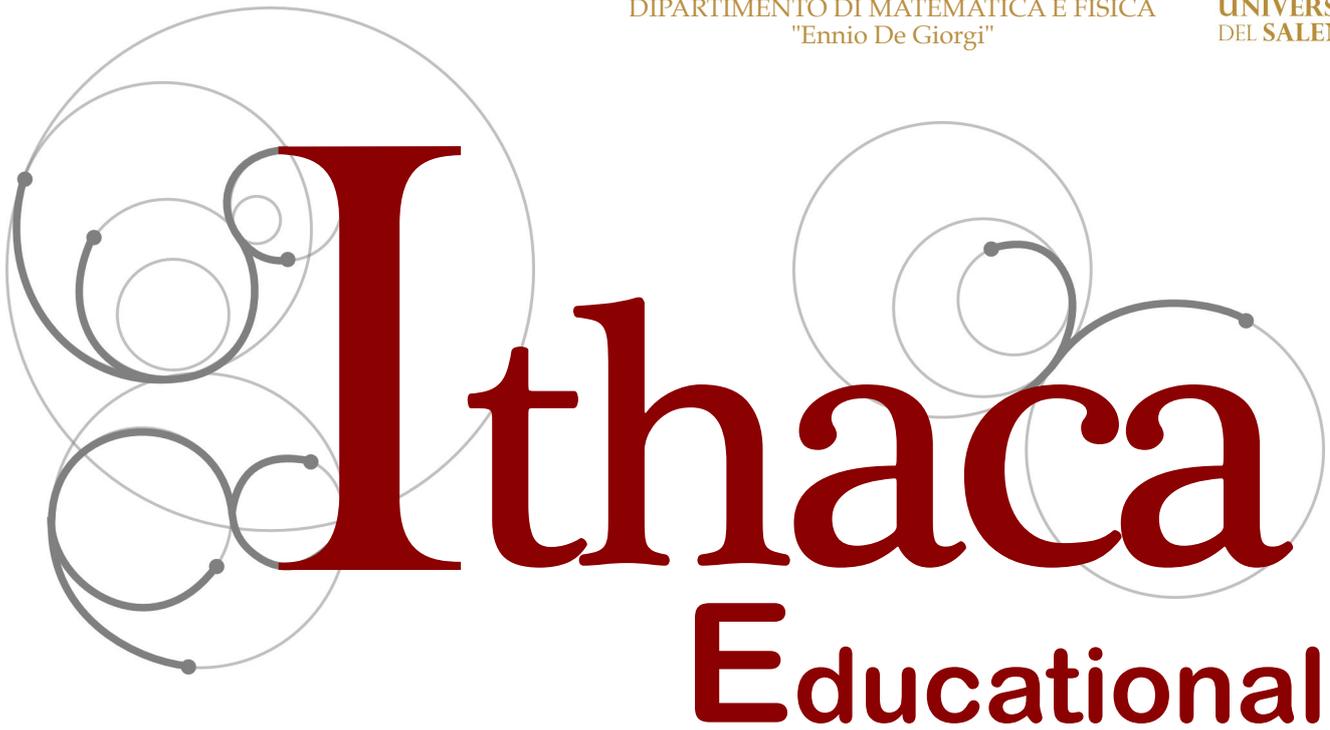




DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E FISICA  
"Ennio De Giorgi"

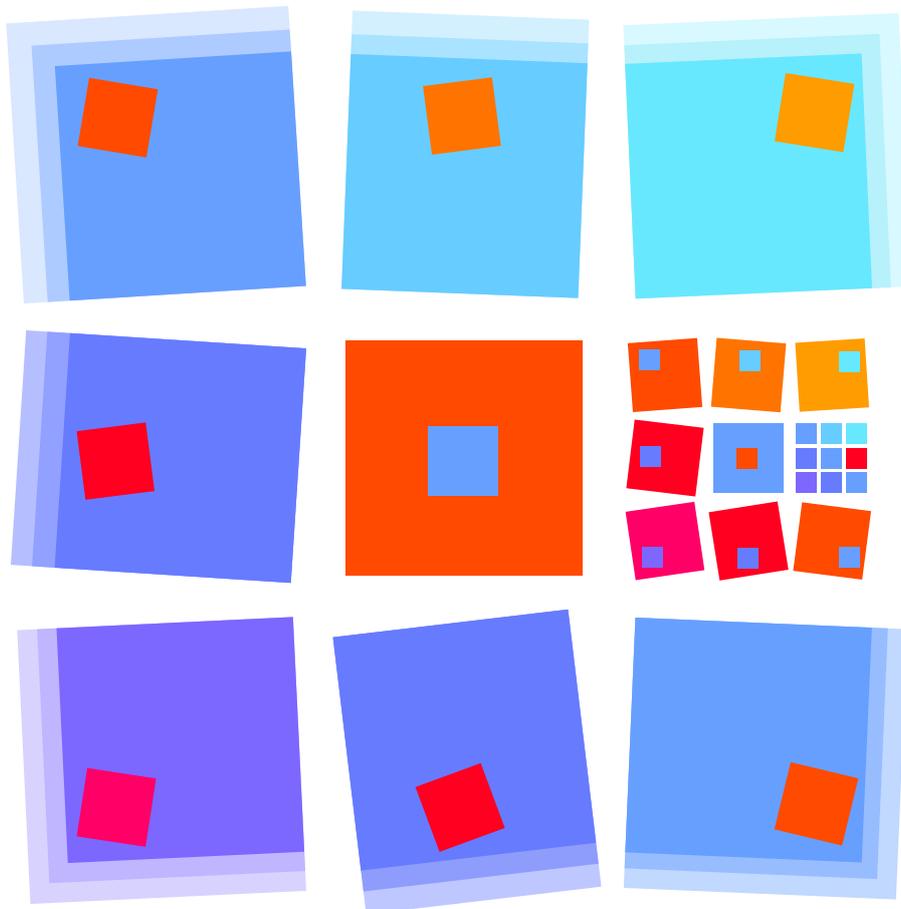


UNIVERSITÀ  
DEL SALENTO



# Ithaca

## Educational



Numero I Anno 2019

---

## **Ithaca Educational I, supplemento al numero XIII di Ithaca: Viaggio nella Scienza**

---

Una pubblicazione del Dipartimento di Matematica e Fisica “Ennio De Giorgi” dell’Università del Salento.

Registrazione presso il Tribunale di Lecce n. 6 del 30 Aprile 2013.  
e-ISSN: 2282-8079

Direttore Responsabile  
**Luigi Spedicato.**

Ideatore  
**Giampaolo Co’.**

Comitato di Redazione  
**Adriano Barra,  
Rocco Chirivì,  
Paolo Ciafaloni,  
Maria Luisa De Giorgi,  
Vincenzo Flaminio,  
Luigi Martina,  
Giuseppe Maruccio,  
Marco Mazzeo,  
Francesco Paparella,  
Carlo Sempi.**

Segreteria di Redazione  
**Daniela Dell’Anna.**

© 2013-2019 Dipartimento di Matematica e Fisica “*Ennio de Giorgi*”.

© 2019 per i singoli articoli dei rispettivi autori.

Il materiale di questa pubblicazione può essere riprodotto nei limiti stabiliti dalla licenza  
“*Creative Commons Attribuzione – Condividi allo stesso modo 3.0 Italia*” (CC BY-SA 3.0 IT).

Per il testo della licenza: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/it/deed.it>

**Ithaca: Viaggio nella Scienza**

è disponibile sul sito:

<http://ithaca.unisalento.it/>

Scriveteci all’indirizzo:

[ithaca@unisalento.it](mailto:ithaca@unisalento.it)

---

# Ithaca

## Viaggio nella Scienza

---

Educational-I 2019

### 5 Ithaca Educational

La lezione

### 7 Brevi note sul metodo scientifico

Paolo Bernardini

La lezione

### 15 Il peso dell'osservare: il ruolo del soggetto nel Metodo Scientifico

Mario Angelelli

La lezione

### 23 Grandezze arbitrariamente definite nella scienza: il caso dell'energia

Giampaolo Co'

La lezione

### 27 Evoluzionismo, diritto e linguaggio

Francesca Lamberti

Il contributo

### 35 Evoluzione dell'Evoluzionismo in Biologia

Giorgia Luceri

Il contributo

### 39 Evoluzione delle formazioni sociali

Simonetta Serio, Chiara De Masi, Flavia Papadia, Giada Invidia

**Il contributo**

**47** Evoluzione della concezione dell'istituto del matrimonio

Matteo Muci, Serena Notaro, Francesco Ribezzo, Altea Tafuro

**Il contributo**

**53** Storia e applicazioni delle GPU

Andrea D'Urbano, Alessandro Fasiello

**Il contributo**

**67** La traduzione nell'era dei *Big Data*

Caterina Milone, Aurora Paladini, Lorenzo Pellegrino

**Il contributo**

**77** I Big Data tra Diritto ed Economia

Simona Lamusta, Caterina Luceri

**Il contributo**

**81** Big Data e Assicurazioni. Regolamentazione dei Mercati e Tutela Giuridica

Giulia De Giorgi, Francesco De Masi

**Il contributo**

**87** Al confine di ciò che è noto

Francesco Merenda

**Il contributo**

**93** Valutazione statistica della prestazione energetica degli edifici nella provincia di Lecce

Matteo Viscoti, Antonella Sarcinella, Michele Ingrosso

---

# Ithaca Educational

---

Questo numero inizia una nuova collana parallela alle normali pubblicazioni di *Ithaca*.

In questa collana, che abbiamo chiamato *Educational*, pubblichiamo articoli scritti più per scopi didattici che divulgativi. Lo scopo degli articoli di questa nuova collana non è tanto quello di presentare nuove idee e scoperte scientifiche, ma piuttosto quello di proporre delle riflessioni su questioni in principio ben conosciute. Ci auguriamo che i contenuti di questi articoli possano essere utilizzati per approfondimenti di argomenti presentati normalmente a lezione, un po' come avviene con la sezione **La lezione mancata** della collana principale.

In questo numero, abbiamo raccolto alcuni contributi relativi al **Laboratorio sul metodo scientifico** tenutosi presso l'Istituto Superiore Universitario di Formazione Interdisciplinare (ISUFI) dell'Università del Salento nell'anno 2019.

In una prima fase, il laboratorio prevedeva delle relazioni presentate da vari Docenti. Alcuni rendiconti di queste relazioni sono presentati in questo numero, e sono indicati come **La lezione**.

Nella seconda fase sono stati costituiti dei gruppi di studio su argomenti specifici, e qui, con la dicitura **Il contributo**, presentiamo i risultati e le osservazioni emerse dalle discussioni di alcuni di questi gruppi di studio.

Le lezioni presentate sono quelle di Mario Angelelli, Paolo Bernardini, Giampaolo Co' e Francesca Lamberti, che considerano vari aspetti di quelle procedure adottate nell'investigazione della realtà che ci circonda, e che sono genericamente identificate come **Metodo Scientifico**.

Si parte dalla definizione di queste procedure (Bernardini), alla presentazione delle loro implicazioni teoriche ed epistemologiche (Angelelli

e Co'), all'uso di queste tecniche in ambiti differenti da quello in cui sono stati definiti, ovvero in ambito giuridico, sociale ed economico (Lamberti).

Il numero prosegue presentando i contributi degli studenti.

Un primo gruppo di contributi tratta di come la teoria dell'evoluzione sia stata utilizzata anche al di fuori dall'ambito scientifico. Si parte con il contributo di Giorgia Luceri che racconta come i paradigmi della teoria dell'evoluzione si siano modificati nel tempo per conciliare nuove osservazioni in un unico ambito teorico. L'articolo di Simonetta Serio, Chiara De Masi, Flavia Papadia e Giada Invidia mette in evidenza come la struttura delle formazioni sociali sia evoluta nel tempo, e quindi come una concezione evolutiva possa essere applicata anche alle scienze sociali. Questo concetto è ribadito e considerato nell'articolo di Matteo Muci, Serena Notaro, Francesco Ribezzo e Altea Tafuro, che studia l'evoluzione dell'istituto della famiglia nei secoli.

Segue un gruppo di contributi che tratta di un tema attuale: quello dei *Big Data*. L'articolo di Andrea D'Urbano e Alessandro Fasiello descrive l'evoluzione delle tecniche informatiche che hanno creato la possibilità di poter gestire una enorme quantità di dati, e delle applicazioni attuate in ambiti scientifici ed economici. Nel loro articolo, Caterina Milone, Aurora Paladini e Lorenzo Pellegrino illustrano come la capacità di gestire una grande quantità di dati sia stata applicata anche all'attività di traduzione automatica tra due lingue diverse. Ci sono poi altri due articoli legati all'uso dei *Big Data*, e ne discutono alcune implicazioni legali, quello di Simona Lamusta e Caterina Luceri, ed economiche, soprattutto legate alle assicurazioni, quello di Giulia De Giorgi e Francesco De Masi. Segue un artico-

lo di Francesco Merenda che descrive dal punto di vista formale la tecnica di apprendimento che, partendo da dati noti, accresce generando novità con la semplice acquisizione di nuovi dati.

L'ultimo articolo proviene dal gruppo di studio relativo sul problema energetico. Matteo Viscoti, Antonella Sarcinella e Michele Ingrosso indicano nell'efficientamento degli edifici ad uso privato un intervento utile per il risparmio energetico, e utilizzano i dati relativi alla provincia di Lecce come esempio.

*Ithaca Educational* è una sfida editoriale, che ci auguriamo risulti gradita, ed utile, ai nostri lettori, stimolando in loro l'interesse e la curiosità per i temi trattati.

Buona lettura,  
il Comitato di Redazione

# Brevi note sul metodo scientifico

**Paolo Bernardini**

Dipartimento di Matematica & Fisica "Ennio De Giorgi" - Università del Salento

---

**I** principi basilari del metodo scientifico vengono presentati sinteticamente, prendendo le mosse dal pensiero di Cartesio e Galileo. Una digressione di statistica, riferita al lancio dei dadi, permette anche ai lettori con poche conoscenze matematiche, di comprendere come una previsione teorica possa essere smentita dai dati sperimentali. Vengono quindi presentati diversi esempi di applicazione del metodo scientifico: teorie verificate con successo, risultati smentiti da misure successive, dati sperimentali ancora non compresi.

## Le origini del metodo scientifico

Nel linguaggio comune viene spesso usata l'espressione "È scientificamente provato che ...". L'avverbio *scientificamente* fa intendere che l'affermazione che segue non è arbitraria, ma viceversa è fondata su basi certe, perché è il risultato di misure, osservazioni e verifiche eseguite con un metodo rigoroso. Anche se questa espressione viene usata talvolta a sproposito, resta il fatto che si sente il bisogno di una procedura oggettiva che garantisca la correttezza dell'affermazione. La necessità di definire un metodo rigoroso con il quale osservare e comprendere la natura animò il dibattito filosofico, circa quattro secoli fa. Bacon e Cartesio furono tra i principali protagonisti

di questo dibattito. Nel 1628 Cartesio scriveva

"Per metodo ... intendo delle regole certe e facili, osservando le quali esattamente nessuno darà mai per vero ciò che sia falso, e senza consumare inutilmente alcuno sforzo della mente, ma gradatamente aumentando sempre il sapere, perverrà alla vera cognizione di tutte quelle cose di cui sarà capace [1]"

Le regole proposte da Cartesio, si possono sintetizzare così :

- Accettare solo l'evidenza.
- Scomporre le difficoltà.
- Andare dal più semplice al più complesso.
- Fare delle ricognizioni esaustive.

Ma è con Galileo Galilei che il metodo scientifico viene codificato e la matematica assurge a strumento fondamentale per *leggere il libro della natura*. Il metodo proposto da Galileo è riassumibile in quattro passaggi:

- Osservazione e riproduzione *in laboratorio* del fenomeno in esame.
- Descrizione quantitativa del fenomeno ed elaborazione di una teoria.
- Predizione quantitativa di nuovi fenomeni osservabili.

- Verifica sperimentale della predizione.

È opportuno sottolineare il carattere quantitativo che ogni teoria deve assumere. Non basta descrivere qualitativamente un fenomeno, è necessario conoscerlo e prevederlo per mezzo di quantità ben definite e misurabili. I risultati che un ricercatore raggiunge in laboratorio devono poter essere confrontati con quelli ottenuti da altri.

Non è detto che le quattro fasi qui elencate si presentino proprio in quest'ordine. Una teoria può essere il frutto di puro ragionamento, ma non può fare a meno di sottoporsi alla verifica sperimentale. Se il risultato smentisce la teoria, questa viene abbandonata e si torna in laboratorio eseguendo altre misure, alla ricerca di nuove evidenze e di una nuova teoria, che ancora una volta deve sottoporsi alla verifica sperimentale, riprendendo il ciclo. Il termine *laboratorio* va inteso in senso lato: il laboratorio è un qualsiasi luogo dove si fanno misure e si osservano i fenomeni (naturali o artificiali).

Sia negli scritti di Cartesio sul metodo che in quelli di Galileo si afferma che partendo da problemi semplici si riducono le difficoltà e che solo successivamente si possono affrontare problemi più complessi. Galileo scrive:

"Io stimo più il trovare un vero, benchè di cosa leggera, che 'l disputare lungamente delle massime questioni senza conseguire verità nessuna [2]"

Questo approccio viene chiamato *riduzionista*: si cerca di isolare il fenomeno in esame da altri fenomeni che possono nascondere l'essenza. Il *riduzionismo* ha permesso di ottenere tanti successi nella ricerca scientifica, ma indubbiamente può risultare inadeguato nell'affrontare la sfida della complessità. Si pensi alla medicina: è praticamente impossibile separare un singolo organo dall'intero organismo.

Le problematiche connesse al metodo scientifico sono numerose. Ad esempio: quali sono i limiti del riduzionismo? il metodo scientifico è adattabile a tutte le discipline? Questa breva nota non pretende di approfondire queste tematiche, semplicemente si vogliono presentare alcuni

esempi (principalmente nel campo della fisica) di applicazione del metodo scientifico.

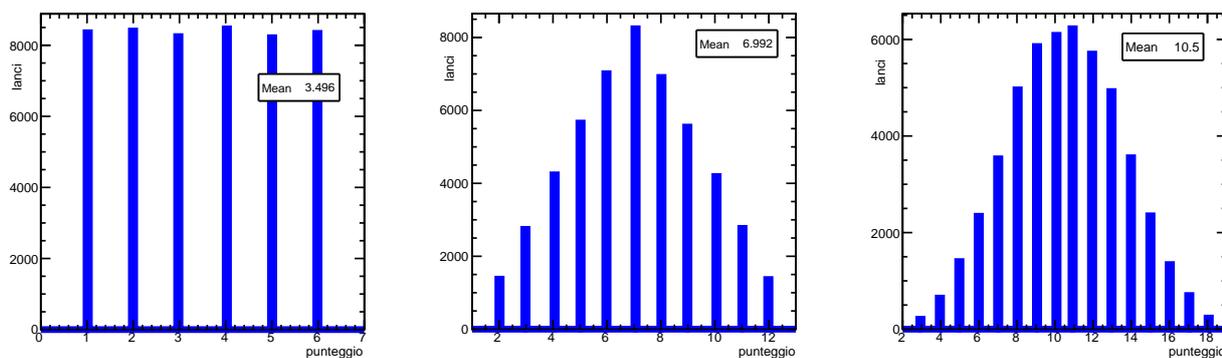
## L'esperimento del *gran navilio*

Un esempio mirabile si trova leggendo quanto scrive Galileo in difesa della teoria sulla rotazione terrestre. Contro questa teoria si obiettava che la rotazione comporterebbe effetti evidenti che in realtà non vengono osservati. Ad esempio, lanciando un oggetto verso l'alto questo dovrebbe ricadere ad una certa distanza dal punto di lancio perché la Terra si sarebbe spostata mentre l'oggetto è in volo. Contro quest'argomento Galileo propone il seguente esperimento [3]:

"Riserratevi ... sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle ... un gran vaso d'acqua, e ... de' pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca ... stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animaletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti ... i pesci si vedranno andar notando indifferente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto e voi, gettando all'amico alcuna cosa, non più gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che verso questa; e saltando voi ... a piè giunti, eguali spazii passerete verso tutte le parti."

E continua:

"... fate muover la nave con quanta si voglia velocità; chè (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, nè da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma: voi saltando passerete nel tavolato i medesimi spazii che prima, ... le goccioline cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso poppa, benchè, mentre la gocciola è per aria, la nave scorra molti palmi..."



**Figura 1:** A sinistra: distribuzione dei punteggi per il lancio di un singolo dado (ovviamente il punteggio è compreso tra 1 e 6, la media vale  $\sim 3.5$ ). Al centro: distribuzione dei punteggi per il lancio di due dadi (punteggio totale tra 2 e 12, media  $\sim 7$ ). A destra: distribuzione dei punteggi per il lancio di tre dadi (punteggio totale tra 3 e 18, media  $\sim 10.5$ ).

Il lettore non si faccia ingannare dallo stile letterario (peraltro pregevole) di Galileo, privo di formule matematiche. Il ragionamento che viene qui sviluppato è denso di contenuti scientifici: viene definito il sistema inerziale (la nave in navigazione con velocità costante) e viene formulato il principio della relatività Galileiana (non c'è modo di sapere se la nave è ferma o meno). L'esperimento proposto è riproducibile da chiunque e le osservazioni da fare sono ben definite: l'osservatore deve verificare che la caduta della goccia avvenga proprio sulla verticale in modo da centrare la bocca del recipiente sottostante. Si tratta di un'applicazione rigorosa del metodo scientifico (misure quantitative e riproducibili per demolire le argomentazioni di chi non crede alla rotazione terrestre).

## Giocare a dadi (digressione statistica)

Non è facile esporre sinteticamente le tecniche che vengono usate per valutare i risultati di una singola misura oppure di un esperimento complesso. Ma un esempio semplice come il lancio dei dadi permette di introdurre alcuni concetti di statistica e quindi di valutare un certo risultato anomalo.

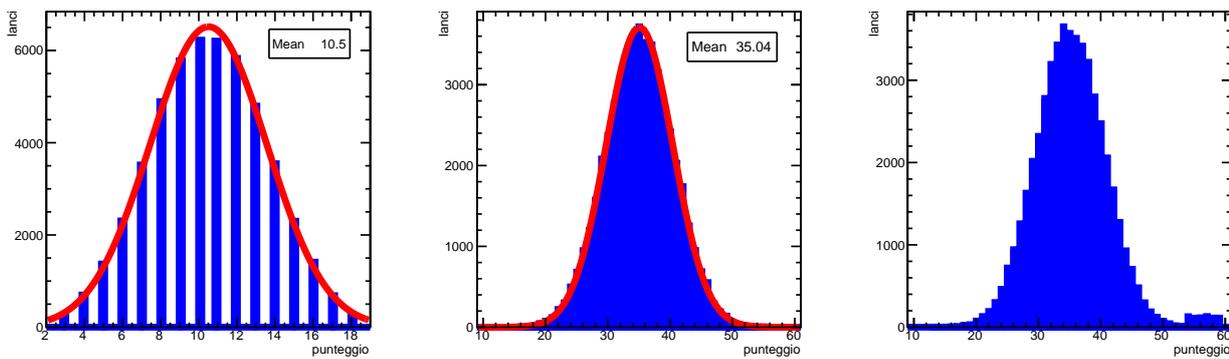
In figura 1 sono rappresentate le distribuzioni ottenute simulando (metodo di Monte Carlo) per 50 mila volte il lancio di un solo dado, due e tre dadi, rispettivamente. Nel caso di un solo dado

la distribuzione è uniforme, con piccole fluttuazioni, perché ogni valore (da 1 a 6) è ugualmente probabile. Nel caso di due dadi la distribuzione assume una forma triangolare, in altre parole è più probabile che la somma dei due dadi valga 7 perché questo punteggio è il risultato di diverse combinazioni (1+6, 2+5, 3+4 e viceversa 6+1, 5+2, 4+3) mentre i punteggi 2 e 12 sono poco probabili, perché dovuti ognuno ad una sola combinazione (1+1, 6+6, rispettivamente). Nel caso di tre dadi la distribuzione assume una forma a campana, che merita particolare attenzione.

Tale forma a campana si può approssimare con la funzione di probabilità elaborata da Carl Friedrich Gauss:

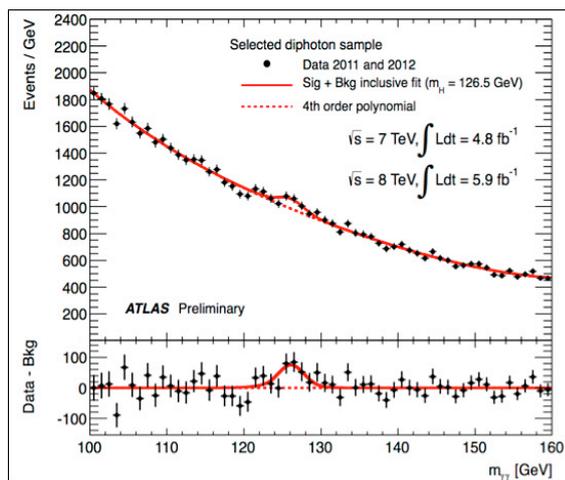
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

nella quale il parametro  $\mu$  rappresenta il valore centrale ed anche quello più probabile, mentre  $\sigma$  è il parametro associato alla larghezza della distribuzione. Come si vede dalla figura 2 la curva Gaussiana approssima abbastanza bene la distribuzione per il lancio di tre dadi ed anche meglio quella per il lancio di dieci dadi. Esiste un teorema (teorema del limite centrale) in base al quale la somma di molte grandezze si distribuisce secondo la funzione Gaussiana, indipendentemente da quale sia la distribuzione di ogni singola grandezza. Nel caso in esame, sebbene la distribuzione per il punteggio di un singolo dado sia uniforme, quella per il punteggio di dieci dadi è una Gaussiana. Analogamente suc-



**Figura 2:** A sinistra: la distribuzione dei punteggi per il lancio di tre dadi è interpolata con una funzione Gaussiana (curva rossa). Al centro: la distribuzione dei punteggi per il lancio di dieci dadi (punteggio totale tra 10 e 60, media  $\sim 35$ ) è interpolata con una funzione Gaussiana (curva rossa). A destra: la distribuzione relativa al lancio di dieci dadi presenta un'anomalia: i punteggi superiori a 53 presentano una numerosità eccessiva, non compatibile con la distribuzione Gaussiana.

cede che una misura possa essere condizionata da molte cause di incertezza e questo comporta che la misura, ripetuta più volte, si distribuisca secondo la Gaussiana, che viene anche chiamata "distribuzione normale".



**Figura 3:** Evidenza del bosone di Higgs nei dati dell'esperimento Atlas [5]. La linea rossa tratteggiata rappresenta il numero di eventi attesi senza ipotizzare il bosone di Higgs. La linea rossa continua rappresenta lo stesso numero ipotizzando che il bosone esista ed abbia una certa massa (126.5 GeV). I risultati sperimentali (punti neri) non sono compatibili con la linea tratteggiata.

Una volta nota la distribuzione normale (o Gaussiana) per il punteggio totale ottenuto lanciando dieci dadi (al centro in figura 2), è possibile interpretare quantitativamente la distribuzione raffigurata a destra nella figura 2. È evidente la presenza di un'anomalia: i punteggi più alti si

presentano un numero di volte eccessivo rispetto all'attesa. In particolare, in base alla distribuzione Gaussiana riferita a 50 mila lanci dei dieci dadi, solo in circa 11 casi si dovrebbero ottenere punteggi superiori a 53. Invece se ne contano più di 700 ed è altamente improbabile (praticamente impossibile) che questo sia dovuto al caso. Si può dunque concludere che qualche dado è truccato.

Non è opportuno approfondire ulteriormente l'argomento in questa sede, ma la teoria degli errori e la conoscenza di un certo fenomeno permettono di distinguere tra una possibile fluttuazione statistica della misura oppure la scoperta di un'anomalia, incompatibile con le conoscenze generalmente accettate. In questo modo i ricercatori verificano la correttezza di una teoria o viceversa individuano delle incongruenze che portano a nuove scoperte (nel nostro esempio, un po' banale, abbiamo scoperto che i dadi sono truccati). Nel seguito verranno presentati alcuni casi esemplari.

## I successi del metodo scientifico

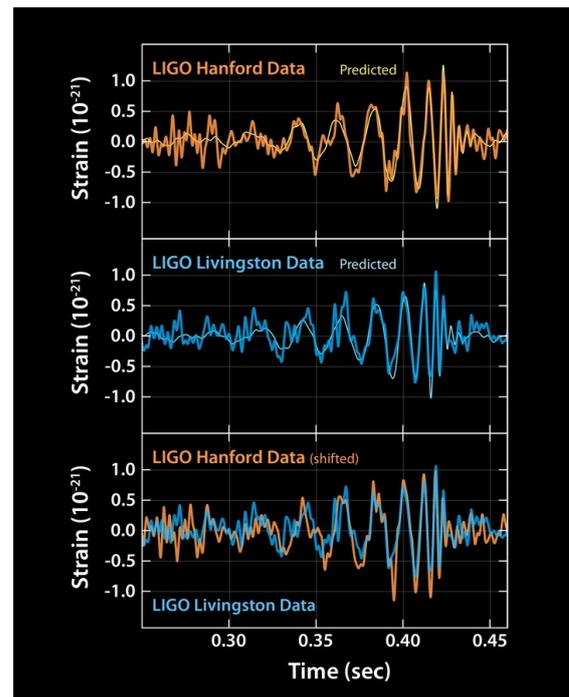
**Il bosone di Higgs** - La scoperta del bosone di Higgs è un ottimo esempio della potenza del metodo scientifico ed è sufficiente ricordare quanto già detto sui dadi truccati per comprendere come i ricercatori degli esperimenti Atlas e CMS nel 2012 hanno potuto dichiarare al mondo di aver trovato il bosone, la cui esistenza era stata ipotizzata nel 1964. Nella figura 3 sono rappre-

sentate due curve rosse (una tratteggiata e l'altra continua). Esse rappresentano cosa ci si aspetta assumendo che il bosone non esista (curva tratteggiata) e cosa invece nell'ipotesi che esista ed abbia una certa massa (linea continua). In quasi tutto il grafico le due curve sono sovrapposte e quindi indistinguibili, ma c'è un piccolo intervallo in cui le due curve si separano. In quell'intervallo le misure (punti neri) si sovrappongono alla curva continua e sono ben separati da quella tratteggiata. Ai punti sperimentali sono associate delle *crochette* che rappresentano le incertezze delle misure, ma anche tenendone conto i punti sperimentali restano ben separati dalla curva tratteggiata e quindi la curva intera è favorita, per cui si può affermare l'esistenza del bosone con una certa massa.

**La falena prevista** - In Madagascar esiste un fiore (Orchidea Cometa) dotato di uno sperone nettario estremamente lungo (25-30 cm). Ai tempi di Darwin non si conosceva nessun insetto in grado di impollinare un fiore con queste caratteristiche. Darwin affermò che la selezione naturale avrebbe portato all'estinzione quella specie di orchidea se in parallelo non si fosse evoluto un insetto in grado di impollinarla. Su questa base ipotizzò l'esistenza di una falena con una spirotromba sufficientemente lunga [4]. Mezzo secolo più tardi questa falena fu effettivamente individuata e fu chiamata *Xanthopan morgani praedicta*, proprio per ricordare la predizione di Darwin.

**Le onde gravitazionali** - Nel 1916 Albert Einstein ipotizzò l'esistenza delle onde gravitazionali: perturbazioni dello spazio-tempo dovute a interazioni gravitazionali. Nel 1974 Hulse e Taylor (Nobel nel 1993) verificarono che il sistema binario PSR 1913-16 perdeva energia proprio nella misura prevista dalla relatività generale, ipotizzando l'emissione di onde gravitazionali. Nel 2015 gli avanzamenti tecnologici permettono la costruzione di interferometri particolarmente sensibili e la collaborazione Ligo-Virgo ne mette un funzione due, posizionati a circa 3000 km di distanza. Poco dopo la loro messa in funzione su entrambi viene osservato lo stesso segnale nello stesso momento, simile a quello teoricamente ipotizzato per le onde gravitazionali (figura 4).

In realtà tra i due segnali c'è un ritardo di 10 ms, proprio il tempo che impiega la luce a percorrere i 3000 km che separano i due interferometri (le onde gravitazionali si pensa che viaggino alla velocità della luce). La probabilità che un disturbo casuale degli strumenti di misura si riproduca uguale su due interferometri così lontani è praticamente nulla e sulla base di questa considerazione gli scienziati di Ligo-Virgo hanno affermato di aver osservato direttamente un'onda gravitazionale.



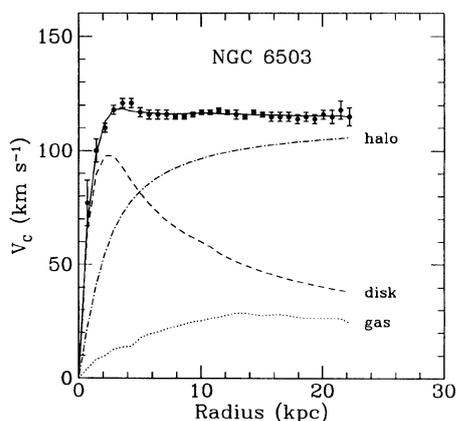
**Figura 4:** La scoperta delle onde gravitazionali: il segnale rilevato dall'interferometro ad Hanford è sovrapponibile a quello rilevato a Livingston, nonostante i due apparati distino 3000 km [7].

## Stelle di periferia e materia oscura

Nelle galassie a spirale la gran parte delle stelle è concentrata nel bulbo (*bulge*). Questo comporta che, in base alla fisica Newtoniana, la velocità ( $v$ ) delle stelle esterne al *bulge* deve risultare

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (2)$$

dove  $G$  è la costante di gravitazione universale,  $M$  la massa della *bulge* ed  $r$  la distanza della stella dal centro della galassia. In altre parole, in base alla equazione 2, ci si aspetta che la velocità diminuisca all'aumentare della distanza. In realtà le misure (figura 5) mostrano che, per le stelle esterne alla *bulge*, la velocità è praticamente costante, quindi indipendente dalla distanza.



**Figura 5:** Velocità delle stelle (in  $km/s$ ) in funzione della distanza (in  $kpc$ ) dal centro della galassia NGC 6503 [6]. I punti neri rappresentano le misure. Le diverse curve quella che sarebbe la velocità delle stelle ipotizzando che la galassia sia composta solo dalla materia visibile (*disk*) o solo da gas oppure che ci sia solo materia oscura distribuita in un alone (*halo*). Come si vede la velocità attesa per effetto della materia visibile non è compatibile con i dati osservativi. La curva continua, che ben si adatta ai punti sperimentali, è la somma dei diversi contributi (*disk+gas+halo*).

Questa anomalia, confermata da altre misure simili, potrebbe essere risolta ipotizzando che la materia osservabile (quella luminosa) è solo una parte della materia presente nelle galassie e che esiste un alone di materia invisibile attorno al disco delle galassie che si manifesta solo per effetto gravitazionale. Molti tentativi di osservare questa materia oscura (*dark matter*) finora non hanno dato risultati, il problema resta aperto e c'è chi mette in discussione la meccanica Newtoniana. Questa anomalia non viene vista come una sconfitta da parte della comunità scientifica, ma piuttosto come un'opportunità per nuove entusiasmanti scoperte.

## Più veloci della luce?

Per studiare le oscillazioni dei neutrini, un fascio di queste particelle, veniva emesso dal CERN di Ginevra e inviato in direzione dei laboratori sotterranei del Gran Sasso, a circa  $730 km$  di distanza, dove l'esperimento Opera era in grado di rivelarli.

Dopo accurate misure sul tempo di volo dei neutrini, nel settembre 2011 venne pubblicato un articolo [8] in cui la collaborazione Opera dichiara di aver misurato che la velocità dei neutrini ( $v$ ) è maggiore di quella della luce ( $c$ ). Questo è il dato che compare nell'articolo:

$$\frac{v - c}{c} = (0.00248 \pm 0.00028 \pm 0.00030)\% \quad (3)$$

In altre parole, la differenza è piccola, ma significativa ( $0.00248\%$ ), la misura è affetta da un'incertezza statistica ( $\pm 0.00028\%$ ) e da un'incertezza sistematica ( $\pm 0.00030\%$ ), ma non tali da rendere  $v - c$  compatibile con 0 (se  $v - c$  valesse 0 si dovrebbe concludere che i neutrini non superano la velocità della luce).

La misura suscitò grande scalpore perché metteva in discussione uno dei pilastri della fisica moderna, cioè l'assunzione che la velocità della luce non possa essere superata. Ma il metodo scientifico richiede che la misura sia ripetibile e infatti altri ricercatori la ripeterono utilizzando altri rivelatori posizionati nei laboratori del Gran Sasso. I risultati di queste nuove misure furono molto diversi: i neutrini non sembravano superare la velocità della luce. Nel frattempo i ricercatori di Opera individuarono una possibile causa di errore (un cavo mal collegato).

A luglio del 2012 l'articolo di Opera venne corretto [9]. Nella nuova versione la differenza tra  $v$  e  $c$  si riduce di un ordine di grandezza (circa 10 volte). Da  $0.00248\%$  si passa a  $0.00027\%$  e quindi diventa compatibile con gli errori sperimentali che restano simili a quelli del settembre 2011 [formula 3].

Nell'arco di pochi mesi, l'applicazione del metodo scientifico, in particolare la necessità che la misura sia ripetibile (e sia effettivamente ripetuta),

aveva fatto giustizia di una falsa scoperta.

## Conclusioni

In merito al metodo scientifico molto altro ci sarebbe da scrivere, con un ben maggiore livello di approfondimento. In questa breve nota si son voluti comunque fornire alcuni elementi di riflessione e molti esempi, si spera utili per ragionare sul metodo scientifico. La verifica sperimentale è l'elemento che caratterizza la scienza, la falsificazione di una teoria non rappresenta un fallimento, è piuttosto il passaggio necessario per arrivare a nuove scoperte e ad una migliore comprensione della realtà. La conferma oppure la falsificazione di una teoria si può avere in pochi mesi oppure dopo molti anni. Lo sviluppo tecnologico a volte fissa questi tempi: una misura irrealizzabile diventa fattibile anni dopo. Quanto dovremo ancora aspettare per sapere se la materia oscura esiste? E nel caso esista: cos'è?

del Salento. Nei primi anni della sua carriera, all'Università di Urbino, si è interessato di storia della fisica e di elettronica quantistica. Trasferitosi a Lecce nel 1988, si è dedicato alla fisica astroparticellare, nell'ambito delle attività dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Ha collaborato all'esperimento MACRO presso i laboratori sotterranei del Gran Sasso, contribuendo alle analisi sui neutrini atmosferici che portarono alla scoperta del fenomeno delle oscillazioni. Successivamente si è dedicato all'esperimento ARGO-YBJ presso l'osservatorio di alta quota di YangBaJing in Tibet. Attualmente è attivo nell'analisi dei dati sui raggi cosmici provenienti dal satellite DAMPE e collabora alla progettazione dell'esperimento DUNE negli Stati Uniti.

Questa lezione è stata presentata il 19 febbraio 2019 all'ISUFI nell'ambito dei seminari del *Laboratorio didattico ISUFI sul metodo scientifico*.



- [1] R. CARTESIO: *Regole per la guida dell'intelligenza*. Bompiani, Milano (2000).
- [2] G. Galilei, nota a margine in uno scritto indirizzato al padre Campanella.
- [3] G. GALILEI: *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*. Einaudi, Torino (1970).
- [4] C. DARWIN: *I vari espedienti mediante i quali le orchidee vengono impollinate dagli insetti*. ETS, Pisa (2009).
- [5] <https://atlas.cern/node/1116>
- [6] K. FRESSE: "Review of Observational Evidence for Dark Matter in the Universe and in upcoming searches for Dark Stars", *EAS Publ.Ser* 36 (2009) 113-126. arXiv:0812.4005 [astro-ph]
- [7] <https://www.ligo.caltech.edu>
- [8] <https://arxiv.org/abs/1109.4897v1>
- [9] <https://arxiv.org/abs/1109.4897v4>



**Paolo Bernardini:** professore associato di Fisica Nucleare e Subnucleare presso l'Università



# Il peso dell'osservare: il ruolo del soggetto nel Metodo Scientifico

**Mario Angelelli** Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione, Università del Salento

---

**N**el procedere del progresso scientifico, descriviamo i fenomeni o il nostro rapporto con essi? Lungi dal poter dare risposte definitive, questa domanda verrà discussa concentrandosi sul ruolo del soggetto/osservatore nell'ambito del Metodo Scientifico. Si evidenzieranno alcuni esempi di limite alla conoscibilità o comunicabilità dei fenomeni, così come la rilevanza delle assunzioni e il concetto di informazione nell'inferenza di verità scientifiche. Tali limiti possono rappresentare una risorsa, rendendo il Metodo dinamico e adattabile alla creazione di nuova conoscenza.

## Limiti alla conoscenza e comunicabilità

Il processo di scoperta e creazione di conoscenza è, implicitamente, un riconoscimento della *manca*za di conoscenza. Alcuni aspetti di tale ignoranza, però, possono non dipendere da noi, ma da limiti alla descrizione dei fenomeni, degli eventi e della nostra relazione con essi.

Nel procedere della ricerca, difatti, l'uomo si è spesso trovato davanti a paradossi, a osservazio-

ni in contrasto con ipotesi ritenute valide e basate sul senso di coerenza. Sono emblematiche, a tale riguardo, le due rivoluzioni della fisica moderna: la Teoria della Relatività e la Meccanica Quantistica. Queste teorie hanno certamente risolto delle contraddizioni, ma abbiamo dovuto sacrificare delle certezze che reputavamo stabili. La relatività, ad esempio, ha accordato la meccanica con l'elettromagnetismo, demolendo però il concetto di simultaneità assoluta [1]. È quindi necessario distinguere i limiti della nostra conoscenza attuale, un fattore prettamente umano, da ciò che è intrinsecamente non conoscibile o non comunicabile.

Tale aspetto ha un forte impatto sulla definizione del Metodo Scientifico, poiché sposta l'attenzione dalla descrizione dei fenomeni alla descrizione del nostro rapporto con essi. Nella prima prospettiva, il Metodo descrive il naturale procedere delle scoperte, una procedura coerente per superare i limiti della nostra conoscenza. Tale coerenza non è solo un aspetto interno a una teoria, ma anche legata alle teorie passate: ritornando alla relatività di Einstein, questa supera la fisica Newtoniana, ma non la contrasta. La dinamica di Newton continua a valere con buona approssimazione all'interno di un certo intervallo di valori delle velocità coinvolte. La

teoria pre-relativistica non è quindi sbagliata o incoerente, e può essere vista come un modello-limite della Relatività. In questo caso, dunque, il limite è puramente umano e tecnologico: oggi abbiamo gli strumenti per osservare fenomeni che avvengono ad energie irraggiungibili senza un'adeguata tecnologia.

Discorso analogo vale per gli effetti quantistici, come ad esempio il dualismo onda-particella: esso non contrasta la fisica classica, ma solo la nostra percezione, dove i concetti di particella e di traiettoria sembrano disgiunti da quelli propri dei fenomeni ondulatori. Ciò non vale nel reame quantistico, e tale consapevolezza è arrivata solo quando abbiamo potuto osservare scale spaziali molto più piccole rispetto al mondo umano, macroscopico. Con il supporto della tecnica, quindi ampliamo le nostre capacità di osservazione, ma le nuove teorie contengono quelle passate come modelli efficienti, cioè casi particolari, senza contraddizioni interne.

