verità. Il quadro di condizionamento reciproco dell'interazione uomo-IA comincia a chiarirsi.

Queste due basi tecnologiche dell'IA si fondano su due presupposti principali: la credenza nell'ottimizzazione e nell'organizzazione spontanea per ottenere un "buon" risultato, anzi l'"unico veramente vero". Il principio dell'ottimizzazione presuppone che sia non solo possibile, ma anzi adatto a ottenere un risultato "ottimale" che è quello perfetto, la corrispondenza esatta che risponde alla domanda [Goldberg, 1989]. Il principio di organizzazione spontanea nell'IA connessionista assume che questa risposta perfetta con un punteggio ideale del 100% verrà spontaneamente dal sistema a causa della sua evoluzione "naturale" in una rete organizzata.

Comunque sia, la chiave è la disponibilità di dati per addestrare algoritmi per prevedere il futuro. I dati sono diventati la materia prima per realizzare il sogno di sviluppare l'IA, così come la disponibilità a basso costo e "illimitata" di altre materie prime (petrolio, gas, minerali, ecc.) è necessaria per lo sviluppo industriale.

3.4 Il valore dei dati

È impossibile sopravvalutare l'importanza dei dati nelle attuali applicazioni del mondo reale legate all'IA. I dati sembrano essere ovunque, spesso sotto la vaga espressione di "Big Data", e tuttavia è molto difficile raggiungere un consenso scientifico su cosa siano esattamente i dati, e dove e come esattamente il valore economico possa essere estratto dai dati [Boyd e Crawford, 2011].

Non sorprende che l'economia sia interessata allo sviluppo dell'IA, perché lo sviluppo tecnologico è sempre stato una fonte di potere e ricchezza. Le reti vengono considerate una fonte di valore perché producono dati. Ricordiamo che l'economista libertario (non libertario, che è una categoria politica afferente alla famiglia socialista; libertario, anti-socialista, sostenitore dell'espansione illimitata del capitalismo de-regolamentato, in inglese *right libertarian*) Frederich Hayek ha ispirato l'informatico Herbert Alexander Simon, uno dei padri dei sistemi esperti di IA euristici. Il cuore del connessionismo è una cieca fede nelle reti [Smith e Reisman, 1997]: crede infatti che situazioni con alti livelli di incertezza e complessità si "evolveranno" spontaneamente in una rete ordinata di agenti, proprio come in ambito organico l'intelligenza umana è considerata un fenomeno emergente dall'organizzazione spontanea dei neuroni nel cervello, seguendo modelli evolutivi.

Questo "ordine spontaneo" ricorda precedenti metafore economiche, fra cui la celebre "mano invisibile" del mercato di Adam Smith. Il parallelo tra il cervello degli organismi e le reti neurali è cruciale. Ben prima dell'avvento dell'apprendimento automatico, in un documento del 1948 che rimase inedito fino al 1968, Alan Turing definì i computer simili al cervello "macchine non organizzate", ipotizzando che i cervelli dei neonati fossero in gran parte non organizzati in modo simile fino a quando i loro algoritmi biologici impliciti li avrebbero plasmati verso un ordine spontaneo più strutturato (educato), proponendo una sorta di "ricerca genetica" per organizzare le reti. La sua visione presenta alcune sorprendenti somiglianze con le idee successive di Hayek, che sottolineava la confusione cerebrale dei cavi di connessione nell'ENIAC e in altri fra i primi computer [Turing n.d.].

Oltre mezzo secolo dopo, la narrazione di mercati auto-organizzati, "frictionless" (senza attrito), emergenti dalla concorrenza commerciale indisciplinata per la sopravvivenza va di pari passo con l'IA che emerge dai Big Data: condividono come terreno comune la fede cieca nell'Ordine Spontaneo che verrà, un giorno. Potremmo allora aspettarci che non sarà più necessario sforzo né lavoro per far prosperare l'IA. Sembra che basterà lasciare che sia il tempo a gestire tutto, grazie ai corretti algoritmi che lavorano senza sosta e instancabilmente.

4. Digital labour? No, grazie.

4.1 Una storia del concetto

Invece di essere sull'orlo dell'estinzione grazie alla crescente automazione, il lavoro e lo sforzo a esso collegato sono molto presenti nel mondo in cui l'IA si sta sviluppando, il nostro comune mondo digitale di massa. Merci di ampio consumo equipaggiate con IA (ad esempio gli assistenti vocali attualmente alla moda come Alexa, Siri e simili) nascondono dietro la semplicità di interazione un'enorme complessità produttiva, logistica e industriale, nonché elevati livelli di sfruttamento in termini di manodopera umana, risorse energetiche e materie prime [Crawford, 2021].

Le prime analisi che utilizzano l'espressione *digital labour* appaiono in articoli accademici nel 2009, senza arrivare a una definizione univoca. Una distinzione è però comunemente accettata: il *digital labour* non deve essere confuso con il lavoro digitale (*digital work*), che si riferisce alle persone che lavorano nel settore IT. Non si riferisce nemmeno ai lavoratori delle fabbriche dove vengono prodotti i dispositivi su cui si basa questo settore. Come scrive Antonio Casilli, "dobbiamo collocarci al di fuori dei classici luoghi di produzione per vedere apparire questo lavoro" [Casilli, 2015, 12].

In generale, lo sforzo teorico profuso cerca di mostrare cos'hanno comune pratiche online eterogenee di interazione con le macchine come la moderazione (blog, forum, commenti sui social network), la scrittura collaborativa di articoli online, il rating dei contenuti, la gig-economy (Uber, AirBnB). Si propone di leggere, prevalentemente e originariamente in una prospettiva di ispirazione marxista, queste pratiche alla luce delle relazioni sociali che caratterizzano l'ambito lavorativo. Portare alla luce il lavoro nascosto permette di denunciare forme di sfruttamento più o meno evidenti.

Questo spiega in parte perché non esiste una definizione unanimemente condivisa di *digital labour*. Nel caso del lavoro "uberizzato", i profitti accumulati dalla piattaforma non possono corrispondere al surplus di lavoro risultante dalla differenza tra il capitale investito e il profitto ottenuto non remunerando il lavoro in eccesso, tranne quando si considera il lavoro degli sviluppatori e dei loro team che producono e sviluppano la piattaforma: ma questo è un caso di *digital work* e non di *digital labour*. Si tratta invece di una *disruption* libertaria (sconvolgimento libertario di destra) di interi settori economici.

4.2 Non si tratta solo di (social) media

Per quanto riguarda i social media, il problema del contributo umano può apparire ancora più complesso. A prima vista, consultare i social sembrerebbe un puro "svago", condotto dagli esseri umani secondo i dettami del loro libero arbitrio; molti utenti si connettono con discrezione nel loro orario di lavoro retribuito, per sfuggire un po' alla routine. Tuttavia, poiché i media (sociali) di massa sono guidati dai dati di algoritmi che sfruttano i principi della cosiddetta IA, il loro utilizzo rientra nel condizionamento reciproco sopra delineato.

Il modello di business che la maggior parte dei social media ha adottato è ormai noto: si basa sulla profilazione degli utenti, utilizzando dati e metadati che da loro disseminati durante la navigazione in rete, e sfruttando questi profili a fini commerciali, pubblicità compresa. La profilazione corrisponde alla semplificazione e quantificazione della massa umana per soddisfare l'analisi degli algoritmi.

Il termine *crowdsourcing* appare per la prima volta nel 2006 nella rivista Wired, un mensile americano particolarmente influente nell'ambiente delle nuove tecnologie. Questo neologismo è una parola macedonia costruita da *crowd* e *outsourcing*. L'idea è semplice: Internet aumenta le possibilità di *outsourcing* ("abolendo" le distanze geografiche e permettendo di contattare un gran numero

di persone) e permette anche di aumentare la produttività mobilitando vere masse di "lavoratori". In pratica, il *crowdsourcing* può assumere varie forme:

- Grandi progetti "collaborativi", commerciali o meno. L'enciclopedia online Wikipedia è l'esempio più noto. Bot software automatizzati per monitorare, segnalare, correggere e vietare (discorsi di odio, ecc.) sono una parte cruciale di questo tipo di ecosistema.
- Micro-lavoro. Il migliore esempio è la piattaforma Amazon Mechanical Turk. I *turkers* si iscrivono per eseguire HITs (Human Intelligence Tasks, come li definisce Amazon) che le macchine non sono (ancora) in grado di eseguire da sole o costano troppo (ricerca di un titolo per descrivere una foto o un video, trascrizione di file audio, moderazione dei commenti, standardizzazione dei nomi dei file, ecc), in cambio di un micro-lavoro. Amazon non è l'unico "datore di lavoro", chiunque può registrarsi per approfittare del grande mercato di micro-lavoratori (Amazon prende una commissione tra il 20% e il 40% della remunerazione). Gli algoritmi di Machine-Learning sono addestrati con le risposte dei *turkers*, e l'IA risulta essere sia il sistema che ottimizza l'assegnazione dei compiti, il modo per estrarre "comportamenti intelligenti" dagli umani e, senza alcuna ironia, il paravento dietro cui si nascondono i lavoratori umani sottopagati.
- Micro-lavoro non retribuito. È il caso di reCaptcha, il sistema CAPTCHA (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart) di Google. Si trova spesso alla fine dei formulari, quando agli esseri umani viene chiesto, per dimostrare di essere effettivamente umani, di copiare una sequenza di caratteri o di selezionare, tra un insieme di immagini, quelle che corrispondono a un determinato criterio. Questo tipo di sistemi, che Google offre gratuitamente agli amministratori di siti web, permettono loro di impedire ai bot di utilizzare i loro servizi o di rendere più difficili gli attacchi *brute-force*, un attacco che consiste nel trovare una password testando una per una tutte le combinazioni possibili. La funzione esplicita di reCaptcha abilitata dall'IA è quella di impedire alle macchine meno intelligenti di interagire con il sistema. Infatti, i bot sono software in grado di interagire automaticamente con un server, simulando il comportamento umano. Ma d'altra parte rende anche possibile, grazie alle risposte date dagli utenti, migliorare il sistema di riconoscimento dei caratteri che Google utilizza sui libri che scansiona (e ha scansionato) per alimentare Google Books o, nel caso in cui gli venga chiesto di classificare le foto, migliorare le prestazioni di Google Street View e delle auto a guida autonoma, tutti servizi che fanno largo uso di tecniche di IA.
- Lavoro speculativo. In crescita in settori come la grafica, il design, l'architettura o la fotografia, consiste nella creazione di piattaforme che offrono bandi di gara sotto forma di concorso. I concorrenti devono solo presentare il loro lavoro. Il vincitore otterrà di essere pagato. I sistemi di punteggio, valutazione, asta, offerta e vincita si basano su algoritmi di IA.

Una nuova svolta è stata segnata dall'adozione di massa degli smartphone, che permettono un aumento del tempo di connessione e della reattività degli utenti. Inoltre forniscono il supporto a certe forme di consumo "collaborativo" senza

scopo di lucro (almeno per gli utenti, e in teoria) come il carpooling o le reti di scambio di ospitalità, ma anche la partecipazione dei cittadini a compiti di monitoraggio e controllo (COVID19 tracking, segnalazione di attività sospette) o le piattaforme di scambio C2C (Customer to Customer) che permettono di mettere in contatto domanda e offerta senza altri intermediari oltre alla piattaforma (Airbnb, Booking, Ebay, Subito.it e così via). Gli smartphone aggiungono la geolocalizzazione costante alla connettività permanente, combinandola con quella fornita da tutti gli altri terminali mobili indossabili, "intelligenti" e domotici, che si prevede aumenteranno nei prossimi anni con l'IoT (Internet of Things). Con gli utenti che hanno costantemente il loro dispositivo in tasca, con le piattaforme che diventano gli unici intermediari, è sufficiente implementare alcuni algoritmi di abbinamento per rendere la catena di approvvigionamento un po' più flessibile.

L'applicazione concreta più evidente di un simile meccanismo è proprio il mercato della mobilità. Il servizio "auto con autista" di Uber è l'esempio più noto. Analoghe le piattaforme per consegne di pasti e qualsiasi altra merce da auto-imprenditori in bicicletta o simili, permanentemente geolocalizzati: i cosiddetti rider. I cloni di questo tipo di ecosistema, chiaramente di destra libertaria ispirato al mito dei mercati senza attrito e spontaneamente ordinati, sono infiniti.

4.3 IA o Automazione Industriale dell'umano

Le piattaforme potenziate dall'IA sono sistemi per l'automazione industriale delle attività umane, che possono consistere nella ricerca, segnalazione, etichettatura, descrizione, trascrizione, annotazione, guida, condivisione, cura, distribuzione.

Alcuni aspetti dell'approccio del *digital labour* sono interessanti, in particolare, nella misura in cui rendono esplicite le basi della crescente fortuna della maggior parte dei giganti di Internet; nel complesso però non è soddisfacente. Il suo principale punto debole sta nella definizione di lavoro. Se si vuole includere nella stessa categoria l'attività degli utenti sui social network, il micro-lavoro, l'uberizzazione, ecc. per denunciare forme di sfruttamento da una prospettiva che si dichiara critica nei confronti dell'economia politica vigente, bisogna restringere la definizione di lavoro al minimo comune denominatore tra queste attività: la produzione di "valore". Poiché è molto complesso definire esattamente dove e quando le micro-attività iterate come il tagging, il re-tweeting, ecc. producono valore, questa strada non sembra molto promettente.

Cosa chiedono i critici del *digital labour* una volta che hanno denunciato lo sfruttamento che questo tipo di lavoro rappresenta? Alcuni si indignano per l'indecisa ottimizzazione fiscale di GAFAM e consorti che, va ricordato, stabiliscono le loro sedi europee in paesi dove beneficiano di un'aliquota fiscale molto bassa prima di inviare i loro profitti nei paradisi fiscali [Rougé, 2017; Kutera, 2017]. Ma spesso reclamano "l'ipotesi di un reddito di base come leva di emancipazione e misura compensativa" [Casilli, 2015, 39], che talvolta va a braccetto con l'idea di una tassazione più efficiente dei giganti di Internet. Si differenziano così dai più liberali, come Jaron Lanier, che ritengono che la nostra partecipazione ai mondi digitali dovrebbe essere ricompensata con

micropagamenti: non appena viene pubblicata una nuova informazione, il suo autore verrebbe automaticamente pagato, riceverebbe un compenso per il materiale originale che diffonde [Lanier, 2013].

Queste proposte suscitano almeno due critiche. In primis, manifestano un ristretto orizzonte in termini di critica al capitalismo e alla strategia politica, ben oltre il problema secondario della fattibilità del progetto del reddito universale. Si limitano all'aspetto economico. Ci vorrebbe un altro articolo per discuterne, ma altri ricercatori hanno chiarito la questione. Qui diremo qualcosa di più su una seconda critica.

Il prisma redistributivo, mobilitato dalle proposizioni precedenti, porta a elidere alcuni aspetti decisivi: il condizionamento reciproco spinto dalla semplificazione e dall'ottimizzazione nel quadro della credenza dei "mercati spontaneamente ordinati senza attrito", le interazioni degli umani con le AI menzionate (che non sono macchine qualsiasi, ma macchine industriali), il crescente impatto di queste ultime sulla formazione della soggettività umana e il modo in cui ci fanno sottomettere sempre di più, per diventare completamente trasparenti all'estrazione di dati-valore delle macchine "intelligenti" [Ippolita 2019], mentre in realtà contribuiscono al loro sviluppo, attraverso strategie come il *nudging* [Thaler e Sunstein, 2014, Kusters e Van der Heijden, 2015] e la *gamification* [Koivisto e Hamari, 2019].

Pretendere di compensare emotivamente e ormonalmente (come pretendono di fare il *nudging* e la *gamification* attraverso rinforzi secondari positivi che stimolano la secrezione di dopamina) o finanziariamente (con denaro, con una qualche criptovaluta o con un reddito universale) le micro-azioni degli umani su Internet equivale a promuovere ancor di più le tecnologie del dominio. Equivale ad abbracciare l'automazione sotto forma di condizionamento e manipolazione comportamentale come l'unico modo appropriato di interagire con le macchine e a ridurre un po' di più le nostre prospettive di autonomia, compresa l'autonomia tecnica e l'elogio di Simondon per una "macchina aperta".