Tale processo di estensione non è, però, gratis: spesso ci impone di dover sacrificare qualche proprietà desiderabile. Sempre all'interno del reame quantistico, un esempio è quello del principio di indeterminazione di Heisenberg: esistono coppie di osservabili fisiche, come posizione e momento, che non possono essere simultaneamente misurate con un arbitrario grado di precisione. Ciò pone, appunto, un limite alla loro compatibilità. Un limite, questo, intrinseco, non dipendente dall'accuratezza della nostra tecnologia, ma costituente dei fenomeni quantistici.

I fondamenti di tali aspetti controintuitivi possono legarsi ad un'altra accezione di limite alla conoscibilità, che include la possibilità che una visione unificante non esista: che esistano, cioè, molteplici descrizioni dei fenomeni, con aspetti di accordo e altri di contrasto, tutte individualmente coerenti col Metodo Sperimentale, ma mutualmente incompatibili quando considerate insieme.

## Un caso emblematico: il paradosso EPR

L'evoluzione dello studio e della riflessione sugli aspetti succitati ha portato a doversi confrontare, oggi, con fenomeni nei quali non è garantito

che un valore di verità di un'affermazione scientificamente verificabile tramite esperimenti sia determinato all'interno di ciò che si osserva. Esso potrebbe, invece, dipendere fondamentalmente dalla relazione tra oggetto e soggetto (chi osserva). Questa soggettività emerge appunto da una pluralità di descrizioni, intese qui come osservazioni che possono essere condotte e validate da esperimenti, e i cui valori di verità non sono necessariamente compatibili.

Per dimostrare quanto possa essere drastico il limite alla conoscibilità dei fenomeni e come questo si ripercuota necessariamente sui concetti di coerenza e valore di verità, fondanti la validità scientifica, ritorniamo alla fisica quantistica e alla sua relazione con le basi della relatività, in particolare la causalità: sistemi separati da una certa distanza non possono influenzarsi istantaneamente. Uno dei primi esempi di incompatibilità tra queste due teorie è stato evidenziato da Einstein che, con Podolsky e Rosen [2], ha costruito un *Gedankenexperiment*, un esperimento mentale. I postulati da cui partivano i tre fisici erano, anch'essi, tre:

- **località** (legata alla causalità): l'influenza di un sistema su un altro sistema distante si propaga a velocità finita (limitata, cioè, da quella della luce);
- **realismo**: se possiamo predire con certezza il valore di una quantità fisica senza perturbare il sistema, allora esiste un corrispondente elemento di realtà fisica, vale a dire una proprietà oggettiva del sistema, indipendente dall'osservatore;
- **completezza**: ogni elemento di realtà fisica ha una controparte nella teoria – cioè, la teoria contiene le entità e l'informazione necessaria per descrivere la realtà fisica.

Nel loro esperimento mentale, EPR hanno mostrato come le previsioni della fisica quantistica, in particolare l'indeterminazione di Heisenberg, fossero incompatibili con queste tre assunzioni prese simultaneamente: da ciò, appunto, il Paradosso EPR. Quindi, i postulati sono troppo stringenti e, per mantenere la coerenza interna, qualcosa deve essere sacrificato. L'approccio EPR era quello di sacrificare la completezza, dato che località e realismo non erano messi in discussione.

Ciò ha ventilato l'ipotesi dell'incompletezza della teoria quantistica e dell'esistenza di alcune variabili nascoste che completassero l'informazione sul sistema.

Qualche anno dopo, John Bell [3] ha dimostrato un insieme di proprietà che devono essere soddisfatte da alcune quantità in un sistema con località, realismo e variabili nascoste: queste quantità sono note come le disuguaglianze di Bell. Ecco, le teorie quantistiche violano queste disuguaglianze.

Cosa possiamo trarne? In primo luogo, che non tutta l'incertezza è probabilità. Le probabilità di eventi congiunti appartenenti a un medesimo spazio degli eventi devono soddisfare certe relazioni, ma le correlazioni quantistiche sono un esempio di fenomeno che sfugge a una descrizione classica tramite probabilità. In secondo luogo, si deve rinunciare all'insieme dei tre postulati succitati e, almeno per questo tipo di sistemi, accettare l'innegabile legame tra osservatore e osservato, tra soggetto e oggetto, almeno in certi sistemi fisici<sup>1</sup>.

## Il ruolo delle ipotesi: soggettività e oggettività, locale e globale

La rilevanza dell'osservatore non è una novità nell'ambito del Metodo Scientifico. La stessa relatività (di Galileo prima, di Einstein poi) ci dice come le descrizioni varino al variare del sistema di riferimento. Tale dipendenza dalla prospettiva dell'osservatore non è però da intendersi come un cambiamento arbitrario. Tutt'altro, esso è un modo di descrivere il cambiamento della descrizione dei fenomeni in modo tale da preservare le leggi fisiche nei singoli sistemi di riferimento. Questo cambiamento è determinato da leggi ben precise: un osservatore può scegliere di adottare un sistema di riferimento o un altro, ma la relazione tra le due descrizioni che derivano è ben definita<sup>2</sup> e non è ambigua. È poi l'esperimento, definito da una procedura chiara e comunicabile per garantirne la riproducibilità, che permette di validare o falsificare una teoria. Tale riproducibi-

<sup>1</sup>Chiaramente, l'entità di questa dipendenza ci è relativamente nascosta a livello macroscopico.

<sup>2</sup>Le trasformazioni di Lorentz nel caso della Relatività Speciale, i diffeomorfismi nel caso della Relatività Generale.

lità fa sì che ciò che rileva un osservatore, a livello statistico e al netto delle incertezze sperimentali (fattori contingenti), sia compatibile con ciò che rileva un altro osservatore nelle stesse condizioni. Dopo aver scelto di condurre un esperimento, si otterrà un valore di verità classico, vero o falso, per espressioni relative a fenomeni verificabili come, ad esempio, un fotone è stato rilevato da un apparato sperimentale).

Tale discorso, però, poggia su diverse ipotesi di fondamentale importanza, fra le quali spiccano la scelta dell'esperimento da svolgere e il suo effettivo svolgimento: ipotesi che, nella loro semplicità, hanno effetti sorprendenti nell'estrazione di informazione e conoscenza all'interno del processo scientifico. Anche in questo caso, il reame quantistico offre esempi di profondo valore: la scelta dell'esperimento da svolgere si traduce nel considerare una molteplicità di osservabili fisici, così come le relazioni di compatibilità e incompatibilità tra di essi. La dipendenza degli esiti delle misurazioni da tale scelta va sotto il nome di contestualità, formalizzata nell'impossibilità di assegnare valori di verità a delle proprietà osservabili sperimentalmente in modo univoco e indipendente dalla scelta dell'insieme di proprietà da osservare (il contesto) [4]. A sua volta, nei fenomeni quantistici la contestualità si lega alla seconda assunzione, la realizzazione dell'esperimento, nella forma di non-controfattualità [5]: solo gli esperimenti effettuati hanno un definito valore di realtà.

L'entità e il ruolo dell'osservatore sono quindi diversi nel caso della relatività e in quello quantistico. In relatività, la dipendenza è il risultato di assunti fondamentali che affermano l'equivalenza delle leggi fisiche in sistemi equivalenti. Le leggi che traducono la descrizione di un fenomeno da un sistema di riferimento all'altro emergono, di fatto, allo scopo di preservare dette leggi fisiche.

Nell'ambito quantistico, invece, la dipendenza dall'osservatore non risiede tanto nella scelta delle coordinate, quanto nella definizione dei valori di verità in sé: tanto la scelta di cosa osservare (il contesto) quanto quella di osservarla (non-controfattualità) contribuiscono a determinare gli esiti di un esperimento e le proprietà che si osservano. Ciò evidenzia un livello più profondo di indeterminazione, non legato a una

diversa scelta di scale o coordinate, né all'uso delle probabilità<sup>3</sup>, ma intrinseco nel rapporto tra sistema osservato e osservatore.

Lungi dall'essere una speculazione, lo studio dei fatti accessibili a diversi osservatori è uno degli ambiti di grande dibattito nelle teorie fisiche, oltre ad essere una bussola verso la definizione di esperimenti che possano validarle o falsificarle empiricamente. Un esempio paradigmatico è fornito da una semplice domanda sul senso delle osservazioni e delle misurazioni, concetti primari nel Metodo Scientifico: un primo osservatore conduce un esperimento in un laboratorio, e un secondo osservatore, dall'esterno, sa che tale esperimento è stato condotto ma non ne conosce l'esito. Su tali basi, entrambi possono misurare delle quantità relative allo stato che osservano: che risultati possono trarne? Tale quesito è la base per un ulteriore esperimento mentale, condotto da Wigner (e da un suo amico [6]). Anche in questo caso, si dimostra l'impossibilità di assegnare valori di verità univoci relativi a proprietà osservate dai due osservatori, se si assumono ulteriori criteri come la già citata località e la libertà di scegliere l'esperimento da effettuare. Come anticipato, la rilevanza di tali riflessioni trascende gli aspetti concettuali e si riflette nella concreta definizione di misurazioni da effettuare: recenti esperimenti [6] supportano i risultati di Wigner e, quindi, l'inevitabile ruolo del soggetto nella co-definizione delle proprietà osservate.

È in questo passaggio, da locale, il singolo soggetto, a globale, una molteplicità di possibili soggetti, scelte ed osservazioni, che si esce fuori dai reami della logica classica.

## Oltre la logica standard

La discussione precedente porta a una riflessione su cosa intendiamo come valore di verità. Ciò non coinvolge esclusivamente il valore in sé<sup>4</sup>, ma pure il modo che qualifica tali valori (necessità e possibilità), la loro combinazione tramite con-

<sup>3</sup>L'oggetto che racchiude l'informazione sul sistema quantistico evolve deterministicamente: formalmente, una funzione d'onda che evolve secondo l'equazione di Schrödinger.

<sup>4</sup>Anche oltre i valori classici, come si usa nell'ambito delle logiche multi-valore o *fuzzy*.

nettivi logici, se possono essere combinati<sup>5</sup>, e il processo operativo tramite il quale sono ottenuti, aspetto base di ogni metodo scientifico.

Quanto detto in precedenza non è teso a ridurre valore al metodo scientifico sperimentale: al contrario, andando a considerare i limiti e l'applicabilità del metodo, si possono rendere esplicite la dipendenza dalle ipotesi fatte dall'osservatore e il peso della sua informazione pregressa, tanto nella formulazione di un'ipotesi quanto nella scelta di un esperimento che permetterà di validarla, come è evidente nel succitato esperimento di Wigner.

L'informazione condivisa da due osservatori, rappresentata dalla consapevolezza di aver adottato presupposti comuni, diventa un fattore implicito, ma fondamentale, per trarre conclusioni comuni. La mancanza di una base di conoscenza comune può portare ai risultati dedotti da Wigner e verificati empiricamente. Ancora, la già citata contestualità porta due osservatori ad adottare contesti di misurazione compatibili per poter assegnare valori di verità compatibili, quindi a sapere (o concordare) che tipo di esperimento verrà condotto, e la non-controfattualità si lega all'effettiva realizzazione di una tale misurazione.

È quindi evidente che esistano delle basi oggettive attraverso le quali progredire nella conoscenza un esperimento è un protocollo, un algoritmo riproducibile, e due osservatori che seguano lo stesso protocollo, statisticamente, arriveranno a risultati compatibili. Ma, quando si riflette sul metodo di scoperta scientifica, è bene chiedersi cosa renda oggettivi tali presupposti. L'oggettività, nei casi esposti in precedenza, emerge anche dalla condivisione dei presupposti da parte dei diversi soggetti, che comunicano e condividono ciò che rappresenta l'input, l'istanza di questo algoritmo. In questo modo, l'oggettività del dato si combina con la soggettività dell'informazione, passaggio fondamentale nella creazione di nuova conoscenza.

Più in generale, la riflessione sulle ipotesi, implicite e spesso ovvie, e sui processi logici adottati nella ricerca di verità e di coerenza all'interno di una teoria scientifica, si rivela spesso fonte e propulsione di nuova scienza. Un esempio pri-

<sup>5</sup>La già citata incompatibilità tra osservabili fornisce un esempio di incompatibilità nella combinazione di asserzioni.

mario è quello del più semplice contare: ciò che si osserva negli esperimenti che possono essere trattati in maniera quantitativa sono, d'altronde, numeri di eventi. Operativamente, la probabilità entra in gioco in termini di frequenze empiriche relative a un certo evento. Il conteggio, l'aritmetica che apprendiamo alle scuole elementari, è oggettivo nella misura in cui ne condividiamo assiomi e interpretazioni [7], ma ha implicazioni per nulla banali quando si esplora la portata di tali assiomi. Fu Gödel a mostrare che una teoria logica formale, se abbastanza strutturata da poter costruire la semplice aritmetica che si apprende nei primi anni di scuola, avendo quindi le basi per contare, non può essere contemporaneamente non-contraddittoria e completa: in pratica, non tutte le espressioni logiche possono essere dimostrate.

I concetti di verità e di dimostrabilità, quest'ultima legata a un processo operativo, si scindono. Tale passaggio apre un'altra prospettiva sul Metodo, se consideriamo una proprietà giustificata solo dall'esistenza di una dimostrazione, oppure se si richiede l'effettiva costruzione di una dimostrazione. Le ripercussioni pratiche sono profonde: un simile approccio intuizionista è essenziale nella costruzione di algoritmi [8], ma fa perdere un postulato base della logica standard, ossia il fatto che ogni affermazione possa essere o vera o falsa, *tertium non datur*.

Anche in questo ambito, l'esplorazione dei limiti di una teoria, o della sua incompletezza, si può quindi rivelare una risorsa, in particolare quando entra in gioco l'emulazione della cognizione umana, l'Intelligenza artificiale [9, 11, 10]. Lungi dall'essere una mera questione sintattica, difatti, i risultati di Gödel si legano al problema della computabilità di Turing, e la teoria delle dimostrazioni logiche ai linguaggi di programmazione [12, 8].

Come si legano tali discorsi, puramente formali, con il metodo scientifico sperimentale? Parlando di verità e coerenza, dobbiamo tenere in conto che il nostro calcolo logico standard possa non aderire pienamente ad un particolare sistema fisico. Per fornire un caso concreto, partiamo da una forma di ragionamento in cui alcune asserzioni si possono assimilare a risorse che si consumano, e come tali non utilizzabili indiscriminatamente nell'inferenza di altre asserzioni. Un esempio

tipico sono le espressioni

"Con 1 € posso comprare un caffè"

e

"Con 1 € posso comprare una bottiglia d'acqua".

Se è possibile combinare queste due frasi in

"Con 1 € posso comprare un caffè e con 1 € posso comprare una bottiglietta d'acqua",

non è possibile combinarle per inferire che

"Con 1 € posso comprare un caffè e una bottiglia d'acqua".

Le logiche substrutturali che ne derivano, come la logica lineare [13]<sup>6</sup>, entrano nel metodo sperimentale permettendo di trattare peculiari fenomeni fisici con un linguaggio adeguato: anche qui rientrano i processi quantistici, data la struttura che definisce il modo in cui essi si combinano [14].

## Il peso dell'informazione e delle ipotesi

La crescente rilevanza del ruolo dell'osservatore e delle sue ipotesi di lavoro nei moderni sviluppi scientifici porta a definire strumenti per poter evidenziare e trattare il concetto di informazione e la sua evoluzione, da *a priori* ad *a posteriori*. È interessante che ci venga in aiuto il concetto di entropia, originato in termodinamica e alla base dell'introduzione della probabilità e della statistica in fisica: la nostra ignoranza sulle condizioni dei fenomeni microscopici, l'ipotesi di caos molecolare di Boltzmann [15], un aspetto pertanto legato all'informazione accessibile all'osservatore umano, è fondamentale nel dimostrare come quella quantità che chiamiamo entropia cresca nel tempo. Il fluire del tempo macroscopico è, quindi, fundamentalmente collegato alla descrizione che l'osservatore dà del fenomeno, al suo livello di conoscenza. Ad esempio, perché vediamo una goccia di colore diluirsi in un bicchiere d'acqua, ma non ci capita di vederla concentrarsi nuovamente in un unico punto?

Oggi, questa nozione ha trascorso la sua accezione originaria: a partire dai legami tra entropia fisica (irreversibilità fisica) ed entropia d'infor-

<sup>6</sup>La logica lineare di Girard è stata anche utilizzata nella costruzione della nuova blockchain Libra, si veda The Libra Blockchain, <https://developers.libra.org/docs/assets/papers/the-libra-blockchain.pdf>.

mazione (irreversibilità logica)<sup>7</sup>, il concetto di entropia, declinato appropriatamente in diversi ambiti, è diventato uno strumento fondamentale nello studio dell'informazione [11] e del suo lato oscuro, l'incertezza con cui ogni forma di scienza deve confrontarsi.

È in questa prospettiva che il metodo dimostra ancora il suo valore: la chiarezza e la comunicabilità di un esperimento, in particolare, sono quell'informazione che, scambiata tra i diversi soggetti, permette di trarre conclusioni compatibili. Tale scambio di informazione non viola la causalità (avviene a velocità non superiori a quella della luce), il che risolve, in parte, il paradosso EPR, dato che il solo atto della misurazione non può essere usato per comunicare informazione<sup>8</sup>. Non si tratta, quindi, di vedere il metodo come sola convenzione, ma di riconoscerne il contributo essenziale nel progresso scientifico, nel passaggio dal dato all'informazione, e poi alla conoscenza.

Se l'entropia può essere uno strumento per estrarre il contenuto informativo, il peso delle proprie assunzioni risalta quando abbiamo vari modelli, tutti compatibili con i dati sperimentali e le osservazioni ad oggi disponibili. Una buona prassi in questi casi è suggerita dal Principio delle spiegazioni multiple di Epicuro [17]:

"Se più teorie sono consistenti con i dati, dovrebbero essere tutte mantenute".

Nel confronto tra tali modelli, si può argomentare come le ipotesi assumano un vero e proprio peso a partire da un principio pragmatico, il rasoio di Occam:

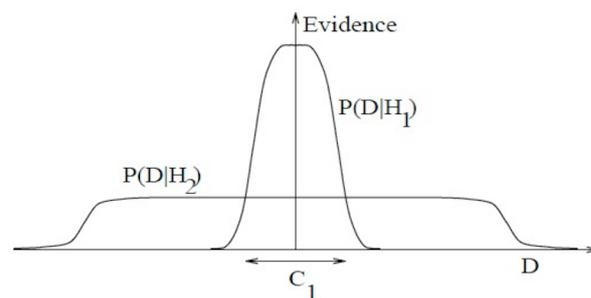
"È futile fare con più mezzi ciò che si può fare con meno".

Tale principio deve però essere inteso (citando Einstein) senza dover rinunciare alla rappresentazione di un singolo dato di esperienza. È su questo vincolo, l'aderenza ai fatti, che si può valutare la semplicità. Dopo aver considerato ciò che è certo (i dati), resta però l'incerto. Il concetto di semplicità di Occam emerge quando ci si chiede perché, tra i possibili esiti di un esperimento, sia uscito proprio quello che è uscito.

<sup>7</sup>La cancellazione di un bit, un processo logico irreversibile, comporta un costo di entropia, legato all'irreversibilità. Si veda [16].

<sup>8</sup>Per la formalizzazione di tale concetto, si rimanda al *no-communication theorem* e a diversi altri teoremi *no-go* relativi all'informazione quantistica [5].

Qui entra in gioco la scelta del modello, che può essere trattato, ad esempio, attraverso l'inferenza Bayesiana [10], la quale permette di quantificare tanto il peso delle nostre ipotesi, quanto la loro evoluzione in risposta ai nuovi dati. In questo formalismo, il rasoio di Occam può essere tradotto con strumenti formali, e si trova che, a parità di spiegazione dei fenomeni osservati, un modello più semplice (ad esempio, con meno parametri liberi da poter aggiustare per adeguarsi ai dati) concentra maggiormente le sue predizioni sui quanto osservato.



**Figura 1:** Il modello  $\mathcal{H}_1$ , più semplice, spiega meglio i dati osservati, nella regione  $C_1$ . Figura estratta da [10].

Anche qui, il rapporto tra soggetto e oggetto è fondamentale: un approccio troppo oggettivo si adagia sui dati osservati, riducendo così il potere di predire fenomeni; un approccio troppo soggettivo esclude il valore dei dati. La virtù, come spesso accade, sta nel mezzo, nel *trade-off* tra tali prospettive.

## Conclusioni: libertà di scelta

Anche le Scienze Naturali, quelle più adatte alla formulazione del metodo Galileiano, oggi includono fenomeni nei quali la relazione tra fenomeno osservato, contesto e osservatore è fondamentalmente diversa rispetto a quella che poteva osservare Galileo. Oggi, infatti, possiamo osservare una varietà di fenomeni che sfuggono ad un approccio riduzionista (come modelli relazionali e complessi) e necessitano di adeguati processi e linguaggi logici.

Esistono quindi molteplici Metodi Scientifici, chiari e coerenti nelle loro formulazioni, che non sono sistemi chiusi, ma interagiscono tra di loro e si alimentano in una continua evoluzione. Ciò include anche alcuni modelli fuori dalle Scienze

Naturali, che da una parte possono trarre giovamento da strumenti analitici e quantitativi, e dall'altra possono contribuire a definire modelli utili nelle Scienze Naturali, come dimostra l'apporto dato dallo studio delle reti sociali alla teoria dei sistemi complessi.

In tutti questi ambiti di ricerca, è necessario convivere con diverse forme di incertezza, e i limiti dati dalle proprie ipotesi di lavoro portano a non escludere nulla a priori: questo vuol dire che tutto è valido? È qui che entra in gioco il passaggio da informazione a conoscenza: nella capacità di discernere. Ponderare, nel vero senso del termine: dare un peso ai modelli e alle ipotesi che si fanno, il che vuol dire, *in primis*, esserne coscienti.

Molti degli spunti trattati - la molteplicità di modelli, la computabilità, la compatibilità col dato oggettivo, la consapevolezza del peso dei propri assunti con adeguati strumenti per evidenziarne il contenuto informativo, l'evoluzione di tali pesi sulla base delle nuove osservazioni - sono gli ingredienti alla base dei primi modelli di intelligenza artificiale [9], ma potrebbero anche essere il valore intrinseco, le basi comuni ai diversi metodi scientifici, nei vari ambiti di ricerca e scoperta della conoscenza dell'uomo. In questo, la libertà di scelta di ciò che si osserva è fondamentale, ma comporta una responsabilità: essere consapevoli delle proprie assunzioni e non sprecare" un singolo dato, un singolo fatto. "Ciò che non è assolutamente possibile è non scegliere" [18]: quest'atto di scelta è un impegno, e ciò non riguarda solo il metodo, ma molti degli aspetti del vivere umano.

Questa lezione è stata presentata il 25 febbraio 2019 all'ISUFI nell'ambito dei seminari del *Laboratorio didattico ISUFI sul metodo scientifico*.



- [1] T. A. DEBS, M. L. REDHEAD: "The twin paradox and the conventionality of simultaneity", *Am. J. Phys.* **64** (1996) 384.
- [2] A. EINSTEIN, B. PODOLSKY, N. ROSEN: "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?", *Phys. Rev.* **47** (1935) 777.
- [3] J. S. BELL: "On the Einstein Podolsky Rosen Paradox", *Physics* **1** (1964) 195. J. S. Bell, *Speakable and unspeakable*

*in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge UK (1987).

- [4] S. KOCHEN, E.P. SPECKER: "The problem of hidden variables in quantum mechanics", *J. Math. Mech.* **17** (1967) 59.
- [5] A. PERES: *Quantum theory: concepts and methods*, Vol. 57. Springer Science & Business Media, New York (2006).
- [6] M. Proietti et al. (2019). Experimental rejection of observer-independence in the quantum world, *ArXiv preprint: arXiv:1902.05080*.
- [7] G. PEANO: *Arithmetices principia: nova methodo exposita*. Fratres Bocca, Roma (1889).
- [8] J.-Y. GIRARD, P. TAYLOR, Y. LAFONT: *Proofs and types*. Cambridge University Press, Cambridge UK (1989).
- [9] R. J. SOLOMONOFF: "A formal theory of inductive inference", *Inform. control* **7** (1964) 1., *ibidem* **7** (1964) 224.
- [10] D. J. C. MACKEY: *Information theory, inference and learning algorithms*. Cambridge University Press, Cambridge UK (2003).
- [11] E. T. JAYNES: *Probability Theory - The Logic of Science*, G. L. Bretthorst (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge UK (2003).
- [12] G. GENTZEN: *The collected papers of Gerhard Gentzen*. North-Holland, Amsterdam (1969).
- [13] J.-Y. GIRARD: "Linear logic", *Theor. Comp. Sci.* **50** (1987) 1.
- [14] B. COECKE (ED.): *New Structures for Physics*. Lecture Notes in Physics, Springer, Berlino (2011).
- [15] P. EHRENFEST, T. EHRENFEST: *The conceptual foundations of the statistical approach in mechanics*. Courier Corporation, North Chelmsford, Massachusetts, USA (2002).
- [16] R. LANDAUER: "Irreversibility and heat generation in the computing process", *IBM J. Res. Dev.* **5** (1961) 183.
- [17] E. ASMIS: *Epicurus' Scientific Method*. Cornell Univ. Press, Ithaca, NY, USA (1984).
- [18] J. P. SARTRE: *L'esistenzialismo è un umanismo*. traduzione di G. Mursia Re, Mursia, Milano (1990).



**Mario Angelelli:** assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento, si occupa della definizione di modelli algebrici e strumenti statistici per l'inferenza applicati a sistemi fisici.



# Grandezze arbitrariamente definite nella scienza: il caso dell'energia

**Giampaolo Co'**

*Dipartimento di Matematica e Fisica "E. De Giorgi", Università di Lecce,  
Istituto di Fisica Nazionale di Fisica Nucleare, sezione di Lecce.*

---

**L**e scienze della natura utilizzano delle entità astratte per organizzare in modo oggettivo, coerente, sintetico e predittivo i risultati di varie osservazioni. Il caso dell'energia è esemplare.

## Meccanica

La formulazione newtoniana della meccanica non include il concetto di energia. È possibile descrivere il moto dei corpi e gli effetti dinamici che le forze inducono su essi, senza mai utilizzarlo. D'altra parte, risulta estremamente comodo utilizzare il principio di conservazione dell'energia per affrontare molti problemi di meccanica. Ma comodità non implica necessità.

Il concetto moderno di energia si sviluppa nel periodo storico che va dalla fine del 1700 fino ai primi anni del 1800, in piena rivoluzione industriale. La spinta alla formulazione di questo concetto nasce dalla necessità di distinguere il lavoro dalla fatica, e da quella di comprendere e formalizzare l'uso delle macchine a vapore.

È ben noto che tenere un peso sollevato da terra implica fatica fisica, ma lo stesso risultato meccanico può essere ottenuto utilizzando un sostegno, un tavolo ad esempio. Una volta sistemato il sostegno, il sistema rimane stabile e solo l'azione di un agente esterno, una forza, ne può modificare lo stato.

Diversa è la situazione quando si vuole mantenere in movimento un apparato, una ruota di mulino, un pistone, una pompa idraulica. In questo caso, è necessario continuare ad alimentare il sistema in qualche modo, ad esempio con la spinta di animali, con lo scorrere di un corso d'acqua, con il calore fornito da un forno.

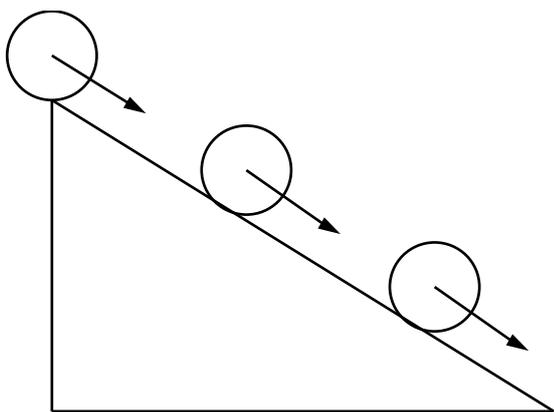
La formalizzazione di questa differenza tra fatica e lavoro è stata effettuata definendo il *lavoro meccanico*,  $W$ , come il prodotto scalare tra il vettore  $F_m$  che identifica la forza applicata ad un corpo, ed il vettore spostamento  $s$

$$W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{s} , \quad (1)$$

cioè il prodotto tra il modulo della forza e la com-

ponente dello spostamento nella direzione in cui è applicata la forza.

Molto spesso l'energia è definita come la potenzialità di compiere lavoro. Ad esempio nel Dizionario Treccani della lingua italiana si legge [1]: *"In fisica, energia di un sistema, l'attitudine del sistema a compiere un lavoro, sia come energia in atto, che opera cioè in un processo in cui si produce lavoro e che è commisurata al lavoro fatto, sia come vera e propria attitudine, cioè come energia potenziale."*



**Figura 1:** Pallina che rotola su un piano inclinato.

Utilizzando il principio di conservazione dell'energia, il caso di una pallina che rotola su un piano inclinato, Figura 1, viene descritto come segue. Alla sommità del piano la pallina possiede solo energia potenziale che poi viene man mano trasformata in energia cinetica dal lavoro svolto dalla forza peso. Quando arriva in fondo al piano la pallina ha solo energia cinetica. Anche in questo caso si può parlare di energia perché la pallina in fondo al piano inclinato può fare lavoro, ad esempio spingendo un'altra pallina.

L'interesse per l'entità teorica *energia* consiste nel fatto che un'appropriata definizione permette di definire un principio di conservazione utilissimo per analizzare i vari fenomeni. Ho presentato un esempio di come usare il principio di conservazione dell'energia. I manuali di fisica generale mostrano molte applicazioni di questo principio in ogni settore della meccanica.

Questa definizione puramente meccanica dell'energia come possibilità di svolgere un lavoro, definito dall'equazione (1), è stata ampliata, e modificata per poter continuare a mantenere valido il principio di conservazione.

## Termodinamica

Nella seconda metà del XVIII secolo, il grande sviluppo della tecnologia industriale basata sulle macchine termiche poneva la comprensione dei fenomeni termodinamici al centro dell'interesse della comunità scientifica dell'epoca. Non è un caso che i principali contributi allo studio di questo ramo della fisica siano stati proposti da scienziati provenienti dalle nazioni in cui maggiore era la presenza di industrie: Gran Bretagna, Francia e Germania.

Un primo tentativo di descrizione teorica dei fenomeni termici fu fatto considerando il calore come un fluido inerte, trasparente ed inodore, che passava da un corpo all'altro scaldando il corpo che lo riceveva e raffreddando quello che lo cedeva. Questo tentativo di definire un'entità teorica che si conserva si dimostrò poco efficiente. La perforazione di metalli per la produzione di canne di cannone indicava che il calore veniva prodotto senza che alcun corpo caldo fosse a contatto con il metallo. Queste osservazioni ispirarono una serie di esperimenti la cui interpretazione collegava il concetto di calore con quello di lavoro meccanico. Questo portò a formulare il primo principio della termodinamica che afferma l'equivalenza tra calore e lavoro.

La quantità che si conserva, utile per la descrizione e comprensione dei fenomeni termodinamici, è l'energia. L'energia non è più solo meccanica, ma è anche termica, legata alla temperatura del sistema. In un ciclo termodinamico, che è quello che svolgono le macchine termiche nel loro funzionamento, questo nuovo tipo di energia non può essere completamente trasformato in lavoro, anche nel caso si utilizzino macchine termiche ideali, cioè senza alcuna perdita dovuta ad attriti. Per poter funzionare, una macchina termica deve lavorare tra due riserve di calore a temperature diverse, e parte dell'energia deve essere rilasciata alla riserva con temperatura inferiore. Questo è il secondo principio della termodinamica.

In termodinamica l'energia ha un ruolo importantissimo. La conservazione di questa quantità permette di descrivere i cicli di macchine termiche considerando la parte che si trasforma in lavoro, fatto dalla o sulla macchina, e quella che si trasforma in calore, rilasciato o assorbito dal-

le riserve a temperature differenti tra le quali la macchina funziona.

## Relatività

La definizione di lavoro (1), e quindi di energia, è strettamente legata al sistema di riferimento in cui si osserva lo spostamento  $\mathbf{s}$ . Due sistemi che si muovono di moto rettilineo uniforme uno rispetto all'altro misurano valori diversi dell'energia per lo stesso processo. Ad esempio, in un sistema di riferimento solidale con il corpo in movimento l'energia cinetica è nulla.

È merito della visione di Einstein della relatività ristretta quello di identificare l'energia non come una quantità universalmente conservata, ma come una delle componenti di un quadrivettore energia-impulso il cui modulo è costante in ogni sistema di riferimento inerziale.

Un esempio di quadrivettore in relatività ristretta, è quello spazio-tempo. Le coordinate spaziali  $\mathbf{r}$  e quella temporale  $t$  di un punto dello spazio sono le componenti di un quadrivettore  $\underline{x} = (ct, x, y, z)$  il cui modulo è dato da

$$\sum_{\mu=0,3} x^\mu x_\mu = c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2 = K, \quad (2)$$

dove  $c$  è la velocità della luce nel vuoto e  $K$  una costante reale. Questa quantità rimane costante, indipendentemente dal sistema di riferimento inerziale in cui si osserva l'evento. Questo significa che due osservatori che si muovono in moto rettilineo uniforme tra loro misurano lo stesso valore della quantità  $K$ , anche se, per loro, tempo  $t$  e spazio  $\mathbf{r}$  sono differenti.

Questo tipo di invarianza ricorda quella del modulo di un vettore rispetto a rotazioni del sistema di riferimento. Anche in questo caso le coordinate  $x, y$  e  $z$  che definiscono  $\mathbf{r}$  sono modificate dalla rotazione, ma il modulo del vettore rimane costante.

L'analogia con l'invarianza dell'equazione (2) spinge a considerare le trasformazioni di Lorentz, che indicano come spazio e tempo si modificano quando osservati in sistemi di riferimento in moto relativo, come fossero rotazioni nello spazio-tempo a quattro dimensioni.

Anche l'energia  $E$  e la quantità di moto  $\mathbf{p}$  sono le componenti di un quadrivettore, detto energia-

impulso, e, in qualsiasi sistema di riferimento soddisfano la relazione

$$\frac{E^2}{c^2} - \mathbf{p}^2 c^2 = m^2 c^2, \quad (3)$$

dove ho indicato con  $m$  la massa della particella nel sistema di riferimento in cui è ferma. In questo sistema di riferimento  $\mathbf{p} = 0$ , quindi si ottiene la famosa equazione

$$E = mc^2. \quad (4)$$

La conservazione del modulo del quadrivettore (3) è la relazione fondamentale nella fisica sperimentale delle alte energie poiché permette l'identificazione di particelle elementari. La produzione di una particella con massa  $M$  è legata alle energie  $E_\alpha$  e agli impulsi  $\mathbf{p}_\alpha$  delle  $N$  particelle in cui decade dalla relazione, detta della massa invariante,

$$(Mc^2)^2 = \left( \sum_{\alpha=1,N} E_\alpha \right)^2 - \left( \sum_{\alpha=1,N} \mathbf{p}_\alpha c \right)^2. \quad (5)$$

La misura di  $E_\alpha$  e  $\mathbf{p}_\alpha$  permette di identificare la massa  $M$  della particella prodotta.

Nel momento in cui la somma delle energie e degli impulsi rivelati non corrisponde all'energia totale del sistema, ad esempio alla somma delle energie delle particelle che si scontrano in un collisore, come LHC, significa che è stata prodotta almeno una particella priva di carica elettrica che, per questo motivo, non lascia traccia nei rivelatori.

Questo tipo di deficit energetico ha spinto W. Pauli, nel 1930, a formulare l'ipotesi dell'esistenza del neutrino, che fu identificato utilizzando la (5) nel 1956 [2].

Un altro esempio più recente ed altrettanto clamoroso è quello dell'identificazione del bosone di Higgs, anche questa una particella elettricamente neutra, scoperta grazie al deficit energetico legato alla (5) [3].

## Conclusioni

L'esempio dell'energia è illuminante su come procede il metodo scientifico. Vengono ideate delle entità astratte che sono utilizzate per mettere in relazione tra loro dati ottenuti dall'osser-

vazione. Queste quantità teoriche, e accanto all'energia posso citare altri esempi come massa, forza, momento angolare, impulso, entropia ..., sono costruite in modo da soddisfare delle caratteristiche ben precise, alcune della quali elencate qui sotto.

- *Oggettività*. La definizione di queste entità è strutturata in maniera tale da essere la meno ambigua possibile, in modo da permettere la comunicazione più precisa ed universale possibile. Per questo motivo, in fisica, si usa il linguaggio più preciso costruito dall'uomo, la matematica.
- *Coerenza*. Le varie entità sono collegate tra loro da legami logici di tipo non contraddittorio. Si usa una logica a due valori, vero o falso, senza alternative. Le teorie che utilizzano questi legami logici tra le varie entità sono internamente coerenti, ovvero non contengono antinomie.
- *Sintesi*. Un'altra proprietà della costruzione teorica che collega queste entità è la minimizzazione delle ipotesi di partenza. A parità di capacità descrittiva dei fenomeni osservati, si preferisce la teoria che richiede meno ipotesi.
- *Predittività*. Si richiede che le teorie abbiano capacità predittive, ovvero possano prevedere nuovi fenomeni, od osservazioni, cioè che non appartengano all'insieme di quei fenomeni od osservazioni utilizzati per costruire le teorie stesse.

Perché nella storia del rapporto tra esseri umani e natura si siano affermate le teorie che godono delle proprietà menzionate sopra, è un interessante argomento che allaccia studi storici, sociologici, psicologici ed antropologici.

Questa lezione è stata presentata il 6 marzo 2019 all'ISUFI nell'ambito dei seminari del *Laboratorio didattico ISUFI sul metodo scientifico*.



[1] Enciclopedia Treccani,  
[www.treccani/enciclopedia/energia](http://www.treccani/enciclopedia/energia)

[2] G. Co': "Neutrini ed interazione debole", *Ithaca VI* (2015) 7.

[3] A. NISATI: "La scoperta del bosone di Higgs", *Ithaca I* (2013) 15.



**Giampaolo Co'**: Professore associato di Fisica Nucleare presso l'Università del Salento si occupa di teorie a molti corpi applicate allo studio della struttura dei nuclei atomici.

# Evoluzionismo, diritto e linguaggio

**Francesca Lamberti**

Dipartimento di Scienze Giuridiche, Università del Salento, Lecce

---

**S**copo del presente lavoro è di illustrare brevemente le origini del pensiero evoluzionista in seno alle scienze naturali, con particolare focus su Hutton, Lamarck e Darwin, e mostrare come alcuni degli argomenti portanti del discorso (biologico) del darwinismo si siano trasferiti anche nelle opere di antropologi e giuristi (prendendo ad esempio alcuni autori scelti) della fine dell'Ottocento.

Fino alla metà del Settecento l'opinione prevalente era che tutte le specie fossero state create da Dio e fossero dunque immutabili nel tempo. L'idea che la comparsa delle specie sia opera di un Creatore e che pertanto esse siano perfette e immutabili è nota con il nome di creazionismo.

Ancora nel tardo Settecento, lo scienziato Linneo (1707-1778) definiva [1] le varie specie come entità create una volta per tutte e non suscettibili di modifica o capaci di modificarsi solo entro limiti ben determinati. La teoria di Linneo (almeno quella di partenza) si correlava a tassonomie antiche [2] che configuravano il mondo ordinato secondo principi gerarchici ben determinati, la così detta *scala naturae* o 'grande catena dell'essere': si tratta di uno schema rinvenibile nell'antichità sin dagli scritti di Aristotele e Platone, poi ripreso dal cristianesimo e dagli autori della Patristica, e perdurante fino appunto al Set-

tecento. Nella gerarchia in esame gli organismi più semplici occupavano lo scalino più basso, l'uomo quello più alto; tutti gli altri organismi si trovavano in posizione intermedia. Essendo Linneo figlio di un pastore protestante, ne risultava fortemente influenzata la sua visione della Natura come manifestazione della saggezza e della razionalità di Dio. (*Species tot sunt, quot diversas formas ab initio produxit infinitum Ens*).

Nel 1753 Linneo pubblicò due ponderosi volumi in cui venivano descritte tutte le specie di piante allora conosciute [1]. Mentre Linneo attendeva al suo lavoro enciclopedico, gli esploratori provenienti dall'Africa e dalle Americhe ritornavano in Europa con nuove specie di piante e di animali. Lo scienziato si trovò a dover continuamente aggiornare la sua classificazione per adattarla a queste nuove scoperte. Già ai suoi tempi dunque iniziava a farsi strada la percezione che il modello della creazione fosse molto più complesso di quanto immaginato in passato.

Pare che le basi della teoria evolutiva debbano rinvenirsi originariamente in seno alla geologia. Un importante studioso di geologia, lo scozzese James Hutton (1726-1797) formulò in due lavori di grande impatto nel tardo Settecento [2, 3] l'ipotesi (detta 'Uniformismo' o 'Uniformitarianismo') [4, 5] secondo cui la Terra sarebbe stata modellata non da eventi improvvisi e violenti, bensì da processi lenti e gradualisti, come i cambiamenti climatici, i venti, la formazione e lo scioglimento



organi adatti alle circostanze. Tutte queste parti del corpo, di conseguenza, si sarebbero progressivamente allungate e sarebbero state trasmesse alla generazione successiva. La nuova generazione avrebbe avuto in partenza parti del corpo più lunghe e le avrebbe allungate ulteriormente, a poco a poco. In tal modo gli adattamenti in esame, accumulandosi e trasmettendosi attraverso le generazioni, avrebbero dato luogo a nuove specie, diverse da quelle originarie per effetto del progressivo adeguamento all'ambiente circostante<sup>1</sup>

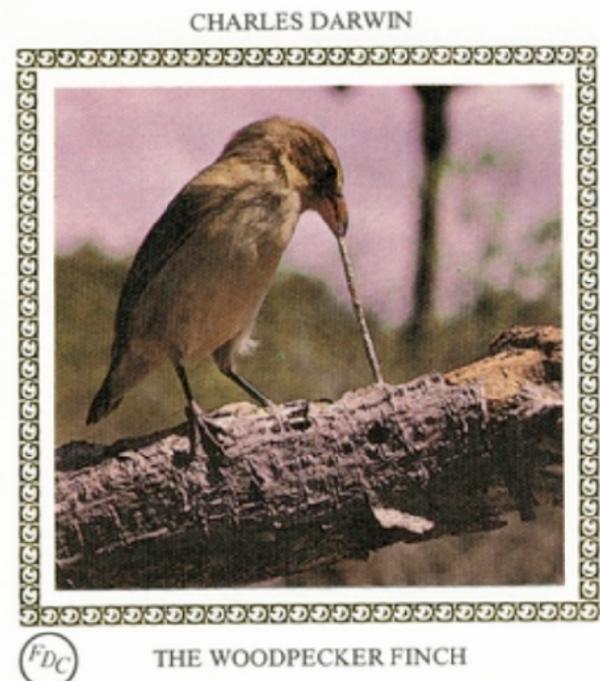
Quanto a Charles Darwin (1809-1882), nato in una famiglia benestante e aperta alle idee moderne (nipote di un filosofo, medico e naturalista), nel 1825 si iscrisse alla facoltà di medicina a Edimburgo, che tuttavia abbandonò già nel 1827. Fu di conseguenza inviato dal padre presso l'università di Cambridge, nella speranza che si volgesse alla carriera ecclesiastica. A Cambridge Darwin, già amante della natura e dell'entomologia, fu influenzato da illustri scienziati, tra i quali il cugino W. Darwin Fox, che indirizzarono le sue scelte verso le scienze naturali. Studiò geologia e partecipò a rilevamenti stratigrafici nel Galles.

Nel mese di dicembre del 1831, Darwin si imbarcò su una nave destinata a fare il giro del mondo. Il capitano del brigantino *Beagle* R. Fitzroy, in partenza per una spedizione cartografica di cinque anni intorno alle coste dell'America meridionale, espresse l'esigenza di condurre con sé un naturalista per descrivere le specie animali e vegetali che prevedeva di rinvenire nel corso del viaggio. L'università di Cambridge propose il giovane e promettente Darwin. Il *Beagle* salpò dal porto inglese di Plymouth alla fine del 1831. Quando il brigantino, durante il viaggio lungo le coste del Sud America, gettava le ancore per fare rifornimento d'acqua e di provviste alimentari, Darwin lasciava la nave per esplorare le regioni interne, osservare i depositi di fossili tenendo ben presenti le teorie di Lyell (geologo che si rifaceva a James Hutton) e collezionare esemplari di animali e piante sino a quel momento

<sup>1</sup>Non mi fermo sulle critiche mosse dagli scienziati delle epoche successive alla teoria evolutiva nella formulazione di Darwin: scopo del presente lavoro è infatti mostrare il successo delle argomentazioni a base della stessa e la loro recezione anche nelle scienze umane, non quello di affrontare criticamente la fondatezza della teoria in esame.

sconosciuti.

In particolare, l'interesse di Darwin si appuntò sugli animali e sulle piante che popolavano un piccolo arcipelago di isole poco popolate, le Galápagos, distante 950 chilometri dalla costa pacifica del Sud America. Queste isole, su cui Darwin rimase poco più di un mese, prendono il nome dai loro abitanti più spettacolari, le testuggini (*galápagos*, in spagnolo), alcune delle quali arrivano a pesare anche più di un quintale.



**Figura 2:** Il fringuello picchio.

Nei campioni di animali e vegetali da lui riportati Darwin osservò somiglianze tra i fossili e le forme viventi di una stessa area, in particolare per ciò che riguardava le tartarughe e gli uccelli delle Galápagos.

Oltre alle testuggini, infatti le isole Galápagos erano abitate da un gran numero di fringuelli, distinti in 14 specie differenti; nonostante vivessero nello stesso arcipelago, questi uccelli differivano tra loro sia per la grandezza e per la forma dei corpi e dei becchi sia per il tipo di cibo di cui si nutrivano. La forma e la dimensione del becco erano strettamente legati infatti all'utilizzo delle risorse alimentari presenti nelle diverse isole, consentendo l'adattamento locale: così, le specie dal becco grosso si erano andate specializzando nel frantumare i semi di guscio spesso; le specie con becchi piccoli a nutrirsi di risorse più facilmente reperibili.

Un fringuello in particolare estraeva gli insetti, per nutrirsi, dalla corteccia degli alberi, come il comune picchio; non avendo però il becco forte e la lingua lunga disponibile ai picchi per estrarre gli insetti dalla corteccia, il fringuello si serviva di un piccolo bastoncino o di una spina di cactus, anche adeguandone le dimensioni alle concrete condizioni di caccia. Questo fringuello è detto appunto 'fringuello picchio': un animale che si era adattato alle esigenze dell'ambiente rinvenendo una precisa strategia di sopravvivenza.

Darwin notò poi che in ogni popolazione intervengono differenze tra i diversi organismi, e che alcune di esse sono ereditabili e consentono agli individui portatori di generare più discendenti di altri. Darwin sostenne che variazioni favorevoli ereditarie in una popolazione tendono a diventare sempre più frequenti da una generazione all'altra, secondo un processo da lui denominato *selezione naturale*.

Grazie agli studi di geologia, Darwin aveva chiaro che le isole Galápagos, di origine vulcanica, erano meno antiche, quanto a formazione, della terraferma; inoltre, aveva osservato che le piante e gli animali delle Galápagos erano differenti da quelli della terraferma. Iniziò pertanto a ipotizzare che le diverse specie di testuggini e di fringuelli presenti sulle varie isole si fossero originate a partire da un'esigua varietà iniziale di organismi, provenienti probabilmente dal continente, e che l'isolamento (relativo) ne avesse consentito le mutazioni ora osservabili.

Quando individui con certe caratteristiche ereditarie sopravvivono e si riproducono, mentre altri con caratteri ereditari diversi sono eliminati, la popolazione lentamente si modifica. Per esempio, se un colibrì avesse il becco più lungo rispetto a quello degli altri colibrì, potrebbe con maggior successo raggiungere e succhiare il nettare dei fiori; anche la sua prole potrebbe ereditare tale caratteristica e avere maggiori possibilità di sopravvivenza.

Il principale fattore su cui si basano i processi evolutivi sarebbe dunque la *variabilità* esistente nelle popolazioni di individui che appartengono alla stessa specie. Secondo Darwin le variazioni presenti tra questi individui sono dovute solo al caso e non sono dunque prodotte né dall'ambiente né dalla volontà degli organismi stessi. In sé, le variazioni non hanno né scopo né dire-

zione, ma possono essere più o meno utili a un individuo per la sua sopravvivenza e la sua riproduzione. Oggi sappiamo che queste variazioni sono conseguenza di mutazioni, cambiamenti che possono avvenire nel patrimonio genetico di qualsiasi organismo. Il libro di Darwin in cui vengono presentate tutte le considerazioni che abbiamo visto finora s'intitola *L'origine delle specie* e risale al 1859 [8]: le osservazioni svolte nel viaggio sul Beagle furono rielaborate nel corso di quasi 20 anni. Essenzialmente le teorie formulate si possono sintetizzare nei punti seguenti.

1. Gli organismi e le specie sono dotati di grande fertilità.
2. Nella maggior parte delle specie il numero di individui che sopravvivono e si riproducono è molto inferiore al numero di organismi nati.
3. Le risorse di cibo in ciascun ambiente sono limitate.
4. Ciò conduce all'interno di ciascuna specie a una lotta per la sopravvivenza.
5. Gli individui con le migliori caratteristiche hanno più chance di sopravvivere e trasmettere i tratti favorevoli ai loro discendenti.
6. Dopo un tempo sufficientemente lungo la selezione naturale, lentamente, conduce a un cumulo di cambiamenti in grado di differenziare le specie.

Le teorie esposte da Darwin nel suo volume erano destinate ad avere un successo incredibile nei decenni successivi. Il successo della sua teoria evoluzionistica non si limitò all'ambito dei biologi. La teoria era destinata a spopolare anche all'interno delle scienze umane, in parte anche venendo manipolata o equivocata, agli scopi più vari. Enorme fu soprattutto il successo presso i contemporanei, e discipline anche legate alle scienze umane, nella seconda metà dell'Ottocento.

Al di là della verifica (o verificabilità) dei presupposti dell'una o dell'altra affermazione contenute nell'*Origine della specie* di Darwin, problemi sui quali il dibattito è stato immenso (soprattutto nell'ambito della biologia e della genetica),

quello che a me interessa primariamente in questa sede - come dicevo - è mostrare come alcuni degli argomenti, diventati quasi luoghi comuni discorsivi, utilizzati nella costruzione della teoria evoluzionistica (alcuni presenti nel discorso di scienziati, non solo biologi e geologi, già prima di Darwin), e ampiamente presenti anche sul piano della scrittura e della tessitura del discorso all'interno di *On the Origin of the Species*, fossero ripresi pari pari dagli antropologi i cui lavori apparvero in ambiente anglosassone subito dopo il libro di Darwin; e come - o sulla base di una lettura dello stesso Darwin, o (più probabilmente) di quella delle opere di questi antropologi - filtrassero poi nel discorso e nel tessuto narrativo degli scritti almeno di un famoso studioso di diritto romano e di diritto civile che enunciò le proprie teorie sulle formazioni sociali antiche negli anni '80 dell'Ottocento (per proseguire nei primi decenni del Novecento).

Fra questi *topoi*, o affermazioni ricorrenti, che rinveniamo in Darwin, alcuni dei fondamentali (a mio modo di vedere) sono i seguenti:

a) **Esistenza di 'leggi generali' che regolano l'evoluzione**

In *The Origin of the Species* Darwin afferma ad esempio l'esistenza di "Una legge generale che conduce all'avanzamento di tutti gli esseri organici: essenzialmente moltiplicarsi, variare, far sì che il più forte viva e il più debole muoia" ([8], p. 207). Di affermazioni simili se ne trovano numerose altre nel corso della sua opera.

b) **Una Prova indiretta dell'evoluzione sono i fossili**

Si tratta di una c.d. 'inferenza' per induzione: esistono i fossili, che sono testimonianza della forma di una certa specie migliaia (o milioni) di anni fa; la forma di questa specie oggi è notevolmente diversa; vi devono essere state una serie di anelli 'intermedi' di evoluzione che hanno portato all'attuale aspetto della specie in esame. "Basandosi non su di un limitato periodo di tempo, ma sull'intera storia (del mondo), se la mia teoria è fondata, devono essere esistite innumerevoli specie intermedie, che collegavano più strettamente insieme tutte le specie dello stesso gruppo; ma il processo stesso della se-

lezione naturale tende costantemente, come spesso notato, a distruggere forme vicine e stadi intermedi. Pertanto la testimonianza del fatto che una volta siano esistite può essere rinvenuta solo nei resti fossili" ([8], p. 179).

c) **L'evoluzione è un processo lento e naturale**

"Sulla base della teoria della selezione naturale possiamo capire il pieno significato dell'antico adagio di storia naturale 'Natura non facit saltum'. Questo principio, se osserviamo soltanto gli attuali abitanti del mondo, non è strettamente corretto, ma se includiamo tutti quelli delle epoche passate, dev'essere assolutamente vero ai sensi della mia teoria" ([8], p. 183).

d) **L'argomento che afferma la derivazione di specie più complesse da specie più semplici:**

"La conclusione principale cui sono arrivato in questo saggio, vale a dire che l'uomo è derivato da una qualche specie inferiore [con un livello più basso di organizzazione] sarà, temo, abbastanza sconvolgente per molti. Ma non può esservi dubbio che noi discendiamo dai barbari" ([9], p. 404).

Tale teoria e alcuni capisaldi argomentativi ebbero grande successo anche nell'ambito delle cosiddette scienze umane. Ad esempio fornirono grandi spunti agli studiosi delle organizzazioni umane primitive, in particolare per sviluppare un modello evolutivo che supponeva che nelle società umane antiche (in particolare in quella romana, per la quale si avevano più dati a disposizione), ma in generale in quelle primitive, si fosse andati da un organismo più elementare (la famiglia), passando per forme via via più complesse (la casata, la tribù), sino alla città-stato: lo schema, verificabile per la storia romana di età monarchica e repubblicana, venne applicato da alcuni antropologi (con ampio margine di distorsione) a tutte le società primitive.

Sir Henry Sumner Maine (1822-1888), era giurista di formazione, ma con vasti interessi nell'antropologia e nella sociologia. Prima attivo a Cambridge (dove insegnò Diritto antico e diritti primitivi), poi a Londra (dove nel 1847, a soli 27

anni, accettò la cattedra di Diritto civile al Trinity Hall), pubblicò nel 1861 un libro che gli fornì fama mondiale nel settore dell'antropologia e dello studio dei diritti antichi, *Ancient Law* [9].

Nel 1862, dopo la pubblicazione di *Ancient Law*, Maine partì per l'India dove accettò l'incarico offertogli dal governo inglese di Legal Member presso il Consiglio del Governatorato generale dell'India, al quale unì anche l'Ufficio di Vice-Rettore della università di Calcutta. Tornato in patria alla fine degli anni sessanta, Maine accettò la cattedra di Giurisprudenza presso l'Università di Oxford. Maine fu forse il primo umanista (o uno dei primissimi) a tentare di applicare il metodo scientifico evoluzionistico alle più antiche forme di organizzazione sociale e giuridica dell'umanità:

L'individuazione di leggi generali o di proposizioni generali, tipica del discorso scientifico, e più ancora di quello evoluzionistico, si rinviene anche in Henry Maine. Ne ho proposto un solo esempio, ma ve ne sono diversi, nella sua opera.

"Una proposizione generale di qualche valore deve formularsi relativamente alle forze attraverso cui il Diritto è messo in relazione armonica con la società. Mi sembra si possano individuare essenzialmente tre meccanismi: finzioni giuridiche, equità e legislazione. Il loro ordine nella storia è quello in cui le ho organizzate" ([9], p. 15).

Un problema centrale, per lo storico delle forme giuridiche primitive, era nel suo lavoro, proprio l'identificazione di quelle leggi generali dell'evoluzione di tali forme. L'esistenza di organizzazioni familiari precedenti alla formazione della società civile e poi l'affermarsi di questa nella forma di monarchie diffuse in tutti i popoli giunti allo stesso stadio evolutivo era lo schema che Maine proponeva. L'idea di base era appunto quella dello sviluppo (in chiave evolutiva) di forme più complesse (organismi e formazioni sociali più complessi) a partire da organismi più semplici:

Maine riteneva che si fosse andati da un organismo più elementare (la famiglia), passando per forme via via più complesse (la casata, la tribù), sino alla città-stato.

"Il gruppo elementare è la famiglia, collegata dalla comune subordinazione all'ascendente maschio più anziano ... l'aggregazione delle fa-

miglie forma la gens, o casata. L'aggregazione di casate forma la tribù. L'aggregazione delle tribù costituisce la comunità" ([9], p. 128).

Si trattava di uno schema evolutivo piuttosto rudimentale, che contemplava una fase primitiva alquanto anarchica, dove l'unità elementare precedeva qualsiasi forma di aggregazione politica.

L'evoluzione era concepita (così come in Hutton, Lamarck e Darwin) come un processo lento e graduale.

"In un esempio di enorme importanza, quello del diritto romano, il cambiamento si realizzò così lentamente da epoca ad epoca che siamo in grado di osservare la linea e la direzione che avrebbe seguito, e possiamo sinanche avere un'idea del risultato finale cui esso tese" ([9], p. 145).

In Italia, vent'anni dopo l'Unità d'Italia, quando nelle Università e nelle Facoltà di Giurisprudenza si prese a insegnare il diritto recependo gli input più importanti che provenivano da oltrelpe, una grande figura di studioso e di docente (le cui teorie, anche al nostro interno, nei decenni successivi furono ovviamente sottoposte a grande critica), Pietro Bonfante, si sarebbe rifatto agli schemi di Henry Sumner Maine (oltre che al pensiero di Henry Morgan, dello storico Niebuhr e di Rudolf von Jhering), ripensandole e adattandole a un suo schema personale di interpretazione delle formazioni sociali arcaiche e delle loro persistenze nell'esperienza romana.

La personale ricostruzione di tali organismi sociali e delle loro relazioni nel corso della storia romana è sintetizzata in particolare in un'opera matura, il *Corso di diritto romano* [10]. L'opera è del 1925 ma il seme delle teorie e della ricostruzione risale ai primi lavori di Bonfante, del 1888-1889 (trent'anni dopo la pubblicazione dell'*Origine della specie* di Darwin).

"L'istituto della familia si richiama per l'origine a condizioni sociali primitive e ottenne forse per causa di circostanze particolari di consolidarsi nella società romana e serbarsi nei secoli meravigliosamente intatto. Nelle società primitive non è mai costituito un solo organismo o un solo potere supremo per mantenere l'ordine e provvedere alla difesa, ma ve ne sono parecchie serie, l'una d'ordinario al di sotto dell'altra: di guisa che l'autorità del supremo organismo politico non si esercita come quella del nostro stato,

immediatamente sugli individui, ma sui gruppi subordinati ... Tali organismi politici nella primitiva società romana erano i seguenti: le *familiae*, costituite però allora, come si può desumere da molti indizi, sopra basi più larghe, cioè gruppi agnatzii o gentilizzii; al di sopra delle *gentes* le tre originarie *tribus* romulee e finalmente la *civitas*. La *civitas* romana abbattè per molto tempo i gruppi minori ... Soltanto la *familia* resta come organismo compatto e indipendente di fronte allo Stato" ([10], p. 15).

Benché Bonfante reputasse compresenti (in epoca storica) la famiglia e formazioni più estese (come le genti e le tribù), la sua ricostruzione evolutiva andava (in senso analogo a quella di Maine) "dalla famiglia allo stato". La città-stato, una volta affermatasi, avrebbe disgregato gli organismi politici inferiori (le genti e le tribù), ma non sarebbe stata in grado, data la loro tenacia e persistenza nel tempo, di 'dissolvere' gli organismi familiari: la *familia* dunque era rimasta inalterata (o quasi) nel tempo, custodendo dentro di sé caratteri originari (o parte di essi), che si rinvenivano nella struttura di istituti giuridici ormai evoluti (come la successione ereditaria, l'adozione, etc.).

Tale ipotesi è chiaramente delineata, si diceva, sin da un suo lavoro del 1888-1889 (*Res mancipi e res nec mancipi*) [11]:

"... come da questo momento si procede lentamente nello sviluppo, lo stato delle cose muta gradualmente, ma profondamente. All'indipendenza vivace dell'uomo primitivo, avente un debole centro di vita sociale nell'orda o nella tribù primordiale, allo stato di atomismo individuale, che spicca nell'età più bassa della umanità, succede a mano a mano una vera esaltazione del principio sociale. ... Ora, per quel che concerne l'organizzazione sociale, in questo momento una serie molteplice di successivi organismi sociali si va formando che si designano con le denominazioni generiche, famiglia, gente, tribù e simili; ma si perdono o si confondono a un certo momento nelle agglomerazioni puramente nazionali [11]".

Qui e altrove nel lavoro si afferma l'esistenza di un'evoluzione lenta e graduale nel tempo, che avrebbe portato gli individui a dotarsi di un sistema sociale sempre più organizzato (successivi organismi sociali) fino ad arrivare alla città-stato.

Anche l'idea di selezione è presente nella ricostruzione di Bonfante: la città-stato evoluta, nel dotarsi di un'organizzazione razionale e di un'amministrazione funzionante, non avrebbe assunto *ex novo* funzioni politiche: essendo già la famiglia, sin dalle sue origini, un'organizzazione politica, la *civitas* si sarebbe formata col consolidarsi (e con la selezione) di tali funzioni politiche nelle mani dei capi della città-stato, rendendo quindi inutili le aggregazioni sociali inferiori (eccezion fatta per la famiglia).

La descrizione della sua metodologia sarebbe stata realizzata da Bonfante nel 1917, in un lavoro appositamente dedicato al metodo naturalistico da lui usato nell'analisi storico-giuridica. Come è possibile rilevare, rinveniamo tutti i capisaldi cui abbiamo già accennato, e che erano contenuti nell'Origine della specie di Darwin. L'esistenza di leggi generali che regolavano i fenomeni giuridici [12], l'eventualità di considerare fossili quei caratteri di un determinato istituto giuridico che non corrispondessero più alla funzione che quello stesso istituto rivestiva secoli dopo, l'evoluzione lenta e graduale ([12], p. 49). In particolare l'attenzione ai residui e ai fossili avrebbe consentito allo storico del diritto di esaminare istituti e norme del passato cogliendone gli elementi di differenziazione tra la loro valenza originaria ed i successivi sviluppi sino alle forme presenti ancora nell'esperienza giuridica odierna, consentendo così "una particolare sensibilità verso la eterogenesi di significato degli istituti contemporanei rispetto a figure apparentemente analoghe, appartenenti ad altre fasi storiche". Un'impostazione, questa, utile anche al giurista moderno.

Ovviamente più ampio il quadro degli elementi che influenzarono Bonfante nella sua ricerca e nel suo lavoro. Il così detto metodo naturalistico, che gli consentiva di analizzare gli istituti giuridici come 'organismi' che nel corso della storia avessero vissuto una evoluzione interna, e di contestualizzarne l'aspetto e i caratteri a seconda dell'epoca storica in cui si erano sorti e si erano sviluppati, oltre alla potenza del pensiero che vi era alla base, era corredato di una serie di *topoi* argomentativi funzionali a vestire la ricerca che veniva condotta sulle origini e sulle caratteristiche mature degli istituti giuridici antichi di un manto di scientificità.

Le sue teorie sulle formazioni sociali primitive, e sulla politicità degli organismi familiari romani, progressivamente rielaborate nel corso di un trentennio (dal 1888 al 1920 circa), con l'aggancio alle teorie antropologiche e al metodo evoluzionistico, avrebbero avuto a loro volta un'enorme fortuna nei nostri studi: i primi tentativi di realistica confutazione risalgono a circa cinquant'anni dopo (agli anni Settanta del Novecento) e sono tuttora materia di discussione all'interno dei nostri studi (si veda per tutti [13]).

Questa lezione è stata presentata il 22 febbraio 2019 all'ISUFI nell'ambito dei seminari del Laboratorio didattico ISUFI sul metodo scientifico.



- [1] C. LINNAEUS: *Species plantarum. Exhibentes plantas rite cognitatas, ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum systema sexuale digestas, 1a ed., 2 voll.* .. Imprensus Laurentius Salvius, Holmiae (Stoccolma). 1753.
- [2] J. HUTTON: "The theory of rain", *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 1 (1788) 41-86.
- [3] J. HUTTON: "Theory of the Earth; or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the Globe", *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 1 (1788) 209-304.
- [4] R. HOOYKAAS: *The principle of uniformity in geology, biology, and theology.* E.J. Brill, London (1963).
- [5] B.L. GORDON: "Defense of Uniformitarianism", *Perspectives on Science and Christian Faith* 65 (2013) 79-86.
- [6] J.-B. LAMARCK: *Philosophie zoologique.* Librairie Dentu, Parigi (1809).
- [7] C. DARWIN: *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life.* John Murray, London (1859).
- [8] C. DARWIN: *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex, vol. 2.* John Murray, London (1871).
- [9] H. S. MAINE: *Ancient Law. Its Connection With The Early History Of Society And Its Relation To Modern Ideas.* John Murray, London (1861).
- [10] P. BONFANTE: *Corso di diritto romano 1. La famiglia.* A. Sampaolelsi, Roma (1925).
- [11] P. Bonfante, *Res Mancipi e res nec Mancipi* Tipografia della Camera dei Deputati Roma (1888-1889) ripubblicato (con non lievi modifiche) in P. Bonfante, *Forme primitive ed evoluzione della proprietà romana*, in *Scritti giuridici varii 2. Proprietà e servitù*, Torino (1918), 1-326.

- [12] P. BONFANTE: *Il metodo naturalistico nella storia del diritto [1917].* Scritti giuridici varii 4. Studi generali, A. Sampaolelsi (Roma). 1925 46-69
- [13] F. Lamberti, *La storiografia italiana sulla familia tra tardo Ottocento e inizi Novecento: antropologia, evoluzionismo e primi influssi delle teorie interpolazionistiche*, in M. Avenarius, C. Baldus, F. Lamberti, M. Varvaro (Hrsgg.), *Gradenwitz, "Riccobono und die Entwicklung der Interpolationenkritik. Methodentransfer unter europäischen Juristen im späten 19. Jahrhundert, Tübingen-Mohr Siebeck, (2018), 215-238.*



**Francesca Lamberti:** Professore ordinario di Diritto Romano presso l'Università del Salento. Già ricercatrice presso l'Università di Napoli "Federico II", borsista della Fondazione von Humboldt e del DAAD, presso l'Università del Salento dal 1998, fra i suoi interessi i percorsi della romanizzazione nell'antichità, la storia della famiglia, i *gender studies*, la storiografia romanistica fra Otto e Novecento.

# Evoluzione dell'evoluzionismo in Biologia

*We humans probably came from creatures that, as recently as 40 years ago, were unknown to exist.*

— National Geographic, "What Darwin Didn't Know About Evolution", 25 settembre 2018.

**Giorgia Luceri** Scuola Superiore ISUFI, Università del Salento

---

**In questo saggio verrà stilata una definizione del concetto di evoluzione, con riferimenti gli studiosi che hanno cercato di spiegare il meccanismo evolutivo della specie; verranno trattati alcuni esempi di riproduzione asessuata e l'importanza dell'epigenetica.**

Con il termine evoluzione si intende il cambiamento, all'interno di una popolazione, delle caratteristiche ereditabili col passare delle generazioni. L'evoluzione può essere considerata, dal punto di vista biologico, come il risultato di una modificazione del materiale genetico all'interno di una popolazione: accanto a modifiche che non conducono a cambiamenti di tipo evolutivo ne sussistono altre significative al fine di modificare le caratteristiche in base a cui una popolazione di individui si evolve.

Il primo tentativo di spiegare, in biologia, il meccanismo evolutivo delle specie umane si de-

ve al francese Jean Baptiste Lamarck (1744 - 1829). Lamarck ipotizzò, nel 1809 [1] che tutte le specie, Homo sapiens incluso, discendessero da altre specie: in particolare le sue ricerche su organismi unicellulari e invertebrati lo condussero a ipotizzare che ciascuna specie derivasse da un'altra precedente e meno complessa. Gli organismi più semplici (unicellulari e invertebrati) avrebbero, nel corso del tempo, subito un processo graduale di modificazione che avveniva sotto la pressione delle condizioni ambientali. Formulò dunque l'ipotesi che in tutti gli esseri viventi fosse sempre presente una spinta interna al cambiamento, prodotta da due forze: (a) la capacità degli organismi di percepire i propri bisogni e (b) la loro interazione con l'ambiente in funzione di un migliore adattamento.

Per quanto attiene in particolare al profilo della genetica, un significativo contrappeso alla teoria evolutiva, come successivamente sviluppata da Charles Darwin e altri studiosi, può essere

## Alleli, Genotipi e Fenotipi

**Allele:** una delle forme alternative che un gene può assumere nel medesimo sito (*locus*) cromosomico.

**Genotipo:** la costituzione genetica di un organismo o di un gruppo di individui, corrispondente all'insieme degli alleli presenti per ogni genere.

**Fenotipo:** insieme dei caratteri fisici di un individuo, determinati sia dal patrimonio genetico sia dall'azione ambientale.

rappresentato dal cosiddetto principio di Hardy - Weinberg. Nel 1908 G. H. Hardy e W. Weinberg [2] definirono "popolazione in equilibrio" una popolazione all'interno della quale né le frequenze alleliche né la distribuzione dei genotipi mutano col succedersi delle diverse generazioni. Non modificandosi le frequenze degli alleli, non si avrebbe, pertanto, evoluzione. Gli studiosi Hardy e Weinberg, lavorando indipendentemente, dimostrarono che la ricombinazione che si verifica a ogni generazione negli organismi a riproduzione sessuata non modifica le frequenze con cui compaiono i diversi alleli che costituiscono il pool genico. La stabilità e l'equilibrio del sistema, secondo tali studi, si verificano solo in condizioni ideali, nelle quali siano rispettate queste condizioni:

- la popolazione sia molto grande
- gli accoppiamenti tra gli individui siano casuali (popolazione panmittica)
- non ci siano nella popolazione fenomeni migratori (né emigrazioni e né immigrazioni)
- non si verificano mutazioni che modificano il pool genico
- tutti gli alleli abbiano lo stesso successo riproduttivo, non vi sia cioè selezione naturale.

In queste condizioni, dato un gene con due soli alleli  $T$  e  $t$ , le rispettive frequenze con cui compaiono i diversi alleli rimangono costanti nelle generazioni. Si indichi con  $p$  la frequenza dell'allele dominante  $T$ , e con  $q$  la frequenza dell'allele recessivo  $t$ . Poiché la somma delle frequenze alleliche deve essere pari al 100%, si ha  $p + q = 1$  ed elevando al quadrato  $(p + q)^2 = 1$ , cioè

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

dove

- $p^2$  → frequenza del genotipo omozigote dominante (TT)
- $2pq$  → frequenza del genotipo eterozigote (Tt)
- $q^2$  → frequenza del genotipo omozigote recessivo (tt)

Un sistema in equilibrio di questo tipo richiede (come già visto) condizioni eccezionali. A modificare l'ipotetico equilibrio di Hardy-Weinberg intervengono stabilmente fattori evolutivi quali: mutazioni, selezione naturale, flusso genico (movimento di alleli verso l'interno o verso l'esterno del pool genico, in grado di introdurre nuovi alleli o alterare la proporzione degli alleli già presenti), deriva genica (il fenomeno per cui certi alleli aumentano o diminuiscono di frequenza e, talvolta, anche scompaiono, come risultato di eventi casuali) e accoppiamento non casuale (in grado di provocare cambiamenti nelle proporzioni dei genotipi).

Tutti gli esseri viventi sulla terra condividono un antenato comune: basti pensare all'omologia tra gli organismi attualmente viventi. Ciò era stato ipotizzato dallo stesso Charles Darwin, il rivoluzionario del pensiero scientifico, che individuò la natura del meccanismo evolutivo introducendo il concetto di selezione naturale operata dall'ambiente: l'ambiente pone dei problemi e le specie li devono risolvere, ma non lo fanno in modo attivo. Infatti secondo Darwin la variante nasce per caso, ed è successivamente l'ambiente a selezionarla, rendendola idonea a sopravvivere all'interno del gruppo di individui [3].

Per quanto attiene all'aspetto dell'evoluzionalismo sul piano della riproduzione degli organi-

smi, si può osservare, a titolo estremamente generale, quanto segue. La riproduzione, come è ben noto, può essere di due tipi: asessuata, o agametica, e sessuata. La prima è il processo che consente la formazione di nuovi organismi da un singolo organismo, uni- o pluricellulare; ad esempio batteri e protisti sfruttano la scissione binaria, ovvero la separazione della cellula in due parti identiche, anellidi e cnidari quella multipla. In alcuni periodi dell'anno, però, soprattutto in primavera ed estate alle nostre latitudini, se si osservano alcune popolazioni di invertebrati, si scopre che tutti gli individui sono sempre e solo di sesso femminile, non esiste traccia dei maschi, che pur si conosce siano presenti in quelle specie. E per di più le femmine, che hanno un ciclo biologico molto breve (dalla nascita alla maturità sessuale bastano pochi giorni), continuano a produrre uova che si sviluppano senza essere fecondate, ovviamente visto che non ci sono maschi in giro. Com'è possibile tutto ciò? Si tratta di una riproduzione virginale chiamata partenogenesi, ovvero un particolare esempio di riproduzione sessuale asessuata, ovvero non anfigonica, che, pur implicando la formazione di gameti, non richiede fecondazione. Diversi gruppi animali adottano questa strategia riproduttiva come un adattamento a condizioni di vita molto difficili e precarie come i Crostacei, molti Insetti, gli Acari, i Rotiferi e qualche Nematode.

Nella partenogenesi obbligatoria le specie, abbandonata la fecondazione, si riproducono solo clonalmente e si ha un'alternanza di generazioni anfigoniche e partenogeniche. Seppur questo processo riduca la variabilità in realtà è positivo perché la stessa specie, sfruttando la poliploidia, riesce ad ottenere variazione a livello genico.

Un ulteriore prototipo di partenogenesi è dato dalle api. L'ape utilizza un ciclo vitale molto particolare: la regina depone le uova che verranno allevate dalle api operaie ma tali uova non sono tutte fecondate. La regina infatti si accoppia con l'ape maschio, il fuco, e grazie ad una particolare anatomia, può decidere quali ovuli fecondare e quali no. Gli ovuli fecondati si trasformano in femmine e gli ovuli non fecondati si trasformano in fuchi. Tra le femmine, mediante un meccanismo particolare di nutrimento, viene definita un'ape regina diploide che avrà il compito di riprodursi. Questo sistema che prevede

la nascita di maschi o femmine a seconda dello stato di fecondazione degli ovuli prende il nome di partenogenesi aplodiploide.

Un rarissimo ed elegante caso di riproduzione è rappresentato dal cavalluccio marino, o ippocampo in cui è il maschio a partorire i piccoli tramite contrazioni addominali simili a un parto. La femmina depone le uova in una sacca posta sul ventre del maschio, e questi le cova, nutrendole fino alla schiusa. Sono animali monogami e ogni giorno all'alba compiono una danza sul fondale marino in cui intrecciano le code e cambiano anche colore.



**Figura 1:** *Ippocampi*

Il biologo americano Bruce H. Lipton, tramite studi su cellule enucleate, ha identificato il vero cervello della cellula nella membrana e non nel nucleo (dove risiede il materiale genetico) come si è sempre creduto. I geni seguono le influenze derivate dall'esterno e chi comanda (fisicamente) il passaggio delle informazioni è proprio la membrana adattandosi dinamicamente ad un ambiente in perpetuo cambiamento. Questo conferma la tesi precedentemente sviluppata da Lamarck secondo cui gli organismi, così come si presentavano, fossero il risultato di un processo graduale di modificazione che avveniva sotto la pressione delle condizioni ambientali [4].

In particolare Lipton si è soffermato sullo studio dell'epigenetica, ovvero la scienza che mostra come i geni non si autocontrollino, ma siano controllati dall'ambiente, cestinando dunque qualsiasi forma di determinismo genetico. Quando una femmina finisce in un territorio nuovo e inesplorato, dove non ci sono maschi per avviare la riproduzione, il modo migliore per coloniz-

zare il nuovo ambiente è proprio attraverso un esercito di cloni. Probabilmente è stata proprio una situazione di emergenza come questa a far diventare la partenogenesi una strategia vincente per alcune specie, da applicare al momento opportuno e dunque facoltativa.



**Figura 2:** *Bacillus rossius*

Il caso più noto in Italia è quello degli insetti steco della specie *Bacillus rossius*, che in alcune regioni si riproducono solo per partenogenesi mentre in altre avviano la normale riproduzione sessuale. Quando queste femmine vengono isolate dai maschi iniziano a riprodursi da sole. È ciò che è successo anche con una femmina di squalo zebra (*Stegostoma fasciatum*) che ha partorito tre piccoli in un acquario del Queensland, dopo essere stata separata dal maschio con il quale si riproduceva anni prima. Il fenomeno è stato osservato anche in altri squali e nei pesci sega. La partenogenesi facoltativa viene sfruttata in modo brillante anche dagli insetti imenotteri come formiche e api [5].

Gli esempi che abbiamo mostrato indicano che non sempre l'origine di un nuovo individuo sia da attribuire ad una riproduzione di tipo sessuale, ma a volte si verificano fenomeni quali i suddetti precedentemente che, anche grazie all'influenza dell'ambiente circostante, provocano il proseguimento della specie.



[1] J.B. LAMARK: *Philosophie zoologique*. Musée d'histoire naturelle (Jardin des plantes), Paris (1809).

[2] G. H. HARDY: "Mendelian proportions in a mixed population", *Science* 28 (1908) 49-50.

[3] D. Penny, *Epigenetics, Darwin and Lamarck*, 29 maggio 2015. Tratto nel mese di giugno 2019 da: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4494054/>

[4] B. Stahura, *La biologia delle credenze - Come il pensiero influenza il DNA e ogni cellula*, 2018. Tratto nel mese di giugno 2019 da: [https://www.gruppomacro.com/blog/nuove-scienze/epigenetica\\_lipton](https://www.gruppomacro.com/blog/nuove-scienze/epigenetica_lipton)

[5] G. Montalenti, A. Chiarugi, N. Turchi, *Partenogenesi*. Tratto nel mese di giugno 2019 da: [http://www.treccani.it/enciclopedia/partenogenesi\\_%28Enciclopedia-Italiana%29/](http://www.treccani.it/enciclopedia/partenogenesi_%28Enciclopedia-Italiana%29/)

---

**Giorgia Luceri:** studentessa di Scienze Biologiche, II anno

# Evoluzione delle formazioni sociali

Simonetta Serio, Chiara De Masi, Flavia Papadia, Giada Invidia

Scuola Superiore ISUFI,  
Università del Salento

---

**I**l presente articolo, nato da uno studio condotto nell'ambito del Laboratorio Didattico ISUFI "Il Metodo Scientifico: un Approccio Interdisciplinare", si propone l'obiettivo di indagare come la teoria evoluzionistica darwiniana abbia ispirato ricerche sull'evoluzione delle formazioni sociali originarie. Dopo una presentazione delle principali categorie di aggregazioni sociali nell'antica Roma, il saggio illustra due teorie antitetiche relative al progresso delle formazioni sociali: quella dell'antropologo L. H. Morgan, il quale concluse che le società più evolute fossero quelle legate all'idea di politica più che di famiglia e quella del giurista H. S. Maine, secondo il quale, invece, la direzione di tale progresso procedeva dalla famiglia allo Stato. A conclusione dell'articolo, vengono infine esposte le relazioni tra le dottrine dell'uno e dell'altro e gli studi sull'origine della società umana e sul rapporto tra l'uomo e l'ambiente che i filosofi K. Marx e F. Engels condussero a partire da letture di antropologia fisica ed evoluzionistica.

## Famiglia, gens, tribù e curia nella società romana antica

I principi fondamentali alla base della teoria evoluzionistica hanno costituito delle valide categorie di indagine non solo in campo scientifico, ma anche in altri settori disciplinari, quale, ad esempio, quello delle scienze umane. In particolare essi sono stati impiegati al fine di individuare un modello evolutivo nell'ambito dello sviluppo delle antiche comunità umane, per le quali si è supposto un lento e graduale passaggio da forme di aggregazione primitive alla città-stato, politicamente, istituzionalmente e socialmente ben organizzata.

All'interno della più ampia questione antropologica relativa alle categorie di aggregazioni sociali originarie, tema incerto e assai discusso è quello che riguarda il processo di formazione della città-stato a Roma, a partire da organismi elementari attraverso aggregazioni sempre più complesse. Alla base dell'organizzazione sociale romana è possibile individuare una impostazione in **famiglie**, le quali possono essere considerate la prima struttura potestativa dell'area latina, come testimonierebbe l'elemento caratteristico delle stesse, vale a dire il potere sovrano riconosciuto al capo-famiglia, la *patria potestas*, poi sopravvissuto negli sviluppi successivi della società romana ([1], p. 48). Essa consisteva in un potere assoluto ed esclusivo del *pater* su tutti i membri della famiglia, caratterizzato da

particolare durezza e crudeltà. Proprio per tale ragione è quasi certo che risalga ad un'epoca ancora prestatatale e prepubblicana.

Il potere assoluto del capofamiglia era esercitato innanzitutto su schiavi e clienti, ma alla sua *potestas* soggiacevano anche, e in egual misura, tanto i figli quanto la moglie, la quale con il matrimonio *cum manu*, che prevedeva la perdita da parte della sposa di ogni legame col nucleo familiare di origine per diventare possesso esclusivo del marito, entrava a far parte della famiglia dello sposo in qualità di moglie di un *filius familias*, che sarebbe rimasto tale fino alla morte del padre, subentrandogli a quel punto in quanto *pater familias* ([1], p. 51).

Il primo gruppo sociale di appartenenza nell'antica Roma era, dunque, la famiglia agnaticia, i cui membri risultavano uniti da legami di parentela esclusivamente in linea maschile. Tutte le famiglie che riconoscevano alle proprie origini un antenato comune costituivano poi una **gens**, gruppo organizzato politicamente e religiosamente ([2], p. 24). Etimologicamente connesso ai verbi *γίνομαι* e *gigno*, il termine *gens* indica nello specifico un "gruppo sociale basato su relazioni legate a una discendenza comune". In ogni caso, all'interno del *Thesaurus Linguae Latinae* ([3] p. 13) per il medesimo lemma sono proposti significati che spaziano da quello più ristretto di "gruppo di individui che riconducono la propria discendenza a un comune *princeps*", a quello tecnicamente romano di "insieme di più famiglie", fino a quello più esteso di "gente, popolo" ([2], p. 14). La definizione più chiara e completa del termine è offerta da Quinto Mucio Scevola, giurista romano, console nel 95 a.C. e poi pontefice massimo nell'89 a.C., il quale individua nello specifico i requisiti necessari per poter entrare a far parte della medesima gens: possedere lo stesso nomen; essere nati da cittadini liberi; non avere nessun antenato che sia stato ridotto in schiavitù; non aver subito alcuna *capitis deminutio*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Gentiles sunt inter se qui eodem nomine sunt. Non est satis. Qui ab ingenuis oriundi sunt. Ne id quidem satis est. Quorum maiorum nemo seruitutem seruiuit. Abest etiam nunc. Qui capite non sunt diminuti. Hoc fortasse satis est.* ([3] p.15). (I *gentiles*, in relazione gli uni agli altri, sono coloro che condividono il medesimo *nomen*. Ma questo non è sufficiente. Sono coloro che sono nati cittadini liberi. Ma neanche questo è sufficiente. Sono coloro dei cui avi nessuno è stato ridotto in schiavitù. Manca ancora qualcosa. Sono coloro che non hanno subito alcuna

I membri della *gens* erano, dunque, i componenti dei nuclei familiari che la costituivano e che risultavano riconducibili a un comune progenitore mitico. Conseguentemente non è chiaro quanto genuini fossero i legami esistenti tra i membri di una medesima *gens*, dal momento che ricongiungevano le varie famiglie ad antenati mitici e non storici. È certo, in ogni caso, che era concessa l'ammissione all'interno di una *gens* anche per *cooptatio*, dietro autorizzazione espressa da un voto dei *gentiles* ([1], p. 6).

Per quanto si possa guardare alla *gens* in termini di "famiglia allargata", essa non aveva una struttura potestativa come la famiglia, sebbene guidata da un capo che prendeva il nome di *princeps*, e costituiva una prima vera e propria struttura comunitaria dotata di propri *sacra, mores, iura, sepulchrum*: la struttura portante appariva piuttosto di carattere collettivo, e solidaristico, con un governo (oligarchico) costituito dai maggiorenti del gruppo. Proprio per tale ragione, sembrerebbe che la *gens*, in quanto costruzione più complessa e volontaristica, si sia formata in un contesto cronologicamente successivo a quello che vide la nascita dei nuclei familiari ancestrali, ai quali tra l'altro sembrano adattarsi meglio le prime realtà abitative attestate, cioè umili capanne separate tra loro ([1], p. 49).

Dal momento che la *gens* costituiva un gruppo saldamente organizzato anche da un punto di vista politico, essa, oltre a rappresentare una componente di grande rilievo in età arcaica, conservò un ruolo importante nella vita politica romana anche in seguito, nonostante il sopravvenuto costituirsi di veri e propri organismi statali ([2], p. 24).

Notizie non certe ed univoche sono quelle di cui si dispone a proposito di due altri importanti raggruppamenti della popolazione romana: le **tribù** e le **curie**.

Tradizionalmente si attribuiva a Romolo la creazione delle prime tribù, tre in origine, le quali avevano i nomi di *Ramnes, Tities, Luceres*. Questi nomi hanno indotto gli studiosi a ipotizzare un legame della prima con i Romani propriamente detti, della seconda con i Sabini di Tito Tazio e della terza con gli abitanti del *lucus*, ossia del bosco, o con gli Etruschi, guidati da un lucumone. L'interpretazione più probabile sul loro conto

*capitis deminutio*. Forse questo basta.)

è quella che si trattasse di sottodivisioni etnico-tribali, che non si sono evolute nella forma di tribù-stato, ma, attratte dall'Urbe, sono diventate funzionali all'ordinamento della città-stato ([1], p.48).