Conclusione

È necessario esplorare ulteriormente le interfacce in cui interagiscono umani e macchine, dal momento che è un rapporto di potere altamente distorto e profondamente influenzato, tra l'altro, da credenze personali, valutazioni soggettive spacciate per verità oggettive e malintesi teorici e pratici sull'agency degli esseri umani e tecnici. Crediamo che un'attenzione particolare vada rivolta ad approcci capaci di valorizzare le diverse sensibilità individuali che tengano conto dei saperi situati degli attori coinvolti, quindi a forme di pedagogia esperienziale inclusiva [Trocchi, 2019] nella tessitura delle relazioni con gli esseri tecnici. Possono essere alleati se si accetta di confrontarsi con la complessità in un quadro organico [Milani e Antoniadis, 2021].

La possibilità di "macchine aperte" simondoniane sarebbe concepibile solo in un contesto di reciproco sostegno e riconoscimento, impossibile nell'attuale paradigma dell'IA, offuscato da una nebbia di procedure di calcolo all'interno

della quale restano immutati i fondamenti della ricerca iniziata negli anni Cinquanta.

Ciò è tanto più vero in quanto l'iper-connettività sembra portare caos dirompente, confusione, dispersione dell'attenzione, difficoltà di valutazione e clamorosi errori di giudizio, sia da parte dell'intelligenza umana che dell'IA. Allo stesso tempo, il dogma dell'iperspecializzazione (ottimizzazione) blocca l'evoluzione con la polarizzazione della "sopravvivenza del più adatto", impedendo alla variabilità-differenza-diversità il suo ruolo. Sarebbe probabilmente più intelligente rimanere sul "bordo del caos", cercando di migliorare i cicli di feedback sulla base esplicita del mutuo aiuto [Kropotkin, 1908; Milani, 2022], un'opzione evolutiva migliore del condizionamento reciproco per la competizione cieca

BIBLIOGRAFIA

Milani, Carlo, Panayotis, Antoniadis. 2021. "Reti bio-organiche", *Mondo Digitale*, 3, 90.

Babuta, Alexander. 2018. "Innocent Until Predicted Guilty? Artificial Intelligence and Police Decision-Making." *RUSI* 38 (2). https://rusi.org/sites/default/files/20180329_rusi_newsbrief_vol.38_no.2_babuta_web.pdf.

Boyd, Danah and Crawford, Kate, "Six Provocations for Big Data". *A Decade in Internet Time: Symposium on the Dynamics of the Internet and Society*, September 2011, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1926431> Box, G. E. P. 1979. "Robustness in the Strategy of Scientific Model Building." In *Robustness in Statistics*, edited by Robert L. Launer and Gaham N. Wilkinson, 201–36. London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-438150-6.50018-2>.

Brockman, John, ed. 2019. *Possible Minds: Twenty-Five Ways of Looking at AI*. London: Penguin Press.

Casilli, Antonio. 2015. "Qu'est-Ce Que Le Digital Labor?" In, edited by Antonio Casilli and Dominique Cardon, 8–40. Bry-sur-Marne: INA éditions.

Crawford, K. (2021). Né intelligente né artificiale. Il lato oscuro dell'IA. Il Mulino.

Fuchs, Christian. 2015. "The Digital Labour Theory of Value and Karl Marx in the Age of Facebook, Youtube, Twitter, and Weibo." In *Reconsidering Value and Labour in the Digital Age*, edited by Eran Fisher and Christian Fuchs, 26–41. London: Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1057/9781137478573_2.

Gleich, David. F. 2015. "PageRank beyond the Web". *SIAM Review*, 57(3), 321–363, <https://arxiv.org/pdf/1407.5107>.

Goldberg, David E. 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Boston.

Guchet, Xavier. 2010. *Pour Un Humanisme Technologique : Culture, Technique et Société Dans La Philosophie de Gilbert Simondon*. Paris: P.U.F.

- Ippolita. 2019. "Onze thèses Sur La transparence." *Multitudes* 73 (4): 70–74. <https://www.cairn.info/revue-multitudes-2018-4-page-70.htm#>.
- Koivisto, Jonna, and Juho Hamari. 2019. "The Rise of Motivational Information Systems: a Review of Gamification research." *International Journal of Information Management* 45: 191–210. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.10.013>.
- Kosters, Mark, and Jeroen Van der Heijden. 2015. "From Mechanism To Virtue: Evaluating Nudge theory." *Evaluation* 21 (3): 276–91. <https://doi.org/10.1177/1356389015590218>.
- Kropotkin, Peter. 1908. *Mutual Aid: A Factor of Evolution*. William Heinemann.
- Kutera, Małgorzata. 2017. "A Model of Aggressive Tax Optimization With the Use of Royalties." *Journal of Economics & Management*, no. 30: 85–98. <https://doi.org/10.22367/jem.2017.30.05>.
- Lanier, Jaron. 2013. *Who Owns the Future?* San Jose: Simon & Schuster.
- Marx, Karl. 1887. *Capital: A Critique of Political Economy*. Translated by Samuel Moore and Edward Aveling. Vol. I. Progress Publisher.
- . 1973. *Grundrisse: Foundations of the Critique of Political Economy*. Translated by Martin Nicolaus. London: Penguin Books.
- McCarthy, John, Marvin Minsky, Nathan Rochester, and Claude E. Shannon. 1955. "A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence." online. <http://raysolomonoff.com/dartmouth/boxa/dart564props.pdf>.
- Milani, Carlo. 2022. *Tecnologie conviviali*, . Milano: Elèuthera.
- Newell, Alan, John Cliff Shaw, and Simon Herbert Alexander. 1958. "Report on a General Problem-Solving Program." online. http://bitsavers.informatik.uni-stuttgart.de/pdf/rand/ipl/P-1584_Report_On_A_General_Problem-Solving_Program_Feb59.pdf.
- Noble, Safiya Umoja. 2018. *Algorithms of Oppression: How Search Engines Reinforce Racism*. New York: NYU Press.
- Paul, Diane B. 1988. "The Selection of the 'Survival of the Fittest'." *Journal of the History of Biology* 21 (3): 411–24. <http://www.jstor.org/stable/4331067>.
- Rougé, Jean-François. 2017. "The Global War: the EU's Apple Tax Case." *Economics* 5 (1): 14–35. <https://doi.org/10.1515/eoik-2017-0009>.
- Simondon, Gilbert. 2014. "Psychosociologie de la technicité." In *Sur la technique*, 27–129. Paris: P.U.F.
- . 2017. *On the Mode of Existence of Technical Objects*. Translated by Cécile Malaspina and John Rogove. Minneapolis: Univocal.
- Skarda, Christine A. 1992. "Perception, Connectionism, and Cognitive Science." In *Understanding Origins: Contemporary Views on the Origin of Life, Mind and Society*, edited by Francisco Varela and Jean-Pierre Dupuy, 265–71. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-015-8054-0_14.

Smith, Barry, and D. A. Reisman. 1997. "The Connectionist Mind: A Study of Hayekian Psychology." In *Hayek: Economist and Social Philosopher: A Critical Retrospect*, edited by Stephen F. Frowen, 9–36. London: Palgrave Macmillan.

Smith, Robert Elliott. 2019. *Rage Inside the Machine: The Prejudice of Algorithms, and How to Stop the Internet Making Bigots of Us All*. London: Bloomsbury Business.

Stiegler, Bernard. 2017. *Automatic Society: The Future of Work*. Translated by Daniel Ross. Cambridge: Polity Press.

Thaler, R. H., Sunstein, C. R. (2014). *Nudge. La spinta gentile. La nuova strategia per migliorare le nostre decisioni su denaro, salute, felicità*. Italia: Feltrinelli.

Thorndike, Edward L. 1898. *Animal Intelligence: Experimental Studies*. New York: Macmillan.

Trocchi, Agnese. 2020. *Internet, Mon Amour: Chronicles Before Yesterday's Collapse*. Milan: Ledizioni.

Turing, Alan. n.d. "Intelligent Machinery." *The Turing Digital Archive*. Accessed September 27, 2020. <http://www.turingarchive.org/browse.php/C/11>.

Weil, Simone. 1951. *La Condition Ouvrière*. Paris: Gallimard. http://classiques.uqac.ca/classiques/weil_simone/condition_ouvriere/la_conditio_n_ouvriere.pdf.

Wiener, Norbert. 1949. "Letter to UAW President Walter Reuther." *Libcom*. <https://libcom.org/history/father-cybernetics-norbert-wieners-letter-uaw-president-walter-reuther>.

———. 1950. *The Human Use of Human Beings: Cybernetics and Society*. Boston: Houghton Mifflin Co.

———. 1961. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. New York: M.I.T. Press.

BIOGRAFIA

Vivien García (PhD) insegna filosofia ed etica presso la Facoltà di Medicina dell'Université de Lorraine. È specializzato in filosofia politica e morale e in filosofia della tecnica. I suoi interessi di ricerca si concentrano sulla normatività, la tecnologia e il potere.

Carlo Milani (PhD) è saggista, traduttore e ricercatore associato presso ERTIM-INALCO di Parigi. Con *alekos.net* sviluppa tecnologie informatiche appropriate. Fino al 2018 ha pubblicato vari saggi con l'eteronimo Ippolita, da "Open non è free" (elèuthera, 2005) a "Tecnologie del dominio" (Meltemi, 2017). Tiene conferenze e corsi di formazione basati sulla pedagogia hacker con C.I.R.C.E. (Centro internazionale di ricerca per le convivialità elettriche – *circex.org*). Il suo ultimo libro è "Tecnologie conviviali" (elèuthera, 2022).

A zozzo tra giochi matematici e pensiero critico

Angelo Luvison

Sommario

In un quadro complessivo di scarsa alfabetizzazione numerica, i giochi matematici possono fornire utili strumenti introduttivi al pensiero critico e al metodo scientifico per affrontare problemi logici e di probabilità che si presentano quotidianamente nella nostra vita. L'articolo lega insieme lavori precedenti, fornendo un quadro unitario alla scelta dei rompicapi ivi considerati, alcuni paradossali o di soluzione controintuitiva, che, oltre a essere divertenti, consentono di valutare criticamente e quantitativamente situazioni, anche soggettive, legate alla vita reale o quotidiana. Molti casi, per esempio il classico e controverso problema di Monty Hall (o delle tre porte), possono essere affrontati in modo intuitivo, o euristico, ricorrendo a semplici calcoli aritmetici.

Abstract

In an overall framework of numerical illiteracy (i.e., innumeracy), mathematical games can provide useful introductory tools to critical thinking and the scientific method to deal with logical and probability problems that arise in everyday life. The work provides a unified framework to a number of puzzles, already spread in several papers. The majority of them are somewhat paradoxical, i.e., of counterintuitive solution, but, in addition to being entertaining, allow us to critically and quantitatively evaluate situations, even subjective ones, related to our lives. Many cases, e.g., the controversial Monty Hall problem, a classical brain teaser, can be tackled intuitively, often with the aid of heuristics or rules of thumb, by using very simple arithmetic.

Keywords: Mathematical brain teasers, Critical thinking, Rationality and logical reasoning, Scientific method, Probability, Bayes' rule, Real-life problems

Matematica, probabilità e ragionamento logico possono salvarci la vita e il portafoglio, ovvero la vita è un gran bel casinò

1. Introduzione

Usando un'iperbole tipicamente nordamericana, potremmo affermare che *"addurre ragioni per cui la razionalità e il pensiero critico, o critical thinking, contano è un po' come soffiare nelle vele della propria barca o sollevarsi con le proprie sole forze (by one's own bootstraps): non può funzionare se non si accetta la regola di base secondo cui il pensiero critico è il mezzo per decidere che cosa realmente sia importante"* (adattamento da [B21, p. 319]). Più elegantemente, diciamo che il pensiero critico ha l'obiettivo, prima, di svelare distorsioni cognitive ed errori logico-argomentativi - sia formali sia informali - e cercare, poi, di convincere le persone a superarli. Il suo impiego è fondamentale al giorno d'oggi in cui ci troviamo di fronte a decisioni cruciali di ogni genere: dalla questione dei vaccini Covid-19 ai dilemmi morali generati dall'intelligenza artificiale, dai rischi degli investimenti finanziari alla affidabilità delle testimonianze giudiziarie. Oltre a essere un antidoto contro false notizie, cure mediche propinate da ciarlatani, teorie del complotto, ecc., rappresenta un potente strumento quando si debbano prendere decisioni in condizioni di incertezza.

Questo modo di ragionare può essere considerato il presupposto del metodo scientifico utilizzato da ricercatori e scienziati, in quanto prevede un approccio verificabile, rigoroso e coerente, che produce risultati affidabili e riproducibili. Entrambi - pensiero critico e metodo scientifico - nascono dalla curiosità e dalla capacità di far(si) le domande giuste, ciò che dalle *humanities* (e *liberal arts*) è detto "dubbio costruttivo", locuzione che è indicativa non di un atteggiamento paralizzante quanto piuttosto di un'analisi fine che prende in esame un maggior numero di aspetti. Considerare tutti i casi possibili, se in numero finito e limitato, è uno degli ingredienti fondamentali del pensiero critico: l'altro è riflettere adeguatamente sul problema in modo da arrivare a una sua corretta definizione.

A ben vedere, tutto il progresso scientifico è il frutto di un continuo esercizio critico. Un secondo pilastro è fondato sul ragionamento logico-matematico integrato da una mentalità di rigore analitico e argomentativo. Per esemplificare, ricordiamo la logica booleana (sviluppata da George Boole) e la logica dei circuiti (porte logiche AND, OR, NOT...) con applicazioni all'elettrotecnica, all'elettronica digitale, ai computer (si pensi al momento di svolta epocale originato dalla tesi di Master of Science di Claude Shannon "A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits" del 1938). Quanto a Shannon, è ancora d'obbligo ricordare i suoi lavori - vere e proprie pietre miliari - sul rumore, sull'entropia, sulla codificazione, sulla crittologia, che hanno anticipato lo sviluppo dell'era digitale con l'ICT (Information and Communications Technology), prima, e della società dell'informazione, poi. Sono questi prodotti di tecnoscienza d'avanguardia, ma anche di eclettismo, creatività e immaginazione, ossia di una non comune capacità di pensare fuori degli schemi.

Detto per inciso, sarebbe un bel passo in avanti se pensiero critico e metodo scientifico fossero oggetto di insegnamento a partire dalla scuola dell'obbligo, di cui uno degli obiettivi di base, oltre a trasmettere conoscenze, dovrebbe essere la capacità di plasmare mentalità critiche permeate di spirito costruttivo.

In questo quadro, si inserisce la categoria dei giochi matematici che, in un'accezione ristretta e un po' antiquata, è ancora vista come sinonimo di matematica ricreativa, cioè come un vasto insieme di enigmi logico-matematici che vengono affrontati per puro spirito ludico e piacere personale senza la necessità di risolvere casi concreti o applicativi. Come si vede invece dai lavori [1]-[15] - pubblicati *in primis* da *Mondo Digitale* e *AEIT* - molti problemi ed enigmi che rientrano in senso lato in questa categoria rivestono un sostanziale interesse pratico e applicativo. Il *Leitmotiv* unificante per la scelta di questi dilemmi (o rompicapi, *brain teaser*) è dunque tale aspetto, oltre alla loro relazione con il pensiero critico.

I risultati di questi giochi/enigmi matematici sono stati pubblicati nell'arco di un decennio in più riprese e occasioni, risultano perciò frammentati nei lavori citati, eterogenei per contenuto ed estensione, benché l'"apologia della ragione scientifica"¹ - implicitamente o fin dal titolo in [6]-[10] - ne costituisca il filo conduttore. A chi legge, proponiamo perciò una sorta di guida esplicativa ragionata, o chiave di lettura, per aiutarlo a orientarsi nel palinsesto complessivo e nella fitta rete dei rimandi. Questa cappello introduttivo contiene, in primo luogo, il rinvio per ogni gioco ai riferimenti più pertinenti della lista [1]-[15]; successivamente, riporta in un apposito riquadro un'ampia, benché non esauriente, bibliografia commentata [B1]-[B35] in modo da consentire ulteriori analisi e approfondimenti.

Nella massima qui in esergo sta la *ratio* per la scelta dei rompicapi considerati, alcuni paradossali o di soluzione controintuitiva, che, oltre a essere divertenti, consentono di valutare criticamente e quantitativamente situazioni, anche soggettive, legate alla vita reale o quotidiana. Per cercare di incuriosire maggiormente il lettore, richiamiamo in nota il classico dilemma delle tre porte o di Monty Hall², rimandandone la soluzione alla nota 3 nel paragrafo conclusivo.

¹ Titolo originariamente proposto dal prof. Franco Filippazzi.