Le curie, invece, delle quali facevano parte tutti gli abitanti del territorio, fatta esclusione dei soli schiavi, erano gruppi religiosi e militari, la cui origine risulta altrettanto incerta. Dionigi di Alicarnasso e Plutarco le definivano "suddivisioni delle tribù cosiddette di Romolo" e Cicerone e Tito Livio connettevano la loro origine al noto episodio del ratto delle Sabine con la conseguente incorporazione della popolazione sabina nella città e la creazione della diarchia Romolo-Tito Tazio [3].

Non si conoscono le loro funzioni e non è chiaro se esse fossero organizzate su base territoriale o gentilizia. È però certo che rappresentarono il fondamento della più antica assemblea politica cittadina, cioè quella dei comizi curiati, che sovrintendevano all'*adrogatio* (adozione di un *filius familias* da parte di un *pater familias*), al testamento, alla *detestatio sacrorum* e infine a una prerogativa prettamente statutale, ossia la votazione della *lex curiata de imperio*, che originariamente sanzionava la nomina del re, e successivamente conferiva ufficialmente potere a un magistrato eletto ([1], p.49). Grosso modo all'epoca della dominazione etrusca lo Stato Romano risultava dunque così organizzato: ognuna delle tre tribù originarie fu divisa in dieci curie, e ogni tribù doveva fornire cento senatori, che costituivano la prima assemblea degli anziani; un contingente di cento cavalieri e uno di mille fanti, in quanto l'unità di base dell'esercito, ossia la legione, risultava composta da trecento cavalieri e tremila fanti ([2], p. 25).

## Dalla *familia* allo Stato: la teoria di H. S. Maine

L'assunto fondamentale sul quale poggia le basi la teoria di Henry Sumner Maine è che nel corso della storia, il movimento della società sia stato un lento e progressivo passaggio da una forma primigenia di **Status** a quella più avanzata del **Contratto** [4].

Pertanto, dalla condizione delle società primitive, in cui i rapporti personali si riducono a rapporti di famiglia, all'interno della quale gli individui non sono liberi (*status*), l'evoluzione sociale avrebbe portato alla formazione di comunità di gran lunga più progressive e complesse, in cui l'individuo volontariamente sarebbe entrato a far parte di una libera associazione, dove poter occupare liberamente un ruolo e dove i rapporti creatisi sarebbero stati di natura gerarchica (contratto).

"Il più anziano progenitore è assolutamente il supremo nella sua famiglia" [4].

Sull'argomento Maine stesso afferma che:

"...vi è una costante nell'evoluzione delle organizzazioni sociali. In tutto il suo svolgimento tale evoluzione è stata caratterizzata dalla graduale dissoluzione della dipendenza dalla famiglia, alla quale si sostituisce progressivamente una serie di obblighi individuali. L'individuo prende il posto della famiglia, come unità sociale di cui si occupa il diritto civile" [4].

Da queste parole usate da H. S. Maine, usate nella sua opera "*Ancient Law*" [4], ben si comprende quella che doveva essere la giurisdizione esercitata dal *pater familias*:

"Il suo dominio si estende alla vita e alla morte ed è incondizionato sia sui figli, che sulla gestione della casa, che sulla servitù." [4]

Una sorta di despota, dunque.

Società similari a quella descritta dal sociologo, si riscontrano anche nella Letteratura Classica antica; Omero, in un passo dell'*Odissea*, descrive la società primitiva tipica dei Ciclopi, i quali vengono descritti come alieni, lontani dalle più primitive forme di civilizzazione. Stando alle parole del poeta, essi non avevano né assemblee consultive, né tantomeno norme giuridiche collettive che potessero gestire i rapporti interpersonali: ognuno esercitava la propria giurisdizione sulla propria moglie e sui propri figli senza aver alcun riguardo per gli altri. Si tratta dunque di un paragone che ben si presta a far comprendere a pieno quali fossero le dinamiche che Maine individua come stanti alla base del concetto stesso di società.

Da un organismo primitivo e rudimentale, quale la famiglia nucleare, si sarebbe giunti nel tempo, nell'ipotesi di Maine, alla formazione di **aggregati di famiglie**.

Le comunità iniziarono ad esistere ovunque una famiglia tenesse insieme invece di disunire. Famiglie, Gentes, Tribù dei Romani possono essere prese come schema di tappe evolutive che rende ben evidente quello che fu il lento progredire da una forma sociale all'altra; una sorta di modello a cerchi concentrici che si espandono passo dopo passo fino a giungere alla dimensione definitiva. Il contrasto tra la forma di partenza e quella di arrivo può essere chiaramente reso pensando che l'unità di base della società antica era la Famiglia, quello di una società moderna, l'individuo. Seguendo l'evoluzione di questa forma sociale, si assiste progressivamente alla dissoluzione della dipendenza familiare e alla conseguente crescita dell'individuale impegno nel ricercare il proprio posto in società. L'individuo giunge così a sostituire la famiglia. Ciò è quello che si intende per **Contratto**.

La formula ha impressionato molto; è stato naturale interpretarla come la manifestazione giuridica dell'altra contrapposizione di concetti, lanciata da Ferdinand Tönnies, secondo il quale la società moderna ha i caratteri di una *Gesellschaft* di individui liberi e autonomi, mentre nelle società primitive prevalgono i caratteri unificanti della *Gemeinschaft*.

"La teoria della società riguarda una costruzione artificiale, un aggregato di esseri umani che solo superficialmente assomiglia alla comunità, nella misura in cui anche in essa gli individui vivono pacificamente gli uni accanto agli altri. Però, mentre nella comunità gli esseri umani restano essenzialmente uniti nonostante i fattori che li separano, nella società restano essenzialmente separati nonostante i fattori che li uniscono" [5].

Soprattutto nella società Occidentale, il progresso è stato considerevole (si pensi alla condizione servile, a quella femminile in cui la donna era necessariamente posta sotto tutela). Il movimento delle società progressive è pertanto questo: un passaggio dallo Status al Contratto.

## L'evoluzione della famiglia: la teoria di L. H. Morgan

Lewis Henry Morgan, etnologo e antropologo di formazione giuridica, nato ad Aurora nel

1818, viene considerato l'iniziatore dello studio antropologico dei sistemi di parentela [6].

Grazie alla frequentazione di una loggia massonica che si ispirava alle gerarchie irochesi e all'amicizia con Ely S. Parker, irochese proveniente dalla tribù Seneca, Morgan si rivelò sempre più interessato ad approfondire lo studio delle popolazioni indigene americane e i loro legami interni. Scoprì che i Seneca erano divisi in gruppi e dominati da un sistema matrilineare, da lui ritenuto inferiore rispetto a quello tipico delle società "civilizzate". Da qui nacque il suo interesse per i vincoli di parentela, considerati un aspetto centrale e sistematico della vita sociale di ogni confederazione [3].

I risultati delle sue ricerche sono presenti in *Ancient Society* (1877) [8], dove l'idea dominante è quella di progresso, applicata all'intero corso evolutivo della famiglia umana. Essa permette di spiegare l'immagine di una società in sviluppo come un individuo che nasce e cresce. In tal modo si applica la metafora organica ed è possibile il richiamo degli elementi dell'evoluzionismo come tracciati da Darwin.

Morgan considera, dunque, le società fondate sulla parentela meno evolute di quelle fondate sulla centralità del rapporto politico e dello Stato: parte del suo pensiero, quest'ultima, poi accantonata e criticata per le sue basi razziste ed eurocentriche. Da questa prima distinzione, giunge, quindi, a ricondurre ogni forma di governo a due diversi piani generali.

"Il primo in ordine di tempo si fonda sulle persone e sulle relazioni puramente personali e potrebbe essere considerato una società (*societas*). L'unità di questa organizzazione è la gens. [...] Dopo la sua comparsa, la gens divenne sostanzialmente l'organizzazione universale della società antica; e rimase tale presso i Greci e i Latini anche dopo la civilizzazione. Il secondo si fonda sul territorio e sulla proprietà e potrebbe essere considerato uno Stato (*civitas*). La borgata o rione, circoscritto nei suoi limiti e confini, con la proprietà che contiene, è la base o unità del secondo, e il risultato è una società politica. [...] Nella società antica questo piano territoriale era sconosciuto." [8].

Dunque, l'unità della prima forma di governo è la *gens* e non la *familia*: se la nazione è un aggregato di tribù e la tribù un aggregato di *gentes*,

infatti, più *familiae* non costituiscono una *gens*, poiché in una società gentile vige il divieto di sposarsi tra membri della stessa *gens*. Allo stesso modo nelle società più evolute lo Stato riconosce la contea, la contea riconosce la borgata, ma quest'ultima non prende atto della famiglia. In questo senso, Morgan si distacca dall'idea di progresso mainiana, che prevedeva un'evoluzione delle strutture sociali dalla *familia* allo Stato.

Negli Stati più avanzati il rapporto parentela-società diviene più stretto, perché il sistema di tipo descrittivo, al contrario di quello classificatorio delle gentes, permette alle famiglie di riconoscere tutti i legami di parentela e, di conseguenza, di dare un valore alla proprietà. Tuttavia, con il tempo, ammette Morgan, la proprietà, caratteristica tipica dei governi più complessi e delle organizzazioni più efficienti, ha iniziato a creare divari sociali: è questo, dunque, l'aspetto della sua teoria che ha maggiormente influenzato Marx ed Engels [9].

Infine, l'autore di *Ancient Society* immagina un'evoluzione della famiglia che abbraccia diverse fasi: dalla famiglia consanguinea alle abitudini punalua e sindiasmiana, arrivando alla famiglia patriarcale e, infine, a quella monogamica. L'evoluzionismo di Morgan si struttura, in ultima analisi, nel senso di una progressiva frammentazione da formazioni più estese (come la famiglia allargata e consanguinea) a formazioni più ristrette, per giungere a quella monogamica. Quest'ultima, che ha posto le basi per l'uguaglianza tra uomo e donna e per l'evoluzione della famiglia nucleare tipica dell'Occidente, è considerata da Morgan la più avanzata tra tutte.

## Il pensiero marxista in rapporto al *The Ancient Law* e al *The Ancient Society*

Negli anni '40 dell'Ottocento il marxismo si presentò come una "scienza" in grado di fornire un'interpretazione complessiva della società borghese-capitalistica in avvio e della sua direzione di sviluppo. L'eponimo Karl Marx e Friedrich Engels, infatti, presero posizione nel cosiddetto "socialismo scientifico", sia nel *Manifesto del partito comunista* (1848) [11] sia nella prefazione al *Capitale* (1867) [12]: intento era quello di indaga-

re il modo capitalistico e i rapporti di produzione come di scambio e scoprirne le leggi naturali alla base, proprio come nelle omonime scienze. Tuttavia, all'aspetto economico-politico presto si unì l'interesse per la nascente antropologia evoluzionistica, giungendo in questo modo a una lettura del marxismo un po' diversa da quella tradizionale. Difatti, il giovane Marx mostrò sempre un interessamento per l'origine della società umana e il rapporto tra natura e società [10] e per questo motivo egli focalizzò la sua attenzione, in particolare, sulle opere dei contemporanei H.S. Maine e L.H. Morgan.

Il libro *Quaderni antropologici. Appunti da L.H. Morgan e da H.S. Maine* di Marx è stato pubblicato in Italia solo nel 2009 [7] ma fornisce l'opportunità di veder meglio chiarito il punto di vista marxiano in rapporto a quello di Maine e Morgan. Rispettivamente, la visione del progresso sociale del primo fu messa in discussione in quanto non aveva tenuto in profonda considerazione la dipendenza dello Stato dalla società e il carattere fondamentale dei fattori economici nella determinazione della Storia (oltre a quelli giuridici e morali già evidenziati dal giurista inglese). Il secondo invece, avvocato americano, etnologo e uno dei principali fondatori dell'antropologia fisica, attirò l'attenzione del filosofo proprio per aver attribuito valore al cambiamento tecnologico e ad altri fattori materiali nell'evoluzione culturale e sociale degli esseri umani [13].

D'altro canto, Morgan relativizzò le forme sociali, dubitando del fatto che a fondamento delle società moderne potesse esserci un sistema di tipo patriarcale: al centro della sua riflessione vi erano infatti gli stadi della cultura e, per lo studioso, il meccanismo propulsore della Storia era rappresentato dal disfacimento del principio di parentela. Ciò andava in contrasto con la riflessione marxista della transizione alla società civile, per cui le comunità antiche erano nate dall'unione di gruppi locali o parentali [14].

Peraltro, la seconda edizione (1890) de *L'Origine della Famiglia, della Proprietà Privata e dello Stato* (1884) di Engels [16] fu definita da Lenin come "una delle opere fondamentali del socialismo moderno": partendo dalla selezione, analisi e confronto soprattutto degli scritti più recenti sulla storia delle società primitive, delle opere di Morgan, il *Capitale* marxiano e le osservazioni di

quest'ultimo relativamente al *The Ancient Society* e beneficiando dei propri studi in materia di Storia dell'antica Grecia, Roma, Irlanda e degli antichi Germani, Engels incentrò il suo trattato sull'antica storia dell'uomo, la decadenza delle comunità primitive e l'ascesa di una società basata sulla proprietà privata [15], il cui perno sarebbe stato rappresentato proprio dalla riflessione morganiana e dal giudizio dello studioso in materia di Civiltà, di cui si riporta un significativo ed esplicito brano tratto dal *The Ancient Society*:

"Dall'inizio della civiltà l'aumento della ricchezza è divenuto così enorme, [...] la sua amministrazione così abile nell'interesse dei proprietari [...]. Ma tuttavia verrà il tempo in cui la ragione umana si rafforzerà fino a dominare la ricchezza, in cui stabilirà saldamente sia il rapporto dello Stato verso la proprietà che lo Stato protegge, sia i limiti dei diritti dei proprietari. Gli interessi della società precedono assolutamente gli interessi individuali, e gli uni e gli altri devono essere portati a un rapporto giusto ed armonico. La semplice caccia alla ricchezza non è la meta finale dell'umanità, se il progresso rimane la legge del futuro come lo è stata del passato [...]. La dissoluzione della società si drizza minacciosa dinanzi a noi come conclusione di un corso storico il cui unico scopo finale è la proprietà, poiché un simile corso contiene in sé gli elementi della propria distruzione. Democrazia nel governo, fraternità nella società, eguaglianza dei diritti e privilegi, istruzione per tutti, consacreranno il prossimo stadio superiore della società a cui tendono costantemente esperienza, scienza e ragione. Sarà una resurrezione, in una forma più elevata, della libertà, dell'eguaglianza e della fraternità delle antiche *gentes*. [16].

Anche nella descrizione utopistica appena citata si coglie una peculiare applicazione dell'evoluzionismo, che presuppone un passaggio da forme più elementari a forme più elevate, attraverso un processo e un meccanismo di "selezione naturale" delle qualità migliori rinvenibili in seno alla società umana.

In conclusione, con il presente lavoro interdisciplinare si è voluto apportare un umile contributo alla teoria evoluzionistica dello Stato e della società. Iniziando dalla Storia antica, attraverso l'esempio fornito dalla società romana, l'articolo

ha proseguito con un'analisi comparativa tra tesi apparentemente antitetiche (le visioni dei sociologi Maine e Morgan), per le quali in ogni caso è possibile cogliere dei punti di contatto. Queste, infatti, hanno trovato un'importante sintesi nel pensiero marxista, nel quale entrambe le prospettive (in particolare, quella morganiana) hanno giocato un ruolo decisivo, seppur ancora poco noto.



- [1] M. PANI, E. TODISCO: *Storia Romana, dalle origini alla tarda antichità*. Carocci, Roma (2016).
- [2] G. GERACI, A. MARCONE: *Storia Romana*. Le Monnier, Firenze (2011).
- [3] C. J. SMITH: *The Roman Clan. The gens from ancient ideology to modern anthropology*, Cambridge University Press (Cambridge).2006
- [4] H. S. MAINE: *Ancient Law: Its Connection With The Early History Of Society And Its Relation To Modern Ideas*. Maine, Londra (1861).
- [5] <: F. Tönnies. *Gemeinschaft und Gesellschaft*, WBG (Darmstadt).2005
- [6] Enciclopedia Treccani, Morgan, Lewis Henry. Tratto nel mese di aprile 2019 da: [www.treccani.it/enciclopedia/lewis-henry-morgan/](http://www.treccani.it/enciclopedia/lewis-henry-morgan/)
- [7] L. KRADER: *The ethnological notebooks of Karl Marx*. Studies of Morgan, Phera, Maine, Lubbock, 1974 ( ). F. Faraboschi, *Quaderni antropologici. Appunti da L. H. Morgan e da H. S. Maine*, Unicopli, Milano (2009).
- [8] L. H. MORGAN: *Ancient Society. Or Researches in the Lines of Human Progress from Savagery through Barbarism to Civilization*. First Indian Edition: Bharti Library, Booksellers and Publishers, *Citta?* (1944).
- [9] Youtube, Social Evolution & Rise of Capitalism | featuring Lewis Henry Morgan | Anthro Theory #2, 24 aprile 2018. Tratto nel mese di aprile 2019 da: <https://youtu.be/vbZ3PJQmHk>
- [10] Enciclopedia Treccani, Marxismo, 1996. Tratto nel mese di maggio 2019 da: [http://www.treccani.it/enciclopedia/marxismo\\_%28Enciclopedia-delle-scienze-sociali%29/](http://www.treccani.it/enciclopedia/marxismo_%28Enciclopedia-delle-scienze-sociali%29/)
- [11] K. MARX, F. ENGELS: *Manifest der Kommunistischen Partei*. , Londra (1848). (tr. italiana) *Manifesto del partito comunista*, Fantuzzi, Milano (1981).
- [12] K. MARX: *Das Kapital*. , Amburgo (1867). (tr. italiana) *Il capitale, L'eco del popolo*, Cremona (1893).
- [13] Encyclopædia Britannica, Lewis Henry Morgan, 2019. Tratto nel mese di maggio 2019 da: <https://www.britannica.com/biography/Lewis-Henry-Morgan>

- [14] O. Oddi, Luca Basso, *Agire in comune. Antropologia e politica nell'ultimo Marx*, 2013. Tratto nel mese di maggio 2019 da: <http://www.consecutio.org/2013/04/luca-basso-agire-in-comune-antropologia-e-politica-nellultimo-marx/>
- [15] F. Engels, *The Origin of the Family, Private Property and the State*, 2000. Tratto nel mese di maggio 2019 da: [https://www.gench.edu.cn/\\_upload/article/f4/c3/ac5de8a24a78bdbcb0886ee90e290/dee84ff9-2bb1-4c56-8e2c-59f646ece97c.pdf](https://www.gench.edu.cn/_upload/article/f4/c3/ac5de8a24a78bdbcb0886ee90e290/dee84ff9-2bb1-4c56-8e2c-59f646ece97c.pdf)
- [16] F. Engels, *L'origine della famiglia, della proprietà privata e dello stato*, 1884. Tratto nel mese di maggio 2019 da: [http://www.centrogramsci.it/classici/pdf/famiglia\\_engels.pdf](http://www.centrogramsci.it/classici/pdf/famiglia_engels.pdf)



**Chiara De Masi:** studentessa del corso di Laurea in Lettere Classiche, II anno.

**Giada Invidia:** studentessa del corso di studio Magistrale in Lettere Moderne, I anno.

**Flavia Papadia:** studentessa del corso di laurea in Filosofia, I anno.

**Simonetta Serio:** studentessa del corso di studio Magistrale in Lettere Classiche, I anno.



# Evoluzione della concezione dell'istituto del matrimonio

Matteo Muci, Serena Notaro, Francesco Ribezzo, Altea Tafuro

Scuola Superiore ISUFI,  
Università del Salento

---

**C**ostumi, usanze e tradizioni sono le parole chiave dell'istituto giuridico che genera l'unità familiare. Nato in un modo, si è reinventato continuamente, adattandosi ai tempi e alle circostanze, cambiando pur rimanendo solido. Questo lavoro si propone di analizzare due momenti di questa evoluzione: l'età romana e quella moderna, due mondi separati da secoli di storia che ci mostreranno quanto è stato conservato e quanto è andato perduto all'insegna di un unico fil rouge: il matrimonio.

## Natura metagiuridica del matrimonio

Il matrimonio quale fondamento della famiglia intesa come società naturale dall'articolo 29 della Costituzione, prima che un atto giuridico è un fatto umano e sociale, un atto da cui scaturiscono in primis rapporti morali e affettivi, come lo stesso giurista romano Modestino constatava "*nuptiae sunt coniunctio maris et feminae et consortium omnis vitae, divini et humani iuris communicatio*" (le nozze sono l'unione di un uomo ed una donna, e la comunanza di tutto quanto attiene al-

la loro vita, l'aver in comune regole trascendenti e umane), un fenomeno dunque a cui il diritto s'interessa, ma che al diritto preesiste, ne è fonte.

Matrimonio è "sia l'atto (*matrimonium in fieri*) [...], sia il rapporto (*matrimonium in facto*) [...]" che nell'atto ha la sua fonte. L'atto [...] suggella una scelta responsabile e consapevole di vita" [1], un lessema di grande pregnanza semantica, tanto nella moderna concezione, tanto in quelle più antiche "il matrimonio era riguardato dai romani come un fatto sociale piuttosto che come un *quid* di giuridico" [2]. Riconoscimento della natura metagiuridica dell'istituto sarebbe percepibile già nella terminologia in uso presso gli antichi, come dimostra Francesca Lamberti "secondo una lettura condivisa, l'espressione *coniunctio maris et feminae* ravviserebbe la funzione essenziale del matrimonio nella procreazione e nella cura dei figli, e il suo fondamento nel diritto naturale (spia ne sarebbero sia l'uso *mas* e *femina* in luogo di *vir* e *uxor*, che l'impiego del termine *coniunctio*)" [3]. Sebbene dunque la natura dell'istituto sia chiara e persistente nel tempo, le forme in cui si manifesta sono tutt'altro che costanti e imperiturre, dimostrano invece un carattere estremamente evolutivo, *in fieri*.

## Dal matrimonio *cum manu* al matrimonio *sine manu*

Nella cultura romana, fino al periodo arcaico, "il matrimonio comportava la sussunzione della donna, da cui si voleva una prole, sotto il potere del marito o del di lui *pater* [1], acquisizione della donna da parte del marito, attraverso le stesse forme rituali caratteristiche dell'acquisto della proprietà, affinché l'uomo - o, qualora fosse ancora un *filius familiae*, il suo *pater familias* - potesse esercitare sulla donna un potere di assoggettamento, definito *manus*. Tali forme rituali erano: la *coemptio*, una forma di compravendita (*mancipatio*) con cui l'uomo, che intendeva generare prole, realizzava l'unione con la cosiddetta "fattrice" (così definita da Vincenzo Giuffrè [2]); la *confarreatio*, rito religioso con cui era la stessa donna a manifestare la volontà di assoggettarsi, condividendo una focaccia di farro, sacra a Giove, con il nubendo; l'*usus*, vero e proprio acquisto a titolo originario della *manus* decorso un anno di coabitazione.

Come argomenta Giuffrè [2], la soggezione ai poteri relativi alla *manus* comportava per la donna una netta recisione dei legami, in particolare giuridici, con la famiglia d'origine: da un lato il *pater familias* originale della donna perdeva i poteri di sottoporre direttive, imposizioni e castighi alla stessa, in favore del marito o del nuovo *pater familias*; dall'altro lato, la donna non poteva più vantare diritti successori alla morte del padre.

Con il mutamento delle condizioni economiche e sociali, si avvertì l'esigenza da parte della donna di conservare le proprie pretese ereditarie, si evitò di far uscire la *mulier* dalla *patria potestas*, in modo che essa potesse partecipare alla successione *ab intestato* al padre, pertanto si escogitarono degli stratagemmi che consentissero alla stessa di prendere parte alla spartizione dei beni della famiglia d'origine.

Si costituiva così il nuovo nucleo familiare evitando l'apposizione della *manus* da parte del marito, per mezzo di un'interruzione della coabitazione per tre notti consecutive all'anno - in un secondo momento anche solo per apparenza, come testimoniano Gaio e Quinto Mucio [4] con riferimento alle XII tavole, Gellio [5] - tale da aggirare l'*usus* e da far divenire desuete le forme della *coemptio* e della *confarreatio*. L'escamotage diven-

ne talmente diffuso da assurgere a prassi, tanto che la  *fictio iuris* della fuga si considerò superflua, essendo ormai pacifico che la coabitazione non comportasse usucapione della moglie.

Da questo momento si definisce una forma di *matrimonium sine manu*, in cui i poteri della *manus maritalis* non scompaiono, ma si attenuano in una "potestà maritale" [2], come conseguenza di una palese conquista di posizione della donna - almeno una volta divenuta *sui iuris* alla morte del *pater* - circa la possibilità di mantenere la propria coscienza e volontà (*suitas*), rendendo così rilevante anche la propria intenzione nella formazione della nuova *familia*.

## La rilevanza del consenso: il negozio familiare

Si passa da un quadro rituale variegato, indegnamente imperniato su forme prese a prestito da altri riti, religiosi o pratiche commerciali, funzionali all'ottenimento della donna come strumento per la procreazione, ad un atto di autonomia privata tipico e peculiare, fondato sulla manifestazione di volontà di entrambi, funzionale alla costituzione consensuale di una nuova unità domestica.

Imprescindibile è dunque il consenso specifico, come sostiene Ulpiano [6] (la volontà coniugale, non il fatto dello giacere insieme, sostanzia il matrimonio). *Consensus* si traduce anche nelle connotazioni della *mens coeuntium* (l'animo concorde di chi sta insieme) e nell' *affectio maritalis* (affetto del marito), puntualizza Giuffrè [2]. Si nota, dunque, un evidente spostamento dell'attenzione alla sfera sentimentale, precedentemente irrilevante, seppur da un punto di vista prevalentemente maschile, come suggerisce lo stesso dato letterale dell'aggettivo  *maritalis*, sintomo della permanenza di una qualche forma di supremazia dell'uomo.

A rendere solenni tali manifestazioni di volontà era un atto simbolico e plateale, il passaggio da parte della donna oltre la soglia della casa del marito. Non era sufficiente che il consenso si manifestasse solamente alla conclusione del negozio giuridico, doveva altresì perseverare di fatto in ciascun momento della  *conventio familiaris* ed essere esternato attraverso il reciproco

trattamento in pubblico, tant'è che qualora fosse venuto meno, ciascuno dei coniugi sarebbe potuto andare per proprio conto (*divertere*, da cui *divortium*).

Qualunque possibile vizio della *voluntas perseverans* era oltretutto ripudiato e osteggiato dall'istituzione del divieto di donazioni tra coniugi, con l'obiettivo di evitare che eventuali divergenze tra moglie e marito fossero risolte con donazioni (divieto fino al '42, pag. 339 Giuffrè [2]).

L'elemento consensuale, non solo sarebbe emerso nello stretto rapporto di *coniugio*, bensì sarebbe permeato nell'assetto dell'intera compagine familiare che ci prospetta Eva Cantarella: "una famiglia all'interno della quale vivevano rapporti idilliaci, in cui i figli amavano i padri e i padri rispettavano la personalità dei figli, i mariti amavano le mogli, e viceversa, i bambini, amati e protetti, non erano sottoposti a punizioni corporali [...] una famiglia nucleare che a me ricorda e che per brevità d'ora in poi chiamerò Modello Mulino Bianco" [7].

Modello familiare definito dalla stessa Cantarella "nouvelle vague non romanistica" i cui più accesi sostenitori sono Richard Saller e Susan Treggiari, autori di una riconversione della famiglia romana patriarcale e gerarchica a cui l'immaginario collettivo era abituato a pensare: da un punto di vista quantitativo, ridimensionando l'estensione e il numero dei componenti a quello di una più moderna famiglia nucleare; da un punto di vista "sociologicamente fuorviante delle norme giuridiche" (denominazione polemica di Cantarella), contestando l'effettivo impiego dei poteri della *patria potestas* previsti da norme generali e astratte non coincidenti con la realtà fattuale.

## Dal modello di famiglia patriarcale a quello individualistico-associativo

Ad evolversi, negli ultimi secoli, non solo l'istituto del matrimonio, ma altresì la formazione sociale a cui esso dà vita: la famiglia. Nel 1975, sulla scia della rivoluzione socio-politica che attraversa l'Italia, la riforma del diritto di famiglia ridefinisce il contenuto dell'articolo 29 della Co-

stituzione, interpretandolo alla luce del principio di uguaglianza. L'assunzione normativa della parità morale e giuridica reciproca dei coniugi (art. 143 del Codice Civile) dimostra come l'attenzione del legislatore si sia focalizzata sulla figura del coniuge in quanto persona [8], individuo, soggetto di diritti e doveri, indipendentemente dalla natura di marito o di moglie. In questi termini, il testo riformato si pone in netto contrasto con la tradizione precedente, di stampo patriarcale, che voleva riservato al marito l'esercizio di ogni potestà all'interno del nucleo familiare.

L'autonomia dei coniugi è, in questa moderna prospettiva, il valore attorno a cui si costruisce la regolamentazione del matrimonio, che si presenta sotto due aspetti: in quanto atto e in quanto rapporto [9]. Nel matrimonio inteso come atto, l'autonomia consiste nella libera manifestazione del consenso ed è limitata dall'interesse pubblico relativo alla certezza del rapporto coniugale. Nella seconda accezione, privilegiata dall'attuale disciplina, invece, l'autonomia è maggiore e trova limite unico nella tutela dei diritti fondamentali: lo scopo è quello di avallare la concezione del matrimonio quale frutto di un accordo paritario.

Se ne deduce che la riforma abbia scisso l'atto formale dal rapporto sostanziale, attribuendo a quest'ultimo la natura di parametro attraverso cui valutare la persistenza dell'elemento morale, prima che giuridico, dell'istituto in esame [9].

La libertà matrimoniale diventa dunque baluardo di un nuovo modo di intendere la relazione coniugale e concretamente si ritrova soprattutto nell'incremento del numero dei casi in cui il matrimonio può essere dichiarato invalido: lo scopo è quello di evitare che venga a mancare, nell'instaurazione di un vincolo simile, l'elemento della volontà, oggi, imprescindibile.

La dichiarata parità tra coniugi ha anche lo scopo di emancipare la moglie, precedentemente subietta al marito, e indicarla quale destinataria diretta di diritti e doveri; interessante a questo proposito si rivela l'equiparazione patrimoniale tra i coniugi: mentre prima della riforma era il marito a dover rispondere economicamente dei bisogni di consorte e prole, con le nuove norme, questo obbligo si estende alla donna (che assolverebbe pienamente a tale dovere anche qualora si occupasse unicamente della cura della famiglia).

Diretta conseguenza di questo mutamento in-

terpersonale è la completa rivoluzione dell'assetto familiare universalmente inteso. Se nel codice del 1865, e in parte in quello del 1942, la *patria potestas* era totalmente in capo al padre e il figlio era tenuto ad onorare e rispettare i genitori fino all'età adulta, con la riforma del diritto di famiglia cambiano i presupposti alla base di tale concezione: non è più il mantenimento dell'unità familiare il fine ultimo attribuito dallo Stato alla famiglia, bensì la realizzazione del progetto educativo relativo alla prole a cui devono tendere pariteticamente madre e padre [10].

## La moderna concezione: il principio del consenso nell'atto formativo e disgregativo del matrimonio

La dottrina civilistica più accorta ha da tempo riconosciuto l'impossibilità di esaurire la categoria degli atti di autonomia negoziale nel solo schema patrimoniale. Difatti, in linea con l'evoluzione del contesto sociale, la centralità e la rilevanza costituzionale attribuita al valore della persona umana hanno indotto ad una separazione fondamentale tra patrimonialità e negoziabilità: perché un bene sia negoziabile è necessario (e sufficiente) che esso tenda al soddisfacimento di interessi meritevoli di tutela.

La premessa appena enunciata consente allora una riflessione sul diritto di famiglia ed il matrimonio, intesi come ambiti dell'esistenza in cui più forti sono gli interessi esistenziali, venendo meno la centralità dell'aspetto patrimoniale. La concezione oramai superata della famiglia come ente portatore di interessi superindividuali, in favore del riconoscimento per essa della sola funzione di sviluppo della personalità dei suoi componenti (art. 2 Cost.), ha reso possibile - già con la novella al codice civile del 1975 (legge n. 151/1975) - il "pieno dispiegarsi del principio del consenso" [11] per quanto concerne gli accordi sull'indirizzo della famiglia (art. 144.1 Cod. Civ.), l'esercizio della responsabilità genitoriale e, ancor più evidentemente, gli atti formativi e disgregativi della comunità familiare. Con matrimonio si vuole indicare tanto l'atto formativo (*matrimonium in fieri*) quanto il rapporto (*matrimonium in facto*) sottostanti alla "scelta responsabile

e consapevole di vita" [11] che fonda la famiglia come società naturale (art. 29 Cost.). In virtù del Concordato tra Stato italiano e Santa Sede (esecutivo con legge n. 810/1929) pare differente il valore attribuito al profilo consensualistico per gli ordinamenti canonico e statale: il primo esalta fortemente la purezza dell'atto di volontà nel rapporto sacramento - coscienza individuale (il canone 1055 discorre, non a caso, di *consortium omnis vitae*), il secondo le responsabilità e la consapevolezza che esso comporta e richiede, con le inevitabili differenze quanto a regime delle invalidità tra i due modelli. I giuristi riconducono il negozio matrimoniale alla figura degli atti cosiddetti personalissimi, tipici e legittimi. La libertà matrimoniale, che è l'immagine più vivida della libertà di scelta dei coniugi, massima se si considera la non vincolatività della promessa matrimoniale, incontra tuttavia un limite invalicabile quanto all'impossibilità di modificare lo schema legale prestabilito dal legislatore. La relazione coniugale è informata ai principi di uguaglianza<sup>1</sup>, sicché il consenso prestato alla formazione della comunità familiare implica l'equidistribuzione dei medesimi diritti e doveri (fedeltà, assistenza, coabitazione, collaborazione, come espressi dall'art. 143 Cod. Civ.).

Parimenti la rilevanza del consenso è riscontrabile nel momento disgregativo dell'unità della famiglia<sup>2</sup>, con la sospensione degli effetti o al più, ma solo indirettamente, con lo scioglimento del matrimonio.

La prima è peculiare dell'istituto giuridico della separazione personale dei coniugi, che è possibile bipartire nelle due macro-categorie di separazione cosiddette legale (a sua volta comprendente la separazione giudiziale e quella consensuale) e di fatto. Solo le due *species* consensuale e di fatto esprimono la rilevanza del momento volitivo se si considera che per la prima risulta in ogni caso imprescindibile - e in aggiunta al consenso espresso dei coniugi alla sospensione degli obblighi discendenti dalla convivenza - l'omologazione giudiziale. La separazione di fatto, a sua volta, risulta ad oggi ancora scarna

<sup>1</sup>La Corte Costituzionale ha ritenuto il principio di uguaglianza preminente su quello dell'unità familiare, vd. da ultimo sent. C. Cost. n. 254/2006

<sup>2</sup>L'ordinamento dispone, in ogni caso, la cessazione del vincolo matrimoniale come *extrema ratio*, nel rispetto del *favor matrimonii*

di riferimenti normativi. Pure si ritiene che il consenso, o quantomeno l'accettazione dell'altro coniuge interessato dalla chiara decisione del primo, sia necessario. La separazione legale dei coniugi, giacché causa statisticamente più frequente e notevole di divorzio, consente l'ingresso del principio del consenso anche nel momento del definitivo scioglimento del matrimonio.

## Individuazione dei fossili giuridici

Pare naturale che l'evoluzione dei sistemi giuridici si accompagni alla conservazione di istituti antichi, oramai superati dal comune sentire di una società. Uno di questi è senz'altro la dote matrimoniale.

L'evoluzione dell'istituto matrimoniale si è lasciata dietro delle consuetudini la cui sussistenza, nel momento in cui si sono formate, era giustificata da determinate esigenze sociali, ma in momenti successivi ha perso ragion d'essere o addirittura è stata respinta dagli ordinamenti.

Tra i risvolti patrimoniali, ad esempio, già in età tardo-antica si rinvenivano delle attribuzioni patrimoniali, a vario titolo, nei rapporti antecedenti e concomitanti il matrimonio: donazioni obnuziali e dote.

Le attribuzioni con causa individuabile nel matrimonio consistevano in elargizioni reciproche di beni tra i nubendi, condizionate all'evento nozze e finalizzate a sostenerne i pesi. Sollevarono già in periodo post-classico problemi in ordine alla loro restituzione dopo lo scioglimento del matrimonio. Problema ulteriore si poneva circa la liceità delle donazioni in costanza di matrimonio che, a partire dal consolidamento del *matrimonium sine manu*, divennero certamente illecite, come argomenta Giuffrè [2], non per evitare che si sanassero i contrasti coniugali con donazioni, bensì per tutelare il patrimonio del marito che, donando a una donna ancora subietta al *pater familias*, finiva per trasferire il bene al di lei *pater*.

Benché già Giustiniano non condividesse la ratio del divieto di donazioni obnuziali, questo acquistò una tale *opinio iuris* da essere continuato e riprodotto anche in esperienze giuridiche successive, fino a trovare collocazione anche nel codice civile italiano del 1942. Almeno finché

nel 1973 la Corte Costituzionale, chiamata a dirimere una questione di legittimità costituzionale dell'art.781 del Codice Civile, sanzionò con declaratoria d'illegittimità costituzionale un divieto la cui ratio ormai non trovava più fondamento alcuno.

L'evoluzione della famiglia dal modello piramidale al modello individualistico associativo a base consensuale ha anche comportato, nel 1975, l'abrogazione del fossile della dote, caduto ormai in disuso per via della conseguente inalienabilità dei beni e del retaggio di discriminazione, sebbene sia prevista la facoltà di costituire fondo patrimoniale, per la famiglia, attraverso attribuzioni di entrambi i coniugi o di terzi.

Un altro esempio è l'istituto della filiazione dacché la legge n. 219/2012 ha disposto lo statuto unitario della filiazione, che realizza le istanze costituzionali degli articoli. 2, 3, 30.3 della Costituzione e, parallelamente, quelle degli articoli 7 e 8 della Convenzione sui diritti del fanciullo, volte ad eliminare ogni discriminazione in base al contesto della nascita (figli nati nel o fuori del matrimonio). Il testo novellato dell'art. 315 statuisce, in maniera solenne che "Tutti i figli hanno lo stesso stato giuridico" da qui la necessità di un adeguamento terminologico di tutta la legislazione vigente in materia di filiazione, mediante la sostituzione delle parole "figli legittimi" e "figli naturali" con la parola "figli" (articolo 1.11 Legge n. 219/2012). È sembrato irragionevole al nostro legislatore operare una distinzione tanto marcata tra soggetti sostanzialmente uguali per causa di un istituto, quello del matrimonio, che, per natura, si presta allo sviluppo armonioso ed identico per tutti i figli. È evidente l'influsso in tal senso della giurisprudenza internazionale, su tutte quella della Corte di Strasburgo.

Eppure, nel comune sentire, la suddetta distinzione ha sempre rivestito un ruolo decisivo fino alla recente novella, che ha finalmente allargato gli orizzonti della parità anche ai figli incestuosi ed adottivi. La vecchia distinzione tra figlio legittimo e figlio naturale ricalca le categorie del diritto romano classico che conosceva una discriminazione in base al concepimento, se avvenuto o meno in costanza di giuste nozze: solo il figlio legittimo poteva acquistare la cittadinanza con il conseguente dovere degli alimenti da parte dei genitori; i figli spuri (quelli nati da un'u-

nione illegittima) erano liberi, ma acquisivano il medesimo *status* della madre, mentre i *naturales* (nati dall'unione tra un uomo libero e una concubina), solo tramite *legitimatio*, potevano essere riconosciuti come legittimi.

Come si può osservare, nemmeno ad un istituto antico come il matrimonio è ammesso di sottrarsi allo scorrere del tempo; è un'evoluzione, quella che lo coinvolge, che lo attraversa senza corromperne l'essenza: dal mondo romano a quello moderno il matrimonio resta, e si afferma, un punto cardine della vita sociale degli individui che ne sono coinvolti, portandosi dietro tradizioni, usanze e costumi che, sebbene riformulati nei secoli, restano chiave interpretativa dell'unità familiare.



- [1] P. PERLINGIERI, L. ROSSI CARLEO, G. CHIAPPETTA: *Manuale di diritto civile*. VIII ediz., Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli (2017).
- [2] V. GIUFFRÈ: *Il diritto dei privati nell'esperienza romana. I principali gangli*. Jovene, Napoli (2010).
- [3] F. Lamberti, *Unioni di fatto. Dal diritto romano ai diritti attuali*. Atti dell'incontro italo-tedesco Imperia, 27-28 novembre 2015 in Futuro Anteriore. Collana di storia del diritto diretta da Riccardo Ferrante ed Elio Tavilla, G. Giappichelli, Torino (2016)
- [4] GAJUS: *Insituzioni, Commentari IV*. Libreria Minerva, Verona (1857).
- [5] AULO GELLIO: *Noctes Atticae*. Cornelium Boutesteyn & Johannem Du Vivié, Lugduni Batavorum (1706).
- [6] Ulpiano: *Digestum vetus*, Henricus Clayn, Perugia (1476), *Digestum infortiatum*, Vito Puecher, Roma (1475) *Digestum novum*, Vito Puecher, Roma (1476).
- [7] E. Cantarella, *Ubi tu Gaius. Modelli familiari, pratiche sociali e diritti delle persone nell'età del principato*, in Collana del Dipartimento di Scienze Giuridiche, Storiche, Economiche e Sociale dell'Università degli Studi Magna Græcia di Catanzaro, Giuffrè, Milano, (2014).
- [8] PAOLO CENDON: *Commentario al Codice Civile*. Giuffrè, Milano (2009).
- [9] MARCELLA FORTINO: *Diritto di famiglia*. Giuffrè, Milano (2004).
- [10] GIAMPAOLO FREZZA: *Trenta anni dalla riforma del diritto di famiglia*. Giuffrè, Milano (2005).
- [11] P. PERLINGIERI: *Manuale di diritto civile*. Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli (2014).

---

**Matteo Muci:** studente di Giurisprudenza, secondo anno

**Serena Notaro:** studentessa di Giurisprudenza, terzo anno

**Francesco Ribezzo:** studente di Giurisprudenza, terzo anno

**Altea Tafuro:** studente di Giurisprudenza, secondo anno

# Storia e applicazioni delle GPU

*Hello World!*

Tradizionale messaggio informatico

**Andrea D'Urbano, Alessandro Fasiello**

Scuola superiore ISUFI, Università del Salento

---

**L'**articolo è strutturato in due macro sezioni. Nella prima sarà presentata la rapidissima evoluzione delle GPU: una tecnologia che si colloca come supporto hardware per nuovi paradigmi di calcolo come, ad esempio, *deep learning* nell'universo dei *Big Data*. Nella seconda parte si andranno ad analizzare le applicazioni di queste tecnologie in vari ambiti come ad esempio medico o economico.

## Introduzione

Comunemente usate per processare le immagini ludiche dei videogiochi al computer, le GPU (Graphics Processing Unit) risultano essere, in realtà, un'importante risorsa per numerosi campi di ricerca, offrendo una potenza di calcolo altrimenti irraggiungibile. Processori ottimizzati per accelerare i calcoli grafici, si presentano, infatti, con la peculiare caratteristica di essere fortemente parallelizzati, offrendo così una capacità di calcolo parallelo ordini di grandezza superiore alle CPU.

## Storia ed evoluzione delle GPU

Spinte dalla ricerca di un *rendering real-time* di immagini 3D ad alta risoluzione sempre più veloce e complesso, proprie del mondo del gaming e delle sue simulazioni, le GPU si sono fatte strada nel mercato elettronico trasformandosi da facoltativo dispositivo anche per i calcolatori più potenti, a necessità indiscussa per ogni configurazione. Ma quali sono le ragioni del loro successo?

Effettuare *rendering* di immagini risulta essere un'operazione caratterizzata da parallelismo intrinseco, poiché l'operazione di elaborazione di ogni pixel è analoga ma sostanzialmente indipendente da quella degli altri. È per questo motivo che una soluzione provvista di un'inferiore velocità di calcolo seriale ma con una potenza di calcolo parallelo decisamente maggiore si rivela necessaria. Si preferisce così l'utilizzo delle GPU alle CPU (Central Processing Unit) i processori primari del computer, caratterizzate da elevatissima velocità seriale (con frequenze nell'ordine dei GHz) ma con limitato parallelismo (dai 2 o 4 core delle classiche configurazioni da casa/ufficio, ai rarissimi 36 core propri di configurazioni professionali orientate a workstations e servers).

## Gli albori

Le origini delle Schede Video possono essere viste nei semplici frame buffer integrati dei primi anni '80, chip TTL che sfruttando la CPU erano in grado di elaborare modelli wireframe solo su display raster [1].

Pioniere in questi anni fu la *IBM*, produttrice nel 1984 della scheda *PGA (Professional Graphics Controller)* che, prima a montare un microprocessore *Intel 8088* dedicato e 320 kB di *VRAM*, era in grado di accelerare l'elaborazione grafica 2D e 3D permettendo la rotazione del modello e il clipping delle immagini. Non pensata per il mercato di massa, ma per la sola applicazione professionale, con il suo prezzo di listino di circa 5000 dollari, offriva una valida e competitiva alternativa alle Workstation dedicate al CAD, i cui prezzi raggiungevano e superavano i 50000 dollari.

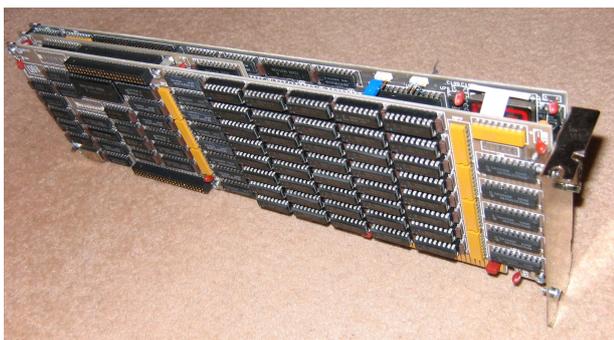


Figura 1: IBM Professional Graphics Controller

Negli anni immediatamente successivi gli obiettivi raggiunti furono l'aggiunta di funzioni quali la rasterizzazione di poligoni, ombreggiatura e illuminazione di solidi e vertici, z-buffer e fusione dei colori.

Di notevole importanza, nel 1989, il lancio della libreria *OpenGL* (tuttora standard per la grafica 3D in ambiente Unix) da parte dell'azienda *Silicon Graphics*, emersa in questi anni come leader nel campo della Computer Grafica ad alte prestazioni.

## Gli anni '90

Nel '93 la *Silicon Graphics* lancia il suo *RealityEngine*, dove vi erano per la prima volta schede e chip logici distinti per i diversi livelli della pipeline

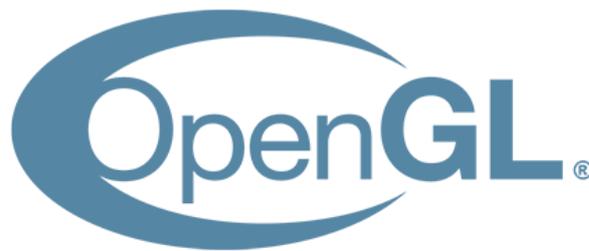


Figura 2: Logo della libreria OpenGL

grafica, anche se era ancora presente una forte dipendenza, per la prima parte, dalla CPU.

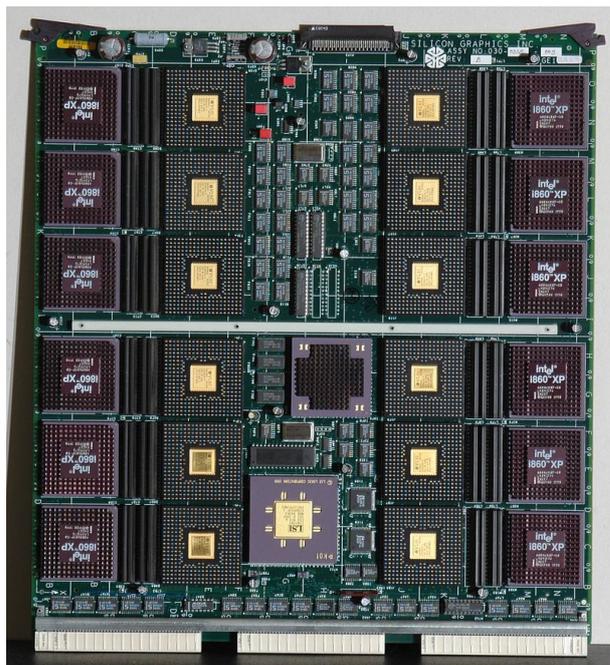


Figura 3: RealityEngine

Se le schede della *SGI* erano mirate al pubblico di professionisti e montate su Workstation, negli stessi anni iniziavano a farsi strada nel market domestico aziende come il colosso *NVIDIA*, *3DFX*, *ATI* e *Matrox*.

Schede dedicate al gaming come la *3DFX Voodoo* (1996) e la *NVIDIA Riva TNT* (1998) vedono la luce in questi anni, spinte dalla richiesta di elaborazione di immagini 3D da parte di pietre miliari videoludiche quali *Quake*, *Doom* o *Wolfenstein 3D*.

Caratterizzate da pipeline limitate dalla capacità di generare un solo pixel per ciclo di Clock, la necessità di maggiore velocità di elaborazione ha aperto la strada alla loro parallelizzazione, determinando, così l'aumento del numero di Core al fine di aumentare il numero di pixel elaborati per ciclo di Clock [1].

Un notevole passo avanti, che segna l'inizio di una nuova era e determina la nascita del termine "GPU", è stato compiuto nel 1999 con il lancio della *NVIDIA GeForce256*, prima scheda in grado di implementare sul suo processore dedicato l'intera pipeline con il supporto hardware per *Transform and Lightning*. Il salto tecnologico fu tale da surclassare completamente le altre case produttrici (*3DFX* fu inglobata dalla stessa *NVIDIA* poco dopo), lasciando come unica rivale la linea di chip grafici *Radeon* dell'azienda *ATI* (successivamente acquistata da *AMD*, unico attuale concorrente di *NVIDIA* nella produzione di GPU), la quale era riuscita a difendersi grazie al lancio (nell'aprile del 2000) della *ATI Radeon 7500*, dalle caratteristiche simili alla diretta concorrente [2].



Figura 4: *NVIDIA GeForce256*, la prima GPU al mondo

### L'avvento delle pipeline programmabili

Se le rivoluzionarie schede del decennio precedente risultavano, tuttavia, ancora rigide e ingessate nel loro unico obiettivo di fornire la sola accelerazione grafica, questa limitazione è stata superata nel 2001, quando la *NVIDIA* rilascia *GeForce 3*, la prima GPU ad avere parte della pipeline programmabile attraverso programmi denominati *shaders*, piccoli kernels scritti in un linguaggio basato sull'assembly. Nello stesso anno la *Microsoft* lancia la *X-Box* munita di processori grafici *NVIDIA*, prima console a sfruttare le librerie grafiche *DirectX*, le quali rappresentano tuttora il principale standard grafico nei sistemi *Windows*[2].

L'anno successivo è segnato dall'avvento nel mercato della prima scheda completamente programmabile, sempre di casa *NVIDIA*: la *GeForce FX*, provvista di 80 milioni di transistor, 128 MB di DRAM DDR a 128 bit e frequenza di clock di



Figura 5: *NVIDIA GeForce 3*

400 MHz, seguita dalla *ATI Radeon 9700*.

Queste schede permettevano operazioni con vertici e *shaders* programmabili, consentendo limitate operazioni di mapping di input-output specificate dall'utente.

Da qui fu breve il passo che portò, finalmente, nel 2003 al GPU computing per operazioni non grafiche, con la comparsa del completo supporto per i floating point e un'avanzata elaborazione delle *texture*, grazie all'avvento della libreria *DirectX 9* [1].

### L'esplosione nello sviluppo

Il 2004 vede una forte accelerazione nello sviluppo tecnologico delle GPU.

Dal lato hardware, vengono rilasciate, dalle ormai uniche concorrenti in campo, la *GeForce 6* e la *Radeon X800*, prime schede ad usare il bus *PCI-express*, a supportare multi-rendering buffers e calcoli a 64-bit con double; dal lato software, vedono la luce i primi linguaggi ad alto livello dedicati alle GPU: *Brook* e *Sh*.

Il frutto di tale innovazione matura nel 2006 in cui si assiste ad una vera e propria esplosione nell'utilizzo delle GPU come processori di massivo calcolo parallelo grazie soprattutto all'avvento della *NVIDIA GeForce 8 series*, la cui 8800 fu la prima GPU con un processore unificato completamente programmabile chiamato *Streaming Multiprocessor*, o SM, che gestiva il calcolo di vertici, pixel e geometria. Supportando le librerie *DirectX 10*, sono le prime schede a sfruttarne lo *shader model 4.0* che ne determina una maggiore programmabilità [1].

A coronare il processo verso le GPGPU (General Purpose GPU), nasce, per la *NVIDIA G80*,

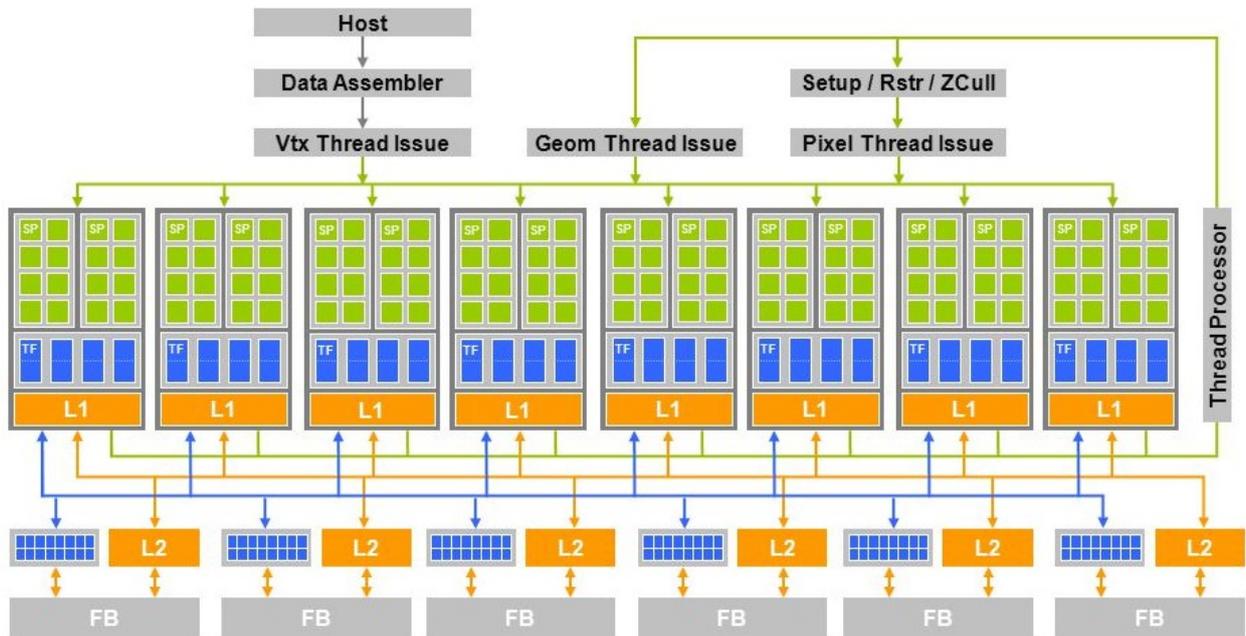


Figura 6: L'architettura della GeForce 8 series è costruita intorno all'idea di un processore programmabile

il linguaggio *CUDA*, imitato poco dopo da *ATI Stream* per le schede *ATI* [3].

Partendo proprio dalla rivoluzionaria *G80* e dall'analoga *Quadro FX5600*, nel 2007 *NVIDIA* lancia le GPU *TESLA*. Grazie ad esse "La potenza di calcolo precedentemente disponibile solo nei supercomputer viene resa accessibile a un numero molto più grande di ricercatori in campi quali la ricerca farmacologica, l'imaging medicale e la modellizzazione meteorologica." [2]

### L'avvento dell'architettura Fermi

Ormai orientata al GPGPU, nel 2009 *NVIDIA* annuncia la sua nuova architettura: *Fermi*, che arriverà sul mercato agli inizi del 2010.

Si tratta di un'architettura disegnata appositamente per il GPU computing e dotata, quindi, di gerarchia cache HW, ECC, spazio dei memory adress unico, esecuzione del kernel simultanea, migliori prestazioni in precisione double e dual warp schedulers. La potenza di calcolo parallelo risulta ormai impressionante grazie ad un totale di 480 *CUDA* core già al lancio della prima scheda *Fermi*, la *GTX480 Fermi*, provvista di 3 miliardi di transistor, 1.5 GB di DRAM GDDR5 a 384-bit e frequenza di funzionamento di 700MHz [1].

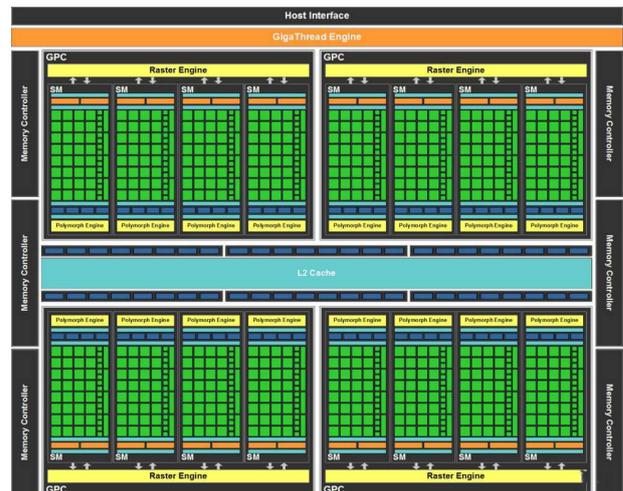


Figura 7: Architettura Fermi

### L'architettura Kepler, alla ricerca dell'efficienza energetica

Nel 2012 *NVIDIA* continua ad innovare presentando la *GeForce GTX serie 600*, "le GPU di gioco più veloci al mondo" (così definite dall'azienda al loro lancio), prime a sfruttare l'architettura *Kepler*.

Questa nuova architettura basa le sue fondamenta sulle soluzioni *Fermi* focalizzandosi, però, sull'efficienza energetica raggiunta attraverso l'uso di un clock GPU unificato, una programmazione statica semplificata delle istruzioni e una maggiore enfasi sulle prestazioni per Watt. Ab-



Figura 8: Architettura Kepler

bandonare l'uso dello shader clock visto nelle precedenti architetture ha infatti aumentato l'efficienza nonostante il conseguente aumento di CUDA core necessari a raggiungere superiori livelli di performance, complici core meno dispendiosi di energia (due core Kepler consumano il 90% di energia di un core Fermi) e il passaggio ad un clock unificato in grado di offrire un risparmio energetico del 50% [4].

### Maxwell: prestazioni a basso consumo

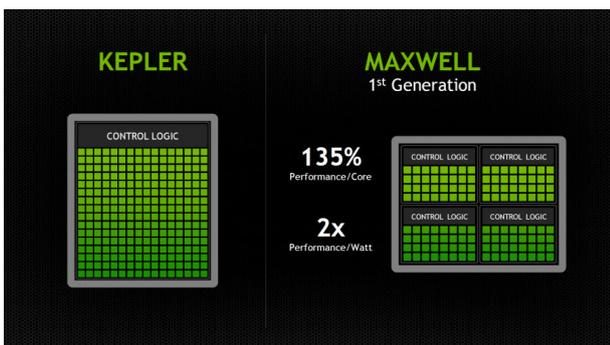


Figura 9: Confronto strutture Kepler e Maxwell

Nel 2014 viene presentata Maxwell, l'architettura NVIDIA di decima generazione, che presenta innovazioni nelle prestazioni, nella grafica e nell'efficienza delle GPU GeForce GTX: la casa produttrice dichiara, infatti, operando un con-

fronto tra la GeForce GTX 550 Ti, dotata di architettura Fermi, e la nuova GeForce GTX 750 Ti, un raddoppio delle prestazioni a fronte di un dimezzamento dei consumi, ridotti, invece, addirittura ad un quarto se confrontata con la GeForce GTX 480 (la testa di serie dell'architettura Fermi in quanto a prestazioni) di cui raggiunge le performance [5].



Figura 10: Architettura Maxwell

Nel settembre dello stesso anno vengono presentate le top gamma della serie 900: le GeForce GTX 970 e 980. Tali schede fanno sfoggio di nuove tecnologie quali: la VXGI (Voxel Global Illumination), che consente per la prima volta a GPU destinate al gaming di offrire un'illuminazione globale dinamica in tempo reale; MFAA (Multi-Frame Sampled Anti-Aliasing), che modifica gli "anti-aliasing sample pattern" sia nei singoli fotogrammi che tra fotogrammi multipli per produrre la miglior qualità d'immagine con la stessa rapidità dell'anti-aliasing convenzionale; il DSR (Dinamic Super Resolution), che utilizza un 13-tap Gaussian filter per renderizzare l'immagine in 4K e scalarla alla dimensione nativa del display in modo da ottenere una qualità migliore rispetto al rendering diretto in 1080p; il VR Direct, che punta all'ottimizzazione della realtà virtuale (soprattutto se utilizzate in configurazione doppia tramite SLI grazie al quale ciascuna GPU può essere assegnata al rendering

delle immagini destinate ad un singolo occhio) [6].

## 2015: NVIDIA si lancia nel Deep Learning

Il 2015 segna un anno di svolta nell'azienda ormai leader del settore che si tuffa nell'ambito del *Deep Learning* sviluppando diversi prodotti ad esso mirati: *NVIDIA Tegra X1*, un chip mobile a 256 core in grado di offrire un Teraflop di potenza di elaborazione alle applicazioni di deep learning e Computer Vision; *Jetson TX1*, un supercomputer integrato su un modulo che abilita una nuova generazione di macchine intelligenti e autonome; *NVIDIA Drive*, il quale apre la via verso lo sviluppo di auto a guida autonoma e, prima tra le novità, la GPU *GeForce GTX TITAN X*, che con i suoi 6 Teraflops di potenza di calcolo rappresentava il processore più potente mai realizzato fino ad allora per l'addestramento delle reti neurali profonde [2].

## Pascal e Polaris: il nuovo metodo di produzione FinFET

Il 2016 porta con se nuove architetture su entrambi i principali fronti di sviluppo GPU: *NVIDIA* e *AMD* lanciano le architetture Pascal e Polaris, entrambe basate sulla nuova tecnologia FinFET rispettivamente a 16 e 14 nm che permette di produrre nuovi transistor non più planari, ma tridimensionali.

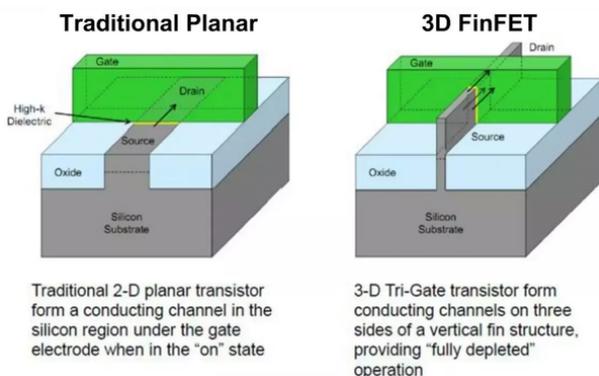


Figura 11: Il nuovo metodo di produzione FinFET

La prima di queste viene lanciata da *NVIDIA* ad Aprile, presentata sulla scheda *Tesla P100*, in grado di offrire 5.3 Teraflops di performance in double-precision (3 volte più veloce rispetto alla

precedente generazione di *Tesla K40*) e 10.6 Teraflops in single-precision [7, 8]. Il mese successivo invece, tale architettura viene impiegata nella serie 10, determinando la nascita della *GeForce GTX 1080* che supera le prestazioni della precedente top gamma, la *Titan X*, riducendone i consumi di quasi 1.5 volte. Si presenta con 2560 Cuda Cores, un clock di base a 1607 MHz che arriva in boost a 1733 MHz, 8 GB di memoria GDDR5X a 256-bit a 10 Gbps [9, 10].

Il cavallo di battaglia *NVIDIA* della serie 10, la *GeForce 1080 Ti* giungerà nel mercato nei primi mesi dell'anno successivo, presentando un notevole incremento delle prestazioni (ben 35% di potenza in più rispetto alla *1080*), con 11.3 Teraflops, 3584 Cuda Cores, Clock boost a 1582 MHz, memoria di 11 GB GDDR5X a 352-bit dotata di una velocità di 11 Gbps [11].

*AMD* risponde a Giugno con la sua linea *Radeon 400 series*, equipaggiata della sopracitata architettura Polaris in grado di sfruttare al massimo la tecnologia FinFET per ottenere transistor di 14 nm. Tale architettura migliora il processamento dei comandi con due nuove tecniche di Quality-of-Service (QoS) progettate per aumentare la velocità di risposta e le prestazioni del sistema. La prima è la Quick Response Queue che consente agli sviluppatori di designare una compute tasks queue come prioritaria tramite le API, in modo da far destinare dagli ACE dei workgroups all'attività ad alta priorità prima delle attività standard [12].



Figura 12: Architettura Polaris

Questo schema di definizione delle priorità garantisce che le attività ad alta priorità utilizzino più risorse e vengano completate per prime. Ad esempio, questa tecnica viene utilizzata nell'*AMD LiquidVR SDK* per stabilire le priorità

di "distorsione temporale", un'attività sensibile alla latenza e al jitter e garantire che la distorsione temporale avvenga immediatamente prima della sincronizzazione verticale [13].



### SPECIFICHE DEL SISTEMA

|  |   |
|--|---|
| GPU  | <b>8 Tesla V100</b>                                 |
| Prestazioni (precisione mista)                 | <b>1 petaFLOPS</b>                                  |
| Memoria della GPU                              | <b>Totale sistema 256 GB</b>                        |
| CPU  | <b>Doppio Intel Xeon 20 core E5-2698 v4 2,2 GHz</b> |
| Core NVIDIA CUDA®                              | <b>40.960</b>                                       |
| NVIDIA Tensor Core (su sistemi basati su V100) | <b>5.120</b>  |
| Requisiti di alimentazione                     | <b>3.500 W</b>                                      |
| Memoria di sistema                             | <b>512 GB di memoria RDIMM DDR4 a 2.133 MHz</b>     |
| Spazio di archiviazione                        | <b>4 SSD RAID 0 da 1,92 TB</b>                      |
| Rete   | <b>Doppia 10 GbE, 4 IB EDR</b>                      |
| Sistema operativo                              | <b>Ubuntu di Canonical Red Hat Enterprise Linux</b> |
| Peso del sistema                               | <b>61 kg</b>  |
| Dimensioni del sistema                         | <b>P 866 x L 444 x H 131 (mm)</b>                   |
| Dimensioni dell'imballo                        | <b>P 1.180 x L 730 x H 284 (mm)</b>                 |
| Temperatura di funzionamento                   | <b>10-35° C</b>                                     |

**Figura 13:** Nello stesso 2016 NVIDIA lancia DGX-1, il primo supercomputer compatto dedicato al deep learning [14]

## 2017: Vega e Volta

Nel 2017 sia AMD che NVIDIA creano nuove architetture, tuttavia destinate a due mercati differenti. AMD dedica Vega principalmente al mercato del gaming, andando a concorrere ancora una volta contro l'architettura Pascal NVIDIA (di cui contestualmente viene prodotta la punta di diamante: la sopradescritta 1080 Ti); nasce così AMD RX Vega series, che porta con sé alcune novità, come il supporto per le memorie HBM2

(più veloci rispetto alle GDDR5), il Primitive Shader per una migliore elaborazione della geometria che sostituisce la precedente pipeline Vertex Shader + Geometry Shader garantendo maggiore efficienza e produttività e l'NCU per l'elaborazione nativa di operazioni a 8, 16, 32 o 64 bit in ciascun ciclo di clock, fornendo anche supporto per Rapid Packed Math che permette di elaborare 2 operazioni in 16-bit alla stessa velocità di un'operazione in 32-bit [15, 16].

Il lavoro di NVIDIA è, invece, ancora una volta dedicato ai supercomputer per l'IA: si tratta di Volta, l'architettura "progettata per potare l'intelligenza artificiale in tutti i settori" [17]. Applicata prima su NVIDIA Tesla V100 e successivamente su Quadro GV100 e Titan V, presenta importanti innovazioni tecnologiche: 640 Tensor Core in grado di accelerare operazioni matriciali, cuore dell'IA, ed eseguire moltiplicazioni di matrici a precisione mista accumulando calcoli in una singola operazione, superando i 100 Teraflops di prestazioni in deep learning; una nuova architettura in grado di combinare Cuda e Tensor Core, con oltre 21 miliardi di transistor; il processo di produzione FinFET a 12 nm; una nuova generazione NVLink per una migliore scalabilità e connessione in parallelo [18]. Queste innovazioni raccolgono come frutto la triplicazione della velocità di deep learning training rispetto alla precedente generazione, e un aumento della velocità fino a 40 volte rispetto al training operato su CPU (NVIDIA Tesla T4 GPU vs Xeon Gold 6140 CPU) [19, 20, 21].

## Turing RTX: GPU sotto una nuova luce

Nel 2018 NVIDIA ottiene quello che essi stessi definiscono come il più importante risultato dall'invenzione della GPU NVIDIA CUDA nel 2006. La nuova architettura Turing riesce, infatti, a combinare il ray-tracing in tempo reale, l'IA, la simulazione e la rasterizzazione ottenendo una vera e propria rivoluzione della grafica [22].

È dotata di processori dedicati per il ray-tracing chiamati RT Core che accelerano l'elaborazione di luce e suono negli ambienti 3D, arrivando anche a 10 Giga Ray al secondo. Turing accelera il ray-tracing in tempo reale di 25 volte rispetto all'architettura NVIDIA Pascal di precedente generazione e può eseguire il rende-

## T4 INFERENCE PERFORMANCE

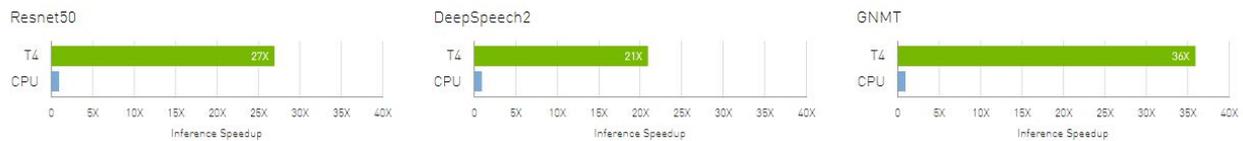


Figura 14: Tempo di training Tesla Volta vs Tesla Pascal

ring di frame finali per effetti cinematografici con una velocità 30 volte superiore alle CPU; migliora in modo rilevante le prestazioni raster con una pipeline grafica avanzata e nuove tecnologie di shading programmabili [23]. Queste tecnologie includono shading a tasso variabile, shading texture-space e rendering a più viste, che forniscono un'interattività più fluida con modelli e scene di grandi dimensioni e una migliore esperienza in realtà virtuale. Turing è dotata anche di Tensor Core, offrendo fino a 500 bilioni di operazioni di deep learning al secondo. Questo livello di prestazioni accelera in modo rilevante le funzionalità IA, ad esempio denoising, scaling della risoluzione e re-timing di video. Queste nuove GPU dispongono di una nuova architettura di multiprocessore streaming (SM) che supporta oltre 16 bilioni di operazioni a virgola mobile insieme a 16 bilioni di operazioni a cifra intera al secondo. Gli sviluppatori possono sfruttare fino a 4.608 core CUDA con gli SDK NVIDIA CUDA 10, FleX e PhysX per creare simulazioni complesse, ad esempio particelle o dinamiche dei fluidi per visualizzazioni scientifiche, ambienti virtuali ed effetti speciali [24].

Tale nuova architettura vede la luce nelle NVIDIA Quadro RTX, nella GeForce RTX serie 20, in schede quali le RTX 2080, 2070, 2060, le corrispondenti versioni potenziate denominate "Ti", i loro più recenti upgrade denominati "Super" e nella più potente NVIDIA Titan RTX, con cui viene raggiunta la vetta dei 130 Tensor Teraflops [25, 26].

## Applicazioni

La grande potenza di calcolo parallelo offerta dalle GPU permette un'applicazione diretta in svariati campi nei quali l'analisi di una massiva quantità di dati è fondamentale. Questa straordinaria capacità di elaborazione, unita alla pos-



Figura 15: Esempio di Ray-Tracing in tempo reale

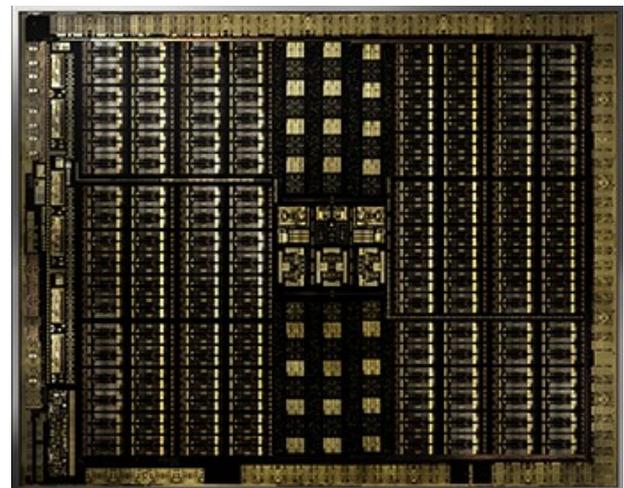


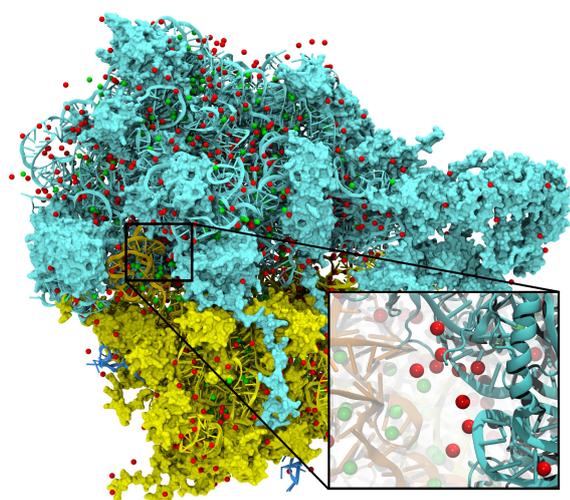
Figura 16: Architettura Turing

sibilità di sfruttare le GPU come ideale supporto hardware per AI (Artificial Intelligence), giustifica la crescente importanza di questa tecnologia in un sempre più vasto spettro di campi [27].

## Biologia

Nel caso della ricerca biologia, esistono diverse modellizzazioni usate per simulazioni di evoluzione temporale di sistemi biologici. Ad esempio una modellizzata usata è il sistema *species-based*, nel quale un'entità biologica è suddivisa in classi composte da elementi indistinguibili. Le molecole possono essere rappresentate da funzioni di concentrazione variabili nel tempo e le loro in-

terazioni descritte da relazioni differenziali. Per risolvere le relative equazioni differenziali, quasi sempre analiticamente intrattabili, si sfruttano metodi numerici nei quali è necessario compiere operazioni di algebra lineare. Sfruttando apposite librerie di algebra lineare per architettura GPU si possono velocizzare di molto i calcoli necessari. Le variabili possono anche essere considerate discrete, descrivendo le interazioni tramite processi stocastici. Gli algoritmi però che servono per simulare questi processi sono intrinsecamente sequenziali e quindi difficili da parallelizzare; la possibilità di calcolo parallelo offerta dalle GPU può essere però sfruttata nel generare la sequenza di numeri random o si possono cercare di parallelizzare i calcoli per le singole reazioni.



**Figura 17:** Modellizzazione di un ribosoma e accelerazione tramite GPU dei processi di interazione con ioni, riprodotto da [28]

I modelli presentati possono essere migliorati considerando dei compartimenti tra i quali modellizzare il passaggio di sostanze: vengono in pratica simulate così le barriere biologiche. Se si decide di procedere implicitamente, la variabile (discreta o continua) rappresentante un'entità biologica che si potrebbe trovare da entrambi i lati della barriera, viene divisa in due differenti variabili dando vita ad un modello più pesante. Procedendo esplicitamente invece, esistono varie rappresentazioni dei compartimenti. Un esempio per il quale esistono molte implementazioni GPU sono i *P systems*: modelli computazionali che mimano la struttura di una cellula. Questi *P systems* sono costituiti da un insieme di mem-

brane (che può contenere altre membrane), un insieme di sostanze in ogni membrana e delle regole di evoluzione. Questi sistemi esibiscono due livelli di parallelismo, tra membrane e tra sostanze chimiche, che possono essere implementati brillantemente su CUDA (che presenta una struttura logica simile). Ciò supporta l'efficacia di implementazione di questi modelli su CUDA.

L'ultimo esempio analizzato in questa sezione è quello dei modelli *Agent-based*, una generalizzazione dei modelli ad automa cellulare. A partire da tante unità autonome che interagiscono tra di loro solo localmente, i modelli *Agent-based* riescono a simulare fenomeni emergenti: effetti globali riconducibili non alle singole entità costituenti il sistema bensì all'interazione tra le stesse. Per questo motivo questo metodo è usato per simulare processi infiammatori, crescita tumorale, processi intracellulari e così via. Lo sviluppo di questa tipologia di simulazioni usando calcolo parallelo, è stata dimostrata essere circa tre ordini di grandezza più veloce rispetto all'approccio sequenziale [29].

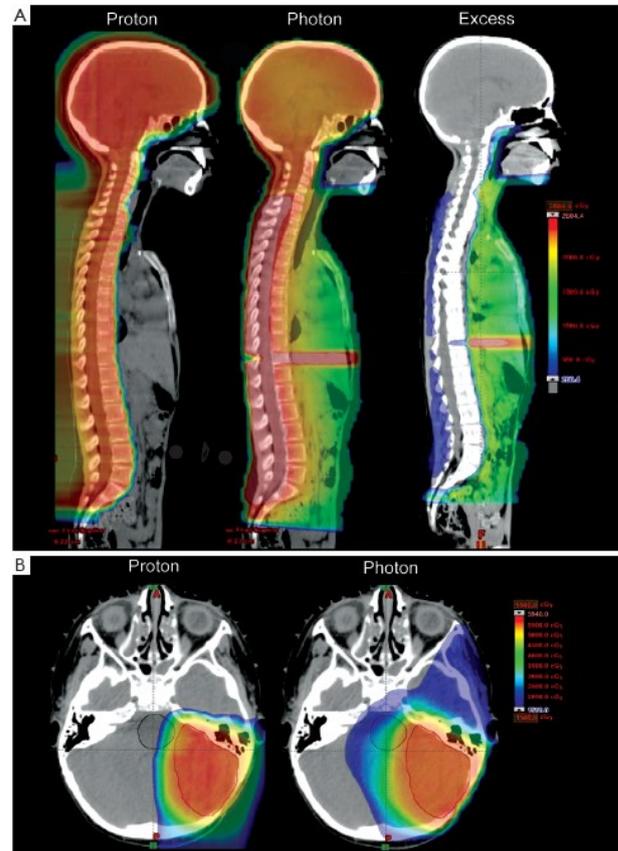
### Ambito medico

Un interessante esempio di applicazione di questo nuovo paradigma di calcolo si può osservare in ambito medico. Con il progredire delle tecnologie utilizzate in fisica medica è diventato necessario cambiare approccio all'analisi della crescente mole di dati, sia per analizzare efficientemente le informazioni provenienti da migliaia di pazienti che per gestire i processi di imaging resi estremamente pesanti dal costante aumentare della risoluzione degli apparati disponibili. Sono molteplici i fattori che rendono limitante il tempo di elaborazione necessario per l'imaging o per la pianificazione di trattamenti; la maggiore sensibilità spaziale e temporale dei macchinari utilizzati, il rendering di risultati animati (4D invece di 3D), l'utilizzo di geometrie coniche per i fasci di raggi-x, le sequenze di impulsi sempre più sofisticate nella risonanza magnetica e la complessità crescente degli algoritmi di pianificazione dei trattamenti.

Per quanto riguarda la ricostruzione delle immagini, la velocità impiegata nel processo è di estrema importanza. Ad esempio con applicazioni real-time è possibile calibrare, durante l'acqui-

sizione stessa dei dati, vari parametri di ricostruzione e ottimizzare il rapporto segnale-rumore. Prima dell'avvento delle GPU la tecnologia che permetteva una ricostruzione real-time si basava su un design specifico di hardware come ad esempio *field programmable gate array* (FPGA) e *application-specific integrated circuits* (ASICs). Il grosso del lavoro che una GPU deve eseguire utilizzando gli algoritmi abitualmente adoperati nella ricostruzione delle immagini si traducono in operazioni di moltiplicazione tra un vettore di dati (rappresentante la discretizzazione del segnale in ingresso) e una matrice che descrive la risposta del sistema di imaging. Questa modellizzazione è giustificata da un approccio che considera il sistema di imaging assimilabile ad una trasformazione lineare. Quindi il core del processo di ricostruzione si basa sulla discretizzazione e inversione delle trasformazioni lineari in esame (spesso di Fourier o di Radon). La moltiplicazione tra matrice della trasformazione e vettore dei dati non viene eseguita esplicitamente usando la definizione della moltiplicazione di righe per colonne poichè questo approccio sarebbe computazionalmente inefficiente. Viene sfruttata invece la forma della matrice in esame per ottimizzare il processo di calcolo tramite appositi algoritmi (spesso si tratta di matrici sparse, ovvero con molti elementi nulli).

Nel caso del calcolo di dosi e in terapie radiologiche la situazione risulta meno favorevole. Questi trattamenti utilizzano radiazioni ionizzanti per distruggere le cellule tumorali del paziente cercando di minimizzare i danni ai tessuti sani. Per calcolare quindi le dosi di radiazione e la loro distribuzione angolare in funzione del tessuto da attaccare, della forma tridimensionale della zona interessata, dello stadio della malattia e di altri parametri, è necessario risolvere un problema di ottimizzazione. Al momento i piani di trattamento in IMRT (Intensity-Modulated RadioTherapy), data la complessità del processo, sono calcolati per "prove ed errori": vengono generate e simulate molteplici possibili soluzioni fino a quando non si raggiunge un buon rapporto tra la dose di radiazione assorbita dal target e il rischio di danni ai tessuti sani. Diminuire il tempo di calcolo necessario per questi processi di ottimizzazione sarebbe utile anche per sviluppare un nuovo paradigma proposto per migliorare



**Figura 18:** *Paragone dosimetrico tra protoni e fotoni (la terza colonna si riferisce alla dose in eccesso depositata dai fotoni). In basso, la simulazione della dose assorbita dal cervello. [30]*

la qualità dei trattamenti radiologici: la radioterapia adattiva. Questa metodologia prevede l'utilizzo di un modello tridimensionale del paziente ed una ricalibrazione in tempo reale dei parametri dei fasci di radiazioni, basandosi sulle dosi precedentemente somministrate. Tradizionalmente il calcolo delle dosi è ottenuto con tecniche analitiche (pencil beam, PB, convolution-superposition, CS) e tecniche di simulazione statistica Monte-Carlo (MC). Queste ultime sono le più accurate ma al contempo più lente rispetto alle tecniche analitiche. Le tecniche MC si prestano naturalmente ad un calcolo parallelo, poichè si basano sulla sovrapposizione dell'interazione con il bersaglio di miliardi di particelle simulate indipendentemente. Tuttavia il guadagno in tempo dovuto all'implementazione di queste simulazioni su architettura GPU è modesto a causa di processi fisici. Infatti, in particolare per le simulazioni ad energie più elevate, si deve tenere conto del presentarsi di altri effetti fisici quali assorbimenti, scattering e produzione di coppie

di particelle-antiparticelle. Vengono così create varie particelle secondarie che impediscono una parallelizzazione di tante particelle simultaneamente. Sono stati proposti varie soluzioni, tra cui l'utilizzo di una coda globale per organizzare il processamento delle varie particelle e il calcolo di fotoni ed elettroni a parte, sequenzialmente invece che concorrentialmente.

In fisica medica, una volta reppresentati i dati acquisiti in immagini, è spesso necessario combinare informazioni codificate in immagini differenti prese ad esempio in momenti diversi o unire i dati provenienti da più strumenti. Un'altra tecnica fondamentale nella manipolazione di immagini consiste nel raggruppare pixel (o più in generale voxel, dei pixel tridimensionali) con proprietà assimilabili. Questa tecnica permette ad esempio di definire, tramite un processo automatizzato, i contorni dei vari tessuti del paziente. Questi procedimenti appena descritti sono computazionalmente onerosi ma utilizzando le GPU possono essere migliorati di diversi ordini di grandezza [31].

## Ambito economico

Sempre più nel settore del commercio, in particolare per quanto riguarda grandi aziende e multinazionali, viene sfruttata la tecnologia delle GPU per gestire più efficacemente l'enorme mole di dati a disposizione. Un esempio può essere quello della collaborazione tra le celebri multinazionali Walmart e Hewlett Packard (HP), che hanno sfruttato i dati sugli acquisti dei clienti intorno al globo. Sfruttando tecniche di machine learning sono riusciti a migliorare efficacemente le loro strategie di decisione dei prezzi e nelle campagne pubblicitarie [32].

Tecniche simili sono sfruttate dagli algoritmi di famosi social network come Facebook ed Instagram per gestire le liste di amici suggeriti o di post e pubblicità proposti all'utente. In generale moltissime compagnie che si basano su contenuti on-line fronteggiano la necessità di gestire una grande quantità di dati spesso anche prodotta ad un tasso elevato. In questi casi le soluzioni hardware offerte dalla tecnologia delle GPU si rivelano vincenti.

## Pubblica amministrazione

Anche l'amministrazione pubblica, data la grande quantità di dati che deve gestire, necessita sempre più di tecnologie performanti su analisi in parallelo. Infatti la gestione di documenti virtuali è facilmente parallelizzabile per ogni persona. La grande mole di dati deriva prima di tutto dall'elevato numero di persone che vivono in uno stato ma in secondo luogo anche dalla varietà di servizi che il singolo cittadino riceve. Ad esempio il livello di dati sanitari prodotti dalla fascia più anziana di popolazione è ben diversa da quella generata da trentenni, o le informazioni scolastiche e universitarie relative a bambini e ragazzi sono estremamente diverse da quelle prodotte dalle altre fasce di età.