² In un gioco televisivo americano del programma *Let's Make a Deal*, della metà del secolo scorso, il conduttore Monty Hall (uno pseudonimo) dava al concorrente la scelta di tre porte da aprire. Dietro a una delle tre vi era un'auto (di lusso), una capra dietro a ciascuna delle altre due. Il concorrente doveva indicare una porta e avrebbe avuto in premio quel che trovava dietro. Ma prima che la porta scelta dal concorrente fosse aperta, Monty, conoscendo l'esatta disposizione di capre-auto, spalancava un'altra porta delle due restanti, rivelando una capra. Dopodiché chiedeva al concorrente se volesse cambiare la scelta iniziale oppure no. Benché questo gioco, o dilemma, delle tre porte sia diventato quasi un luogo comune quando si parla della fallacia dell'intuizione umana, rimane tuttora un grande classico rompicapo e la sua corretta soluzione - di per sé controintuitiva - continua a sollevare discussioni.

Il lettore interessato potrà trovare nella nota 3 (vedi conclusioni) la soluzione più semplice possibile, basata sul puro ragionamento logico, senza nessun calcolo matematico.

Come ulteriore bonus, illustriamo nel riquadro 1 intitolato “I ricchi sono felici?” un’applicazione curiosa ma, si spera, divertente dell’approccio basato sulla formula (o teorema) di Bayes.

In tutti i casi di studio, la matematica necessaria per i calcoli ha la virtù della semplicità, implicando solo le quattro operazioni elementari. Tuttavia, i ragionamenti che stanno alla base devono essere condotti con cautela e attenzione: in logica e probabilità le argomentazioni non possono mai essere troppo superficiali, ingenui e intuitive, o eccessivamente vincolate *al* e *dal* senso comune.

2. Un percorso per divertirsi, pensare e imparare

Fra le tante chiavi di lettura che consentono di avvicinarsi in modo graduale a questa vasta tematica, possiamo proporre, per ragioni tanto teoriche quanto applicative, i dieci dilemmi seguenti:

1. **Le tre porte di Monty Hall: vincere o perdere un ricco premio** [6], [8], [12], [13]
2. **Fidarsi dei test diagnostici medici?** [6], [8], [15]
3. **Salvarsi la vita: codici e cappelli colorati/interviste “rischiose”** [1], [2], [8]
4. **Un semplice enigma logico: chi è sposato?** [10], [15]
5. **Casi giudiziari: la fallacia dell’accusa** [7]
6. **L’algoritmo chiaroveggente: il paradosso di Newcomb** [10]
7. **Il paradosso del razzista e i taxi verdi e blu: i testimoni sono affidabili?** [7], [8], [15]
8. **Formula di Kelly (e Shannon) o della fortuna nei giochi d’azzardo e nella Borsa** [1], [2]
9. **Traffico congestionato: il paradosso di Braess** [9]
10. **Quanto le persone sono davvero idiote?** [15]

Questi rappresentano gli *highlight*, anche se non necessariamente in quest’ordine di rilevanza, di una casistica assai più ampia: ne costituiscono, per così dire, la quintessenza. Le omissioni e le lacune sono agevolmente colmabili con l’ausilio degli elenchi [1]-[15] e [B1]-[B35] e, se questi non bastassero, con gli ulteriori riferimenti ivi riportati.

Un passo successivo in tale percorso è agevolato dai giochi evidenziati in grassetto, scelti (in modo peraltro opinabile) fra quelli ritenuti più significativi. Dai rompicapi così marcati, possiamo proporre uno schema sinottico per un primo approccio all’“arte del pensare”, basato su un bagaglio minimo di punti strutturati e coerenti:

- Un semplice enigma logico: chi è sposato?
- Due dilemmi controversi
 1. Il gioco delle tre porte di Monty Hall
 2. Il paradosso delle due scatole o di Newcomb
- Probabilità e Azzardo: tre formule che spiegano “tutto”
 1. Formula di Bayes
 2. Formula della convenienza

3. Formula della fortuna di Kelly (e Shannon)

Un'avvertenza indispensabile è che il nostro scopo non è di dare qui (e neppure in [1]-[15]) consigli, suggerimenti o raccomandazioni di comportamento nei diversi settori applicativi, meno che mai in campo medico, finanziario o dell'azzardo. Ci poniamo piuttosto l'obiettivo di illustrare esempi di dilemmi realistici e non scontati, originati da situazioni e problemi, che richiedano calcoli numerici semplici, ma basati su dati attendibili: in statistica per fidarsi dei dati, bisogna che siano i dati stessi affidabili. Giocando sulle parole, ribadiamo che, dal punto di vista metodologico, presupponiamo un pensiero che è logico e matematico, cioè che conta e sa contare, e sul quale contiamo per prendere decisioni che contano.

3. Incertezza, probabilità, rischi quotidiani

In questo paragrafo, riassumiamo alcuni spunti - o "pillole" di riflessione - quali possono emergere dal percorso tratteggiato nel paragrafo precedente e in [15].

Ragionare in modo bayesiano. La formula (o teorema) di Bayes in probabilità è conosciuta per le sue applicazioni in tutto il mondo STEM. Meno noto è che la formula può essere utile nei campi più disparati della vita quotidiana, oltre a essere di per sé stessa interessante e divertente. Un esempio è che, insieme con il calcolo delle probabilità, può essere utilizzata per analizzare il comportamento del prossimo secondo il classico schema binario di buoni-cattivi, oppure con altre coppie di opposti. L'insegnamento che se ne può trarre è che la realtà non è rigorosamente manichea perché in ogni categorizzazione esistono zone più o meno grigie, per cui la probabilità *non è o zero o uno*, ma *varia fra zero e uno* (si veda anche il riquadro 1 "I ricchi sono felici?").

Se volessimo compendiare in una frase d'effetto il succo dell'approccio bayesiano e della mentalità che ne deriva, potremmo citare John Maynard Keynes: "*Quando i fatti cambiano, io cambio opinione. Voi come vi comportate?*" Anche se ritenuta apocrifia, la battuta del grande economista è comunque utile per interpretare il concetto dell'inferenza incapsulato nella formula, la quale, in estrema sintesi, ci dice come cambia la probabilità di un evento in seguito all'emergere di nuove circostanze. E che da parte nostra dovremmo essere pronti a cambiare opinione davanti al potere di dati e fatti concreti. Ecco perché vale la battuta del matematico John Allen Paulos: "*Se non ragionate ancora come bayesiani, forse dovrete incominciare a farlo*", anche se: "*Un uomo non verrà mai indotto con il ragionamento a correggere un'opinione errata che non ha acquisito ragionando*" (Jonathan Swift).

Giochi d'azzardo e investimenti rischiosi. Una lezione generale contro il rischio della ludopatia (dipendenza dal gioco d'azzardo) deriva dalla formula della convenienza. Essa rappresenta un monito sia implicito sia esplicito, perché fornisce la prova matematica che, nel lungo termine, non si vince mai contro il banco, in particolare, al casinò. Sia pur raramente, è invece possibile puntando

alle scommesse sulle corse dei cani, dei cavalli o sulle partite di calcio, ecc. Ma anche in questo caso, e soprattutto, sono gli allibratori che usualmente fanno i soldi, non i giocatori dilettanti.

È opportuno sottolineare che la metafora della vita come gioco non va spinta troppo in là per evitare di cadere nella trappola cognitiva della cosiddetta “fallacia ludica”. In altri termini, se è vero che questi enigmi matematici non sono da intendere solo come normali passatempi, è anche vero che non sono neppure interamente rappresentativi della vita umana. Per spiegarci meglio, molte delle situazioni di rischio sono trattabili ricorrendo a probabilità note - come accade nei casinò - ma non tutte le situazioni di incertezza lo sono, perché le probabilità non sono conosciute e neppure realisticamente stimabili (si pensi ad ambiti molteplici quali: salute, amore, finanza ed economia, conflitti, fenomeni socio-culturali, catastrofi più o meno naturali, pandemie, ecc.). Ossia, nel mondo dei giochi d'azzardo, tutte le carte, per così dire, sono sul tavolo; quindi, tutte le probabilità sono di conoscenza pubblica, senza alcuna informazione nascosta. Mentre il resto, la Borsa, in particolare, rappresenta un mondo più opaco e ambiguo, nel quale la conoscenza, o la stima attendibile, di valori di probabilità per trarne un potenziale vantaggio (intelligenza del rischio) è tutt'altra questione.

Alcune notevoli eccezioni di giocatori e/o investitori professionisti sono ricordate, in relazione all'applicazione della formula della fortuna di Kelly (e Shannon) nei casi in cui questi scommettitori godano di una probabilità favorevole, reale o stimata [15]. Un assaggio per ingolosire chi legge: la formula non dice *se* o *quando* investire/giocare, bensì *quanto* investire/giocare del capitale complessivamente disponibile con l'obiettivo di massimizzarlo nel lungo termine (in questo caso, si parla di strategia di *money management*). In altre parole, il criterio non dice *se* o *quando* una situazione sia a noi favorevole, ma come gestire il nostro capitale in una (stimata o supposta) condizione di vantaggio.

In questioni di questo tipo, non si può trascurare il ruolo focale svolto dall'interesse composto, a proposito del quale pare che Albert Einstein abbia detto: “*L'interesse composto è l'ottava meraviglia del mondo: chi lo capisce, lo guadagna, chi non lo capisce, lo paga*”. La frase, anche se da lui mai pronunciata o scritta, è memorabile; infatti, il segreto che fa accumulare il capitale nel tempo è la composizione, perché dà un ritorno non solo sull'investimento originale, ma anche sugli interessi regolarmente reinvestiti. Purtroppo, nel prendere decisioni finanziarie la maggior parte di noi non riesce a cogliere le sottili implicazioni della crescita composta.

La questione si complica, e non di poco, in condizioni aleatorie dove, con prove ripetute in cui si può vincere o perdere, l'interesse composto si trasforma in un processo stocastico moltiplicativo. Questo modello sta alla base del criterio di Kelly, della disuguaglianza economica e di moltissimi altri fenomeni di origine naturale o sociale. Ecco perché queste situazioni sono quantificabili solo in termini probabilistici da zero a uno con tutta la gamma di valori intermedi. È palese che l'argomento richiederebbe una trattazione matematica e analitica più estesa di questo fugace cenno.

Per quanto detto, l'educazione economico-finanziaria, eventualmente rivisitata negli obiettivi e aggiornata con gli strumenti e i metodi STEM, meriterebbe una ben maggiore considerazione, anziché essere schernita da parte di certa élite intellettuale come un insegnamento atto a soddisfare grettezze e avidità da bottegai cui importerebbe solo il "vile denaro". Intellettuali siffatti dimenticano che, come per il conteggio delle calorie in una dieta alimentare, anche i bilanci economici di famiglie e imprese devono pur sempre quadrare (si veda nel riquadro 1 il principio contabile enunciato da Charles Dickens).

Ricchezza e felicità. Quanti avessero bisogno di qualcosa di più concreto dei due elenchi bibliografici considerino il successivo riquadro 1 "I ricchi sono felici?" e il problema delle tre porte (oggetto delle note 2 e 3) come assaggi di una materia assai più sostanziosa che permette di imparare divertendosi. L'apparentemente bizzarro esempio della *felicità* è un argomento sul quale esiste una mole pressoché sterminata di libri e pubblicazioni d'ogni genere, impostazione, approfondimento, approccio e obiettivi (per es., l'indice della Felicità Interna Lorda, o FIL è discusso in [14] come alternativa al PIL). Qui però la felicità viene trattata dal punto di vista probabilistico, coniugandola con la *ricchezza*, altro tema molto dibattuto - cfr. l'articolo divulgativo [B3] per il problema della sua *distribuzione* o, meglio, della sua *concentrazione*. In ogni caso, eventuali questioni di tipo etico o moralistico, pur importanti, esulano da questo contesto.

Riquadro 1 – I ricchi sono felici?

Se il denaro non dà la felicità, figuriamoci la miseria (Woody Allen)
A scuola ho imparato che i soldi non sono tutto. È la felicità che conta. Fu così che mamma mi mandò in una scuola diversa (Zsa Zsa Gabor)
I soldi non danno la felicità. Quando sono pochi (Anonimo)
E vissero felici e... ricchi (Finale alternativo delle fiabe)

Partendo da queste battute, più o meno divertenti che siano, cerchiamo di dare una risposta numericamente concreta alla domanda "Se i soldi non possono comprare la felicità, perché molti ricchi sono anche felici?". Resta il fatto che persino la formula stereotipata "Auguri di un Felice e Prospero Anno Nuovo" auspica un benessere anche materiale. Ancor più prosaico è il richiamo di Mr. Micawber, personaggio del David Copperfield: "Reddito annuale: 20 sterline; spesa annuale: 19 sterline e 6 pence; risultato: felicità. Reddito annuale: 20 sterline; spesa annuale: 20 sterline e 6 pence; risultato: miseria". La felicità per Charles Dickens è dunque legata a un principio contabile di buona amministrazione, in linea con l'etica protestante e lo spirito del capitalismo teorizzati da Max Weber.

Come valore attendibile da cui partire, diciamo che la percentuale delle persone che essendo già felici risultano anche ricche è stimabile nel 10%*.

Utilizzando la notazione della probabilità condizionata (o subordinata), possiamo scrivere

$$P[R|F] = P[R = \text{ricco} \mid F = \text{felice}] = 0,1 \text{ (o il 10\%)} \quad (1)$$

dove l'evento $R = \text{ricco}$ indica che la persona in questione è ricca, mentre $F = \text{felice}$ indica che la persona è felice. Poiché il simbolo della barra verticale $|$ esprime il condizionamento, $P[R|F]$ è la probabilità di essere ricco *subordinata* al fatto di essere felice. Ricordiamo che per avere la probabilità *congiunta* $P[F, R]$ di essere **felice e ricco** basta moltiplicare la probabilità *a priori* di essere felice $P[F]$ per $P[R|F]$, cioè

$$P[F, R] = P[F] \times P[R|F] \quad (2)$$

Un amico particolarmente versato nelle probabilità potrebbe però instillarci un dubbio: “*State attenti: questo 10% non è la probabilità $P[F|R]$ che uno sia felice se è ricco, bensì la probabilità che uno sia ricco se è felice*”. Infatti, ciò è quanto indica $P[R|F]$ nella relazione (1), non altro. Allora, come è possibile passare da $P[R|F]$ a $P[F|R]$? Basta usare, come strumento di calcolo, la formula (o teorema) di Bayes

$$P[F|R] = P[F] \times P[R|F]/P[R] \quad (3)$$

Grazie alla (2), talvolta si preferisce riscrivere il numeratore del secondo membro di (3) sostituendo a $P[F] \times P[R|F]$ la probabilità congiunta $P[F, R]$. Poiché $P[R|F] = 0,1$ (10%) è dato dalla (1), per calcolare la (3) servono altre due probabilità, cioè $P[F]$ e $P[R]$, che possiamo scegliere, o stimare, *abbastanza* arbitrariamente, purché non si ottengano valori assurdi, cioè minori di zero o maggiori di uno, per le probabilità derivate**. Oltre all'iniziale $P[R|F] = 0,1$, supponiamo dunque gli altri due dati di partenza

1. Probabilità di essere felice $P[F] = 0,4$ (40%) (4)
2. Probabilità di essere ricco $P[R] = 0,05$ (5%) (5)

Con i tre valori $P[F] = 0,4$, $P[R] = 0,05$ e $P[R|F] = 0,1$, la probabilità di essere felice (evento F) se uno è ricco (evento R) risulta dalla (3)**

$$P[F|R] = P[F] \times P[R|F]/P[R] = 0,4 \times 0,1/0,05 = 4/5 = 0,8 \text{ (80\%)} \quad (6)$$

Questo risultato può sorprenderci da un punto di vista intuitivo, perché non solo è diverso dallo 0,1 di $P[R|F]$ nella (1), ma è anche assai maggiore dello stesso valore 0,1. Tuttavia, è incontestabile, essendo frutto di un calcolo probabilistico tanto rigoroso quanto ineccepibile.

Se avete poca dimestichezza con le probabilità e le percentuali, potete usare i numeri interi e le operazioni dell'aritmetica elementare con l'ausilio della tabella nella figura 1. Per farla semplice, supponiamo che l'intera

popolazione di riferimento sia di 1000 persone. Quindi il dato (4) ci dice che vi sono 400 persone felici (il 40% di 1000), inoltre l'ipotesi iniziale ci dice che 40 (il 10%) di queste 400 sono anche ricche. Cioè 40 persone sono sia ricche sia felici. Consideriamo ora il secondo dato (5): le persone ricche sono in totale 50 (il 5% di 1000), sicché la porzione di queste che sono felici è 40/50, ovvero l'80% (conseguentemente, solo 10 ricchi su 50 risultano infelici).

Notare che se le persone felici fossero il 50% di 1000, fermi restando gli altri valori, i "felici e ricchi" sarebbero 50, quindi la probabilità del ricco di essere felice crescerebbe addirittura al 100%: in questo caso, se uno fosse ricco, sarebbe certamente felice.

I ricchi sono felici? – La matrice dicotomica

Risultati del test felicità-ricchezza su 1000 persone

- Persone felici: sono il 40% (Totale 400)
- delle quali 40 (il 10% nell'ipotesi di partenza) sono ricche
- Persone ricche: sono il 5% (Totale 50)

La probabilità $P(F|R)$ che uno sia felice se è ricco può essere calcolata a partire dai dati della riga "Ricchi" della matrice che enumera tutti i casi possibili

| | FELICI | NON FELICI | TOTALI |
|------------|---------------------------|-------------------------------|------------------|
| Ricchi | 40 (felici e ricchi) | 10 (non felici e ricchi) | 50 (ricchi) |
| Non ricchi | 360 (felici e non ricchi) | 590 (non felici e non ricchi) | 950 (non ricchi) |
| | 400 (felici) | 600 (non felici) | 1000 (totale) |

$$P(F|R) = \frac{\text{felici e ricchi}}{\text{ricchi}} = \frac{40}{50} = 0,8 \quad (\text{Lo stesso risultato è ottenuto con formula di Bayes})$$

Figura 1

La matrice è di tipo dicotomico in quanto riporta i dati numerici dei casi possibili corrispondenti alle due situazioni binarie felici/non felici e ricchi/non ricchi. Dai numeri della matrice si possono derivare altre metriche d'interesse: nella situazione in esame, la probabilità $P(F|R)$ che una persona sia felice, condizionata dal fatto che sia ricca.

Il risultato 0,8 (80%), essendo ben superiore all'iniziale 0,1 (10%), giustifica, dal punto di vista matematico, l'osservazione che i ricchi in maggioranza sono felici. Abbiamo dunque risolto - sia con Bayes sia con l'euristica della matrice - l'apparente paradosso che se uno è ricco ha una probabilità alta (es. 0,8) di essere felice, mentre se è felice ha una probabilità abbastanza bassa (es. 0,1) di essere ricco. Questo approccio, euristico anziché formale, è più intuitivo dell'applicazione diretta della formula di Bayes; infatti, dalla prima riga della matrice si vede che i pochi ricchi sono in prevalenza felici.

Un altro vantaggio è che risulta facile abbastanza “giocare” con i numeri per simulare più casi di interesse, variando i dati di partenza: in generale, si ritrova che i valori numerici nella prima riga sono alquanto piccoli, poiché i veri ricchi sono piuttosto pochi [B3].

Un'altra questione, che un po' ironicamente potremmo definire “esistenziale”, si pone la domanda: “*le persone che compiono idiozie sono da considerare veramente idiote (insensibili), o non sono piuttosto persone intelligenti che talora si comportano in modo ottuso?*” [15]. Anche in questo caso la risposta è fornita dalla formula di Bayes o, se si preferisce, dalla matrice dicotomica.

Infine, l'apparentemente futile problema qui illustrato mostra un'interessante, ma poco nota, base metodologica comune e a quello ben più serio dell'affidabilità dei test diagnostici in medicina [6], [8], [15].

* Ricorrendo al principio di autorità, potremmo sostenere che questo dato percentuale è suffragato da studi dell'Università di Harvard, il che è plausibile ma non è provato, e che la felicità è strettamente connessa alla salute, secondo un altro studio di Harvard, il che corrisponde al vero (cfr. il rapporto *Positive Psychology: Harnessing the Power of Happiness, Mindfulness, and Inner Strength*, Harvard Medical School, 2023).

** “La teoria della aleatorietà è fondamentalmente una codificazione del senso comune, ma è anche il regno delle sottigliezze, un campo in cui famosi luminari hanno commesso errori madornali e giocatori d'azzardo hanno avuto intuizioni straordinariamente corrette. Ciò che conta nel comprendere l'aleatorietà per superare i frequenti malintesi è tanto l'esperienza quanto l'arte del ragionare e del pensare” (Leonard Mlodinow). Mlodinow ci ricorda come in probabilità e statistica sia facilissimo prendere “cantonate” anche per gli esperti della materia: il dilemma delle tre porte insegna.

*** I valori di probabilità devono soddisfare gli assiomi relativi, quindi, le tre probabilità della formula (6) devono essere comprese fra zero e uno (estremi inclusi). Questo è effettivamente il caso, perché, con i dati (4) e (5), $P[R] = 0,05$ soddisfa la condizione $P[R] \geq 0,04$ per la quale $P[FIR] \leq 1$ nella (6).

4. Conclusioni

Questo tour bibliografico, ancorché circoscritto e limitato ad annotazioni sintetiche e rapsodiche, si è proposto di ricomporre un quadro sufficientemente coerente e strutturato per i frequenti rimandi sia al pensiero critico, basato su ragione, logica e probabilità, sia ai rompicapi, ognuno dei quali è usualmente presentato e discusso in più lavori dell'elenco [1]-[15]. Il lettore potrà così trovare la formulazione dei giochi di suo interesse, nonché la descrizione delle strategie e dei metodi di soluzione³. Potrà - ancora il lettore - approfondire i vari aspetti in termini di metodi, problemi, discussioni, applicazioni grazie a [B1]-[B35] nel riquadro 2, un campione numericamente e qualitativamente rappresentativo tanto del pensiero critico quanto della matematica logico-ricreativa. In definitiva, con l'aiuto dei due elenchi bibliografici annotati, questo lavoro - una specie di indice analitico dettagliato - fornisce al lettore una chiave di lettura che gli consente di districarsi in una ragnatela di informazioni disperse in una letteratura vasta e, spesso, eterogenea. Ma, soprattutto, gli permette di trovare risposte esplicite alle domande dettate da motivi di ricerca o dalla semplice curiosità.

Dopo questo elogio della forza della ragione, con particolare riferimento al mondo STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics), non è superfluo ricordare che la vita è fatta anche di sentimenti, stati d'animo, desideri, emozioni, fantasie, sogni, immaginazione. *"Medicina, legge, economia, ingegneria sono nobili professioni, necessarie al nostro sostentamento; ma la poesia, la bellezza, il romanticismo, l'amore, sono queste le cose che ci tengono in vita"* è una dichiarazione del prof. John Keating (interpretato dall'attore Robin Williams) nel film *L'attimo fuggente*. Ciò non toglie che fra le due culture - l'umanistica e la tecnoscientifica - sarebbe opportuno gettare, da entrambe le sponde, nuovi ponti per trovare le migliori sinergie, non scavare fossati o erigere barriere ideologiche. Un notevole passo in avanti sarebbe se certa élite intellettuale riconoscesse e accettasse non solo il significato ma anche la sostanza dell'acronimo STEM, ancor oggi, implicitamente o esplicitamente, connotato in tono sprezzante come "banàusico" da troppi adepti del pensiero filosofico neoidealistico di stampo crociano. Al contrario, il settore STEM con i suoi risultati dovrebbe essere considerato un vero e proprio ecosistema culturale dotato di statuto

³ Il dilemma delle tre porte (proposto nella nota 2 dell'introduzione) può essere affrontato in modo tale che la sua soluzione risulti compatta, più immediata e (quasi) intuitiva [12]-[13]. Se ricordiamo che il conduttore, dopo la scelta iniziale del concorrente (primo passo), gli mostra che dietro a una delle due porte restanti c'è una capra (secondo passo), il ragionamento qui proposto si basa su una osservazione davvero semplice e di pura logica: **se il concorrente sbaglia la porta iniziale, ma poi al terzo passo cambia la propria scelta, vince l'auto**. E quante volte fa la scelta iniziale sbagliata? Quando sceglie una porta con capra, cioè 2 volte su 3. In conclusione, se al terzo passo del gioco egli cambia, individua la porta giusta con probabilità 2/3 (pari al 67%). La controprova è che l'unico caso in cui perde con questa strategia (di cambiare sempre) è quando al primo colpo abbia scelto la porta con l'auto, evento che ha probabilità 1/3. Negli altri due casi invece si accaparra l'auto. Per una panoramica dei ragionamenti (validi) che portano alla scelta ottimale, cioè a **massimizzare la probabilità di vincere l'auto** (attenzione: massima probabilità non significa **certezza!**), rimandiamo ai lavori citati, nostri o di altri autori.

epistemologico proprio, e non soltanto come un insieme di strumenti e tecniche al servizio di un pensiero più alto. Da parte nostra, potremmo modificare l'acronimo in STEAM con la semplice aggiunta della "A" per *Arts & Humanities*, un modo per sottolineare l'apporto imprescindibile di una cultura umanistica anche in campo tecnoscientifico.

Ringraziamenti

Ringrazio il dott. Gustavo Canti, il prof. Franco Filippazzi e la prof.ssa Viola Schiaffonati di *Mondo Digitale*, il prof. Andrea Silvestri e il dott. Fabrizio Trisoglio di *AEIT* per avermi costantemente stimolato in questo viaggio, divertente e istruttivo allo stesso tempo, e incoraggiato a riflettere sui vantaggi della sinergia tra tecnoscienza e umanesimo, sinergia auspicata a parole, ma troppo spesso disattesa nei fatti. Ricordo con piacere che il mio interesse per questi temi è nato con la partecipazione a una tavola rotonda, cui fui invitato dai proff. Giorgio Pacifici e Pieraugusto Pozzi nel 2005 a Bologna. Sono lieto che molti amici, alcuni dei quali figurano come coautori degli articoli citati, mi abbiano accompagnato in questo percorso. Ringrazio, infine, un anonimo revisore che con i suoi commenti mi ha permesso di focalizzare meglio i contenuti, nonché di dare maggiore coerenza e fluidità al testo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Luvison, A. (2012). "Teoria dell'informazione, scommesse, giochi d'azzardo", *Mondo Digitale - Rassegna critica del settore ICT*, 42 (giugno), 1-16, http://mondodigitale.aicanet.net/2012-2/articoli/05_luvison.pdf. [Formula di Kelly o della fortuna. Codici e cappelli colorati].
- [2] Luvison, A. (2012). "Quando la teoria dell'informazione gioca d'azzardo", *AEIT*, 10 (ottobre), 56-65. [Formula di Kelly o della fortuna. Codici e cappelli colorati. Cenno a *card flip magic*].
- [3] Luvison, A. (2013). "Shannon e la nascita della crittografia contemporanea", *AEIT*, 6 (giugno), 6-15. [Crittografia a chiave pubblica: Bob e Alice vogliono scambiarsi un messaggio segreto].
- [4] Luvison, A. (2015). "La crittologia da arte a scienza: l'eredità di Shannon e Turing", *Mondo Digitale - Rassegna critica del settore ICT*, 60 (novembre), 1-31, http://mondodigitale.aicanet.net/2015-5/articoli/03_crittologia_da_arte_a_scienza.pdf. [Pietre miliari nella nascita e nello sviluppo della crittologia contemporanea. La decrittazione dei messaggi di Enigma nella Seconda guerra mondiale. Claude Shannon e Alan Turing come esempi straordinari della capacità di pensare in modo critico, innovativo, fuori dagli schemi tradizionali, con risultati che coniugano genialità e intuizione].
- [5] Luvison, A. (2016). "La crittografia, uno snodo cruciale per la cybersicurezza", *Mondo Digitale - Rassegna critica del settore ICT*, 6 (aprile), 1-20, http://mondodigitale.aicanet.net/2016-2/articoli/01_La_crittografia_uno_snodo_critico_per_la_cybersicurezza.pdf

[Crittografia a chiave pubblica (Bob e Alice vogliono scambiarsi un messaggio segreto). Il paradosso del compleanno].

[6] Luvison, A. (2013). "Apologia della ragione scientifica", *Mondo Digitale - Rassegna critica del settore ICT*, 45 (marzo), 1-28, http://mondodigitale.aicanet.net/2013-1/articoli/05_LUVISON.pdf. [Valore delle reti (crescita esponenziale). Il caso Linda. Test medici. Le tre porte di Monty Hall. Un furfante "loico". I sei fiammiferi di Einstein. Crescita esponenziale e ninfee. Il paradosso del compleanno. Il problema dei tre prigionieri].

[7] Luvison, A. (2014). "Apologia della ragione scientifica - II: strumenti per decidere", *Mondo Digitale - Rassegna critica del settore ICT*, 55 (dicembre), 1-31, http://mondodigitale.aicanet.net/2014-7/articoli/03_Apologia_della_ragione_scientifica_II.pdf.

[Le tre porte di Monty Hall (nota 1 di p. 4). La vita e il caso. Interviste "rischiose". Il paradosso del razzista. La fallacia dell'accusa. Il tacchino induttivista. Sistemi di comunicazione Aloha. Il problema della dote. Matching delle carte. Legge di Benford. Sequenze di Fibonacci. Crescita esponenziale: batteri e reti sociali/relazionali].

[8] Luvison, A. (2015). "Gioca e pensa, per saper pensare e saper decidere (Apologia della ragione scientifica)", Seminario dell'Associazione Italiana Formatori (AIF)-Delegazione regionale piemontese e della Scuola di Amministrazione Aziendale (SAA), Torino, 25 novembre 2015. [Raccolta di slide su: Ninfee nel laghetto (crescita esponenziale). Attenti al (peso del) mattone! La fabbrica del cioccolato. I treni di von Neumann (più libellula). Chi trova un amico trova... un cammello. La creatività di Einstein. Teorema di Pitagora. Tre porte, due capre, un'auto: vorreste vincere l'auto? Fidarsi dei test medici? Alice e Bob si scambiano un segreto. Un furfante "loico". Taxi verdi e blu].

[9] Bassetti, T., Luvison, A. (2018). "Apologia della ragione scientifica – III: decisioni, e giochi strategici", *Mondo Digitale - Rassegna critica del settore ICT*, 76 (maggio), 1-30, http://mondodigitale.aicanet.net/2018-3/Articoli/MD76_01_Apologia_della_ragione_scientifica-III.pdf.

[Cenno ai teoremi di Gödel. Il dilemma del prigioniero. Il gioco del millepiedi. Il paradosso di Braess sul traffico. Scelte sociali e stranezze elettorali. Lanci di una moneta: m teste consecutive].

[10] Bassetti, T., Luvison, A. (2019). "Apologia della ragione scientifica – IV: dilemmi di scelta ed etica dell'IA", *Mondo Digitale - Rassegna critica del settore ICT*, 82 (maggio), 1-29, http://mondodigitale.aicanet.net/2019-3/Articoli/02_MD82_Apologia_della_ragione_scientifica%E2%80%93IV.pdf.

[Le tre porte di Monty Hall (nota 4 di p. 5). Il paradosso di Newcomb. Il problema del trolley. L'enigma logico di Jack, Anna e George: chi è sposato?].

[11] Luvison, A., Molinaro, M. (2020). "Dilemmi etici dell'intelligenza artificiale", *AEIT*, 1-2, (gennaio-febbraio), 8-17, https://www.aeit.it/aeit/edicola/aeit/aeit2020/aeit2020_01_cisa/aeit2020_01_riv.pdf.

[Il problema del trolley. Cenno alla disuguaglianza come legge endogena e fisico-matematica (nota 3 di p. 11)].

[12] Luvison, A. (2021). "Il gioco delle tre porte: preferite l'auto o una capra?", *Prisma*, online (25 marzo), <https://www.prismamagazine.it/2021/03/25/il-gioco-delle-tre-porte-preferite-lauto-o-una-capra/>. [Semplice soluzione logico-intuitiva del gioco delle tre porte di Monty Hall].

[13] Roffinella, D., Alovisio, S., Luvison, A. (2021). "Insegnare le reti a Scienze della Comunicazione", *AEIT*, 2-3 (marzo-aprile), 34-43, https://www.aeit.it/aeit/edicola/aeit/aeit2021/aeit2021_02_cisa/aeit2021_02_riv.pdf. [Pensiero critico. Soluzione logico-intuitiva del problema delle tre porte di Monty Hall].