Per migliorare l'efficacia della pubblica amministrazione sta avvenendo, con vari gradi di successo, una rivoluzione digitale in modo tale da ridurre drasticamente l'utilizzo di carta, ottenendo così un impatto positivo sull'ambiente, e aumentando la velocità di erogazione dei servizi diminuendone di molto i costi. Secondo un report di McKinsey [27], l'utilizzo di tecniche proprie del mondo dei *Big Data* nel settore pubblico dell'Europa porterebbe, potenzialmente, ridurre le spese di amministrazione del 15-20 %. Questa stima fornisce un'idea dell'impatto che queste tecnologie possono avere sulla società.

## Conclusioni

È stata fornita una visione dello sviluppo della tecnologia delle GPU e di una minima parte delle sue applicazioni. Sfruttando, oltre alla potenza di calcolo parallelo offerto dalle GPU, anche tecnologie e tecniche come cloud computing, computazione quantistica, bio-inspired computing, intelligenza artificiale e machine learning, sarà possibile ottenere traguardi prima ritenuti irraggiungibili. Il futuro si presenta carico di sfide ed opportunità in questi settori innovativi.



- [1] Chris McClanahan; History and Evoluzione of GPU Architecture  
<https://pdfs.semanticscholar.org/2479/80e834f1c8f684d85067402f950930e6af91.pdf>

- [2] CRONOLOGIA DI NVIDIA Una storia di innovazione  
<https://www.nvidia.com/it-it/about-nvidia/corporate-timeline/>
- [3] Tariq, S. (2011). An introduction to GPU computing and CUDA architecture. NVIDIA Corporation, 6(5)
- [4] NVIDIA GeForce GTX 680: arriva Kepler  
[https://www.hwupgrade.it/articoli/skvideo/3181/nvidia-geforce-gtx-680-arriva-kepler\\_2.html](https://www.hwupgrade.it/articoli/skvideo/3181/nvidia-geforce-gtx-680-arriva-kepler_2.html)
- [5] NVIDIA è leader nella rivoluzione "Performance Per Watt" con l'architettura grafica "Maxwell"  
<https://www.nvidia.it/object/geforce-gtx-750-feb18-2014-it.html>
- [6] NVIDIA svela la nuova architettura Maxwell  
<http://www.digitalnewschannel.com/comunicati-stampa/nvidia-svela-la-nuova-architettura-maxwell-16448>
- [7] ARCHITETTURA NVIDIA PASCAL  
Infinite capacità di elaborazione per infinite opportunità  
<https://www.nvidia.com/it-it/data-center/pascal-gpu-architecture/>
- [8] NVIDIA TESLA P100 The World's First AI Supercomputing Data Center GPU  
<https://www.nvidia.com/en-us/data-center/tesla-p100/>
- [9] NVIDIA GeForce GTX 1080  
<https://www.techpowerup.com/gpu-specs/geforce-gtx-1080.c2839>
- [10] GEFORCE GTX 1080  
10: GAMING PERFECTED  
<https://www.nvidia.com/it-it/geforce/products/10series/geforce-gtx-1080/>
- [11] GEFORCE GTX 1080 Ti  
10: GAMING PERFECTED  
<https://www.nvidia.com/it-it/geforce/products/10series/geforce-gtx-1080-ti/?nvid=nv-int-geo-it-1080-ti#buyfrompartners>
- [12] RADEON Dissecting the Polaris architecture  
<https://www.amd.com/system/files/documents/polaris-whitepaper.pdf>
- [13] AMD POLARIS  
I DETTAGLI SULLA NUOVA ARCHITETTURA  
<https://tech.everyeye.it/articoli/speciale-amd-polaris-dettagli-sulla-nuova-architettura-30047.html>
- [14] NVIDIA DGX-1  
STRUMENTO DI RICERCA ESSENZIALE PER L'IA  
[https://www.nvidia.com/content/dam/en-zz/Solutions/Data-Center/dgx-1/dgx-1-rhel-centos-datasheet-update-r2\\_Updates\\_NV\\_web\\_it\\_IT.pdf](https://www.nvidia.com/content/dam/en-zz/Solutions/Data-Center/dgx-1/dgx-1-rhel-centos-datasheet-update-r2_Updates_NV_web_it_IT.pdf)
- [15] Radeon RX Vega 64 Graphics  
<https://www.amd.com/en/products/graphics/radeon-rx-vega-64>
- [16] The curtain comes up on AMD's Vega architecture  
<https://techreport.com/review/31224/the-curtain-comes-up-on-amds-vega-architecture/>
- [17] NVIDIA VOLTA  
Architettura GPU Tensor Core, progettata per portare l'intelligenza artificiale in tutti i settori.  
<https://www.nvidia.com/it-it/data-center/volta-gpu-architecture/>
- [18] TENSOR CORES IN NVIDIA VOLTA  
La nuova generazione del deep learning  
<https://www.nvidia.com/it-it/data-center/tensorcore/>
- [19] ACCELERATED COMPUTING AND THE DEMOCRATIZATION OF SUPERCOMPUTING  
<https://www.nvidia.com/content/dam/en-zz/Solutions/Data-Center/tesla-product-literature/sc18-tesla-democratization-tech-overview-r4-web.pdf>
- [20] NVIDIA TESLA V100 GPU ARCHITECTURE  
THE WORLD'S MOST ADVANCED DATA CENTER GPU  
<http://images.nvidia.com/content/volta-architecture/pdf/volta-architecture-whitepaper.pdf>
- [21] TENSOR CORES  
<https://developer.nvidia.com/tensor-cores>
- [22] RTX. IT'S ON.  
NVIDIA TURING  
<https://www.nvidia.com/it-it/geforce/turing/>
- [23] NVIDIA GeForce RTX: analisi dell'architettura delle prime GPU con Ray Tracing  
[https://www.hwupgrade.it/articoli/skvideo/5254/nvidia-geforce-rtx-analisi-dell-architettura-delle-prime-gpu-con-ray-tracing\\_index.html](https://www.hwupgrade.it/articoli/skvideo/5254/nvidia-geforce-rtx-analisi-dell-architettura-delle-prime-gpu-con-ray-tracing_index.html)
- [24] NVIDIA TURING  
La rivoluzione della grafica  
<https://www.nvidia.com/it-it/design-visualization/technologies/turing-architecture/>
- [25] NVIDIA QUADRO RTX  
La prima GPU al mondo con ray-tracing  
<https://www.nvidia.com/it-it/design-visualization/quadro-desktop-gpus/>
- [26] NVIDIA TITAN RTX  
<https://www.nvidia.com/it-it/titan/titan-rtx/>
- [27] Manyika, J. (2011). Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity.  
[http://www.mckinsey.com/Insights/MGI/Research/Technology\\_and\\_Innovation/Big\\_data\\_The\\_next\\_frontier\\_for\\_innovation](http://www.mckinsey.com/Insights/MGI/Research/Technology_and_Innovation/Big_data_The_next_frontier_for_innovation).
- [28] Trabuco L. G., Falck E., Villa E., Schulten K. (2007, January). Modeling and simulations of a bacterial ribosome. In BIOPHYSICAL JOURNAL (pp. 571A-571A). 9650 ROCKVILLE PIKE, BETHESDA, MD 20814-3998 USA: BIOPHYSICAL SOCIETY
- [29] L. DEMATTÉ, D. PRANDI: "GPU computing for systems biology", *Briefings in bioinformatics* 11 (2010) 323.

- [30] J. Q. DINH, A. MAHAJAN, M. B. PALMER, D. R. GROSSHANS: "Particle therapy for central nervous system tumors in pediatric and adult patients", *Translational Cancer Research* **1** (2012) 137.
- [31] G. PRATX, L. XING: "GPU computing in medical physics: A review", *Medical physics* **38** (2011) 2685.
- [32] C.L. Philip Chen, C.-Y. Zhang, *Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data*, Inform. Sci. (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2014.01.015>



**Andrea D'Urbano:** Studente del corso di Laurea in Fisica

**Alessandro Fasiello:** Studente del corso di Laurea in Ingegneria dell'informazione



# La traduzione nell'era dei *Big Data*

*È solo la lingua che fa eguali. Eguale è chi sa esprimersi e intende l'espressione altrui. Che sia ricco o povero importa meno. Basta che parli*

Don Lorenzo Milani

---

Caterina Milone, Aurora Paladini, Lorenzo Pellegrino

Scuola Superiore ISUF

---

**N**ella società dell'informazione e nell'era del digitale può essere particolarmente interessante approfondire la realtà dei *Big Data* come strumento e come risorsa essenziale per il progresso e l'evoluzione culturale e scientifica. Dopo aver dato una definizione di *Big Data* e aver menzionato alcuni esempi di ciò, in particolare quelli legati alle traduzioni di testi da lingue diverse, si parlerà di processamento delle lingue nel cervello umano. Si mostrerà come i recenti sviluppi tecnologici abbiano inciso significativamente nel campo della traduzione, portando la figura professionale del traduttore a modificare e integrare le proprie abilità e competenze in cambio di un sistema in grado di garantire una maggiore produttività ed efficienza. In tale direzione si approfondirà il sistema di traduzione automatica neurale sviluppato da Google, confrontandone poi, alcuni risultati con le medesime traduzioni effettuate da un traduttore umano

## Introduzione

La conoscenza necessaria per comprendere i continui cambiamenti del mondo è in gran parte costituita da informazioni espresse tramite mezzi linguistici. In particolare, la padronanza delle lingue e la traduzione da una all'altra sono essenziali per l'accesso e la condivisione di conoscenze in diverse parti del globo.

La padronanza del linguaggio non è oggi un'esclusiva dell'*homo sapiens sapiens*, poiché anche le macchine riescono a processare moli significative di informazioni per apprendere, comprendere e produrre linguaggio. Cosa avviene nel cervello quando elaboriamo una frase e la traduciamo? In un mondo in cui la tecnologia permette di elaborare il linguaggio e tradurlo, qual è il ruolo di un traduttore umano? Quali algoritmi può utilizzare oggi una macchina per tradurre una frase? I prossimi paragrafi hanno l'obiettivo di offrire degli spunti per poter rispondere a queste domande.

## I Big Data

L'apprendimento del linguaggio e la sua elaborazione da parte delle macchine richiedono l'utilizzo dei *Big Data*. Sebbene questa espressione sia sempre più diffusa, non c'è una definizione univoca di cosa si intenda con essa. In questa sede si indicherà con *Big Data* il **capitale di informazioni caratterizzato da un volume, una velocità ed una varietà tali da richiedere tecnologie e metodi analitici specifici per la sua trasformazione in valore**. La definizione scelta individua quattro principali ambiti legati ai *Big Data*: le informazioni, la tecnologia, i metodi di analisi e l'impatto prodotto da essi nella società.

Per quanto riguarda il primo aspetto, l'affermazione dei *Big Data* è legata alla produzione, alla condivisione e all'uso massivo di dati digitali. La digitalizzazione, cioè la trasformazione dei segnali da analogici a digitali, è diventata una pratica diffusa negli anni '90; essa ha permesso l'organizzazione delle informazioni in set più strutturati, offrendo un diverso punto di vista per studiare trend e pattern rilevanti. Inoltre, la diffusione di dispositivi personali ha favorito l'aumento della disponibilità di informazioni; questi dispositivi, infatti, sono dotati di sensori che permettono la digitalizzazione e di una connessione ad Internet che permette ai dati di essere raccolti, trasformati ed organizzati. Per descrivere le caratteristiche dei *Big Data* vengono solitamente utilizzate "le 3 V" di Laney [1]: Volume, Velocità e Varietà, riferendosi all'aumento di queste dimensioni. Ad esse sono state aggiunte successivamente la Veridicità, il Valore, la Complessità e l'*unstructuredness*, caratteristica dei dati non strutturati come i video.

Il secondo aspetto, conseguente dalla complessità dei dati, riguarda i sistemi di processamento: essi devono avere capacità computazionali, di immagazzinamento e di trasmissione superiori rispetto ai sistemi utilizzati mediamente nell'ambito delle tecnologie dell'informazione. La comunicazione deve raggiungere velocità maggiori (tendendo idealmente al tempo reale) per quantità maggiori di informazioni, secondo Kitchin [2] dell'ordine dei terabytes o dei petabytes.

Il terzo aspetto riguarda i metodi adoperati per analizzare i dati. La sfida dell'analisi, infatti, è stata superata solo recentemente grazie

a tecniche provenienti dalla ricerca sull'intelligenza artificiale e a sistemi in grado di costruire modelli predittivi. Tra le procedure più utilizzate, Manyika e Chen segnalano: *Cluster analysis, Genetic algorithms, Natural Language Processing, Machine learning, Neural Networks, Predictive modelling, Regression Models, Social Network Analysis, Sentiment Analysis, Signal Processing* e *Data Visualization*.

Infine, viene considerato l'impatto che la gestione e l'utilizzo dei *Big Data* hanno su molti ambiti della società. Boyd e Crawford [1] hanno definito i *Big Data* come un fenomeno culturale oltre che tecnologico ed accademico legato alla credenza che grandi set di dati offrano una maggiore oggettività. Mayer-Schönberger [1] e Cukier [1] affermano che l'impiego di questi dati abbia prodotto cambiamenti nel modo di analizzare le informazioni per migliorare la comprensione e l'organizzazione della società. L'adattabilità dei *Big Data* alle esigenze di diversi domini scientifici ed industriali ne ha permesso l'applicazione per la risoluzione di problemi di vario genere. Tra le varie applicazioni si annoverano medicina personalizzata, simulazioni scientifiche, analisi di dati provenienti dai social network e processamento del linguaggio. In particolare per quanto riguarda il linguaggio alcune funzioni molto utilizzate sono il riconoscimento e la traduzione di testi, quest'ultima costituirà il tema centrale del presente articolo.

### Il linguaggio umano, le lingue e la macchina "cervello"

La traduzione, un'abilità concomitante al bilinguismo, consiste nella riformulazione di un input formulato in una lingua sorgente (SL) verso una lingua target (TL). Prima di spiegare come avviene la traduzione di una frase grazie alle nuove tecnologie è opportuno illustrare brevemente ciò che permette ad un essere umano di compiere questa operazione. I requisiti per compiere una traduzione si potrebbero riassumere in: conoscenza della SL e della TL, capacità di leggere e comprendere la frase iniziale e operare una trasposizione del contenuto nella seconda lingua.

Innanzitutto occorre precisare che ciò a cui in inglese ci si riferisce col termine *language* cor-

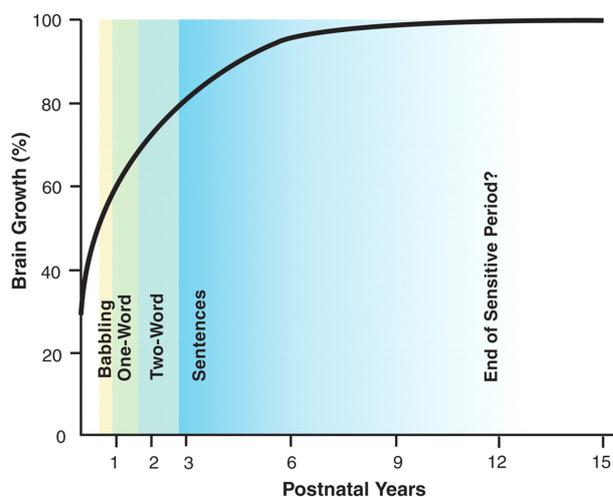
risponde in italiano a due termini distinti: linguaggio e lingua. Il linguaggio viene definito, in psicolinguistica, come una "funzione cognitiva che consente di acquisire e usare una lingua". Quest'ultima è un "sistema di simboli e regole per combinarli così da poter generare un numero infinito di possibili messaggi e significati". Solitamente i linguisti parlano di linguaggio al singolare, in quanto capacità caratteristica degli esseri umani, e di lingue anche al plurale, poiché esse indicano forme specifiche di comunicazione diverse nelle varie comunità.

Una caratteristica delle lingue è avere una struttura gerarchica in cui si possono individuare più livelli. Il livello più "elementare" è quello dei suoni (fonemi), seguito da quello dei morfemi e delle parole, quello delle frasi (sintassi) ed infine quello dei significati (semantica). Per ognuno di questi livelli gli individui acquisiscono delle conoscenze (chiamate competenze, in linguistica) che permettono loro di parlare e comprendere una determinata lingua e fanno parte della "grammatica" immagazzinata nella loro mente.

Per acquisire la lingua madre (L1), i neonati non partono da regole precise, ma dai *dati linguistici primari*, cioè dagli "enunciati che il mondo circostante pronuncia" attorno a loro. Inizialmente sono in grado di discriminare tutti i tipi di suoni, col passare dei mesi smettono di percepire differenze non importanti nella lingua che stanno acquisendo e imparano che alcune combinazioni di suoni sono molto più probabili di altre nonostante il "problema della povertà dello stimolo", per cui il modello di lingua a cui sono esposti i neonati è solitamente povero, disturbato, variabile e discontinuo, essi riescono ad acquisire rapidamente una lingua uniforme e solida. Oltre a distinguere i singoli fonemi i bambini imparano a riconoscere le parole (*segmentazione*), le memorizzano e le associano ad un significato. Essi iniziano a produrre lallazioni, cioè a ripetere componenti sillabiche senza significato, solitamente verso i 6 mesi; dopo i 18 mesi comprendono circa 150 parole e ne usano 50; dopo 1 o 2 anni hanno acquisito i suoni il ritmo e l'accento della lingua a cui sono stati esposti. Per l'apprendimento della lettura sono state individuate tre fasi: inizialmente i bambini riconoscono alcune parole familiari nella loro totalità come delle immagini, successivamente appren-

dono le regole di conversione fonema-grafema riconoscendo le parole una lettera/sillaba per volta, infine le tracce mnestiche delle parole scritte vengono associate ai significati astratti e la lettura diventa automatica.

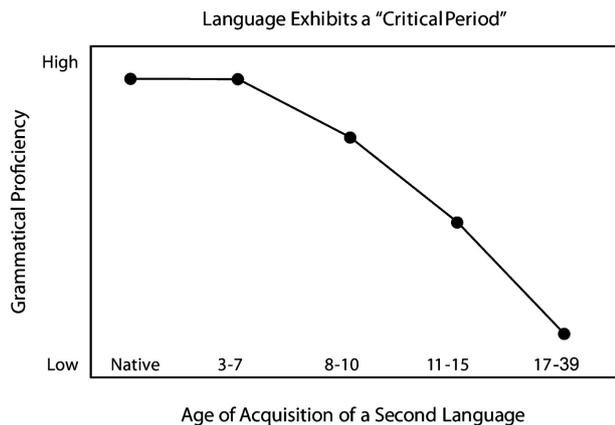
Sebbene l'acquisizione della L1 sia semplice ed intuitiva per un bambino, lo studio di come avvenga questo processo non è altrettanto facile; esso è, infatti, complesso e multi-modale, coinvolge capacità computazionali, cognitive e sociali. Non si conoscono ancora esattamente i meccanismi cerebrali che permettono di imparare una lingua; gli studiosi sono, tuttavia, abbastanza concordi nell'affermare l'esistenza di periodi critici per l'apprendimento fonetico, lessicale e sintattico legati all'età e allo sviluppo del cervello. La Figura 1 mostra, con delle fasce colorate, lo sviluppo tipico delle abilità linguistiche proprio in funzione di questi due fattori: sull'asse delle ordinate viene rappresentato il volume del cervello (100 corrisponde al valore medio per un adulto), mentre su quello delle ascisse sono rappresentati gli anni.



**Figura 1:** Crescita del cervello e tappe di acquisizione della prima lingua (L1). Fonte: [3] pag. 816

La nozione di **periodo sensibile** è legata alla perdita di flessibilità nella riorganizzazione cerebrale dopo la pubertà (circa 12 anni) ed è legata alle differenze riscontrate nell'apprendimento di una seconda lingua (L2). Quest'ultimo si mostra molto più variabile rispetto all'acquisizione della L1 e non è ancora chiaro se sia basato sugli stessi meccanismi. Una L2 può essere appresa in ogni periodo della vita, tuttavia raramente si raggiunge in essa un livello di abilità molto alto se

l'apprendimento avviene dopo i periodi sensibili (Figura 2).



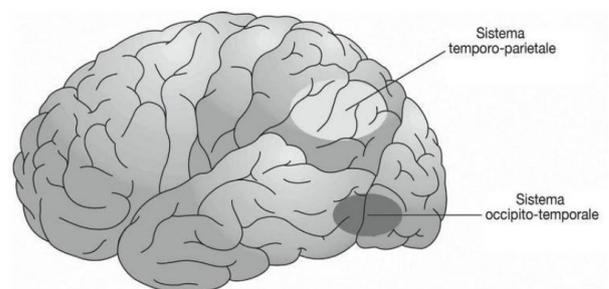
**Figura 2:** Relazione tra età di acquisizione di una seconda lingua (L2) e capacità linguistiche. Fonte: [4] p. 716.

Dopo aver immagazzinato informazioni relative alla L1 e ad una L2 è possibile leggere una frase e tradurla ricorrendo al contesto per risolvere eventuali ambiguità.

Tradurre consiste nell'instaurare una stretta interrelazione tra testo, lingua e mente. Non si tratta semplicemente di ricercare un equivalente di un'unità linguistica. Si tratta di trasferire significato da un sistema linguistico ad un altro, il che attiva una serie di meccanismi complicati. Alla base della traduzione si trova la rappresentazione mentale del testo nella mente del traduttore attraverso il canale della lettura. Questo passaggio attiva la fase di decodifica del prototesto (testo di partenza) da parte della macchina neurale (la psiche) che porterà alla successiva ricodifica nella forma del metatesto (testo di arrivo).

Una fase necessaria alla comprensione di una frase scritta è l'identificazione delle parole tramite la percezione visiva per poter, in seguito, accedere ai loro significati. Alcuni studi sul deficit di categorizzazione hanno permesso di ipotizzare che la rappresentazione semantica dipenda dalla combinazione di diverse informazioni percettive e funzionali. I significati delle parole, dunque, sarebbero distribuiti in più aree cerebrali tramite delle reti. Si è ipotizzato che per comprendere una parola scritta si possa accedere direttamente al significato dall'informazione visiva, oppure tramite la sua rappresentazione fonologica. Uno studio di *neuroimaging* ha permesso di rilevare l'importanza di due regioni dell'emisfero sini-

stro, di solito maggiormente coinvolto nel procesamiento del linguaggio, legate ai due processi di lettura citati. La prima regione è situata nell'area temporo-parietale ed è legata all'apprendimento che coinvolge la via fonologica; la seconda si trova nella zona occipito-temporale e connette le informazioni visive al significato (Figura 3).



**Figura 3:** Regioni cerebrali importanti per la lettura. Fonte: [5] p.475.

Per quanto riguarda il cervello in azione durante la traduzione, da alcuni studi di *imaging* su soggetti bilingue sembra che i substrati neurali coinvolti nella traduzione dipendano dall'unità di testo considerata (parola, frase o testo) e dalla direzione della traduzione; l'emisfero sinistro è coinvolto esclusivamente o in maniera predominante nella traduzione di tutti i tipi di unità; l'area di Broca, situata nel lobo frontale, sembra avere un ruolo in tutti i compiti di traduzione; non sono state identificate regioni specifiche legate in modo esclusivo alla traduzione. Fattori come l'età di acquisizione, il tipo di lingue conosciute e la frequenza d'uso della traduzione nella vita quotidiana potrebbero influenzare l'organizzazione cerebrale, legata a questa funzione, nei diversi individui. Sebbene gli studi sulla localizzazione delle aree funzionali per la traduzione non offrano ancora risultati chiari, le strutture subcorticali sembrerebbero fondamentali.

## La traduzione tra storia e tecnologia

Tradurre, dal latino *traducere*, it. *trasportare*, pone le sue radici lontano nella storia, a quando, per scopi commerciali, si rendeva necessaria la presenza dell'interprete in modo da poter stipulare accordi tra le parti. Nonostante ciò, la traduzione come filone di ricerca, la traduttolo-

gia, ha preso piede soltanto alla fine degli anni '50, quando vennero pubblicati i primi studi e le primissime teorie sui processi traduttivi. Sembra quasi un paradosso che proprio negli stessi anni sia stata sperimentata una delle prime applicazioni di carattere non numerico, la *Machine Translation* (MT), ovvero la traduzione automatica. I primi sistemi sviluppati in questi anni, basati sulle strutture grammaticali delle lingue in oggetto, hanno riscosso scarso successo a causa dei risultati di bassa qualità che fornivano. Una prima svolta si è osservata verso la fine degli anni '90, quando ricercatori IBM hanno creato un corpus linguistico partendo da testi paralleli in inglese e in francese prodotti dal Parlamento canadese: questo ha permesso per la prima volta il raccoglimento di dati per l'elaborazione di statistiche riguardanti i record di traduzione e di correlazione e l'introduzione di un modello probabilistico per la traduzione automatica. La vera svolta, tuttavia, risiede nella rivoluzione delle reti neurali a cui abbiamo assistito negli ultimi anni, grazie agli sforzi combinati negli studi in ambito delle neuroscienze e dell'ingegneria informatica. Ricorrendo all'impiego di modelli sequenziali basati sul *deep learning*, la ricerca sulla traduzione automatica si è concentrata su una particolare tipologia di rete neurale, detta ricorrente, dotata di unità computazionali con una memoria *short-long term* aumentata che permette di mantenere informazioni sul contesto di riferimento dall'inizio fino alla fine di una determinata frase. Quindi, il successo della linguistica computazionale (NLP) che si è osservato nel corso degli ultimi 20 anni è riconducibile ad almeno quattro fattori, quali:

- il significativo aumento della potenza computazionale;
- la vasta disponibilità di dati linguistici (*Big Data*);
- lo sviluppo di sistemi di *Machine Learning* efficienti;
- l'avanzamento della ricerca nei campi della psicolinguistica e della neurolinguistica.

## Nuovi strumenti per l'industria linguistica

*Big Data* e nuove tecnologie hanno rivoluzionato ogni settore e quindi anche l'industria delle lingue, portando a cambiamenti non di poco conto nel mondo della traduzione. Già prima che si arrivasse a ciò, il lavoro del traduttore era sostanzialmente cambiato quando sono stati introdotti i cosiddetti *CAT Tools* (*Computer Aided-Translation Tools*) all'inizio degli anni '90 dall'azienda tedesca Trados GmbH. Sviluppati per far fronte alle esigenze legate alla globalizzazione, questi software hanno permesso ai traduttori di lavorare in modo più produttivo ed efficiente. Al centro di questi ambienti di traduzione si trovano le memorie di traduzione (*Translation Memory*), ovvero sistemi che permettono di mettere a confronto testi paralleli in cui la traduzione è prodotta dal traduttore stesso. Accanto alle memorie di traduzione, altri strumenti utili sono i *corpora* linguistici, raccolte di testi in una stessa lingua e/o riguardanti lo stesso argomento che possono essere interrogati ai fini della ricerca terminologica. Come risultato del processo di innovazione tecnologica, ricorrere ai *CAT Tools* non significa più soltanto fare ricorso alle memorie di traduzione, ma anche a una serie di strumenti come glossari, supporto alla localizzazione, controllo ortografico e traduzione automatica. A partire da questi strumenti, lo scenario a cui assistiamo oggi è molto più articolato. Grazie ai processi di digitalizzazione e alle piattaforme *Cloud* si apre una nuova era in cui il lavoro di ogni singolo traduttore può essere condiviso in rete, andando a creare un'ingente mole di dati mirata a rendere il processo traduttivo ancora più efficiente. I vantaggi dei *Big Data* non riguardano solo i singoli, ma si estendono alle agenzie di traduzione che saranno in grado di monitorare la domanda di servizi linguistici, la qualità del prodotto finale e, naturalmente, predire tendenze future. Una competenza sempre più richiesta nel mondo della traduzione tecnica è quella del *Post-editing*, strettamente connesso alla *Machine Translation*. La rete neurale di Google (GNMT), lanciata nel 2016, è tra le più avanzate con una percentuale di successo pari all'85% in riferimento alle traduzioni da e verso la lingua inglese. Al fine di aumentare ulteriormente la produttività, prende

sempre più piede il PEMT (*Post-editing Machine Translation*), almeno per quanto riguarda i testi in lingua inglese. Con il PEMT, il testo di partenza viene fornito al servizio di traduzione automatica che lo traduce in tutte le sue parti. In seguito, l'output viene affidato ad un traduttore umano per la correzione degli errori e la revisione per ottenere il testo di arrivo, il prodotto finale del processo traduttivo.

## La traduzione automatica di Google

Per anni i sistemi di traduzione più all'avanguardia si sono poggiati sulla sostituzione parola-parola, senza preoccuparsi del contesto. Per questo si necessitava di avere la traduzione in più lingue di ogni parola (anche separatamente dal contesto). Sembra ragionevole pensare che questo tipo di traduzione non risulti particolarmente efficace e non restituisca il senso della frase da tradurre, dal momento che non tutte le lingue posseggono le stesse strutture grammaticali o sintattiche. Questo è il primo motivo per cui si è passati a sistemi di traduzione più avanzati, come la SMT (*Statistical Machine Translation*), che con l'avvento delle reti neurali è stata inglobata nella NMT (*Neural Machine Translation*). Diversi studi hanno proposto una rete neurale detta *RNN Encoder-Decoder* che è in grado di apprendere ad allineare i testi, catalogarli e tradurli.

Si pensi ad un bambino che apprende una lingua: gli si possono insegnare alcune parole e alcune regole grammaticali di base per costruire le frasi ma, proseguendo gli studi, sopravvengono una serie di eccezioni e casi particolari di cui si deve tenere conto. È questo il momento in cui si deve accostare allo studio del *vocabolario*, lo studio dei *testi originali*. Il sistema di traduzione automatica neurale di Google (GNMT) si basa proprio su questo principio: sfruttare i *Big Data* (si vedano i documenti pubblicati quotidianamente dall'ONU, tradotti in numerose lingue) per confrontare diverse traduzioni in maniera che la rete neurale possa apprendere a tradurre frasi e non parole, quindi a tenere conto del contesto e del significato nel testo. I computer analizzano questi testi cercando schemi statisticamente significativi, cioè schemi tra la traduzione

e il testo originale che è improbabile si verifichino per caso.

Quando il sistema venne lanciato si rivelò sì funzionante, ma ancora colmo di debolezze da raffinare:

- apprendimento della rete lento;
- difficoltà nella traduzione di parole rare;
- esclusione di alcune parole nella traduzione.

## Il sistema GNMT

Il sistema si compone, oggi, di due RNNs (*recurrent neural networks*), dotate di *Long Short Term Memories* (LSTM) con 8 strati ciascuna collegati attraverso connessioni residuali. La prima è un codificatore che riceve le frasi da tradurre in input e le codifica in vettori di lunghezza variabile in maniera da farle leggere alla macchina. Alcuni studi [7] [8] (Sutskever et al., 2014; Kalchbrenner and Blunsom, 2013) ritengono che per questo tipo di RNN sia necessario codificare vettori di lunghezza fissa con le parole in input, ma talvolta questo sistema risulta scomodo o addirittura inutile. Il software è una funzione non lineare della forma:

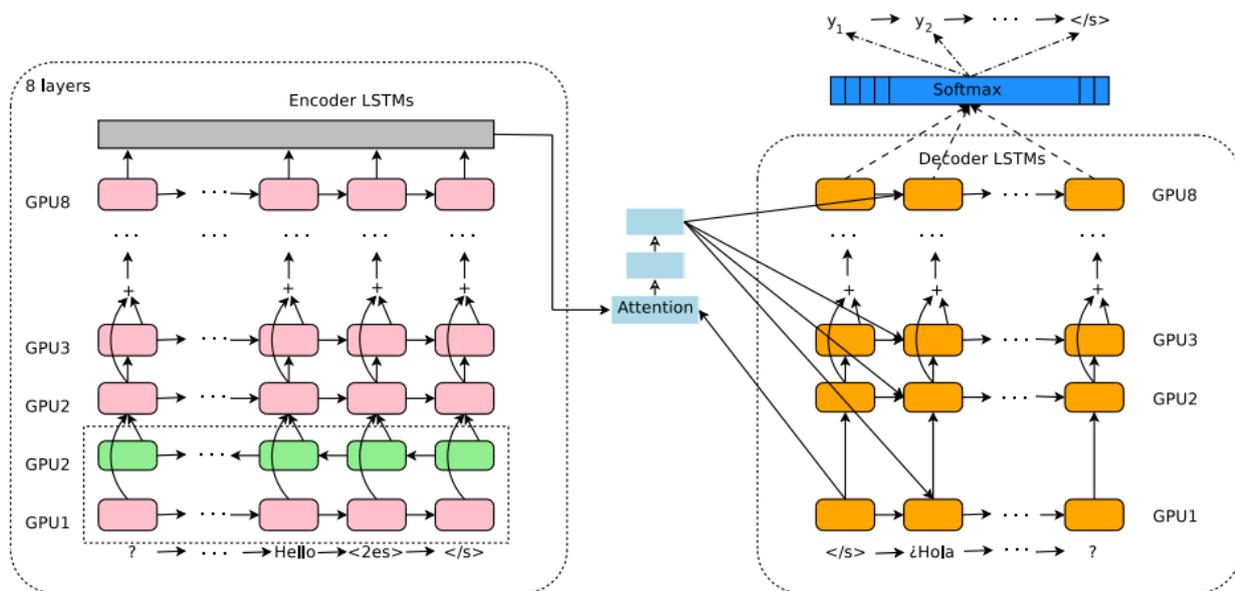
$$\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_M = \text{EncoderRNN}(x_1, x_2, \dots, x_M) \quad (1)$$

dove  $M$  è il numero di parole di cui è composta la frase in input. Si osservi però che la funzione, prima di produrre  $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_M$ , passa da uno stato nascosto che si può indicare con  $h_t$  in cui emerge la dipendenza dal tempo  $t$  dovuta all'attraversamento della rete neurale *deep* (si approfondirà in seguito la sua struttura). Così la probabilità di ottenere una traduzione  $\mathbf{Y}$  data una frase di partenza  $\mathbf{X}$  è la probabilità condizionata:

$$P(\mathbf{Y}|\mathbf{X}) = P(\mathbf{Y}|\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_M) = \prod_{i=1}^N P(y_i|y_0, y_1, \dots, y_{i-1}; \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_M) \quad (2)$$

dove  $y_0$  individua l'inizio della frase (ed è indipendente dalla frase stessa) e  $\mathbf{Y}$  è un vettore  $N$ -dimensionale con  $N$  che è il numero di parole che compongono la frase in output.

Mentre la rete legge i vettori con le parole, si calcola di volta in volta la probabilità per la paro-



**Figura 4:** L'architettura del sistema GNMT dotata di un codificatore (a sinistra) con 8 GPU, di cui uno strato bidirezionale, poi un "attention module" e un decodificatore (a destra) con il "softmax layer". Fonte: [6]

la successiva sfruttando la (2). In un primo momento quindi, la rete processa la frase in input attraverso 8 GPU dotate di connessioni residuali tra loro. In particolare uno degli strati è diretto in maniera opposta rispetto agli altri per cogliere meglio il senso della frase che si sta traducendo. La presenza di numerose GPU e di connessioni residuali minimizza la possibilità di dimenticare alcune parole nella traduzione, perché la frase in input viene continuamente richiamata, sia nella fase di apprendimento, sia nella fase di traduzione vera e propria della macchina. Le connessioni inoltre contribuiscono non poco alla velocità di apprendimento della rete, capacità che viene raggiunta anche grazie al parallelismo che caratterizza tutto il modello GNMT.

Una volta che l'informazione viene processata nel codificatore, passa attraverso una struttura di controllo detta "attention module" collegata ad ogni strato del decodificatore (la struttura successiva, anch'essa una RNN). All'interno di quest'ultimo sono presenti sempre 8 GPU che però, questa volta sono dirette tutte nello stesso verso perché qui si opera la traduzione e il contesto è stato già esaminato nella prima parte della rete. Anche qui le GPU sono dotate di connessioni residuali per favorirne la velocità sia in apprendimento sia in azione, e per evitare di tralasciare parole o pezzi di frase utili.

All'interno del decodificatore viene usato un

algoritmo detto di *beam search* per ottenere la frase  $Y$  che massimizza la funzione punteggio  $s(Y, X)$  in un modello che però sia già allenato a tradurre. Nelle traduzioni si sceglie quindi quella che ottiene il punteggio più alto, infatti la funzione  $s$  tiene conto della lunghezza della frase e delle parole, della probabilità calcolata in precedenza e di quanto si stia normalizzando la lunghezza suddetta. Si è osservato che il raddoppiamento del numero di traduzioni analizzate durante il beam search, passando da 4-6 a 8-12, non ha prodotto un grande miglioramento, quindi si valutano a priori dei parametri di controllo che ottimizzano il risultato di  $s(Y, X)$ . Una volta che la frase viene decodificata negli 8 strati di LSTM, passa nel *softmax layer*, ovvero una funzione esponenziale normalizzata che traduce effettivamente i vettori in parole fino al carattere speciale di fine frase. È affascinante come tutto questo processo, operato da una rete già allenata, si realizzi in un battito di ciglia.

## Il wordpiece model

Resta però ancora un problema irrisolto, o apparentemente irrisolto: come fa la rete neurale di Google a tradurre parole rare, o peggio, parole di cui non ha mai visto una traduzione in precedenza? Anche a questo problema, l'algoritmo di Google trova una soluzione molto efficiente:

il cosiddetto *wordpiece model*. Nella codifica delle parole la rete usa suddividere le parole che non conosce in pezzi, per poterli ricercare in altri documenti, testi o parole ed imparare autonomamente il significato di questa parola sconosciuta per poterla tradurre al meglio. Lo stesso principio viene applicato alla traduzione dei nomi propri delle cose, infatti essi non vengono tradotti, perché la rete separa dal resto della parola la prima lettera maiuscola e poi riconosce se sia un nome da tradurre o meno in base al contesto nell'*attention module*. Per far funzionare bene questo tipo di processamento delle parole, Google non solo si serve di vocabolari composti da decine di migliaia di sub-unità di parole, ma in più, assegna ad ogni pezzo di parola nella frase se si tratta della posizione iniziale  $\langle b \rangle$ , centrale  $\langle m \rangle$  o finale  $\langle e \rangle$ , in maniera da migliorare l'accuratezza nella traduzione.

## Limiti e opportunità

Fino a che punto GNMT è in grado di produrre una traduzione *ready-to-use*? Qual è il punto della situazione per la lingua inglese e per le altre lingue? Di seguito si propone a scopo esemplificativo la traduzione in italiano di due frasi dal tedesco (Figura 5) e dall'inglese (Figura 6) svolte da GNMT e da un traduttore umano.

La lingua tedesca possiede una struttura tra le più complesse in riferimento alle lingue germaniche moderne. La frase proposta nell'esempio è stata estratta da un articolo su uno studio psicologico sulla *Schadenfreude*, ovvero la gioia che deriva dalle disgrazie altrui. Osservando le due traduzioni, si può notare come la rete neurale di Google abbia facilmente identificato la struttura della frase, fornendo un output che, dal punto di vista strutturale, potrebbe essere considerato accettabile in base alle convenzioni della lingua di arrivo. Tuttavia, anche un occhio inesperto può rendersi conto di come la frase non abbia senso compiuto, caratteristica fondamentale per una buona comprensione e interpretazione del testo. Nella frase in lingua tedesca sono presenti diversi elementi problematici nel trasferimento da un sistema linguistico all'altro. Primi fra tutti, l'aggettivo *vermeintlich* (presunto), il sostantivo *Überflieger* (persona superiore/brillante) e la locuzione *in den Augen anderer* (agli occhi degli al-

tri) che, trasposti in lingua italiana, creerebbero una ridondanza semantica. Per questo motivo si rende quasi necessaria l'omissione dell'aggettivo e della locuzione, poiché per meglio esprimere il concetto di "persona superiore" occorre esplicitare con mezzi linguistici il fatto che una persona venga considerata superiore da soggetti terzi (sottinteso). La scelta d'uso del plurale nella frase in lingua italiana (nel testo di partenza al singolare) è determinata da convenzioni linguistiche e contestuali per cui, trattandosi di un enunciato generale su un fenomeno sociale, si fa solitamente riferimento ad una categoria di persone e non ad una sola in rappresentanza dell'intero gruppo. Dal punto di vista terminologico, la rete neurale sembra fallire nella disambiguazione dei termini *Überflieger* e *zurückstutzen* che identifica, rispettivamente, come "volantino alto" (traduzione automatica risultante dalla traduzione letterale di *über* e *Flieger*) ed "esecuzione del backup", entrambe fuori dal contesto della frase e, quindi, prive di senso. Un caso particolare è rappresentato dal termine *Schadenfreude*, una delle cosiddette "parole intraducibili" della lingua tedesca. GNMT sembra non dividere il termine in unità linguistiche minime per individuare un equivalente traduttivo e lo restituisce invariato nella traduzione automatica. Si può affermare che i risultati ottenuti da questa simulazione testimoniano un margine di successo ancora molto basso rispetto al livello necessario per una comprensione funzionale del testo e per lo svolgimento di attività come il PEMT.

Se la traduzione dal tedesco all'italiano ha presentato diverse criticità più o meno gravi, diverso è il caso della traduzione dall'inglese all'italiano. La rete neurale di Google fornisce un output di buona qualità, peccando esclusivamente in questioni di carattere terminologico che, ad ogni modo, non costituiscono un ostacolo alla comprensione della frase (vedi *conferenze del partito* vs. *conferenze di partito*). La frase, estratta da un articolo diffuso dallo stesso governo britannico, contiene un termine tecnico in ambito giuridico: *Queen's speech*. Mentre GNMT lo traduce letteralmente, in lingua italiana si rende necessario esplicitare il suo significato per non generare ambiguità e/o fraintendimenti. *Discorso della regina*, traduzione corretta in senso letterale, lascia intendere qualcosa di sostanzialmente diverso

| Traduzione DE→IT        |   |     |
|-------------------------|---|-----|
| <b>Fonte</b>            | „Schadenfreude wirkt dadurch auch sozial regulierend, da sie den vermeintlichen Überflieger in den Augen anderer wieder auf sein menschliches Maß zurückstutzt.“      |     |
| <b>GNMT</b>             | "Schadenfreude ha quindi un effetto socialmente regolante, in quanto esegue il backup del presunto volantino alto agli occhi degli altri nella sua dimensione umana". | 1.0 |
| <b>Traduttore umano</b> | “La gioia maligna agisce, quindi, anche come fattore di riequilibrio sociale, poiché riporta quelli che sono considerati migliori alla loro dimensione più umana.”    | 4.5 |

**Figura 5:** Traduzione della stessa frase DE→IT da "Google Translate" e un traduttore umano con valutazione delle traduzioni su una scala da 0.0 (traduzione errata, inefficace e priva di significato) a 6.0 (traduzione esatta che riporta il significato della frase di partenza)

| Traduzione EN→IT        |   |     |
|-------------------------|---|-----|
| <b>Fonte</b>            | Following the conclusion of the traditional party conference season, the second session of this Parliament will commence with a Queen's Speech on Monday 14 October.  |     |
| <b>GNMT</b>             | Dopo la conclusione della tradizionale stagione delle conferenze del partito, la seconda sessione di questo Parlamento inizierà con un discorso della regina lunedì 14 ottobre.   | 5.0 |
| <b>Traduttore umano</b> | Facendo seguito alla chiusura della tradizionale stagione delle conferenze di partito, la seconda sessione di questo Parlamento verrà inaugurata con la lettura del programma del nuovo governo da parte della Regina, il cosiddetto Queen's Speech, lunedì 14 ottobre. | 6.0 |

**Figura 6:** Traduzione della stessa frase EN→IT da "Google Translate" e un traduttore umano con valutazione delle traduzioni su una scala da 0.0 (traduzione errata, inefficace e priva di significato) a 6.0 (traduzione esatta che riporta il significato della frase di partenza)

rispetto al reale significato, ovvero la *lettura del programma del nuovo governo da parte della Regina*. Tutto sommato, l'output generato dalla rete neurale si dimostra un buon punto di partenza per il passaggio al Post-editing, permettendo una riduzione del tempo tecnico richiesto dall'attività di traduzione.