[14] Colombi, P., Gronda, F., Luvison, A., Marchese, P., Valentini, R. (2021). "L'etica delle responsabilità: PIL FIL, disuguaglianze", *AEIT*, 11-12 (novembre-dicembre), 40-51, https://www.aeit.it/aeit/edicola/aeit/aeit2021/aeit2021_06_cisa/aeit2021_06_riv.pdf. [Modello fisico-matematico della disuguaglianza economica basato sulla teoria dei giochi].

[15] Luvison A., (2021-22). "Giocare può insegnarci qualcosa? Una passeggiata fra logica, probabilità, problem setting, formule, algoritmi, guidati dal pensiero critico-metodo scientifico", webinar (in collaborazione con Roffinella, D.). [Il gioco delle tre porte di Monty Hall. Il paradosso delle due scatole o di Newcomb. Applicazioni della formula di Bayes: quanto le persone sono davvero idiote? test medici. Formula della convenienza. Formula della fortuna di Kelly (e Shannon). Le slide sono scaricabili gratuitamente da https://www.dropbox.com/home/webinostrum_files].

Riquadro 2 – Per approfondire...

I saggi e le monografie [B1]-[B35]⁴ possono essere utili per integrazioni e approfondimenti dei contenuti trattati in [1]-[15]⁵. (Ad essere pignoli, [B3] è un articolo tutoriale e [B14] riporta un sito online dove è possibile simulare concretamente il gioco delle tre porte). Tutti i riferimenti indicati sono di prim'ordine per contenuti e chiarezza espositiva, anche se alcuni di essi, nella fattispecie [B8], [B11], [B12], [B17], [B18], [B30], richiedendo conoscenze teoriche e analitiche di tipo STEM, sono abbastanza impegnativi. A ogni buon conto, l'insieme di questi lavori fa ulteriormente emergere la ricca intelaiatura sottostante agli argomenti trattati, anche se,

⁴ Dei libri più recenti esistono presentazioni video-registrate online, certamente utili ancorché realizzate a scopi promozionali. In generale, la Rete e Google, a saperli usare con perizia e oculatezza, possono svolgere un ruolo utile, non solo di supplenza nel caso in cui la carta stampata non sia disponibile.

⁵ Le pubblicazioni [1]-[15] sono, a loro volta, dotate di elenchi bibliografici assai estesi e aggiornati. Per esempio, i riferimenti in [1]-[5] permettono di approfondire alcuni dei contributi rivoluzionari di Shannon e Turing nelle telecomunicazioni e nell'informatica che hanno aperto la strada all'era digitale e alla società dell'informazione.

non essendo assolutamente esauriente, dovrebbe essere integrato dai riferimenti bibliografici sia propri sia contenuti in [1]-[15].

[B1] Angela, P. (2022). *Dieci cose che ho imparato*, Mondadori.

Un inno alla mentalità tecnoscientifica come metodo per il superamento delle “due culture” - locuzione coniata da Charles P. Snow nel 1959 - e per arrivare a un “ecosistema culturale” integrato e unitario, in cui la ricerca scientifica e tecnica gioca un ruolo primario. Benché non solo attinente agli argomenti qui trattati, questo lascito morale di Piero Angela è da leggere e meditare se si vogliono capire le molteplici criticità dell’Italia, soprattutto, in un mondo sempre più connesso. Ne consiglierei la lettura a partire dagli studenti delle scuole secondarie come esempio di applicazione del pensiero/ragionamento critico.

[B2] Besozzi, M. (2013). *Errori cognitivi, probabilità e decisioni mediche (ECPDEM). Applicazioni e utilità del teorema di Bayes nella diagnostica di laboratorio* (ver 1.0), ebook, <https://www.bayes.it/ebook/ECPEDM.pdf>.

Il sottotitolo è esplicativo di argomenti che i medici “dovrebbero” conoscere. Proponendo l’uso della statistica bayesiana, integra e completa il manuale di epidemiologia [B4].

[B3] Boghosian, B.M. (2019). “The inescapable casino”, *Scientific American*, 11 (novembre), 70-77. (Versione online: “Is inequality inevitable?”, <https://www.scientificamerican.com/article/is-inequality-inevitable/>). Tr. it. (2020). “Misurare la disuguaglianza”, *Le Scienze*, 618 (febbraio), 56-63.

Proponendo un modello fisico-matematico, ma realistico, della disuguaglianza economica basato sulla teoria dei giochi, l’articolo ricostruisce le motivazioni “fisiche” per cui la ricchezza, oltre a distribuirsi in maniera non uniforme, tende naturalmente e inevitabilmente a concentrarsi nelle mani di pochi. In altre parole, il gioco matematico è intrinsecamente “non equo” per (quasi) tutti. L’articolo è divulgativo, anche se concettualmente sofisticato, mentre la comprensione dei lavori originali di Boghosian e colleghi richiede prerequisiti matematici piuttosto avanzati, in particolare, l’equazione alle derivate parziali di Fokker-Planck.

[B4] Bottarelli, E., Ostanello, F. (2011). *Epidemiologia. Teoria ed esempi di medicina veterinaria*, Il Sole 24 Ore-Edagricole. Versione online: Bottarelli, E. (2020). *Quaderno di epidemiologia veterinaria*, <https://www.quadernodiepidemiologia.it/epi/HomePage.html>.

Il manuale fornisce i fondamenti di statistica per acquisire, in maniera semplice, le competenze di base necessarie a trattare le informazioni sanitarie, senza essere frenati dalla carenza di conoscenze matematiche avanzate (per es., non utilizza la formula di Bayes, strumento fondamentale invece in [B2]). Peraltro, gli strumenti metodologici descritti, in particolare, quelli legati ai test medici diagnostici, possono trovare impiego nei campi più disparati.

[B5] Canova, P., Rizzuto, D. (2016). *Fate il nostro gioco. Gratta e Vinci, azzardo e matematica*, Add Editore.

Il “nostro” nel titolo è esplicativo della tesi e degli argomenti sviluppati, la cui lettura è un efficace antidoto al rischio della ludopatia. Casi e aneddoti divertenti e di sicuro interesse.

[B6] Gigerenzer, G. (2014). *Risk Savvy: How to Make Good Decisions*, Penguin. Tr. it. (2015). *Imparare a rischiare. Come prendere decisioni giuste*, Raffaello Cortina Editore.

Illustra con chiarezza e con dovizia di casi di studio come intendere il rischio, come affrontare l'incertezza e, soprattutto, come non confondere i due concetti. Con precisione argomentativa distingue i livelli di incertezza esprimibili con una probabilità da quelli - ancora più numerosi - che non lo sono.

[B7] Hamming, R.W. (1997). *The Art of Doing Science and Engineering: Learning to Learn*, Gordon and Breach Science Publishers. Seconda edizione (2020). Stripe Press.

Richard Hamming a buon diritto è considerato uno dei padri nobili della teoria dell'informazione, cui ha dato, dopo Shannon, contributi fondamentali, per esempio con il codice rivelatore e correttore d'errore che porta il suo nome. Il libro, scritto in uno stile informale e con poca matematica, più che gli aspetti tecnici, sottolinea gli obiettivi e i metodi di educazione, formazione, apprendimento, insieme al ruolo determinante della creatività nell'innovazione. Il messaggio di base è che pensare è un'arte che può essere insegnata e sviluppata, dunque: *“Teachers should prepare the student for the student's future, not for the teacher's past”*. Fra le numerose gemme, segnalo la breve ma elegante dimostrazione (alle pp. 149-150 della prima edizione) che la funzione logaritmica è la scelta ottimale per misurare l'informazione e tutte le grandezze derivate, in particolare l'entropia.

[B8] Hodges, J.L., Jr., Lehmann, E.L. (2005). *Basic Concepts of Probability and Statistics* (seconda edizione), SIAM.

La ristampa di un classico degli anni Settanta sui fondamentali di probabilità e statistica, ricchissimo di esempi pratici. La sua traduzione italiana del Mulino (in due volumi, 1971-72), essendo fuori catalogo da tempo, è reperibile solo nel mercato dell'usato o nelle biblioteche.

[B9] Kahneman, D. (2012). *Thinking, Fast and Slow*, Penguin. Tr.it. (2012). *Pensieri lenti e veloci*, Mondadori.

Una summa sui *bias* cognitivi e comportamentali. Daniel Kahneman è stato il secondo psicologo, dopo Herbert Simon, a essere insignito del premio Nobel per l'economia nel 2002.

[B10] Kahneman, D., Sibony, O., Sunstein, C.R. (2021). *Noise: A Flaw in Human Judgment*, Little, Brown & Company. Tr. it. (2021). *Rumore. Un difetto del ragionamento umano*, UTET.

Riguarda gli effetti perniciosi del rumore e ciò che possiamo fare per ridurre tanto il rumore quanto la distorsione (*bias*). Il volume fornisce consigli su come prendere decisioni migliori nei settori più disparati quali: medicina, legge, scienze forensi, previsioni economiche, sicurezza, protezione dei minori, strategia, scelta e valutazione del personale.

[B11] Luenberger, D. (2013). *Investment Science* (seconda edizione), Oxford University Press. Tr.it. (2011). *Finanza e investimenti. Fondamenti matematici*, Apogeo.

Oggi, il settore finanziario assume regolarmente laureati nei settori disciplinari STEM per sviluppare modelli quantitativi e applicare metodi scientifici a problemi finanziari e di investimento di portata sempre più ampia [B33]. Questo manuale - che per livello di difficoltà matematica può essere considerato successivo a [B13] e propedeutico a [B12] - sviluppa la moderna teoria quantitativa degli investimenti finanziari secondo una prospettiva rigorosa, scientifica e matematica. Mentre ci sono molti testi universitari che trattano tali argomenti per studenti di economia o finanza, questo è unico nel suo genere, perché il livello espositivo dei principali argomenti è quello di un testo di ingegneria o di scienze. Richiede quindi parecchio impegno e adeguate conoscenze analitico-matematiche.

[B12] MacLean, L.C., Thorp, E.O., Ziemba, W.T. (a cura di) (2011). *The Kelly Capital Growth Investment Criterion: Theory and Practice*, World Scientific.

Di quasi 900 pagine, questo tomo costituisce un'imprescindibile raccolta di articoli matematici per approfondire il criterio di Kelly sulla gestione ottimale del capitale (o *money management*) in tutte le sue applicazioni finanziarie.

[B13] Malkiel, B.G. (2019). *A Random Walk Down Wall Street: The Time-Tested Strategy for Successful Investing* (dodicesima edizione), Norton. Tr. it. (2021). *A spasso per Wall Street. Tutti i segreti per investire con successo*, Hoepli.

Manuale di base per chi vuole investire concretamente nei mercati finanziari, anche se le ipotizzate virtù del mercato - razionalità ed efficienza - sono messe in discussione da aderenti ad altre scuole del pensiero economico.

[B14] Math Warehouse: "Monty Hall Simulation Online", <https://www.mathwarehouse.com/monty-hall-simulation-online/>.

Se tutte le altre vie logico-matematiche non vi convincono, in questo sito potete giocare online al problema di Monty Hall e controllare le percentuali di vincita registrando i risultati di ogni simulazione.

[B15] McGrayne, S.B. (2012). *The Theory That Would Not Die: How Bayes' Rule Cracked the Enigma Code, Hunted down Russian Submarines, and Emerged Triumphant from Two Centuries of Controversy*, Yale University Press. Tr. it. (2022). *La teoria che non voleva morire. Come la formula di Bayes ha decifrato il codice Enigma, ha dato la caccia ai sottomarini russi ed è emersa trionfante da due secoli di controversie*, FrancoAngeli.

Descrittivo e aneddotico sulla storia e sulle più disparate applicazioni del teorema Bayes (il resoconto della localizzazione del relitto del volo 447 dell'Air France, scomparso nell'Atlantico nel 2009, è una novità per questa edizione del libro). Testo fondamentale per capire la portata dell'approccio bayesiano e della mentalità che ne deriva: "Se non ragionate ancora come bayesiani, forse dovrete incominciare a farlo" (John Allen Paulos).

[B16] Mezrich, B. (2002). *Bringing Down the House: The Inside Story of Six MIT Students Who Took Vegas for Millions*. Tr. it. (2008). *La vera storia dei sei studenti che hanno sbancato Las Vegas*, Mondadori.

Il sottotitolo è esplicativo dell'argomento. Dal libro è stato tratto il film *21* (il gioco del *blackjack*) con protagonista l'attore Kevin Spacey, che, nel ruolo di professore di analisi matematica al MIT, propone il problema delle tre porte ai suoi studenti: il più dotato dà subito la risposta corretta. (La clip è facilmente reperibile con una ricerca in Rete: per esempio, in <https://www.youtube.com/watch?v=S8Bi7SrKN0o>).

[B17] Mosteller, F. (1987). *Fifty Challenging Problems in Probability with Solutions*, Dover.

Un classico, originariamente degli anni Sessanta. I problemi in realtà sono 56, parecchi dei quali piuttosto impegnativi.

[B18] Nahin, P.J. (2012). *The Logician and the Engineer: How George Boole and Claude Shannon Created the Information Age*, Princeton University Press. Tr. it. (2015). *Il logico e l'ingegnere. L'alba dell'era digitale*, Codice edizioni, 2015.

Espono, con un approccio abbastanza tecnico-specialistico, l'algebra booleana applicata ai circuiti logici e all'elettronica digitale, nonché i successivi sviluppi tecnologici che hanno portato all'età dell'informazione. Oltre ai contributi di Boole e Shannon, sono ricordati strumenti che gli ingegneri progettisti di elettronica numerica devono (dovevano?) conoscere piuttosto bene, quali le leggi di De Morgan, i diagrammi di Venn, le mappe di Karnaugh. Il volume propone vari rompicapi logici e contiene un capitolo sulle macchine di Turing. Encomiabile e arricchente per le note esplicative è la traduzione in italiano di Ciro Castiello, docente di informatica.

[B19] Odifreddi, P. (2022). *Pillole matematiche. I numeri tra umanesimo e scienza*, Raffaello Cortina Editore.

Come altri studiosi, Odifreddi si pone l'obiettivo di fornire una cura contro l'analfabetismo scientifico, un antidoto all'irrazionalità, un ponte fra umanesimo e scienza. Lo fa, con il solito taglio discorsivo e un po' irriverente, proponendoci 120 lezioncine, o pillole, di matematica applicata, originate dalla rubrica di cui egli stesso è titolare dal 2004 sul mensile *Le Scienze*.

[B20] Paulos, J.A. (2003). *A Mathematician Plays the Stock Market*, Basic Books. Tr. it. (2004). *Un matematico gioca in Borsa. Consigli e sconsigli per chi vuole diventare ricco con le buone azioni*, Garzanti.

Già autore del bestseller "Gli snumerati", John Allen Paulos racconta, da matematico, le sue vicissitudini nei mercati finanziari causate dallo scoppio della bolla di Internet nei primi anni Duemila.

[B21] Pinker, S. (2021). *Rationality: What It Is, Why It Seems Scarce, Why It Matters*, Allen Lane. Trad. it. (2021). *Razionalità. Una bussola per orientarsi nel mondo*, Mondadori.

"Comprehensive lessons on statistical significance, how to update your beliefs in the light of fresh data, how to calculate risks and rewards in decision-making and more... Like John Locke before him, Pinker wants

more lessons in schools about reasoning and critical thinking. There is some evidence that such lessons work (Anthony Gottlieb).

Notare che il capitolo 7 “Hits and false alarms (Signal detection and statistical decision theory)” tratta di metodologie e modelli stocastici ben noti a chi si occupa, o si è occupato, di teoria statistica delle comunicazioni (cfr. anche [B10]).

[B22] Poundstone, W. (2006). *Fortune’s Formula: The Untold Story of the Scientific Betting System That Beat the Casinos and Wall Street*, Hill & Wang. Appassionante storia delle vicende di John Kelly, Claude Shannon, Edward Thorp nell’azzardo e in Borsa. Saggio davvero interessante, istruttivo e ben documentato.

[B23] Rosenhouse, J. (2009). *The Monty Hall Problem: The Remarkable Study of Math’s Most Contentious Brain Teaser*, Oxford University Press.

Tutto sul dilemma di Monty Hall e sue varianti. (Fra i metodi di soluzione vi è l’applicazione della formula di Bayes). È stato osservato che il libro, per l’ampiezza e la sistematicità delle argomentazioni, potrebbe servire come testo per un corso universitario introduttivo al calcolo delle probabilità.

[B24] Rosenhouse, J. (2020). *Games for Your Mind. The History and Future of Logic Puzzles*, Princeton University Press.

Imparare la logica divertendosi.

[B25] Sibony, O. (2021). *You’re About to Make a Terrible Mistake! How Biases Distort Decision-Making and What You Can Do to Fight Them*, Little, Brown Spark. Tr.it. (2022). *Stai per commettere un terribile errore! Come evitare le trappole del pensiero*, Raffaello Cortina Editore.

È un utile complemento di [B9], [B10] nell’ambito della psicologia cognitiva applicata all’economia comportamentale. Spesso in polemica con questa impostazione, perché giudicata troppo ortodossa o *mainstream*, è Gerd Gigerenzer (per es., in [B6]), fautore piuttosto di un approccio euristico-adattativo, basato su decisioni intuitive, pragmatiche o, colloquialmente, di *gut feelings*. Sono decisioni spesso prese “in automatico”. Su questa linea appare essere anche Nassim Taleb, padre della popolare metafora del Cigno nero (cfr. [B29]).

[B26] Spiegelhalter, D (2019). *The Art of Statistics: How to Learn from Data*, Pelican Books. Tr. it. (2020). *L’arte della statistica. Cosa ci insegnano i dati*, Einaudi.

Partendo dal diluvio di dati che caratterizza i nostri tempi, al netto della montatura mediatica sui big data, introduce i concetti generali e le basi della statistica con applicazioni al mondo dell’economia, della finanza e a tutti gli aspetti della vita politica e sociale.

[B27] Spiegelhalter, D., Masters, A. (2021). *Covid by Numbers: Making Sense of the Pandemic with Data*, Pelican Books.

“If you want to understand the numbers behind the virus that stopped the world, you ought to read this book” (Tom Chivers).

[B28] Sumpter D. (2020). *The Ten Equations That Rule the World: And How You Can Use Them Too*, Allen Lane.

Comprende la matematica dell'azzardo, esempi di applicazioni del teorema di Bayes, le equazioni usate dalle grandi piattaforme online di Google, Facebook, ecc. Un libro originale e innovativo sulle applicazioni legate a teorie e metodi statistici riguardanti l'aleatorietà e l'informazione incompleta. Emblematico è il caso, apparentemente astratto, del calcolo matematico degli autovalori di una matrice stocastica, i cui elementi sono valori di probabilità. Ebbene, l'algoritmo per questo calcolo, ben noto nell'algebra elementare, è stato oggetto di brevetto da Larry Page - cofondatore di Google insieme a Sergej Brin - per classificare le pagine in cui si trovano le informazioni disponibili in Rete (*Web information retrieval*). Il brevetto PageRank si è dimostrato una fonte di business notevole con un giro d'affari e guadagni miliardari: fra i beneficiari c'è anche l'Università di Stanford. Il fatto nuovo è che prima dell'ICT, progenitrice dell'intelligenza artificiale, formule e metodi matematici erano patrimonio comune, che tutti potevano usare liberamente e che non era consentito brevettare. Negli ultimi anni non è più così: programmi e algoritmi software sono diventati brevettabili.

[B29] Taleb N.N. (2019). *Incerto: Fooled by Randomness, The Black Swan, The Bed of Procrustes, Antifragile, Skin in the Game* (cofanetto di 5 voll.), Random House. Tr. it. (2020): *Incerto, Giocati dal caso, Il Cigno nero. Robustezza e fragilità, Il letto di Procuste, Antifragile, Rischiare grosso* (cofanetto di 6 voll.), il Saggiatore.

Da pensatore fuori dagli schemi, spesso controverso e iconoclasta, Nassim Taleb ha influenzato - a partire dalla sua celeberrima metafora del Cigno nero - la filosofia, l'economia, la finanza, la statistica, insomma, la vita di milioni di persone. Il cofanetto, che raccoglie i suoi saggi fino al 2019, è intitolato *Incerto* per sottolineare che il nostro è un mondo caratterizzato da incertezze, rischi, opacità, oltre che da dinamiche non lineari, caotiche, complesse ed eventi statisticamente "senza media e/o varianza", cioè di grande impatto, molto rari e difficili da prevedere come i Cigni neri. Un'altra peculiarità di un Cigno nero è che gli eventi estremi cui è associato hanno una distribuzione di probabilità a "code spesse o lunghe". È dunque inaffidabile, se non vana, ogni predizione (*forecasting*) sulla loro futura evenienza basata unicamente sull'estrapolazione di serie temporali/storiche di dati. Fra l'altro, Taleb, in origine operatore e trader finanziario, è un fervido sostenitore del criterio di Kelly come strategia teorico-pratica di *money management*. Anche il sintagma "fallacia ludica" va attribuito a lui.

La sua home page costantemente aggiornata è:

<https://www.fooledbyrandomness.com/>, dal titolo inglese del primo libro *Fooled by Randomness*.

[B30] Tijms, H. (2019). *Surprises in Probability: Seventeen Short Stories*, CRC Press.

Contiene il teorema di Bayes, il criterio di Kelly, e altri numerosi casi riguardanti il gioco d'azzardo o le scommesse.

[B31] Thorp, E.O. (2018). *A Man for All Markets: From Las Vegas to Wall Street, How I Beat the Dealer and the Market*, Random House.

Autobiografia del matematico-investigatore Edward Thorp con il resoconto dei suoi successi (con qualche insuccesso) nei casinò e in finanza.

[B32] Williams, L.V., Siegel, D.S. (a cura di) (2013). *The Oxford Handbook of the Economics of Gambling*, Oxford University Press.

Un aggiornatissimo manuale sugli aspetti economici delle scommesse e dell'azzardo.

[B33] Weatherall, J.O. (2014). *The Physics of Wall Street: A Brief History of Predicting the Unpredictable*, Mariner Books.

Storie del ruolo crescente in Borsa e nei mercati finanziari da parte di esperti provenienti dai saperi STEM.

A tutti gli appassionati della materia segnalo, infine, le due splendide raccolte di enigmi matematici di Martin Gardner, autore sempre da leggere o rileggere per gli spunti e le riflessioni che può continuamente suggerire in tutti i problemi di cui si è occupato. Come ricorda Piergiorgio Odifreddi (in *Le Scienze*, n. 648, agosto 2022, p. 14, poi in [B19, p. 17]), "il vero ambasciatore planetario della matematica ricreativa è stato Martin Gardner che ha tenuto dal 1956 al 1981 su *Scientific American* una leggendaria rubrica mensile, pubblicata anche su *Le Scienze*, intitolata «Giochi matematici», in cui è riuscito a combinare con grande successo il puro divertimento con l'alta divulgazione"⁶.

Le due preziose raccolte sono:

[B34] Gardner, M. (2001). *The Colossal Book of Mathematics: Classic Puzzles, Paradoxes, and Problems*, Norton.

Un must per chi si diletta di giochi matematici: la chiarezza definitoria dei problemi di Gardner, che peraltro non era di formazione matematica, è ancora oggi esemplare. Il meglio del meglio della sua influente rubrica è disponibile in questo e nel volume successivo. Per il nostro contesto, interessano soprattutto i capitoli intitolati "Probability" e "Games and Decision Theory", con particolare riguardo ai due rompicapi affascinanti e sempre coinvolgenti (oltre che controversi): il "Problema di Monty Hall" e il "Paradosso di Newcomb" - entrambi di elevata complessità cognitiva e veramente sfidanti per la logica basata sul senso comune.

[B35] Gardner, M. (a cura di Richards, D.) (2006). *The Colossal Book of Short Puzzles and Problems*, Norton.

Integra e completa la raccolta precedente.

⁶ L'equivalente italiano di Martin Gardner può essere considerato Ennio Peres (1945-2022), che amava essere definito "giocologo", anziché "ludologo". Peres ha pubblicato decine di libri dedicati a giochi logico-ricreativi - o "matemagici" come preferiva chiamarli.

Biografia

Angelo Luvison è ingegnere elettronico (Politecnico di Torino) dal 1969, con successivi perfezionamenti in teoria statistica delle comunicazioni al MIT e in management aziendale all'INSEAD-CEDEP di Fontainebleau. Per oltre trent'anni nel Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni (o CSELT, oggi TIM), ha svolto e diretto ricerche in teoria delle comunicazioni, reti di fibre ottiche ad alta velocità, società dell'informazione, anche nell'ambito di progetti cooperativi internazionali. È stato professore di "Teoria dell'Informazione e della Trasmissione" all'Università di Torino. Ha ricoperto la posizione di segretario generale dell'AEIT. Nell'ambito di Federmanager, la maggiore associazione nazionale dei dirigenti di aziende industriali, si è occupato di formazione permanente manageriale ed è stato presidente di Federmanager Piemonte. Detiene sette brevetti e, tra saggi e articoli scientifici e divulgativi, è autore, o coautore, di oltre 200 lavori, uno dei quali è stato ripubblicato (2007) nel volume *The Best of the Best: Fifty Years of Communications and Networking Research* della IEEE Communications Society. È Life Member dell'IEEE, membro del Comitato editoriale di *AEIT* e dell'Advisory Board di *Harvard Business Review*. Si occupa e scrive di temi di innovazione legati alla società digitale e all'ICT (Information and Communications Technology), in particolare dei loro effetti tecnici, economici, sociali sulla vita quotidiana.

Email: angelo.luvison@alice.it; angelo.luvison@gmail.com

La magia invisibile del GPS. Gladys West e la forma della Terra

Carla Petrocelli

Sommario

Viaggiamo su frazioni significative della superficie terrestre, possiamo raggiungere qualsiasi città, zone impervie di montagna, zone rurali, ma pochi di noi sanno che fu la matematica statunitense Gladys West a definire un modello geodetico estremamente dettagliato della Terra. Gladys Mae West ha lavorato al Naval Proving Ground (ora Naval Surface Warfare Center) in Virginia fino al suo pensionamento. Fu la seconda donna nera e uno dei soli quattro dipendenti neri di quel centro di ricerca. Il suo contributo più significativo fu quello di mettere insieme modelli della forma della Terra usando dati satellitari che le permisero di definire uno schema accurato che sarebbe diventato la base del Global Positioning System (GPS).

Abstract

We travel over significant fractions of the Earth's surface, far from considering air travel a feat. We can reach any city, mountainous areas, rural areas, lakes, archaeological sites, but few of us know that it was US mathematician Gladys West who defined an extremely detailed geodetic model of the Earth. Gladys Mae West worked at the Naval Proving Ground (now the Naval Surface Warfare Center) in Virginia until her retirement. She was the second black woman and one of only four black employees at that research center. Her most significant contribution was putting together models of the Earth's shape using satellite data that allowed her to define an accurate pattern that would become the basis of the Global Positioning System (GPS).

Keywords: Gladys West, Global Positioning System (GPS), Hidden Figure, History of Computer Science, Women in Science, NASA

Orbite, Geoidi ed Ellissi

Il 4 ottobre del 1957, con grande stupore di William Guier e George Weiffenbach dell'Applied Physics Laboratory della Johns Hopkins University, venne

intercettato uno strano segnale: l'Unione Sovietica aveva lanciato in orbita il primo satellite artificiale, lo Sputnik, che, con i suoi cinquantotto centimetri di diametro e le due coppie di antenne, era stato in grado di inviare segnali radio alla Terra per circa tre mesi. Per le imposizioni dovute alla Guerra Fredda, Guier e Weiffenbach rimasero purtroppo solo degli spettatori, nell'impossibilità di dare eco a quell'evento inaspettato. I due scienziati erano riusciti a localizzare non soltanto il trasmettitore, ma si erano anche trovati nella condizione di poter stabilire quale fosse la posizione esatta del satellite mentre effettuava le sue trasmissioni¹. Fu grazie a questa intuizione che vennero avviati studi e ricerche che, negli anni a venire, portarono alla formalizzazione del GPS Project (Global Positioning System).

Alla fine degli anni Sessanta, la Marina, l'Aeronautica e l'Esercito degli Stati Uniti avevano avviato, in maniera del tutto indipendente, progetti di ricerca su sistemi di radionavigazione, perseguendo l'obiettivo di fornire una copertura del segnale senza interruzioni, che valicasse qualsiasi condizione atmosferica e che fosse estremamente preciso. Per coordinare i tre gruppi, il Dipartimento della Difesa istituì, nell'aprile del 1973, un comitato direttivo congiunto, designando l'Aeronautica Militare come agenzia leader per convogliare i vari progetti sulla navigazione satellitare in un unico sistema.

Il colonnello Brad Parkinson ebbe l'incarico di negoziare tra i tre enti militari per prendere in considerazione le esigenze di tutti. Parkinson avviò il programma System 621B che prevedeva la possibilità di definire coordinate geografiche basandosi su un sistema di riferimento tridimensionale²: le sperimentazioni già avviate mostravano lentezza di risposta, capacità di posizionamento solo bidimensionale e copertura limitata (si registravano periodi di assenza del segnale addirittura in ore). Bisognava soprattutto superare il grosso scoglio della bidimensionalità usata già per le mappe o le carte nautiche, che di fatto distorceva l'aspetto tridimensionale della Terra, rapportando ogni punto alle sole latitudini e longitudini (rappresentate rispettivamente da cerchi paralleli all'equatore e da cerchi perpendicolari alle latitudini)³.

Miliardi di dollari più tardi, esattamente nel 1995, gli Stati Uniti riuscirono a disporre di un sistema completo, corredato di trentotto satelliti che giravano

¹ W.H. Weiffenbach-G.C. Guier, *Genesis of Satellite Navigation*, «Johns Hopkins APL Technical Digest», 19 (1998), n. 1, pp. 14-17. Per rispettare i protocolli della Guerra Fredda, Guier e Weiffenbach furono solamente degli osservatori, sebbene fossero stati in grado di calcolare la traiettoria del satellite. Dopo tre mesi, lo Sputnik uscì fuori orbita non riuscendo più a inviare segnali alla Terra.

² B.W. Parkinson, *GPS Eyewitness: The Early Years*, «GPS World», vol. 5 (1994), n. 9, pp. 32-45. Parkinson aveva affisso alla parete del suo ufficio il seguente slogan: «la missione di questo Ufficio sarà quella di sganciare cinque bombe nello stesso punto.» Per la prima volta, nella Guerra del Golfo del 1991, l'esercito degli Stati Uniti riuscì a mettere in pratica questo obiettivo.

³ Le latitudini sono cerchi che corrono in parallelo est-ovest all'equatore, che è di zero gradi. Le longitudini corrono da nord a sud, perpendicolarmente alle latitudini, ma il punto di partenza è arbitrario poiché non ci sono posizioni uniche come l'equatore o i poli. Dato il dominio dell'Impero britannico nel XIX secolo, gli inglesi hanno preso la decisione arbitraria di posizionare il meridiano principale (zero) a Greenwich in Inghilterra.

intorno al globo a una distanza di circa 20.000 chilometri; dopo altri cinque anni, seguendo gli standard concordati già nel 1884 alla International Meridian Conference di Washington D.C., il GPS fu aperto anche all'uso civile.

Si tende a dimenticare che, per ricavare una posizione sulla Terra, bisogna anche conoscere la vera natura della sua forma irregolare e dei suoi parametri gravitazionali che influiscono sulle orbite dei satelliti.

Alcune delle menti più brillanti di quell'epoca concentrarono i loro sforzi per concettualizzare e riunire questi elementi: sin da subito apparve evidente che si sarebbe dovuto lavorare su grosse masse di dati, frutto di calcoli lunghi e laboriosi. Toppo primitivi i computer a cui si chiese soccorso e neanche del tutto affidabili: strumenti e risorse così limitati misero a dura prova le capacità matematiche umane. La matematica Gladys West dedicò quarantadue anni a queste ricerche; lavorò per lo US Naval Surface Warfare Centre, rispondendo all'esigenza primaria del Dipartimento della Marina che necessitava della definizione di una banca dati di misure altimetriche radar di precisione dell'ordine di "dieci cm"⁴ affermando profeticamente, già nel 1986, che «questi dati permetteranno di migliorare i modelli gravitazionali richiesti dai sistemi avanzati di missili balistici lanciati da sottomarini.»⁵

Gladys Mae Brown, dal tabacco alla geodesia

Madre di tre figli, nonna di sette nipoti, nessuno si aspetterebbe mai che la donna minuta dal sorriso dolce e sincero abbia dovuto subire profonde discriminazioni e che, solo grazie alla sua incredibile determinazione, abbia potuto realizzare il suo sogno. Proprio attraverso queste aspirazioni e ambizioni, ma anche tragedie della sua vita, Gladys Mae Brown, la ragazza cresciuta nella contea di Dinwiddie, a sud di Richmond, riuscì a opporsi all'unica certezza che le riservava il futuro: raccogliere tabacco, mais o cotone, come faceva suo padre, o seguire le orme della madre e avere la fortuna di essere ammessa in una fabbrica a battere le foglie di tabacco e sminuzzarle in pezzi piccoli per sigarette e pipe.