## Conclusioni

I nuovi strumenti a disposizione dei traduttori nell'era dei *Big Data* e della rivoluzione digitale sono risorse da cui non si può più prescindere. La stessa rete neurale di Google si dimostra essere una risorsa affidabile in riferimento alla lingua inglese grazie all'enorme quantità di dati con cui la stessa viene istruita. Allo stesso tempo, questo non può ancora essere garantito per altre lingue, come il tedesco, nel cui caso la traduzione auto-

matica si rivela utile se applicata limitatamente a testi semplificati. Nonostante ciò, i passi da gigante compiuti negli ultimi anni lasciano pensare che si possa presto raggiungere un margine di successo simile a quello per la lingua inglese. La ricerca ha inoltre allargato le sue frontiere spostandosi dalla traduzione scritta alla traduzione istantanea. In seguito al successo delle reti per il riconoscimento vocale, Google punta alla traduzione vocale. Google Translatotron, lanciato a giugno 2019, è un modello sperimentale di traduzione *speech-to-speech* che ha tutto il potenziale di rivoluzionare ancora il mondo digitale e della comunicazione.



- [1] A. DE MAURO, M. GRECO, M. GRIMALDI: "A formal definition of *Big Data* based on its essential features", *Library Review* **65.3** (2016) 122-135.
- [2] R. KITCHIN: "Big Data, new epistemologies and paradigm shifts", *Big Data & society* **1** (2014) .
- [3] K. L. SAKAI: "Language acquisition and brain development", *Science* **310.5749** (2005) 815-819.
- [4] P. K. KUHL: "Brain mechanisms in early language acquisition", *Neuron* **67.5** (2010) 715-716.
- [5] P. CHERUBINI, V. ZURLONI: *Psicologia cognitiva. Mente e cervello. Con e-text. Con espansione online.* , (2014).447-489
- [6] W. YONGHUI, M. SCHUSTER, C. ZHIFENG, Q. V. LE, M. NOROUZI: "Google's Neural Machine Translation System: Bridging the Gap between Human and Machine Translation", (2016) .
- [7] K. CHO, B. VAN MERRIËNBOER, D. BAHDANAU, Y. BENGIO: "On the properties of neural machine translation: Encoder-Decoder approaches.", *Eighth Workshop on Syntax, Semantics and Structure in Statistical Translation*. (2014) .
- [8] N. KALCHBRENNER, P. BLUNSOM: "Recurrent continuous translation models", *Proceedings of the ACL Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*. Association for Computational Linguistics. (2013) .



**Caterina Milone:** Caterina Milone è una studentessa ISUFI del IV anno dell'area di Scienze Sociali e studia Metodologia dell'intervento psicologico presso l'Università del Salento dopo aver conseguito la laurea triennale in Scienza e tecniche psicologiche con Lode nello stesso ateneo.

**Aurora Paladini:** Aurora Paladini è una studentessa ISUFI del IV anno dell'area di Scienze Umane e ha conseguito la laurea triennale in Scienza e tecniche della Mediazione Linguistica con Lode presso l'Università del Salento.

**Lorenzo Pellegrino:** Lorenzo Pellegrino è uno studente ISUFI al III anno dell'area di Scienze Naturali e frequenta il III anno del Corso di Laurea in Matematica presso il Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi" dell'Università del Salento.

# I Big Data tra Diritto ed Economia

**Simona Lamusta, Caterina Luceri**

Scuola superiore ISUFI, Unisalento

---

**L**a rivoluzione apportata dai *Big Data* ha interessato, oltre al mondo tecnologico, anche quello del diritto e dell'economia. In questo articolo discuteremo due aspetti. Il primo riguarda il ruolo che i *Big Data* hanno avuto in rapporto al concetto di *privacy* e su come è andata a modificarsi la legislazione europea in considerazione del nuovo Regolamento (noto come *GDPR*) entrato in vigore nel Maggio del 2018. Il secondo aspetto è quello dell'evoluzione dei metodi di *business intelligence* utilizzati dalle aziende, e le modifiche apportate dal *GDPR* riguardanti le norme di gestione della *privacy*, bilanciamento dei diritti e obblighi che fanno capo sia al consumatore che allo stesso imprenditore.

## Il nuovo regolamento europeo e la protezione dei dati personali nell'era dei *Big Data*

Il termine *Big Data* ("grande massa di dati") è utilizzato in riferimento al trattamento automatizzato di grandi quantità di dati acquisiti in rete. Nel World Economic Forum di Davos del 2018, la Cancelliera tedesca Angela Merkel ha affermato che il possesso dei *Big Data* segnerà le sorti della democrazia e della prosperità economica.

Proprio questa affermazione fotografa una realtà profondamente mutata dall'impatto che i *Big Data* hanno avuto non solo sull'economia ma anche e soprattutto sull'assetto politico, sulla società e sulla persona stessa.

La *Foundation for accountability information* distingue quattro tipologie di dati personali a cui fare riferimento [1]. I *provided data* ossia quelli forniti consapevolmente e volontariamente dagli individui; gli *observed data* raccolti automaticamente (per esempio tramite *cookies*); i *derived data* prodotti da altri dati e gli *inferred data* ossia quelli prodotti utilizzando un metodo analitico complesso.

L'Autorità mondiale di protezione dei dati ha imposto delle linee guida per il trattamento di essi come ad esempio la trasparenza delle attività di raccolta dati, la manifestazione espressa e il consenso all'utilizzo di questi ultimi, l'adozione di misure per tutelare i dati e la tutela del diritto degli interessati a correggere o modificare i propri dati [1].

La dinamica di gestione dei *Big Data* ha subito delle modifiche innovative grazie all'introduzione del Regolamento generale sulla protezione dei dati, meglio noto come *GDPR* (General Data protection Regulation), entrato in vigore nel maggio 2018 [2]. Tramite questo Regolamento la Commissione Europea pone una serie di obiettivi in materia di protezione dei dati personali dei cittadini armonizzando definitivamente la regolamentazione della materia. Infatti già con il Trat-

tato di Lisbona (2007) [2] la protezione dei dati personali è diventata un diritto fondamentale dei cittadini e deve essere quindi garantito parimenti in ogni territorio facente parte dell'Unione.

Con il GDPR si passa ad una visione nuova del dato personale: quest'ultimo infatti non può essere trattato senza esplicito consenso del diretto interessato favorendo parimenti la libera circolazione del dato e rafforzando i diritti del soggetto a cui appartiene. Infatti come afferma lo stesso Art. 1 par. 2 del Regolamento, questo ha l'obiettivo principale di "proteggere i diritti e le libertà fondamentali delle persone fisiche, in particolare il diritto alla protezione dei dati personali".

In quest'ottica il punto cardine del GDPR è la cosiddetta autodeterminazione informativa, fondamentale e necessaria per il libero sviluppo della personalità del cittadino e anche un elemento essenziale di una società democratica. Si evidenzia quindi la necessità di attuare misure di tutela e garanzia dei dati trattati con un approccio totalmente innovativo che fa ricadere sui titolari l'onere di decidere autonomamente le modalità e i limiti del trattamento dei dati.

Da un lato il nuovo Regolamento sembra porsi un gradino al di sotto della precedente normativa basandosi sulla cosiddetta valutazione del rischio, *risk based* (dove per rischio si intende l'effetto di incertezza sugli obiettivi), tenendo conto della finalità del trattamento dei dati ma soprattutto delle probabilità e della gravità dei rischi per i diritti e le libertà degli utenti. Infatti un approccio *risk based* ha lo svantaggio di delegare all'azienda la valutazione del rischio, rendendo più difficili le contestazioni in caso di violazioni, considera più rischioso il trattamento dei dati di un minore rispetto a quelli di un adulto, come se i diritti di un adulto fossero meno fondamentali di quelli del bambino, e pone maggiore attenzione al trattamento di un grande insieme di dati, laddove è pacifico che anche il trattamento di pochi dati può comportare un danno per i singoli. È, quindi, un approccio che tiene in maggiore considerazione le esigenze delle aziende, rendendo meno burocratica la gestione dei dati, con l'evidente effetto che aziende di minori dimensioni avranno minori obblighi, essendo questi calibrati anche rispetto all'organizzazione della stessa [2].

Da prendere in considerazione è sicuramente

la base giuridica del trattamento. Fondamentale sarà il consenso dell'interessato ma è stato anche rafforzato il diritto alla cancellazione nel caso di trattamenti basati sul consenso stesso. C'è comunque da notare come il consenso sia solo una delle sei basi giuridiche previste perciò sarà dovere del titolare quello di valutare quale sia quella più idonea rispetto al trattamento che desidera porre in essere. L'articolo 6 del Regolamento infatti indica le varie basi giuridiche che il titolare del trattamento può scegliere in relazione al suo specifico caso. In particolare esse sono:

1. Consenso: il consenso dell'interessato autorizza il trattamento dei dati. Il titolare del trattamento deve fornire l'informativa e deve garantire la portabilità dei dati. L'interessato tramite il consenso saprà come i suoi dati sono utilizzati, da chi vengono utilizzati e verrà a conoscenza degli eventuali rischi che il trattamento può provocare.
2. L'adempimento di obblighi contrattuali: il trattamento è lecito se necessario al fine di eseguire un contratto di cui l'interessato è parte. È una forma speciale di consenso per la quale occorre l'informativa.
3. Gli obblighi di legge cui è soggetto il titolare del trattamento: nel caso di trattamento di dati necessario per l'adempimento di obblighi derivanti da legge, regolamento o normativa comunitaria non occorre il consenso ma occorre fornire l'informativa.
4. Interessi vitali della persona interessata o di terzi: il trattamento è ammesso se è necessario alla salvaguardia degli interessi vitali dell'interessato o di un terzo anche se il soggetto si trova nell'incapacità fisica di prestare consenso. In tal caso occorrerà solo l'informativa.
5. Legittimo interesse prevalente del titolare o di terzi cui dati vengono comunicati: quando il trattamento è necessario per il perseguimento dei legittimi interessi del titolare del trattamento o dei terzi non occorre il consenso a condizione che non prevalgano i diritti e le libertà fondamentali dell'interessato.
6. Interesse pubblico o esercizio di pubblici poteri: il trattamento se necessario per l'ese-

cuzione di un compito di interesse pubblico non necessita consenso.

Bisogna infine considerare come il nuovo Regolamento ponga l'accento sul principio della trasparenza prevedendo una serie di obblighi per dimostrare l'effettiva adozione del Regolamento stesso. È essenziale infatti l'aggiornamento della documentazione attestante i trattamenti svolti, il rispetto dei diritti degli interessati (quali la protezione dei dati personali, la privacy e i diritti fondamentali espressi dalla Costituzione), la creazione di un clima di fiducia tra interessati e titolari del trattamento, le responsabilità di questi ultimi in materia di trattamento di dati personali e le misure di sicurezza implementate in materia di diffusione dei dati (come ad esempio il divieto imposto dal **Provvedimento Inibitorio n.213**, promosso dal Garante della privacy, di diffusione via web di dati riguardanti lo stato di salute e le situazioni di disagio economico e sociale degli interessati).

Nell'ambito della stretta applicazione il Regolamento è attuato in riferimento al trattamento dei dati personali che riguardano una persona fisica. Il GDPR si applica ad ogni trattamento che ha ad oggetto dati personali e a tutti i titolari e responsabili di questo stabiliti nel territorio dell'Unione Europea.

## **Big Data aziendali**

L'espressione *Big Data* indica un'estesa mole di dati eterogenei caratterizzati da alcuni parametri fondamentali:

- *Volume*: in riferimento alla grande quantità di dati;
- *Variety*: identifica la vasta varietà dei dati;
- *Velocity*: per indicare la velocità di utilizzo e trasmissione di questi dati.

La disciplina dei *Big Data* prevede l'estrapolazione di dati di diversa provenienza al fine di comparare gli stessi e individuare eventuali legami esistenti tra fenomeni della realtà sociale. Tali sistemi si basano su metodi di rilevazione e campionamento complessi che perseguono un fine previsionale riguardo a fenomeni aleatori. Ogni operazione digitale è caratterizzata

dalla profilazione dell'utente, il quale è tenuto a fornire informazioni personali, anagrafiche e preferenziali.

L'utilizzo di queste informazioni si è rivelato estremamente efficace nell'ambito economico-aziendale tanto che tanto che si è giunti a parlare di **Big Data aziendali**. L'utilizzazione dei *Big Data* è da molti considerata come un'evoluzione dei classici metodi di *Business Intelligence* ovvero un insieme di processi aziendali per raccogliere dati ed analizzare informazioni strategiche.

Infatti, mentre la *Business Intelligence* utilizza metodologie e strumenti della statistica descrittiva che consentono di rappresentare con modelli semplici le osservazioni relative ad determinato fenomeno e fornire interpretazioni spesso limitate, la disciplina dei *Big Data* utilizza la statistica inferenziale che consente di dedurre leggi e utilizzare modelli predittivi più complessi partendo da osservazioni relative ad un campione, allo scopo di giungere a conclusioni valide per la popolazione di riferimento.

Gestire la moltiplicazione dei dati in tempo reale in azienda non appare un compito semplice, inoltre si richiedono specifiche competenze riguardo all'utilizzo di strumenti e processi di *machine learning*, *deep learning* e *Internet of Things*. A differenza di molte altre tecnologie i *Big Data* non sono un *trend* ma costituiscono una necessità gestionale tanto che se le imprese aspirano alla crescita, al miglioramento e alla perdurabilità dovranno necessariamente dotarsi di software e database adeguati. È noto come in ambito aziendale l'attività di rilevazione di situazioni interne ed esterne costituisca una sorta di condizione di esistenza dell'azienda stessa. In quest'ottica è opportuno considerare le opportunità che i *Big Data* offrono.

- Segmentazione più rapida, efficace ed efficiente dell'insieme dei potenziali clienti.
- Individuazione delle preferenze della clientela e studio dei fattori che inducono il cliente ad acquistare.
- Conoscenza delle condizioni dei mercati di approvvigionamento e di mercati di sbocco.
- Personalizzazione e sperimentazione di nuovi prodotti.

- Sistemi previsionali in riferimento a possibili andamenti dell'azienda.
- Gestione proattiva di partner e collaboratori.

Dunque i *Big Data* aziendali si rivelano uno strumento fondamentale per la creazione di nuovi modelli di business e l'ottenimento di sensibili vantaggi competitivi.

La nuova gestione del business attraverso i dati possa essere sintetizzata nelle 4C:

- *compliance* (conformità),
- *confidentiality* (riservatezza),
- *contextuality* (contestualità),
- *cybersecurity* (sicurezza informatica).

Attività mirate di marketing e acquisizione di nuovi clienti devono il proprio successo a modelli fondati sull'analisi dei *Big Data*. Un esempio significativo è costituito dalla **pubblicità comportamentale** ossia una particolare tecnica basata sul *tracking* delle attività in rete degli utenti. Tale strategia ha lo scopo di creare dei profili digitali degli utenti presi in considerazione per offrire loro proposte pubblicitarie che, in base ai gusti personali (tratti dai *cookie* delle ricerche online), potrebbero attrarre l'attenzione dell'utente.

Inizialmente tali tecniche erano utilizzate da una porzione limitata di aziende, generalmente di grandi dimensioni. Tuttavia in un periodo storico in cui l'accumulo di dati favorisce il successo dell'azienda e il controllo dei mercati, si è reso necessario un significativo cambiamento e un'evoluzione anche da parte delle piccole aziende. In uno scenario economico qual è quello italiano, caratterizzato dalla presenza di piccole e medie imprese, si ricerca sempre più un mutamento per ridurre costi e contestualmente incrementare la qualità delle operazioni e i profitti, il tutto rispettando i limiti giuridici e legali in termini di privacy e trattamento di dati personali. È difatti imprescindibile la conformità delle attività al regolamento generale sulla protezione dei dati, il GDPR) presentato nella sezione precedente.

## Conclusioni

Possiamo notare come la cosiddetta rivoluzione digitale connessa ai *Big Data*, abbia profondamente mutato tutti i settori disciplinari, e in

particolare quelli del diritto e dell'economia. Il nuovo Regolamento Europeo infatti ha avuto forti ripercussioni sia sul piano dei diritti a causa dei limiti costituzionalmente posti per quanto riguarda il rispetto dei principi fondamentali della persona, della libertà, della dignità umana e della privacy degli utenti sia sul piano economico perché il GDPR ha imposto molti obblighi a livello aziendale ma nello stesso tempo ha portato ad un'evoluzione anche delle aziende più piccole grazie ad un'efficace innovazione tecnologica.

Ritornando a quanto affermato dalla Cancelliera Angela Merkel nel World Economic Forum di Davos del 2018, possiamo sicuramente affermare come ciò che segnerà le sorti della democrazia e dell'economia mondiale non è solo il possesso dei *Big Data* ma anche, e soprattutto, la gestione e la regolamentazione di essi.



[1] G. Faggioli, "Big Data e Privacy: la protezione dei dati personali è possibile?" [blog.osservatori.net](http://blog.osservatori.net), 01 Febbraio 2018.

[2] B. Saetta, "Regolamento generale per la protezione dei dati.", [protezionedatipersonali.it](http://protezionedatipersonali.it), 02 Giugno 2018.



**Simona Lamusta:** studentessa del corso di laurea in Economia Aziendale, II anno

**Caterina Luceri:** studentessa del corso di laurea in Giurisprudenza, II anno

# Big Data e Assicurazioni. Regolamentazione dei Mercati e Tutela Giuridica

*Giulia De Giorgi, Francesco De Masi*

*Scuola Superiore ISUFI, Università del Salento*

---

**I**n questo contributo presenteremo un'analisi sul tema del trattamento dei dati personali in ambito assicurativo. In particolare, nell'articolo verranno analizzati i risvolti giuridici dell'utilizzo dei *Big Data* e il loro impiego per la risoluzione di asimmetrie informative, da qualificare come inefficienze di mercato.

## Introduzione

L'avvento dei *Big Data* e con essi tutti i software e algoritmi atti ad una loro profonda analisi offrono interessanti opportunità alle compagnie assicurative. La grande disponibilità di dati e di informazioni provenienti da fonti differenti quali statistiche ufficiali, social network e pubbliche amministrazioni, possono garantire vantaggi alle assicurazioni in termini di maggiore conoscenza della clientela. Tale condizione permette di determinare il profilo di rischio di ciascun assicurato nonché di migliorare la competitività dei propri prodotti e servizi con un continuo avvicinamento, in termini di qualità e prezzo, ai bisogni individuali. Le compagnie assicurative stanno infatti incrementando i propri investimenti nello sviluppo di software informatici

innovativi che possano analizzare ed integrare tutte le informazioni relative ai propri clienti e ai clienti potenziali che possono essere raggiunti grazie a dei prodotti assicurativi ad hoc. Soprattutto nel comparto assicurativo, infatti, la capacità di raccogliere ed analizzare i dati relativi al comportamento di una singola persona o di una collettività rappresenta una grande opportunità per le imprese del settore. Tuttavia a ciò va associato la potenziale minaccia che tali operazioni rappresentano per la privacy di ciascuno di noi. È evidente pertanto il bisogno da parte delle autorità competenti di regolarizzare il mercato per evitare condizioni lesive della privacy, nonché eventuali forme discriminatorie tra diverse categorie di clienti [1].

## *Insurtech*

In un contesto di continua digitalizzazione, le compagnie assicurative hanno individuato l'opportunità di investire nelle nuove tecnologie al fine di ottenere maggiori vantaggi di mercato. La dematerializzazione delle procedure e la raccolta dei dati sensibili dei clienti sono i primi strumenti che le compagnie possono utilizzare per personalizzare i prodotti e avvicinarsi ai bi-

sogni degli assicurati [2]. Le assicurazioni hanno come obiettivo di intercettare i cambiamenti nelle preferenze dei consumatori, cercando di vendere prodotti innovativi, non solo nella loro composizione, ma anche nella capacità di individuare nuove modalità nella vendita dei prodotti attraverso l'uso delle nuove tecnologie. La trasformazione tecnologica delle compagnie assicurative viene definita *Insurtech*, termine con il quale si fa riferimento all'applicazione delle nuove tecnologie, in particolare quelle digitali, nel contesto assicurativo (*Insur + tech*). Ciò si traduce sia nell'offerta di nuovi prodotti, quanto anche nelle modalità con cui le compagnie operano nel settore. A quest'ultimo riferimento, prima dell'avvento del digitale, le attività di selezione e tariffazione venivano svolte classificando la propria clientela in categorie di rischio sulla base di dati raccolti *ex ante*; si trattava di dati prettamente anagrafici come l'età, il luogo di residenza, la professione e la raccolta poteva essere definita statica. Oggi lo scenario è mutato notevolmente: le tecnologie digitali permettono alle imprese di avere un apparato dinamico e prospettico, in grado di riclassificare di continuo il profilo di rischio dell'assicurato e di monitorare le sue attività, affiancando alla tradizionale assicurazione alcuni dispositivi tecnologici in grado di rilevare dati [3].

Negli ultimi anni i tradizionali canali di vendita sono stati oggetto di profondi cambiamenti grazie alla diffusione di internet e delle relative piattaforme online. Si fa qui riferimento alla diffusione di siti aggregatori e comparatori che offrono vantaggi economico-finanziari in termini di risparmio per i costi di ricerca. Ad ogni modo, è bene specificare che queste nuove opportunità di autonoma individuazione e sottoscrizione delle assicurazioni devono essere declinate per i diversi prodotti che le compagnie offrono. Se infatti per i prodotti assicurativi standardizzati, quali l'RCAuto, le operazioni di comparazioni possono essere svolte senza particolari difficoltà, parimenti non può dirsi per i prodotti complessi, quali le assicurazioni vita e le più articolate forme di assicurazioni danni. Ciò sta progressivamente portando ad una polarizzazione del mercato tra due forme di assicurazione: una focalizzata sul prezzo, in cui le compagnie puntano ad ottenere un vantaggio di costo, e l'altra focalizzata

sulla qualità, in cui si punta ad una maggiore differenziazione.

Un altro importante sviluppo del mercato assicurativo si ha nella crescente diffusione di canali vendita bancari. Si tratta di un'importante realtà soprattutto nel comparto delle assicurazioni per la vita, anche se ultimamente si sta assistendo ad una estensione delle proprie attività anche per gli altri prodotti assicurativi.

## **Big Data e asimmetrie informative**

Il processo di digitalizzazione finora esposto e la relativa capacità di analisi dei *Big Data* hanno degli importanti riflessi sulle asimmetrie informative, un elemento che permea il mercato assicurativo [4]. Spesso, infatti, si assiste a situazioni in cui le compagnie assicurative non sono in grado di offrire contratti che sappiano tener conto del rischio cui il cliente è esposto. In caso di asimmetria informativa, le polizze proposte prevedono un premio calcolato su una esposizione media tra i vari richiedenti, non avendo tutte le informazioni in merito alle caratteristiche del richiedente. Così facendo, la sottoscrizione di tali contratti risulterà essere più vantaggiosa per coloro i quali sono più esposti, rispetto a chi ha una minore esposizione verso il rischio in quanto questi ultimi troveranno il premio troppo elevato: si genera così il fenomeno della selezione avversa. Al fianco di tali considerazioni, bisogna tener conto anche di un'altra criticità cui le assicurazioni sono esposte: l'azzardo morale. Si tratta di una condizione in cui l'assicurato tiene un comportamento mirato ad ottenere rimborsi dall'assicurazione, senza osservare misure prudenziali [5].

Dinanzi tali problematiche, le compagnie assicurative intervengono classificando gli assicurati all'interno di differenti categorie di rischio, a fronte delle quali viene riconosciuto un premio di entità diversa in relazione all'esposizione al rischio che caratterizza ogni classe, svolgendo un'operazione di discriminazione statistica [6]. Tale attività si basa sulla raccolta delle informazioni che gli stessi assicurati rilasciano al momento della sottoscrizione e sulle statistiche ufficiali che vengono rilasciate dalle agenzie e

istituti di settore. All'interno di questo scenario, la capacità di analizzare i *Big Data* assume un ruolo centrale. La possibilità di analizzare un maggior quantitativo di dati, può aiutare le assicurazioni ad effettuare le operazioni di classificazione e di conseguenza a realizzare contratti che rispecchiano maggiormente le caratteristiche dei richiedenti [7]. L'innovazione tecnologica ha interessato anche il settore assicurativo per le automobili, l'RCA. In questo settore, uno degli strumenti tecnologici cui si fa maggiormente ricorso è la scatola nera o *black box*. Trattasi di un hardware di colore scuro, integrato nel veicolo, che ha la funzione di registrare il comportamento al volante del conducente e tutto ciò che accade al mezzo. La grande mole di dati relativi al veicolo e al conducente viene raccolta, organizzata e archiviata nella stessa *black box*, che si compone anche di una parte software. Nella sua versione originaria, la scatola nera è un dispositivo satellitare dotato di geo-localizzazione in grado di registrare i movimenti del veicolo; già a partire dagli anni 2000 i dispositivi sono diventati più sofisticati, dotandosi di accelerometri e servizi di assistenza in caso di furto. Oggi, con la scatola nera è possibile monitorare lo stile di guida degli automobilisti e ricostruire i sinistri, con la capacità di ridurre molto i rischi di frode. Alla luce di quanto sopra analizzato, si può affermare che la diffusione delle nuove tecnologie digitali ha permesso alle imprese assicuratrici di disporre di una maggior disponibilità di dati e informazioni, riguardanti i comportamenti degli individui. In questo modo, le assicurazioni possono determinare con maggiore accuratezza il prezzo e offrire prodotti sempre più attraenti. Le problematiche connesse con le asimmetrie informative possono dunque essere notevolmente attenuate grazie alla maggior mole di dati e alle nuove strumentazioni tecnologiche di cui le imprese possono disporre. In questo modo le compagnie assicurative assumono un apparato dinamico e prospettico, in grado di riclassificare di continuo il profilo di rischio dell'assicurato e di monitorare le sue attività.

### **Digital health insurance**

Analizzando il settore sanitario, si sta assistendo alla crescente diffusione di polizze assicurative

che, tramite l'utilizzo di strumenti tecnologici, consentono alle imprese di settore di ottenere informazioni utili alla determinazione dello stato di salute dei propri clienti. In alcuni casi si assiste all'impiego di braccialetti (definiti intelligenti) che, computerizzando gli *health records*, (in particolare, dati biometrici e fisiologici), contribuiscono alla profilazione del cliente e, soprattutto, alla stima del suo *health risk* [8].

Recentemente, nell'ottica della prevenzione di problemi posturali, Generali Assicurazioni ha investito circa 50 milioni di euro per l'implementazione dei *cd. wearable device* [9], si tratta di sistemi elettronici che, attraverso dei sensori, avvisano i clienti circa l'assunzione di una posizione non corretta; inoltre, tra le funzionalità di tali dispositivi indossabili si rinviene la misurazione dei battiti cardiaci, del numero di passi e delle calorie bruciate. Questo mercato si è ampiamente diffuso negli Stati Uniti, implementando la logica della premialità di comportamenti *healthy*: ad esempio, una nota impresa assicurativa americana ha introdotto un meccanismo che crea una correlazione tra il device indossato dall'assicurato, un'app e dei buoni regalo da 20\$, i quali vengono consegnati al cliente, a condizione che questo abbia conseguito gli obiettivi (di solito relativi ad attività fisiche) che sono giornalmente fissati dall'app e monitorati dal braccialetto [10].

### **La lesione del diritto alla privacy e all'autodeterminazione dell'assicurato**

In chiave giuridica, si profilano dei rischi in termini di violazione della privacy ex art. 54 GDPR, il quale riconosce un trattamento dei dati soltanto se giustificato da uno scopo pubblico; testualmente, "il trattamento dei dati relativi alla salute effettuato per motivi di interesse pubblico non dovrebbe comportare il trattamento dei dati personali per altre finalità da parte di terzi, quali datori di lavoro, compagnie di assicurazione e istituti di credito". Pertanto, a sostegno dell'esigenza di tutela della privacy, il "Gruppo di lavoro ex Art. 29" ha elaborato, nel 2014, un vademecum indirizzato alle aziende produttrici delle piattaforme *IoT (Internet of Things)*, al fine

di conformarne la produzione alla normativa UE [11].

Per sistemi *IoT* si intendono quei dispositivi che consentono agli oggetti di instaurare un flusso costante di comunicazione attraverso "an extended network using wired and wireless protocols" [12]. Le maggiori criticità evidenziate nel 2014 furono: da un lato l'assenza di attività di monitoraggio a cura dello user sui dati elaborati dal dispositivo *IoT*, spesso in virtù di un'attivazione automatica dell'oggetto medesimo; dall'altro, la simultanea rilevazione di dati sensibili di soggetti terzi, i quali non avevano rilasciato il consenso ai fini di tale acquisizione.

Nel 2018, un *pool* di esperti dell'University of California e del Department of Health Sciences and Technology di Zurigo hanno condotto uno studio sui meccanismi di condivisione su piattaforma di test genetici che confluiscono in *cloud* e vengono successivamente acquisiti, pressoché in modo automatico, da parte delle compagnie assicurative [13]. Nell'intervista al *participant* n. 3, emerge un basso grado di soddisfazione relativo all'impiego di questi strumenti in ambito assicurativo; inoltre, è evidente la diffidenza dimostrata dall'intervistato in merito alla gestione dei dati forniti, la consapevolezza di essere discriminato *for insurance purposes* nel caso di mancata cessione dei dati (qualora non venga utilizzato il *wearable device*), e pertanto, la conseguente sensazione di perdita della capacità di controllo delle proprie informazioni. Queste ultime considerazioni consentono di desumere che, la tendenza delle compagnie ad acquisire dati sanitari attraverso strumenti digitali lede il diritto all'autodeterminazione del singolo; è importante precisare che tale posizione soggettiva risulta già compromessa, in presenza di una situazione di stress cognitivo, conseguente al sovraccarico di informazioni che si verifica durante la stipulazione della polizza [14].

A questo punto della trattazione, risulta necessario chiarire la doppia valenza del diritto all'autodeterminazione: sotto un profilo pratico, esso è da intendere come diritto all'autogoverno della propria vita privata, che riceve una copertura giuridica indiretta nell'art. 2 Cost., nella misura in cui viene tutelata l'invulnerabilità della persona umana, e in particolare l'autonomia di pensiero e di azione; difatti, le compagnie assicu-

ative, incentivando l'utilizzo di siffatti *activity trackers* attraverso politiche di riduzione del premio riservate ai clienti più salutisti, non fanno che limitare il potere di autogestione del comportamento degli assicurati. Mentre, sotto una prospettiva prettamente giuridica, si tratta del diritto all'autodeterminazione contrattuale (cd. *freedom to contract*), ovvero al "potere di disporre della propria sfera giuridica, coinvolgendo la sfera giuridica altrui" [15].

## La selezione avversa e il rischio di discriminazione

Una parte della dottrina ritiene che l'asimmetria informativa costituisca la precondizione per l'operatività della cd. *adverse selection*, ovvero che quest'ultima sia una forma di manifestazione della prima, che opera a discapito delle compagnie assicurative. In effetti, si tratta di un fenomeno nel quale l'assicurato assume una posizione contrattuale di dominio, nella misura in cui ritiene di essere depositario di informazioni concernenti il contratto (quali il rischio), le quali, però, rimangono oscure all'assicuratore [16]. Nell'impossibilità per la compagnia di determinare con certezza ed *ex ante* il grado di rischio del cliente, la selezione avversa si realizza nel momento in cui l'assicuratore fissa un premio di ammontare identico per tutti gli assicurandi appartenenti alla medesima categoria. Come specificato nei paragrafi precedenti, l'acquisizione di dati sensibili (in tal caso relativi allo status di salute dell'assicurando) è funzionale alla neutralizzazione di tale asimmetria e favorisce una personalizzazione dei premi, i quali saranno effettivamente rispondenti al rischio del cliente. Contra, in una prospettiva pro-consumeristica, tale personalizzazione potrebbe sconfinare in un abuso da parte delle compagnie, le quali in sede precontrattuale potrebbero stipulare polizze solo con quei clienti che, versando in ottime o medie condizioni di salute, consentirebbero un contenimento del premio assicurativo [17]. Questa selezione non farebbe che escludere quegli individui nei cui confronti la polizza rivestirebbe una funzione di garanzia, in quanto sarebbe integrativa e suppletiva all'intervento dello Stato nell'erogazione delle cure mediche. Si tratta

di quei casi clinici particolarmente gravi, poiché affetti da anomale e rare patologie, da disfunzioni o da malattie croniche, che richiederebbero un'assistenza sanitaria permanente e una somministrazione di farmaci ad hoc, comportando dei costi difficilmente sostenibili dalla spesa pubblica. Nel caso a quo, una parte della dottrina non si esime dal denunciare l'avvenuta mortificazione della funzione sociale del contratto assicurativo [18] e la conseguente violazione del divieto di discriminazione, il quale vige sia nella fase contrattuale che precontrattuale del rapporto ed assume una valenza maggiore nei contratti non equilibrati. Difatti, il contratto assicurativo persegue una funzione sociale che, però, non coincide con il motore propulsivo delle attività delle compagnie assicurative, quest'ultimo di natura profit-based. Tale funzione, traducendosi nel trasferimento del rischio tra soggetti, non solo contribuisce alla corretta allocazione di ricchezza tra privati, consente il ripristino di un equilibrio di mercato, ma da un punto di vista previdenziale e assistenziale supplisce alle inadeguatezze del Welfare State [19].



- [1] C. ESTEVA: "The Application of EU Competition Rules to the Insurance Sector: Past Developments and Current Priorities", *British Insurance Law Association Journal* **94** (1997).
- [2] K. U. Kuhn, X. Vives, "Information Exchanges among Firms and their Impact on Competition", *Luxemburg: Office for Official Publications of the European Community* (1995).
- [3] Y. THIERY, C. VAN SCHOU BROECK: "Fairness and equality in insurance classification.", *Geneva Papers on Risk and Insurance - Issues and Practice* **31** (2006) 190.
- [4] J. R. KALYVAS, M. R. OVERLY: *Big Data - A Business and Legal Guide*. Taylor Francis, London (2015).
- [5] S. SHAVELL: "On Moral Hazard and Insurance", *Quarterly Journal of Economics* **93** (1979) 541.
- [6] K. S. ABRAHAM: "Efficiency and Fairness in Insurance Risk Classification", *Virginia Law Review* **71** (1995) 403.
- [7] European Data Protection Supervisor, "Meeting the challenges of *Big Data* - A call for transparency, user control, data protection by design and accountability", Opinion 7/2015 (2015).
- [8] G. MANOGARAN, C. THOTA, M. KUMAR: "Meta Cloud Data Storage architecture for *Big Data* security in cloud computing", *Procedia Comput. Science* **87** (2016) 128.

- [9] A. BLASIMME, E. VAYENA, I. VAN HOYWEGHEN: "Big Data, precision medicine and private insurance: delicate balancing act.", *Big Data & Society* **6** (2019) 1.
- [10] Istituto (Nazionale) per la Vigilanza sulle Assicurazioni, *Analisi Trend prodotti assicurativi. Le nuove polizze sulla salute: la digital health insurance* www.ivass.it,(2016),5.
- [11] S. PALANZA: "Internet of things, *Big Data* e privacy: la triade del futuro", *Documenti Istituto Affari Internazionali* (2016) 12.
- [12] S. Shiju, K. Boney's, M. k. Jinesh, "Security, Trust and Implementation Limitations of Prominent IoT Platforms", in S. C. Satapathy-B. N. Biswal-S. K. Udgata-J. K. Mandal, *Proceedings of the 3rd International Conference on Frontiers of Intelligent Computing: Theory and Applications*, (2014) 85-95.
- [13] T. HAEUSERMANN, M. FADDA, A. BLASIMME, B. GRESHAKE, T. VAYENA, E. VAYENA: "Genes wide open: Data sharing and the social gradient of genomic privacy.", *Ajob Empirical Bioethics* **9** (2018) 207.
- [14] M. Lecci. *La disciplina degli obblighi informativi nella prestazione di un servizio di intermediazione finanziaria* in *Manuale di diritto del risparmio*, (a cura di) F. Greco, Pensa, Lecce, (2018) 23.
- [15] F. Frisullo, *Il principio di autonomia privata e contrattuale*, Collana di Diritto Privato Europeo, www.masterdirittoprivatoeuropeo.it, Università "La Sapienza", Roma, (2015), 1.
- [16] P. DE DONDER, J. HINDRIKS: "Adverse selection, moral hazard and propitious selection", *Journal of Risk and Uncertainty* **38** (2019) 73.
- [17] B. Keller,"*Big Data* and Insurance: Implications for Innovation, Competition and Privacy", The Geneva Association, www.genevaassociation.org, (2018) 33.
- [18] A. CAMEDDA: "La digitalizzazione del mercato assicurativo: il caso della digital Health insurance", *Rivista di Diritto Bancario* **III** (2018) 567.
- [19] I. DOMURATH: "Mortgage Debt and the Social Function of Contract", *European Law Journal* **22** (2016) 758.



**Giulia De Giorgi:** laureanda in Giurisprudenza.  
**Francesco De Masi:** Dottorando in Scienze dell'Economia, XXXIII ciclo.



# Al confine di ciò che è noto

**Francesco Merenda** Scuola superiore ISUFI, Unisalento.

---

**U**na fertile area di studio dell'epistemologia moderna riguarda l'indagine sullo sviluppo e sul progresso della conoscenza: come avviene questo processo? Ci sono tappe fisse comuni che permettano di schematizzarlo? Questa è una delle idee cardine di "The dynamics of correlated novelties" [1], articolo pubblicato su Nature nel 2014, che apre alla discussione sull'espansione dell'adiacente possibile, felice espressione che ben inquadra lo sviluppo e la macchina del conoscere e del come conoscere.

## Introduzione

I quattro autori dell'articolo tentano un'ambiziosa liaison tra i concetti di **innovazione** e **novità**, dove l'innovazione indica qualcosa di creato per la prima volta, qualcosa di nuovo per il mondo e per l'umanità, mentre la novità è qualcosa di nuovo per chi la esperisce, per il singolo. Le innovazioni sono novità per tutti. Esempio di novità per il singolo è l'ascolto di una nuova canzone o la lettura di un sito inedito, stimolati magari dall'esplorazione di musica e ipertesti che già si conoscono. Ecco, questa esplorazione di cui neppure si parla, tanto è banale e comune questo meccanismo, è della stessa sostanza dello studio del mondo e delle sue regole, dell'invenzione e dell'allargarsi della frontiera del noto? Esattamente come una molecola è ad un passo, una

reazione, di distanza da altre molecole ad essa simili, esattamente come un sito web è ad un click, un link, di distanza da altri che non conosciamo, anche l'innovazione scientifica deve funzionare allo stesso modo: ogni qual volta si esplora un effetto fisico, una reazione chimica inedita, o una semplice canzone sconosciuta, tale oggetto emerge e si palesa a noi con una nuvola di possibilità che lo circondano, altre idee in potenza che possono scaturirne in pochi passi logici.

Stuart Kauffman, biologo teorico, è stato il primo a ragionare sul concetto di **adiacente possibile** [2]. Esso è l'insieme di tutti quegli elementi che sono ad un passo di scarto da ciò che esiste, è ciò che si può raggiungere ricombinando ciò che già si conosce. Kauffman formulò quattro leggi generali che potessero agevolare lo studio sistematico delle biosfere; l'ultima di queste concerneva proprio l'idea di adiacente possibile. Ogni biosfera tende a espandere nel suo adiacente possibile, incrementando la sua diversità e quella del suo futuro. Questa esplorazione, limitata dal controllo della sua organizzazione interna, impiegherebbe secoli. Steven < Johnson, divulgatore scientifico e teorico dei media, pone al primo posto del suo "Where good ideas come from" l'adiacente possibile, reame ove l'evoluzione e l'innovazione hanno più frequentemente luogo [3]. Ogni cosa ha il suo tempo: ogni passo verso l'evoluzione successiva apre possibilità a combinazioni ulteriori, nuvole di potenziale. Come Amazon non poteva nascere prima del-

l'invenzione dei computer, e come l'uranio non poteva esistere prima delle supernove, è l'adiacente possibile a decretare cosa possa nascere quando. I grandi salti evolutivi, oltre lo sconosciuto più prossimo, sono rari e di vita breve: molte grandi menti nate in secoli che non potevano accogliere il loro genio, sono state ostacolate dall'impreparazione dell'ambiente. O con un altro esempio, se YouTube fosse stato pensato e creato negli anni Novanta, non avrebbe avuto alcun successo, poiché nessuno aveva una connessione sufficientemente rapida o un computer abbastanza potente. In altre parole, le idee innovative evolvono generalmente a ritmo lento e passo dopo passo, erodendo il confine dell'ignoto, e rare sono le improvvise rivoluzioni, per quanto affascinanti.

Vittorio Loreto, tra gli autori dell'articolo sulla dinamica delle novità correlate, tende ad umanizzare il genio che permise queste improvvise rivoluzioni [4]. Si consideri ad esempio la teoria della gravitazione universale: spesso si guarda a Newton come alieno dall'intelligenza superiore, capace di un'impresa a noi inconcepibile. Ma deve esserci stato un percorso, lungo o breve, fatto di gradini e mattoni uno sull'altro, che ha reso concepibile ciò che non lo era. La storia della mela di Newton è probabilmente fantasia, ma metaforicamente deve esserci stata una mela, un concetto a portata di mano che ha facilitato questo *breakthrough*. Qualcosa deve aver reso concepibile ad Einstein i primi concetti della sua teoria della relatività generale, qualcosa deve aver condotto a portata di logica ciò che prima era ignoto e lontano dalla frontiera dell'adiacente possibile. Ma è molto difficile immaginare lo spazio dell'adiacente possibile: esso è uno spazio non predefinito, che non possiamo prevedere, ma che invece si plasma e si modifica continuamente, in conseguenza delle nostre scelte e delle nostre azioni.