Per l'appassionata liceale della Dinwiddie Training School, l'unica via d'uscita verso una vita migliore era studiare:

Mi ricorderò per sempre di essere cresciuta in quella piccola fattoria nella contea di Dinwiddie, in Virginia. Ricordo di aver attraversato i binari della ferrovia e di aver camminato per tre miglia fino alla segregata Butterwood Road School. Era lo stereotipo della piccola scuola di una sola stanza, con mobili

⁴ Un radar, che a risoluzioni misurabili in centimetri, desume l'altezza in cui si trova il satellite su cui è posizionato, fornisce dati estremamente utili per le più disparate applicazioni ed è anche in grado di rilevare, su scala globale, variazioni estremamente piccole dell'altezza (media) della superficie oceanica. Il livello del mare, infatti, è ben lungi dall'essere costante poiché è influenzato, sia spazialmente che temporalmente, da anomalie del campo gravitazionale, dalle maree e dalla presenza di correnti e di rilievi sottomarini.

⁵ G.B. West, Data Processing System Specifications for the GEOSAT Satellite Radar Altimeter, Naval Surface Weapons Center, Report NSWC TR 86-149, 1986, p. 1.

arrugginiti e decrepiti, soffitti che a volte perdevano acqua e libri sempre di seconda mano. Tutti i bambini di colore della zona, dalla prima alla settima classe, si affollavano in una stanza, con un insegnante sovraccarico di lavoro e grossolanamente sottopagato. Gli insegnanti neri erano pagati circa la metà degli stipendi delle loro controparti bianche. I bianchi lo chiamavano separato ma uguale, ma non c'era nulla di uguale. Ogni giorno desideravo e sognavo di avere di più - più libri, più aule, più insegnanti, e più tempo per sognare e immaginare come sarebbe stata la vita se solo avessi potuto volare via dal faticoso e apparentemente infinito lavoro nella nostra fattoria di famiglia⁶.

Il duro lavoro e la continua crescita personale e professionale, ma anche la guida di persone straordinarie, le permisero di realizzare questi sogni⁷. Terminati gli studi superiori, grazie al sostegno dei genitori e dei fratelli, riuscì a ottenere una borsa di studio per la Virginia State University, dove si laureò in matematica nel 1952: un caso eccezionale se si pensa che, soprattutto nella Virginia dominata dalle discriminazioni razziali, l'accesso a questa facoltà era per lo più consentito agli uomini. «Ti sentivi un po' diversa. Non ti trovavi a tuo agio come in economia domestica.»

Era un'epoca di grandi cambiamenti sociali ma, nonostante fossero stati fatti alcuni progressi, le donne si trovavano ancora ad affrontare notevoli disuguaglianze. A quei tempi, l'insegnamento era l'unico percorso di carriera per le donne; in tutti gli altri campi c'erano ancora molte porte chiuse. Anche la giovane matematica seguì questa strada, ma solo dopo due anni di insegnamento di scienze e matematica a Martinsville, tornò a studiare per seguire un master in Public Administration. Nel 1956, Gladys venne assunta presso lo US Naval Weapons Laboratory di Dahlgren. Questo centro di ricerca della Virginia è stato per parecchi anni in prima linea nella corsa allo spazio; ha poi cambiato il nome in Naval Space Surveillance Center fino al 2004, anno in cui l'Aeronautica Militare ha preso le redini della ricerca spaziale.

Data la sua formazione, Gladys Brown ebbe il ruolo iniziale di elaborare dati desunti dai satelliti in orbita, entrando a far parte della divisione di programmazione e analisi scientifica del centro di calcolo di Dahlgren.

Facevo i calcoli a mano con l'aiuto di una calcolatrice [meccanica] Marchant⁸, ma in coincidenza con il mio arrivo a Dahlgren, era entrato in scena un nuovo

⁶ G.B. West-M.R. Jackson, *It Began with a Dream: Dr. Gladys West*, Igwest Publishing, 2020, p. 1. (traduzione mia). Gran parte delle citazioni di Gladys West che seguiranno in questo scritto, saranno prese da questo volume autobiografico.

⁷ Soltanto in poche occasioni Gladys West ha fatto riferimento all'ambiente in cui è cresciuta e alle divisioni razziali che rappresentavano una "normalità" nella Virginia degli anni Quaranta/Cinquanta del secolo scorso: per la giovane studentessa di colore erano previste solo scuole dedicate, ovviamente diverse da quelle dei "bianchi", le quali si potevano raggiungere unicamente con autobus separati.

⁸ La storia della Marchant è anche l'inizio della storia delle macchine calcolatrici negli Stati Uniti. In una stanza sul retro di un piccolo negozio nel centro di Oakland, in California, Rodney e Alfred Marchant, rispettivamente uomo d'affari e uomo appassionato di meccanica, associati in una

computer, il calcolatore IBM NORC, Naval Ordnance Research Calculator: significò per me imparare a programmare ed essere pronta a saper comprendere gli errori del computer. Era il più grande computer della Marina al momento della sua installazione, è stato emozionante perché era così veloce e si potevano codificare programmi molto grandi. Aveva 2.000 posizioni di memoria [...] era fantastico. Poi, dopo non ricordo quanti anni, sarebbe arrivato un nuovo computer, credo lo chiamassero Stretch, e io ho programmato e codificato per lo Stretch⁹.

All'inizio degli anni Sessanta, Gladys venne coinvolta nel Progetto 29V, una ricerca pionieristica che doveva rivelare la regolarità del moto di Plutone rispetto a Nettuno, basata su cinque miliardi di calcoli aritmetici che richiedevano all'incirca cento ore di tempo di calcolo del NORC. Bisognava cioè dimostrare un fenomeno noto come "risonanza orbitale"¹⁰ ovvero che per ogni due rivoluzioni compiute da Plutone, Nettuno ne avrebbe completate tre. Una volta avviata la sperimentazione, ci si rese subito conto che l'orbita di Plutone appariva molto eccentrica, quasi di forma ovale: anche se le due orbite non si intersecano mai, in realtà, il potenziale di entrambi i pianeti, molto vicini l'uno all'altro, faceva sospettare che le loro reciproche forze gravitazionali si influenzassero a vicenda, andandone a modificare le loro traiettorie. La deduzione di Gladys Brown fu che, a causa del rapporto della loro risonanza (2:3), Nettuno e Plutone non si avvicinavano mai più di 17 AU (Unità Astronomiche = ~93 milioni di miglia), ovvero che la risonanza risultava estremamente stabile e che quindi le loro rivoluzioni non si sarebbero mai influenzate reciprocamente. Sulla base di questi risultati, nel dicembre del 1964, il Dipartimento della Marina Militare conferì al team di programmazione un Award of Merit for Group Achievement.

Erano gli anni in cui imperversava una feroce battaglia per i diritti civili in tutto il Paese e in particolare nel sud, anni in cui ci si concentrava particolarmente sulla segregazione razziale. Gladys, seconda donna afroamericana mai assunta su soli quattro dipendenti di colore, aveva stretto rapporti con uno di questi, un matematico di nome Ira West, che lavorava sui sistemi missilistici sottomarini. Ira sarebbe diventato il suo compagno di vita, l'uomo che le è ormai accanto da più di sessant'anni. Grande appassionato di matematica, ha continuato a dedicarsi, fino al termine della sua carriera, alla ricerca, rinunciando anche alla grande

partnership con altri due fratelli, Gordon, che gestiva una fonderia, e Cyril, venditore ambulante, ha avuto luogo la nascita della prima macchina calcolatrice meccanica. Il primo modello, chiamato Standard, era una calcolatrice a leva, azionata tramite una manovella. La vendita delle macchine incoraggiò i fratelli Marchant a registrare il marchio e nel 1913 venne adottato il nome Marchant Calculating Machine Company. M. Zack-E. Landry (eds.), *Research in History and Philosophy of Mathematics: The CSHPM 2015*, Birkhäuser, Switzerland 2016, p. 207.

⁹ Nove volte su dieci, i programmi non davano i risultati aspettati e quindi bisognava procedere con la faticosa fase di analisi per scoprire cosa non fosse stato programmato correttamente. G.B. West-M.R. Jackson, *It Began with a Dream*, cit., p. 72.

¹⁰ Nella meccanica celeste, la "risonanza orbitale" avviene quando due corpi hanno rivoluzioni tali che il loro rapporto è esprimibile in frazioni di numeri interi piccoli e quindi i due corpi esercitano, l'un l'altro, una regolare influenza gravitazionale. Questo fenomeno può stabilizzare le orbite dei due pianeti e proteggerle da perturbazioni gravitazionali

opportunità di diventare giocatore di baseball professionista, cosa che avrebbe sicuramente cambiato il percorso della sua vita.

La signora West, non potendosi impegnare direttamente in proteste politiche, intraprese una rivoluzione diversa, quella di concentrarsi nel suo lavoro, di farlo al meglio delle sue capacità, sperando di dare un contributo alla stigmatizzazione dei neri. Scindendo intelligentemente il lavoro dalle questioni familiari, è rimasta per tutta la sua vita lavorativa a Dalghren, occupandosi inizialmente di balistica e più tardi di geodesia e diventando, a sua insaputa, la “signora del GPS”.

«La Terra non è rotonda»

«La Terra non è rotonda e noi dovevamo capire con precisione quale fosse la sua forma.»¹¹ I satelliti sarebbero risultati utili, secondo Gladys West, anche per definire posizioni corrette sul globo terrestre.

Per raggiungere tali obiettivi, nel suo gruppo di ricerca si pensò di definire un modello della Terra irregolare, per il quale la gravità risultasse uguale in ogni suo punto. Assumendo come riferimento la superficie degli oceani, prolungati idealmente anche sotto i continenti, e supponendo le masse d’acqua libere da perturbazioni dovute a maree, correnti, variazioni di temperatura o movimenti sismici, si arrivò a definire una superficie del livello medio del mare, chiamata Geoide. Per essa non fu possibile trovare un’adeguata rappresentazione matematica: quella che più le si approssimava, sembrava essere l’Ellissoide di rotazione (a tre assi, secondo gli studi più recenti) per il quale gli scostamenti massimi dal Geoide erano dell’ordine di qualche centinaio di metri.

Tuttavia, la verticale in un punto al Geoide (fisicamente individuabile col filo a piombo perpendicolare alla superficie) non coincide normalmente con la perpendicolare all’Ellissoide: l’angolo tra le due viene definito deviazione della verticale ed è una grandezza che assume valori dell’ordine del secondo¹². Questo implica che, nella pratica operativa, mentre le misure sono eseguite direttamente sul Geoide, i calcoli sono effettuati sulla superficie geometrica dell’Ellissoide (riferimento su cui è matematicamente possibile operare).

Dato questo riferimento, per conoscere la posizione esatta di un punto della superficie terrestre che ha un’elevazione maggiore rispetto al livello del mare, si fa riferimento alla cosiddetta “altezza ortometrica” che è definita come la lunghezza del segmento di verticale compresa fra il punto e il Geoide. Il valore dell’altezza ortometrica può essere determinato conoscendo il valore del geoide per una data posizione (ad esempio, la latitudine e la longitudine che i satelliti potrebbero fornire) e l’altezza derivata dal satellite sopra un ellissoide di riferimento.

¹¹ G.B. West-M.R. Jackson, *It Began with a Dream*, cit., p 131.

¹² In generale, quest’angolo è diverso da zero, ma ciò non esclude che in certi luoghi (Monte Mario per l’Italia) la verticale coincida con la normale al geoide; quindi, l’angolo di deviazione della verticale è pari a zero e al geoide si può sostituire l’ellissoide.

Grazie al GPS e a quei modelli della Terra che Gladys West ha contribuito a sviluppare, sia le posizioni orizzontali che le elevazioni possono essere determinate, in tempo reale, con un errore di pochi centimetri e per qualsiasi punto della Terra.

Per studiare le varie forze che distorcono la forma della Terra, come la gravità o le maree, e per definire come tali forze perturbano anche le orbite dei satelliti, Gladys ha sviluppato complessi algoritmi che la Marina Militare statunitense ha reso disponibili da pochi anni. Questi documenti rivelano la complessità di tali concetti computazionali che sono sempre estremamente dettagliati per quel che riguarda la descrizione delle fasi di progettazione, programmazione e test dei risultati.

Nel 1975 Gladys West divenne project manager per il Geodynamics Experimental Ocean Satellite (GEOS-3), che confermò concettualmente che gli altimetri radar satellitari potevano essere impiegati per le misure di geodesia oceanica, come ben evidenziato nel suo articolo del 1979:

I dati vengono trasmessi dall'altimetro in modalità a impulso lungo o a impulso corto. La modalità a lungo impulso 1 è utilizzata per operazioni globali volte a mappare la forma generale del geode con una precisione di 5 m. Le modalità a breve impulso 1, 2 e 3 sono utilizzate per mappare i parametri oceanografici e geodetici che variano rapidamente. L'elaborazione al NSWC si è concentrata principalmente sui dati a breve impulso. I dati sono registrati a una velocità di 10 punti/s o 100 punti/s per ogni passaggio del satellite sulla stazione di telemetria. Un passaggio è diviso in grandi frame composti da 20, 32 e 320 punti di dati. Il frame principale di 20 punti di dati copre un intervallo di tempo di 2,0s in modalità a lungo impulso 1. Il numero di punti dati e la lunghezza dell'intervallo di tempo sono gli stessi per la modalità a breve impulso 1 e per la modalità a lungo impulso 1.¹³

Questi studi portati avanti a Dahlgren richiedevano una collaborazione con altri gruppi di ricerca, tra cui anche il Naval Research Laboratory di Washington, D.C. L'attività collaborativa con questo gruppo fu per Gladys piuttosto limitata, e non perché lei non ne fosse all'altezza, ma perché spostarsi, come lei stessa afferma nella sua autobiografia, risultava piuttosto complicato: «C'erano hotel che non volevano che vi soggiornasse gente di colore.»

Nel 1978 le venne assegnato il nuovo ruolo di responsabile per il progetto SEASAT (SEA surveillance SATellite)¹⁴, già avviato dalla NASA nel 1972, che

¹³ G.B. WEST, Smoothing of Geos 3 Satellite Radar Altimeter Data, «Journal of Geophysical Research», 84 (1979), n. B8, p. 4055.

¹⁴ I dati necessari per il progetto Seasat furono elaborati da un gruppo di lavoro, lo User Working Group (UWG), che inglobava l'Office of the Oceanographer della Marina militare statunitense, il Fleet Numerical Weather Center di Monterey, il Navy Surface Weapons Center di Dahlgren, coordinato da Gladys West, il Naval Research Laboratory della Johns Hopkins University, l'Applied Physics Laboratory (APL), l'Office of Naval Research e il Navy/NOAA Joint Ice Center. Si sono raccolte più informazioni sugli oceani di quante ne fossero state acquisite nei precedenti cento anni di ricerca. Il

coinvolgeva il primo satellite lanciato in orbita il 26 giugno del 1978 in grado di produrre immagini dallo spazio. Lo scopo della missione fu inizialmente legato a studi oceanografici, ma il radar ad apertura sintetica (Synthetic Aperture Radar-SAR)¹⁵ posizionato sul satellite risultò adatto anche per osservazioni geologiche. La missione terminò dopo centodieci giorni a causa di un corto circuito nel sistema elettrico del satellite, ma restituì un elevato numero di osservazioni degli oceani e della Terra: «La scomparsa precoce di SEASAT avvenne il 9 ottobre 1978, dopo circa 1000 rivoluzioni.»¹⁶

Dalla metà degli anni Settanta fino a tutti gli anni Ottanta, Gladys West sviluppò complessi algoritmi per il computer IBM 7030 Stretch per definire una simulazione geodetica della Terra estremamente accurata. Questo modello sarebbe poi diventato la base del sistema satellitare GPS, che oggi è ampiamente utilizzato per innumerevoli applicazioni, dalla navigazione alla comunicazione.

La sua idea fu quella di raccogliere informazioni dai satelliti orbitanti e di concentrarsi su quei dati che le avrebbero consentito di determinarne l'esatta posizione, anche durante la trasmissione. Poiché questi dati richiedevano elaborazioni complesse, Gladys si preoccupò anche di scrivere il software in grado di calcolare con precisione le altezze tra il satellite e la Terra, facendo riferimento, per la prima volta, alle specifiche elevazioni della sua superficie. La comunità scientifica fino a quel momento non aveva desunto chiaramente quale fosse la forma del nostro pianeta ma, grazie alla sua idea, si diede vita a un modello matematico senza precedenti, che per giunta ne costituiva una riproduzione affidabile.

satellite era stato progettato per fornire misurazioni dei venti sulla superficie del mare, delle temperature della superficie del mare, dell'altezza delle onde, delle onde interne, del contenuto di acqua liquida atmosferica, delle caratteristiche del ghiaccio marino e della topografia degli oceani. SeaSat forniva una copertura globale del 95%, ogni 36 ore. S.W. McCandless, Jr., *The Origin, Evolution and Legacy of SeaSat*, «Proceedings of IGARSS (IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium)», Toulouse, France, July 21-25, 2003.

¹⁵ I processi geofisici che avvengono a diversi chilometri sotto la superficie terrestre, come il movimento di una faglia sismogenetica, l'accumulo di magma, la variazione di pressione nei serbatoi magmatici, provocano in molti casi deformazioni della superficie terrestre che possono essere misurate con metodi geodetici e con tecniche di telerilevamento come quelle SAR. I risultati di tali misure e la successiva modellazione geofisica delle sorgenti, causa delle deformazioni, possono fornire informazioni fondamentali per la valutazione del rischio vulcanico e sismico e per la corretta pianificazione delle attività umane e del territorio.

¹⁶ G.B. West, *Mean Earth Ellipsoid Determined From SEASAT 1 Altimetric Observations*, «Journal of Geophysical Research», 87 (1982), n. B7, p. 5538.



Figura 1
Gladys West (a destra) con il gruppo di lavoro di Dahlgren - 1980

I dati rilevati dal satellite GEOSAT, mandato in orbita il 12 marzo del 1984, le permisero infatti di creare simulazioni affidabili: West ne pubblicò un resoconto accurato e dettagliato dal titolo “Data Processing System Specifications for the GEOSAT Satellite Radar Altimeter” nel quale spiegava come, per generare un modello estremamente preciso, era stato necessario implementare complessi algoritmi per tener conto delle variazioni di gravità, delle maree e delle altre forze che influiscono sulla distorsione della forma della Terra. Questo articolo venne pubblicato da West con l'intento di indicare quali fossero le procedure che consentivano di aumentare l'approssimazione delle altezze dei geoidi e della deflessione verticale, componenti importanti della geodesia satellitare: «Il Naval Surface Weapons Center (NSWC) ha come responsabilità lo sviluppo di un sistema di analisi per la riduzione delle misure del radar altimetrico al miglior valore stimato lungo le altezze dei geoidi e le deviazioni delle verticali.»

In quest'ottica, nel suo articolo spiega come sono definite alcune misure:

La misura dell'altimetro è determinata calcolando il tempo necessario per trasmettere il segnale radar dalla navicella spaziale alla superficie dell'oceano e per riflettersi sulla navicella. Il segnale radar potrà subire interferenze ambientali durante il transito. [...] Le correzioni per gli effetti ambientali sono calcolate dal correttore (ENVCOR), che prende come input l'orbita precisa, la tabella delle macchie solari, la tabella dei tempi, i campi climatologici, le ampiezze e le fasi delle maree. L'output, scritto in un file temporaneo, consiste nelle correzioni ionosferiche, troposferiche umide, troposferiche secche, barotropiche e di marea per i punti di dati sugli oceani.¹⁷

¹⁷ G.B. West, *Data Processing System Specifications*, cit., p. 7.

Nel rapporto prodotto da Gladys West si fa riferimento a file che contengono dati che regolano queste relazioni; il Filtered Geophysical Data o «FGD è composto dalle altezze tracciate dai geoidi, dalle deviazioni verticali, dalle altezze della

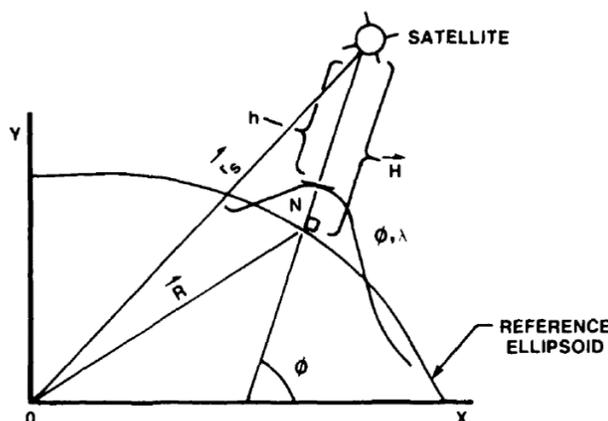


Figura 1

Ellissoide e Geoidi e altezze della superficie terrestre - Data Processing System, p. 18.

superficie del mare, dalle correzioni ambientali, dalle statistiche e dagli indicatori di qualità dei dati.»¹⁸ Questi file comprendono anche gli Intermediate Geophysical Data Record (IGDR) che fanno riferimento alle rilevazioni oceaniche e ai ghiacciai, e includono le precise correzioni orbitali e ambientali.

Nell'articolo vi è anche un'ampia sezione dedicata al trattamento dei dati del satellite GEOSAT utili per gli studi geodetici. Questi dati, scrive Gladys West, venivano memorizzati su "nastri d'archivio" (la tecnologia usata era quella delle memorie magnetiche), le unità di memoria di cui erano dotati i "computer che occupavano intere stanze" installati presso il Naval Surface Weapons Center e che certamente non erano semplici da programmare. Gladys lo fece non con poche difficoltà, riscontrate soprattutto nell'implementare le equazioni necessarie per l'elaborazione dei dati del satellite GEOSAT: anche nella programmazione si muovevano i primi passi e spesso non si riusciva a simulare un processo mediante linee di codice; queste ultime dovevano essere spesso ricontrollate o addirittura riscritte.

The Hidden Figure

Essere neri nel Sud degli Stati Uniti, negli anni Trenta del secolo scorso, significava che in ogni aspetto della società civile si era divisi dai bianchi. Gladys West, già vittima della cosiddetta segregazione scolastica, fu estremamente determinata a proseguire gli studi. Nonostante le sue capacità ha dovuto continuamente convivere con il sentirsi inferiore, sentimento profondamente radicato e sentito da molti afroamericani. Tutte queste sfide e queste difficoltà

¹⁸ Ivi, p. 3.

l'hanno portata, nel corso della sua vita, a lottare sempre di più, a spingerla a lavorare il più duramente possibile. A partire dagli anni Quaranta, sebbene ci fosse una forte apertura alle donne per quel che riguardava l'occupazione nei campi scientifici (l'informatica era agli albori e la programmazione era considerata per lo più una attività femminile), le prospettive per le donne di colore furono molto minori e per giunta niente affatto durature¹⁹. Gladys non si è mai lasciata scoraggiare e ha colto l'opportunità di proporsi al Naval Weapons Laboratory che in quegli anni aveva un disperato bisogno di matematici capaci. Indipendentemente dagli "intoppi razziali", il suo curriculum e le sue grandi capacità le fecero ottenere senza alcun problema quel lavoro.

Erano gli anni della corsa allo spazio; vi era l'urgenza di lavorare sulle forze gravitazionali e orbitali per avere una più profonda comprensione astronomica della Terra. Gladys ha utilizzato tutte le sue conoscenze matematiche, controllando e ricontrollando equazioni elaborate insieme a grandi masse di dati, lavorando incessantemente fino a garantirne assoluta correttezza. Ralph Neiman, capo del suo dipartimento, nel 1979 riconobbe queste sue capacità tanto da proporla come responsabile del progetto SEASAT. Neiman ha anche riconosciuto le molte ore che la matematica ha dedicato al progetto (al di là di quelle previste per contratto di lavoro) sostenendo che, dimezzando i tempi di elaborazione dei dati, ha contribuito a far risparmiare molte migliaia di dollari: «Gladys è riuscita a scrivere e pianificare l'esecuzione di diversi algoritmi altamente complessi per l'analisi di enormi quantità di dati in modo efficiente e tempestivo», ha dichiarato²⁰.

Per avere un quadro accurato della storia della tecnologia, rimane fondamentale inserire nella documentazione storica anche i contributi delle donne e degli uomini di colore che hanno contribuito al suo sviluppo²¹. L'assenza di documentazione relativa al lavoro della matematica West porta a pensare quasi che il suo contributo sia inesistente; eppure, ha avuto un ruolo fondamentale in questo campo. Evidenziare il suo lavoro può aiutare a illuminare quei confini ancora abbastanza oscuri che esistono tra tecnologia e non-tecnologia²². Nel 1988 Gladys West ha lasciato la sua attività lavorativa. Quel mondo che aveva contribuito a cambiare era completamente all'oscuro dei suoi contributi. Dopo venti anni, il 6 dicembre del 2018, è stata inserita nella Hall of Fame dell'Aeronautica Militare degli Stati Uniti: in una cerimonia in suo onore al Pentagono è stata riconosciuta come una delle principali protagoniste del programma spaziale. In quell'occasione ha dichiarato che la sua più grande

¹⁹ Cfr. C. Petrocelli, *Il computer è donna. Eroine geniali e visionarie che hanno fatto la storia dell'informatica*, Edizioni Dedalo, Bari, 2019.

²⁰ J. Long, *Celebrate Black History Month: When you use your GPS, remember Gladys West*, «*The Atlanta Voice*», 7 febbraio 2018.

²¹ R. Arvid Nelsen, *Race and Computing: The Problem of Sources, the Potential of Prosopography, and the Lesson of Ebony Magazine*, «*IEEE Annals of the History of Computing*», vol. 39, no. 1, January-March 2017, pp. 29-51.

²² N.E. Lerman, *Categories of Difference, Categories Power Bringing Gender and Race to the History of Technology*, *Technology and Culture* Vol. 51, No. 4 (October 2010), p. 894.

speranza è che il suo esempio serva da ispirazione per altre donne: «Il mondo è più predisposto a rendere le cose più facili per le donne. Ma devono ancora combattere.»²³

BIBLIOGRAFIA

- C. ALEXANDROW, The Story of GPS, DARPA, in 50 Years of Bridging the Gap, DARPA, pp. 54-5.
- C.J. HEGARTY-E. CHATRE, Evolution of the Global Navigation Satellite System (GNSS), «Proceedings of the IEEE», 96, n. 12, 2008, pp. 1902-17.
- S. JOHNSON, Where good ideas come from, the natural history of innovation, Riverhead Books, New York, 2010.
- N.E. LERMAN, Categories of Difference, Categories Power Bringing Gender and Race to the History of Technology, «Technology and Culture», Vol. 51, No. 4 (October 2010), pp. 893-918.
- J. LONG, Celebrate Black History Month: When you use your GPS, remember Gladys West, «The Atlanta Voice», 7 feb. 2018.
- D. MARK, The Science of Navigation: From Dead Reckoning to GPS, Johns Hopkins University Press, Baltimora, 2012.
- S.W. McCANDLESS, Jr., The Origin, Evolution and Legacy of SeaSat, «Proceedings of IGARSS», (IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toulouse, France, July 21-25, 2003, pp. 18-36.
- R.A. NELSEN, Race and Computing: The Problem of Sources, the Potential of Prosopography, and the Lesson of Ebony Magazine, «IEEE Annals of the History of Computing», vol. 39, no. 1, January-March 2017, pp. 29-51.
- S. PACE et al., The Global Positioning System Assessing National Policies, Rand Corporation, Santa Monica 1995.
- B.W. PARKINSON, GPS Eyewitness: The Early Years, «GPS World», 5, n. 9, 1994, pp. 32-45.
- C. PETROCELLI, Il computer è donna. Eroine geniali e visionarie che hanno fatto la storia dell'informatica, Edizioni Dedalo, Bari, 2019.
- N. SAMAMA, Global Positioning: Technologies and Performance, John Wiley & Sons, Hoboken: New Jersey, 2008.
- R.W. STURDEVANT, NAVSTAR, the Global Positioning System: A Sampling of Its Military, Civil, and Commercial Impact, in S.J. DICK, -R.D. LAUNIUS (eds.), Societal Impact of Spaceflight, NASA-SP, 2007, pp. 331-51.
- E.R. SWIFT, History of Satellite Orbit Determination at Nswcdd, Dahlgren Division Naval Surface Warfare Center, 2018.

²³ G.B. West, M.R. Jackson, *It Began with a Dream*, cit., p. 177

- W.H. WEIFFENBACH-G.C. GUIER, Genesis of Satellite Navigation, «Johns Hopkins APL Technical Digest», 19, n. 1, 1998, pp. 14-7.
- G.B. WEST, Smoothing of Geos 3 Satellite Radar Altimeter Data, «Journal of Geophysical Research», 84 (1979), n. B8, pp. 4055-60.
- G.B. WEST, Mean Earth Ellipsoid Determined From SEASAT 1 Altimetric Observations, «Journal of Geophysical Research», 87, n. B7, 1982, pp. 5538-40.
- G.B. WEST, Data Processing System Specifications for the GEOSAT Satellite Radar Altimeter, Naval Surface Weapons Center, Report NSWC TR 86-149, 1986.
- G.B. WEST, M.R. JACKSON, It Began with a Dream: Dr. Gladys West, Igwest Publishing, King George, 2020.
- M. ZACK and E. LANDRY (eds.), Research in History and Philosophy of Mathematics: The CSHPM 2015, Birkhäuser 2016.

BIOGRAFIA

Carla Petrocelli insegna Storia della rivoluzione digitale presso l'Università degli Studi di Bari Aldo Moro. Studiosa del pensiero scientifico moderno, si è specializzata nell'evoluzione del calcolo automatico focalizzando l'attenzione sul rapporto tra uomo e tecnologia e sulle sue ripercussioni antropologiche. Da alcuni anni si occupa di studi di genere, con l'obiettivo di evidenziare il ruolo delle donne in ambito scientifico e tecnologico. Su questi temi, ha scritto di recente "Il computer è donna. Eroine geniali e visionarie che hanno fatto la storia dell'informatica" (Edizioni Dedalo, 2019).

figura di Joy Buolamwini, la ricercatrice del MIT Boston che per prima ha analizzato i limiti dei sistemi di riconoscimento facciale, rilevando sperimentalmente le prestazioni degradate di questi sistemi proprio nel caso di volti femminili dalla pelle scura. Buolamwini è iniziatrice di un vero movimento culturale di matrice afroamericana, la Algorithmic Justice League, per la difesa dei diritti umani da un uso sconsiderato di algoritmi nei contesti decisionali. Sulla sua scia si muove Timnit Gebru, salita agli onori della cronaca per il suo licenziamento da parte di Google nel 2020 a causa di un suo articolo in cui denunciava le criticità dei large language models, quelli per intenderci alla base dei sistemi di question answering come ChatGPT. Gebru aveva anticipato molte delle perplessità successivamente espresse da più parti, circa la opacità di questi modelli, l'enorme dispendio di risorse computazionali necessarie per addestrarli, nonché la replicazione di stereotipi e pregiudizi nelle risposte fornite. Li aveva chiamati "stochastic parrots", una espressione che ora risuona spesso per sottolineare la reale natura di questi sistemi che si comportano più come pappagalli che ripetono quanto appreso senza comprenderne il significato e senza citare le fonti, che come vere intelligenze artificiali.

Per il ruolo giocato dalle informatiche di colore nel passato e nel presente, oserei affermare che siamo in debito con loro per aver spianato la strada verso nuovi modi di fare Informatica, una Informatica meno ossessionata dai tecnicismi e più attenta al bene dell'Umanità. L'analisi intersezionale infatti a cui la comunità afroamericana (ma non solo ormai) si appella per la valutazione di rischio delle odierne tecnologie ICT, in particolare quelle potenti di IA, si rivela anche un punto di contatto fecondo ed interessante fra il nostro settore e l'area umanistica (per la precisione, gli studi di genere e le filosofie femministe contemporanee) dove questo strumento di analisi è nato e si è sviluppato. Grazie a questa contaminazione, potremmo persino assistere ad un sensibile e auspicabile riavvicinamento delle donne al mondo digitale, da sempre più attente ai rapporti fra Tecnologie e Società.

Come ideatrice e curatrice della rubrica "Ada e le altre" non potrei che esserne contenta. Da parte mia non resta che rinnovare l'invito a sottoporre idee, suggerimenti ed articoli per la rubrica "Ada e le altre" scrivendo all'indirizzo: adaelealtre.mondodigitale@aica.it.

Francesca Alessandra Lisi