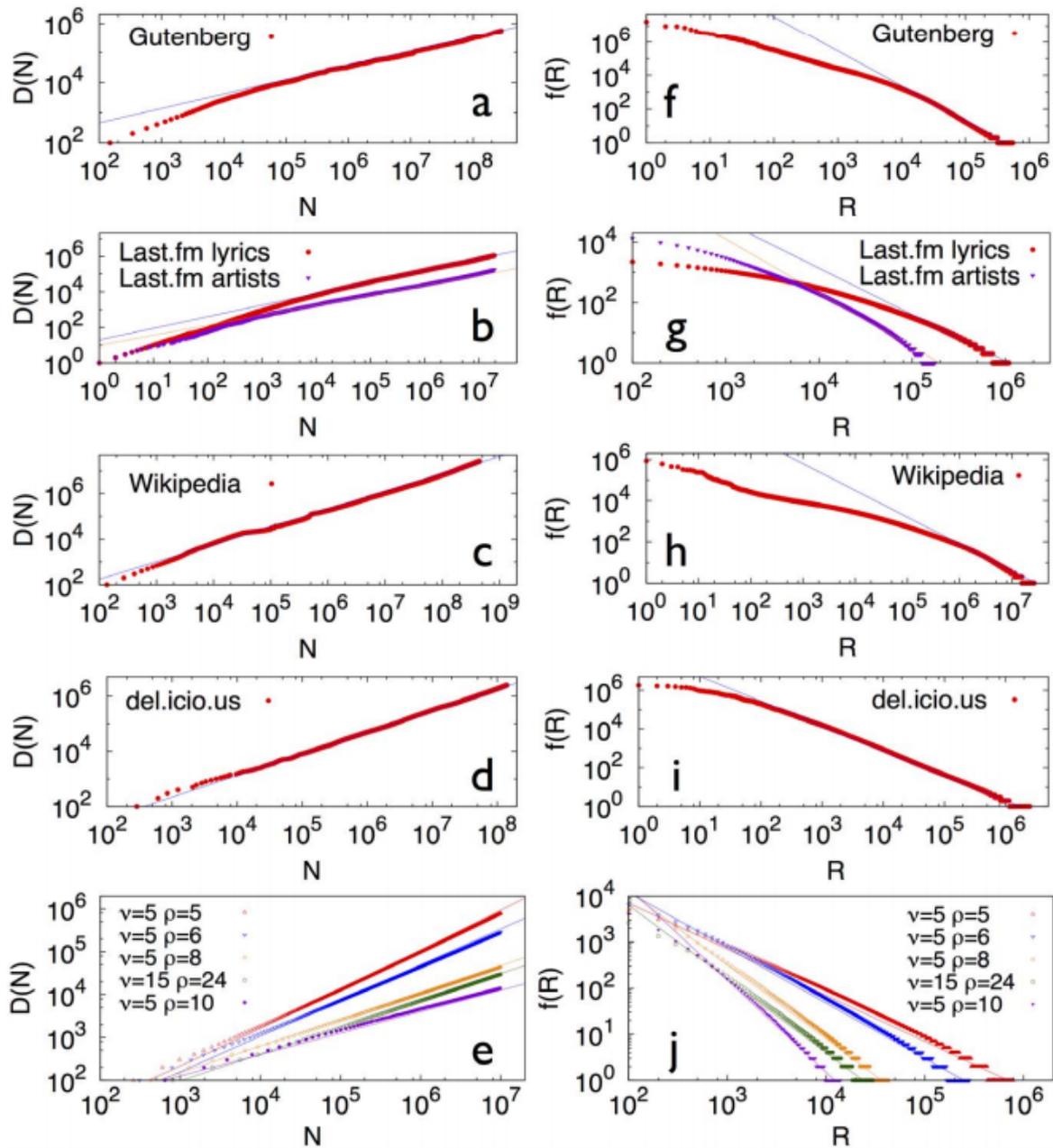
"The dynamics of correlated novelties" vuole dunque tracciare una somiglianza tra innovazione e novità, il che illumina un contatto tra il rigoroso progresso biologico, tecnologico e sociologico e la realtà banale di tutti i giorni. Per la prima volta si è riusciti a dare una sostanza scientifica all'intuizione di questo ponte logico, potendo formulare previsioni sul mondo in cui si esperisce e si scopre. Nasce un modello ma-

tematico, che fornisce indizi su come investigare lo spazio delle possibilità: questo ha enormi potenzialità, nell'educazione, nella ricerca, nel mondo del business, nell'intelligenza artificiale, nell'epistemologia, insomma in ogni campo dove una novità ne cova un'altra. Per la prima volta si può dare una forma scientifica al concetto di creatività.

Tria, Loreto, Servedio e Strogatz, i quattro autori, lavorarono su due set di dati riguardanti innovazioni, e due set di dati riguardanti novità, riscontrando lo stesso andamento statistico. Tra i set sulle innovazioni, si considerava la creazione di nuove pagine di Wikipedia e l'introduzione di *tag* su del.icio.us (un servizio di social bookmarking, ove trovare elenchi di segnalibri creati dagli utenti, che associano tag, o parole chiave, a risorse sul web, a mo' di filtro e di facilitazione della ricerca); tra i set sulle *novelties*, o novità individuali, si considerava la prima apparizione di ciascuna parola in un testo o la prima volta che un certo utente ascoltava un determinato brano musicale. La filigrana statistica osservata era la stessa: davvero allora si poteva immaginare che i due concetti chiave fossero, sullo stesso piano, manifestazioni di correlazioni passo dopo passo, generate dal progressivo allargarsi dell'adiacente possibile.

## Un modello quantitativo

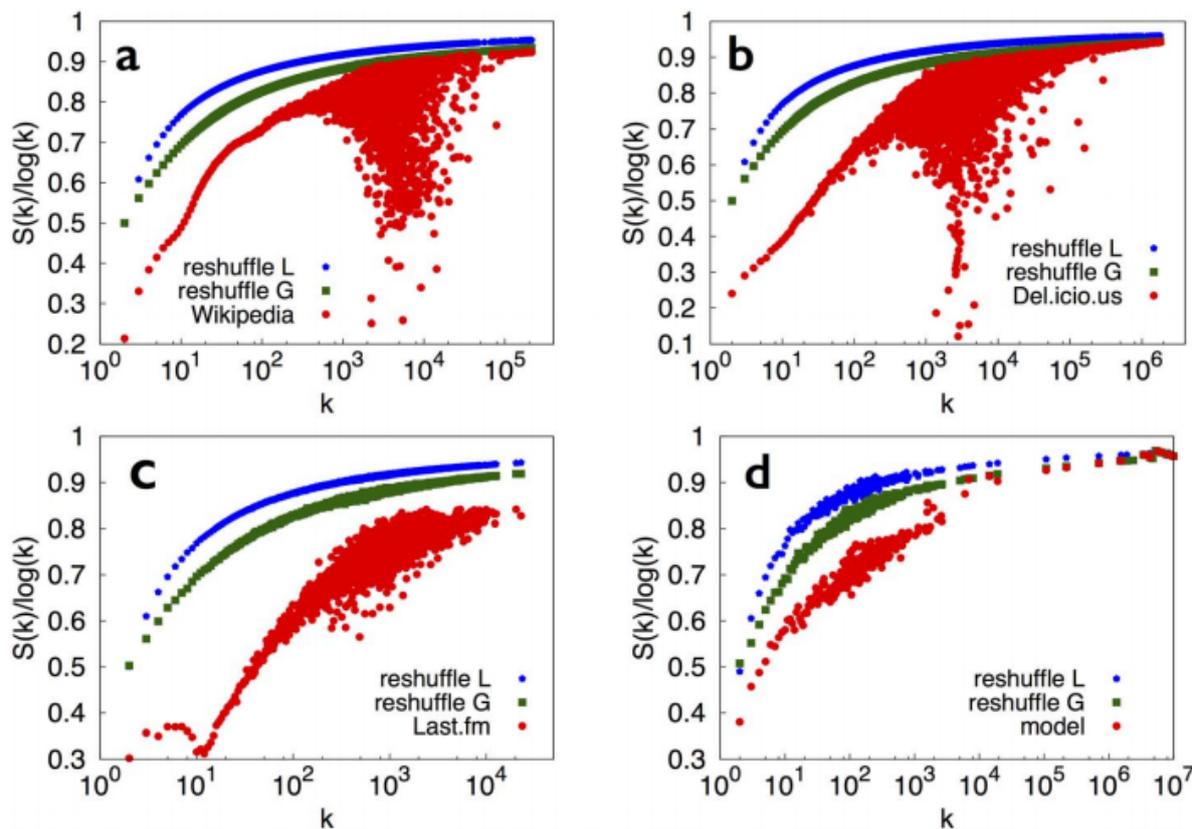
Il tasso di comparsa di novità può essere quantificato dall'aumentare del numero  $D(N)$  di elementi distinti in una sequenza ordinata di dati lunga  $N$ . Tale numero cresce con una legge di potenza sublineare (con esponente  $\beta < 1$ ), seguendo la cosiddetta legge di Heaps, nata proprio per descrivere fenomeni socio-linguistici di questo tipo, vedi la Fig. 1. Il tasso di comparsa di novità diminuisce cioè nel tempo come  $t^{\beta-1}$ . Si osserva anche la frequenza di determinati elementi in ogni stringa di dati, studiando la distribuzione frequenza-rango. Com'è noto, la coda di ogni set di questo tipo segue una legge di Zipf, il cui esponente  $\alpha$  è compatibile con quello di Heaps mediante  $\alpha = 1/\beta$ , Fig. 1. Un modello matematico semplice come quello proposto nell'articolo in esame non può descrivere anche le caratteristiche specifiche a basso rango, ma inquadra bene soltanto la coda di alto rango dei diversi insiemi.



**Figura 1:** Legge di Heaps (a-e) e legge di Zipf (f-j) in set reali (a-d,f-i) e nel modello dell'urna con triggering (e,j). Le linee rette dei grafici di Heaps indicano funzioni  $f(x) = ax^\beta$ . Le linee rette dei grafici di Zipf indicano funzioni  $f(x) = ax^{-\alpha}$ . La corrispondenza tra gli esponenti è valida solo asintoticamente.

Come ulteriore struttura, nelle analisi di testi e corpora di testi, vengono introdotte l'entropia degli eventi associati ad un certo gruppo semantico e la distribuzione  $f(l)$  degli intervalli di tempo tra due apparizioni successive di eventi dello stesso gruppo semantico; le due grandezze misurano l'importanza degli effetti di *clustering* tra gli eventi di un gruppo, che fanno riferimento al tasso di correlazione e di *triggering* (come la persistenza o la ripetizione di un argomento in un paragrafo). Un altro accorgimento preso è

il *reshuffle*, cioè il rimescolamento di ogni set di dati, per mettere da parte gli effetti casuali di correlazione temporale, Fig. 2: casi di correlazione semantica sono facilmente individuati da un brusco crollo dell'entropia tra i campioni di base e quelli rimescolati. Le distribuzioni  $f(l)$  invece mostrano picchi più alti per distacchi temporali minori nel caso iniziale rispetto a quello rimescolato, indicando che eventi dello stesso gruppo semantico appaiono spesso in cluster Fig. 3. In altre parole, valori più bassi dell'entropia



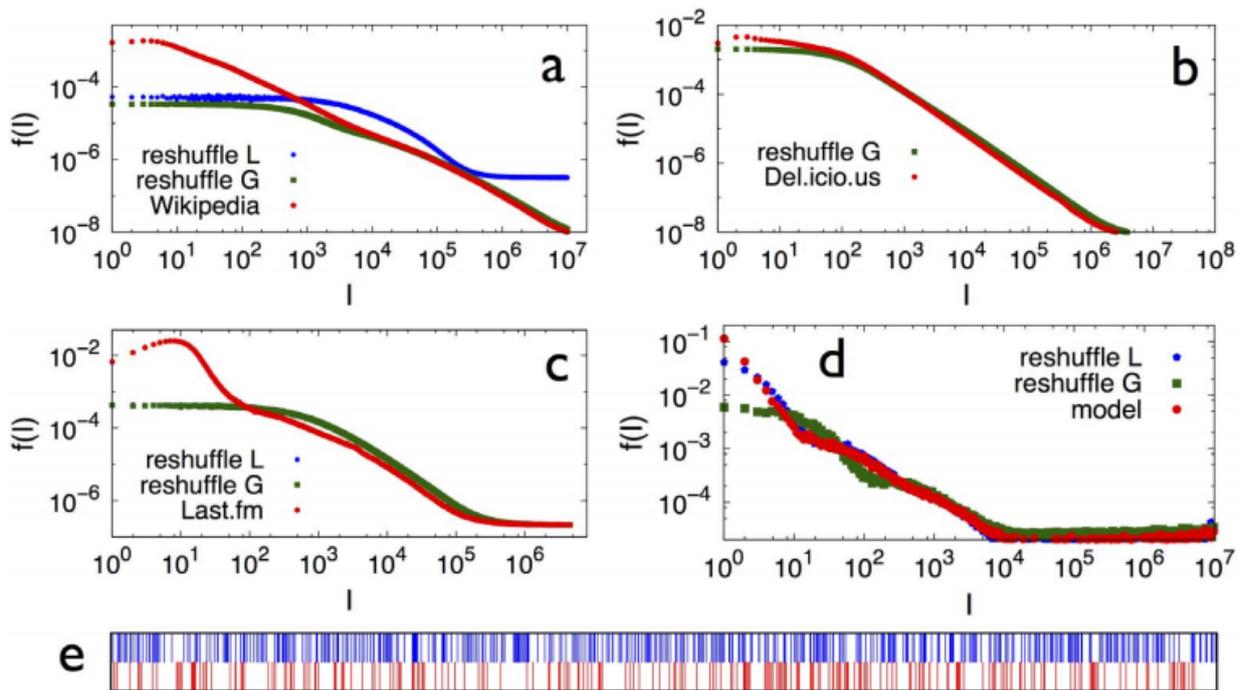
**Figura 2:** Entropia normalizzata per dati reali (a-c) e nel modello con urna e triggering semantico (d). Entropia per una sequenza associata ad una determinata etichetta  $A$  in funzione del numero di eventi  $k$  con tale etichetta. L'entropia è mediata, per ogni  $k$ , sulle etichette con lo stesso numero di apparizioni.

corrispondono a strutture molto clusterizzate, raggruppate di apparizioni della stessa area semantica. Questo succede non solo considerando insiemi molto vasti di dati, ma anche concentrandosi solo su testi specifici e individuali (sono stati usati come esempio l'Iliade, David Copperfield, Moby Dick e altri).

Il modello matematico usato parte dall'urna di Polya, che contiene biglie di diversi colori, Fig. 4. Una biglia viene estratta in maniera casuale e rimessa nell'urna insieme ad un certo numero di biglie dello stesso colore, incrementando la probabilità (o meglio la verosimiglianza o *likelihood* che lo stesso colore venga nuovamente estratto, plasmando una dinamica *rich-get-richer* che è strettamente in contatto con una legge di potenza. L'urna è lo spazio delle possibilità, la stringa di dati che racconta la storia delle estrazioni passate è ciò che si è realizzato in una certa disciplina. Il passo successivo è stimolare novità inedite e imprevedibili in maniera cooperativa. L'urna contiene ancora  $N_0$  biglie di diversi colori: le parole di un dialogo, le canzoni ascoltate,

i siti visitati, qualsiasi prodotto della creatività umana o esperienza del singolo. Il dialogo, la cronologia, il testo costituiscono una stringa  $S$  di elementi generati con estrazioni successive. Selezionata al tempo  $t$  una biglia  $s_t$  dall'urna, e avendola catalogata in sequenza, la rimettiamo nell'urna con  $\rho$  copie dello stesso colore, a rappresentare il rinforzo, il riapparire della stessa parola in un testo dopo la sua prima citazione. Stavolta però, se la biglia scelta non era mai stata estratta prima, cioè se per la prima volta la inseriamo nella stringa descrittiva delle estrazioni, metteremo  $\nu + 1$  nuove biglie, di colori nuovi e prima assenti nell'urna: sono le nuove possibilità che la novità  $s_t$  ha sbloccato. Il numero  $\nu + 1$  la dimensione dell'adiacente possibile cui abbiamo, mentre l'urna va riempiendosi sempre più di biglie, sempre più di conoscenza che rielaboreremo per grattare la superficie di ciò che non sappiamo.

La chiave di questo ragionamento è il progressivo bilanciamento tra biglie già note, parole già scritte, e biglie di colori mai visti, cioè il *triggering*



**Figura 3:** Distribuzione degli intervalli di triggering in dati reali (a-c) e nel modello semantico (d).

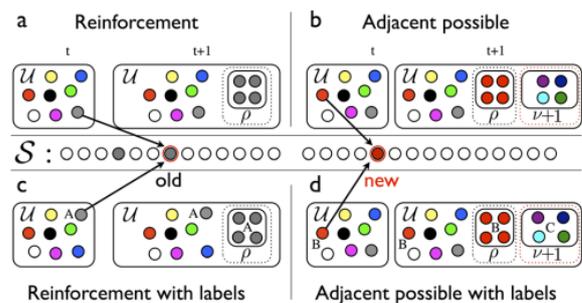
di elementi nuovi. Quando il rinforzo è più forte della novità, la crescita di  $D(N)$  è sublineare; quando la novità e il triggering sono più forti del semplice rinforzo, cioè il parametro  $\nu$  incide più di  $\rho$  sulle leggi di Heaps-Zipf, la crescita di  $D(N)$  è lineare. Più precisamente:

$$D(N) \sim N^{\nu/\rho} \text{ if } \nu < \rho$$

$$D(N) \sim N / \log N \text{ if } \nu = \rho$$

$$D(N) \sim N \text{ if } \nu > \rho$$

Non resta che infondere il modello con una nozione di semantica, perché sia dotato di un *bias* che porti quasi consapevolmente verso la realizzazione di nuove possibilità, Fig. 4. Ad ogni elemento saranno associate delle etichette che ne descrivono il gruppo semantico. L'urna sarà divisa in  $N_0/(\nu + 1)$  gruppi semantici, dove gli elementi di ogni gruppo hanno la stessa etichetta. A ogni istante di tempo si faciliterà l'estrazione di certe biglie, ovvero si darà un peso pari a 1 a ogni biglia con la stessa etichetta  $A$  di quella estratta al passo precedente,  $s_{t-1}$ ; si darà un peso pari a 1 anche all'elemento-novità che aveva provocato l'immissione nell'urna degli elementi con la stessa etichetta  $A$ , e infine lo stesso peso sarà dato agli elementi che  $s_{t-1}$  ha elicitato. **eccitato, selezionato?** A tutte le altre biglie, un peso



**Figura 4:** Modello con urna (a), con urna e triggering (b), e corrispondenti estensioni con triggering semantico (c,d). In (a) è riportato un esempio di rinforzo, poiché un elemento già estratto in precedenza viene nuovamente estratto. In (b) è riportato un esempio di evoluzione dell'adiacente possibile. In (c,d) ogni elemento ha un'etichetta di contesto semantico, che si conserva in caso di rinforzo e non in caso di triggering di novità.

minore  $\eta \leq 1$ ; si estrae poi un nuovo elemento  $s_t$  per l'istante di tempo corrente, con una probabilità proporzionale al suo peso, e lo si inserisce regolarmente in stringa. La biglia ora estratta si rimette nell'urna con  $\rho$  sue copie identiche e, se non era mai stata estratta prima,  $\nu + 1$  biglie nuove e distinte, tutte però con una stessa etichetta, cioè si inseriscono  $\nu + 1$  nuove parole di uno stesso gruppo semantico. Se poi  $\eta = 1$ , si torna

al modello precedentemente descritto. Questo modello semantico riproduce bene le leggi di Heaps e Zipf, nonché l'andamento di entropia e distribuzione degli intervalli, corroborando l'intuizione che connette la dinamica delle novità in correlazione con l'idea fortunata di adiacente possibile.



- [1] F. Tria, V. Loreto, V.D.P. Servedio, S.H. Strogatz, *The dynamics of correlated novelties*. Nature Scientific Reports, 2014 - <https://www.nature.com/articles/srep05890>.
- [2] *The adjacent possible – A talk with Stuart A. Kauffman*. Edge, 2003 - [https://www.edge.org/conversation/stuart\\_a\\_kauffman-the-adjacent-possible](https://www.edge.org/conversation/stuart_a_kauffman-the-adjacent-possible).
- [3] *The key lessons from "Where Good Ideas Come From" by Steven Johnson*. Blinkist Magazine, 2013 - <https://medium.com/key-lessons-from-books/the-key-lessons-from-where-good-ideas-come-from-by-steven-johnson-1798e11becdb>.
- [4] V.Loreto, *Need a new idea? Start at the edge of what is known*. TEDtalk, 2017 - [https://www.ted.com/talks/vittorio\\_loreto\\_need\\_a\\_new\\_idea\\_start\\_at\\_the\\_edge\\_of\\_what\\_is\\_known](https://www.ted.com/talks/vittorio_loreto_need_a_new_idea_start_at_the_edge_of_what_is_known).



**Francesco Merenda:** studente della laurea magistrale in Fisica, primo anno

# Valutazione statistica della prestazione energetica degli edifici nella provincia di Lecce

**Matteo Viscoti, Antonella Sarcinella, Michele Ingrosso**

*Scuola Superiore ISUFI,  
Università del Salento*

---

**N**el presente articolo si effettua un'analisi della prestazione energetica del parco edilizio della Provincia di Lecce. Lo scopo principale è quello di fornire uno strumento in grado di fornire un quadro complessivo sintetico e significativo del comportamento degli edifici al fine di descrivere la situazione *as-is*, ma soprattutto valutare l'efficienza ed efficacia di interventi di *retrofit* sulla popolazione.

### Obiettivi dell'analisi

La questione energetica rappresenta una sfida attuale di interesse globale. Infatti, la domanda mondiale di energia sta crescendo rapidamente e un maggiore consumo di combustibili fossili porta a un aumento emissioni di gas a effetto serra che contribuiscono alla creazione di pesanti impatti ambientali, come l'assottigliamento dello strato di ozono, il riscaldamento globale e i cambiamenti climatici. Tra tutte le attività che

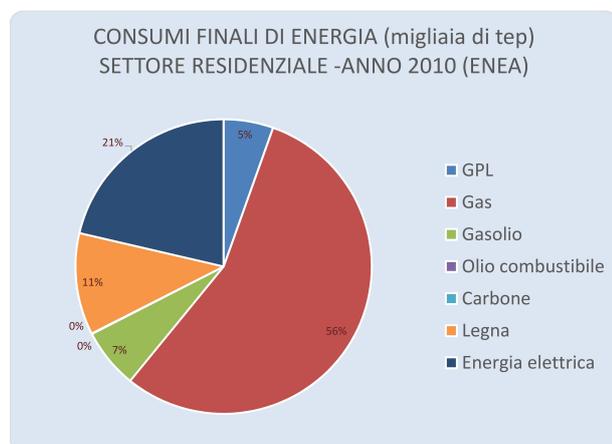
impiegano una grande quantità di energia, uno dei settori principali, in alcuni paesi, è quello legato agli edifici. Secondo l'Agenzia internazionale dell'energia (IEA), questo settore coinvolge oltre il 30% del consumo totale di energia e produce circa il 30% delle emissioni totali di CO<sub>2</sub>. La causa principale dell'intensificazione del consumo di energia è il cambiamento complessivo degli standard di vita e le esigenze di comfort per il riscaldamento nelle regioni fredde e il raffreddamento in quelle calde. Di conseguenza, l'efficienza energetica degli edifici è oggi un obiettivo primario delle politiche relative all'energia a livello regionale, nazionale e internazionale [1].

La ricerca di nuove strategie per lo sviluppo di tecnologie in grado di limitare l'uso dell'energia deve avere un significativo cambio di rotta rispetto al passato, in quanto oggi iniziano a venir fuori problematiche legate alle limitazioni fisiche delle risorse conosciute del pianeta. Il rapporto del Fondo Mondiale per la Natura (WWF) e del Global Footprint Network ha fissato nel giorno 29 Luglio 2019 quello che viene definito *Over-*

*shoot Day*, simbolicamente, il giorno nel quale l'umanità consuma interamente tutte le risorse che il pianeta può generare in un anno. Se si guarda dentro i confini nazionali italiani, si può constatare quanto questa situazione sia allarmante; infatti, il Bel Paese ha esaurito le sue risorse utili per l'anno in corso il 15 Maggio, attestandosi un anticipo di oltre due mesi rispetto all'*Overshoot Day* della Terra.

In un quadro come questo, diventa di fondamentale importanza ottimizzare la strategia di pianificazione politica nella gestione degli interventi e delle misure efficienti ed efficaci per ridurre al minimo gli effetti dell'impronta ecologica dell'uomo sull'ecosistema e, in particolare, gli effetti collaterali dovuti ad attività ad alta intensità energetica.

Secondo il Rapporto Energia e Ambiente 2009-2010, considerando tutte le fonti energetiche computate, in Italia sono state consumate 28015 tonnellate equivalenti di petrolio (tep), ripartite tra GPL (1518 tep), gas naturale (15532 tep), gasolio (1840 tep), olio combustibile (11 tep), carbone (4 tep), legna (3129), energia elettrica (5981 tep), per quanto riguarda i consumi finali di energia del settore residenziale [2], Fig. 1.



**Figura 1:** Consumi finali di energia settore residenziale anno 2010 (dati ENEA)

Sempre nello stesso documento sono riportati i dati relativi al totale dei consumi all'interno del residenziale per funzione, suddivisi per uso: ogni anno emerge una fortissima incidenza delle attività di riscaldamento delle abitazioni sul consumo totale rispetto a tutte le altre attività: citando il 2010, ENEA riporta, su un totale di 25936 ktep di energia speso nel settore residenziale, un

valore di 17217 ktep per il solo riscaldamento, ovvero con un'incidenza del 66.38% sui consumi totali.

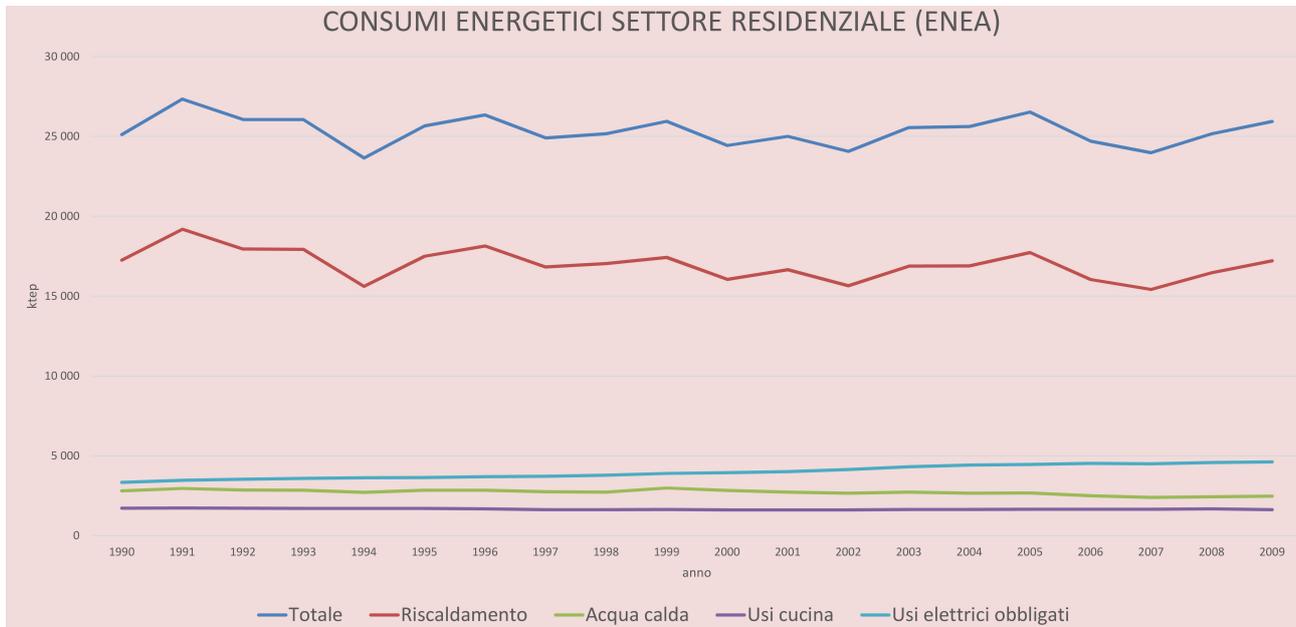
Dalle statistiche precedentemente esposte, appare evidente che per risolvere i problemi energetici di cui sopra, il settore dell'edilizia assume un ruolo di primaria importanza, e quindi risulta necessario, se non addirittura perentorio, promuovere un miglioramento prestazionale del patrimonio abitativo relativamente alla questione del riscaldamento e climatizzazione, non solo per quanto riguarda tematiche relative agli impianti tecnologici, ma soprattutto appare evidente come la sfida del futuro sia l'efficientamento energetico dell'involucro, in modo tale da ridurre il fabbisogno energetico complessivo del settore edilizio.

Uno strumento di fondamentale importanza per lo studio di tali problematiche è la valutazione della prestazione energetica degli edifici, introdotta con la Direttiva 2002/91/CE, e poi recepita dalle varie normative nazionali di riferimento.

Analizzando la situazione italiana, lo strumento che risulta di maggiore utilità nell'accompagnare l'amministratore nelle scelte di pianificazione del territorio e delle risorse economiche da un punto di vista energetico è l'Attestato di Prestazione Energetica degli Edifici (APE), le cui definizioni ed indicazioni per il calcolo sono riportate nel Dlgs 192/2005 e Dlgs 311/2006.

Tra gli obiettivi principali vi sono quelli di "razionalizzare le procedure nazionali e territoriali per l'attuazione delle normative energetiche al fine di ridurre i costi complessivi, per la pubblica amministrazione e per i cittadini e per le imprese; applicare in modo omogeneo e integrato la normativa su tutto il territorio nazionale; assicurare l'attuazione e la vigilanza sulle norme in materia di prestazione energetica degli edifici, anche attraverso la raccolta e l'elaborazione di informazioni e dati; promuovere l'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali" [3].

Tale mole di dati tuttavia presenta una serie di problematiche legate alla loro interpretazione: se da un lato il legislatore pensa all'Indice di Prestazione Energetica (EP) come ad uno strumento che possa descrivere in maniera efficiente ed efficace lo stato di salute prestazionale del



**Figura 2:** Andamento dei consumi finali di energia per il riscaldamento del residenziale

parco edilizio nazionale, dall'altra il quadro sintetico dipinto dall'analisi dati della prestazione energetica degli edifici non sempre rispecchia la situazione reale *as-is*; ciò è dovuto ad una serie di cause interne ed esterne al sistema di valutazione, di cui si fornisce un elenco non esaustivo (si rimanda per approfondire la tematica a testi specialistici):

- Le ipotesi semplificative non permettono una valutazione di dettaglio dell'indice di prestazione energetica, ma forniscono un indice che per definizione è di natura sintetica, pensato per determinare il valore energetico dell'edificio traducibile anche in valore economico aggiunto, con l'obiettivo di comparare il valore di due immobili differenti che si trovano in contesti totalmente diversi tra di loro;
- Il parco edilizio italiano è sostanzialmente obsoleto, ovvero gran parte degli edifici esistenti sono stati realizzati in periodi storici precedenti all'entrata in vigore di qualunque normativa sulla prestazione energetica. Le nuove costruzioni sono tutte dotate di APE, in quanto la normativa attuale prevede l'emanazione di tale Attestato in fase autorizzativa iniziale quale prerequisito fondamentale per l'ottenimento del Certificato di Agibilità (D.M. 63/2013). Le costruzioni esistenti si dotano invece della documenta-

zione in oggetto solo in seguito a situazioni quali la ristrutturazione, locazione ecc; ciò significa che i dati relativi al quadro complessivo offerto dall'EP non combaciano con i dati energetici presenti nei Bilanci Energetici e Piani di Azione redatti su scala nazionale o locale;

- Molte volte sono presenti delle banche dati accessibili sulla prestazione energetica degli edifici, ma non sempre queste forniscono un quadro sintetico della situazione *as-is*, prerequisito fondamentale per l'amministratore per definire degli obiettivi strategici nell'ambito dell'attività di pianificazione, in modo tale da poter effettuare le giuste scelte di allocazione ed ottimizzazione delle risorse economiche in un'ottica di analisi costi-benefici e spending review.

L'intento di questo lavoro, pertanto, è quello di fornire uno strumento che abbia lo scopo principale di delinare lo status quo energetico relativamente al parco edilizio della provincia di Lecce, fornendo uno strumento utile alla determinazione di una maggiore consapevolezza nell'attuare quelle scelte che implicano, inevitabilmente, un impatto sul territorio in termini energetici ed economici.



**Figura 3:** Abitazioni in edifici residenziali per epoca di costruzione - dati nazionali e provinciali (fonte: ISTAT,2011)

## Metodologie di analisi

Alla base delle volontà sopra espresse vi è la volontà di effettuare un'analisi critica di informazioni di una grande quantità di dati raccolti in campagne di indagine e misurazione nel contesto della Provincia di Lecce: la metodologia proposta consiste nell'opportuna organizzazione di dati mediante la determinazione di indicatori sintetici, in modo da rendere quanto più accessibile, ma allo stesso tempo accurata, la lettura e l'interpretazione anche da soggetti che non hanno gli strumenti teorici necessari per interpretare dati. La fonte da cui sono state ottenute la maggior parte delle informazioni è la banca dati del Censimento Istat 2011, in quanto dalle informazioni in esso contenute, oltre ai dati della normativa tecnica e altre fonti minori, è possibile giungere a delle tipologie edilizie ben rappresentative del parco edilizio della provincia di Lecce dal punto di vista della geometria e dell'attività termofisica. Per contro, i dati Istat analizzati fanno riferimento esclusivamente ad edifici impiegati ad uso residenziale, tralasciando le unità immobiliari pensate per attività economiche o del settore terziario, come ad esempio uffici e negozi. Una prima implicazione è la sottostima delle dimensioni degli edifici in cui sono inserite le unità re-

sidenziali e, dunque, una misura maggiore delle dispersioni per trasmissione dell'edificio stesso. Un'ulteriore fonte di dati indispensabili è costituita dai differenti Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile (PAES) dei comuni della Provincia di Lecce; si tratta di un documento chiave che intende rendere note le modalità tramite le quali i firmatari del Patto intendono rispettare l'impegno nel ridurre l'emissione di gas serra entro il 2020. Il documento delinea misure concrete atte ad identificare i settori nei quali intervenire e le opportunità più idonee alla riduzione di CO<sub>2</sub>. Segue, infine, un'accurata consultazione del Rapporto Energia e Ambiente (REA) [2], da sempre riferimento per la descrizione della situazione energetica nazionale e delle sue ricadute sul piano economico-sociale. Sono state consultate anche le normative valide per l'individuazione di indici già calcolati e tabellati.

Nella prima parte del presente articolo si discute sull'andamento dei consumi medi degli edifici residenziali del territorio, per poi nella seconda parte descrivere la metodologia necessaria per ottenere delle distribuzioni di frequenza dell'EP. Il procedimento si ispira al lavoro di Fracastoro et al.[4], che fornisce uno strumento analogo, relativamente alla Provincia di Torino.

Come ulteriore ipotesi semplificativa iniziale, le abitazioni non occupate non sono state contemplate nel modello, in quanto le si suppone non caratterizzate da alcun tipo di consumo energetico (i.e. edificio non riscaldato).

## Valor medio del consumo energetico normalizzato

Per la determinazione del consumo, poichè mancano molti dati su scale di dettaglio, alcune ipotesi di base sono necessarie. Le uniche fonti disponibili per quanto riguarda i consumi energetici in Italia sono il Bilancio Energetico Nazionale, il PEAR regionale e i PAES comunali; l'ipotesi di fondo è che tali dati siano tra di loro commensurabili: ciò è una forte limitazione al modello in quanto le statistiche in oggetto fanno riferimento ad anni di rilevazione differenti, tuttavia lo sfasamento è comunque riferito ad una scala temporale di circa 5 anni, relativamente contenuta. È possibile pertanto supporre che il comportamento delle serie storiche non vari in tale intervallo di tempo.

I dati relativi al consumo totale del residenziale sono calcolati a livello nazionale, a partire dai dati relativi al 2011 del Bilancio Energetico Nazionale (BEN), mentre la suddivisione per consumi specifici viene presa facendo riferimento al numero totale di stanze in abitazioni occupate da persone residenti presenti nel territorio nazionale e la dimensione media di una singola stanza, calcolata in precedenza. Per l'analisi delle distribuzioni di frequenza si fa riferimento invece ai PAES trovati in rete dei singoli comuni della provincia, in particolare sono stati ottenuti i dati di un campione di 38 comuni. Il valore medio relativo al consumo specifico di energia per il settore residenziale si fissa pertanto pari a

$$\begin{aligned} EP_{medio} &= \frac{Q_{tot}}{S_{abocc}} \\ &= \frac{11630 \frac{kWh}{tep} \cdot 32378.1 tep}{25.22 m^2 \cdot 102497749} \\ &= 0.145 kWh/m^2 \end{aligned}$$

Nella Figura 4 sono riportate le dispersioni relative ai consumi generalizzati degli

usi energetici finali di singoli comuni della Provincia.

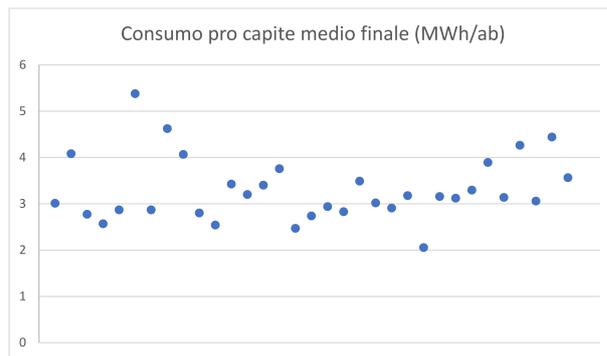


Figura 4: Consumo medio specifico residenziale pro capite - dati comunali PAES.

## Valutazione dei consumi energetici per il riscaldamento nel residenziale

Ci si pone ora l'obiettivo di valutare, utilizzando i dati a disposizione, una distribuzione di frequenza degli edifici residenziali in relazione al fabbisogno energetico del riscaldamento ambientale.

In generale, il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione ambientale viene calcolato come

$$Q_{PE,H} = \frac{Q_{UE,H}}{\eta_g} ,$$

essendo  $Q_{UE,H}$  il fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento ed  $\eta_g$  il rendimento globale medio stagionale.

| stanze per abitazione | superficie (m <sup>2</sup> ) | abitazioni (freq. ass.) |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1                     | 25.22                        | 3425                    |
| 2                     | 50.44                        | 36007                   |
| 3                     | 75.66                        | 148558                  |
| 4                     | 100.88                       | 359717                  |
| 5                     | 126.10                       | 418324                  |
| 8                     | 201.76                       | 465982                  |

Tabella 1: Distribuzione delle abitazioni per numero di stanze.

|     | 25.22       | 50.44       | 75.66       | 100.88      | 126.1       | 201.76      |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0   | 6.08896E-05 | 0.000640132 | 0.002641061 | 0.00639504  | 0.007436954 | 0.008284217 |
| 1   | 0.001810663 | 0.019035488 | 0.078536786 | 0.190168265 | 0.221151486 | 0.246346401 |
| 2   | 0.000355015 | 0.003732273 | 0.015398643 | 0.037286135 | 0.04336099  | 0.048300936 |
| 3.5 | 0.000109362 | 0.001149725 | 0.004743544 | 0.011485975 | 0.013357331 | 0.014879079 |
| 6.5 | 3.49744E-05 | 0.000367686 | 0.001517003 | 0.003673257 | 0.004271723 | 0.004758384 |
| 12  | 1.39747E-05 | 0.000146915 | 0.000606145 | 0.001467714 | 0.001706842 | 0.001901296 |
| 18  | 6.85877E-06 | 7.21062E-05 | 0.000297497 | 0.000720355 | 0.00083772  | 0.000933158 |

**Tabella 2:** Frequenza relativa delle abitazioni per superficie e altezza dell'edificio.

## Fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento

Per determinare il fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento, si fa riferimento all'equazione di bilancio dell'energia scegliendo come volume di controllo l'intero edificio. Da un punto di vista statistico ciò significa utilizzare la distribuzione di frequenza delle volumetrie e di altri parametri significativi. Diventa di fondamentale importanza determinare dai dati ISTAT 2011 le caratteristiche geometriche degli edifici da un punto di vista statistico, in particolare il rapporto  $S/V$  tra la superficie disperdente dell'edificio e il volume occupato. Si effettua un'analisi utilizzando dati a scala provinciale.

Ricordiamo infatti che, ai sensi di UNI TS 11300-2, [5] si ha:

$$Q_{UE,H} = (q_T + q_V) \cdot V ,$$

dove,  $V$  è il volume dell'edificio,  $q_T = Q_T/V$  la dispersione specifica per trasmissione e  $q_V = Q_V/V$  dispersione specifica per ventilazione. Abbiamo indicato con  $Q$  la quantità di calore scambiata.

Nella determinazione di tali parametri statistici, si considerano tutti gli edifici di forma parallelepipedica. Ciò è una forte semplificazione rispetto al reale, ma è l'approssimazione più ragionevole in relazione ai dati presenti dalle statistiche.

## Distribuzione di frequenza delle grandezze geometriche

Punto di partenza è la determinazione della superficie netta media della stanza: essa viene ottenuta come rapporto tra la superficie totale delle abitazioni occupate da persone residenti e il nu-

mero di stanze totali in abitazioni occupate da persone residenti, ossia

$$S_{media} = \frac{35865542 \text{ m}^2}{1422333 \text{ stanze}} = 25.22 \text{ m}^2/\text{stanza} .$$

Successivamente si determina il numero di stanze presenti in ogni abitazione, al variare del numero di abitazioni presenti all'interno dell'edificio.

N.B. Per la classe "6 o più" si è fatto riferimento ad un valore convenzionale pari a 8 stanze, mentre per le altre si è preso il valore medio come rappresentativo della classe.

Noto il numero di stanze per abitazione, si determina la superficie netta di pavimento di ogni singola abitazione e dell'intero edificio (in  $m^2$ ). Questi dati sono presentati nella tabella 1.

Essendo anche nota la distribuzione delle abitazioni per edificio, supponendo l'ipotesi di indipendenza delle distribuzioni, si riporta, nella tabella 2, la distribuzione delle frequenze relative alla superficie di pavimento degli edifici.

Dai dati ISTAT è possibile ricavare la distribuzione delle abitazioni per numero di piani fuori terra. Assumendo per semplicità un'altezza di piano costante per ogni categoria pari a 3m, si ottiene indirettamente la distribuzione delle altezze degli edifici, si veda la tabella 3.

Da tali dati viene ricavata l'area di basamento o di copertura del fabbricato, fondamentale per il calcolo  $S/V$ .

Riferendosi alle indicazioni di UNI TS 11300-2 [5], avendo determinato tali valori netti si passa ai corrispondenti lordi di superficie e volume, ipotizzando uno spessore dell'involucro in funzione dell'epoca di costruzione.

| numero piani | altezza edificio | frequenza edifici |
|--------------|------------------|-------------------|
| 1            | 2                | 182743            |
| 2            | 6                | 117224            |
| 3            | 9                | 12654             |
| 5            | 15               | 3661              |

**Tabella 3:** Distribuzione degli edifici per numero di piani.

Per terminare l'analisi geometrica diventa ora fondamentale determinare la superficie disperdente, e in particolare le dimensioni dei due lati di base: come ipotesi fondamentale infatti si assume che tutti gli edifici siano di forma parallelepipedica. Per valutare ciò si utilizza la statistica ISTAT [6] riguardante la contiguità degli edifici in funzione dell'epoca di costruzione: in generale infatti non tutti i componenti verticali dell'involucro esterno sono di natura disperdente: quelli di contiguità vengono considerati adiabatici.

Si individua anche una ripartizione dei componenti verticali in superficie disperdente e superficie opaca.

### Dispersioni termiche per trasmissione

La dispersione specifica media stagionale per trasmissione viene ottenuta come

$$q_t = \frac{Q_T}{V} = \left( U_m \cdot \frac{S}{V} \right) \cdot 0.024 \cdot GG \quad [kWh/m^3] ,$$

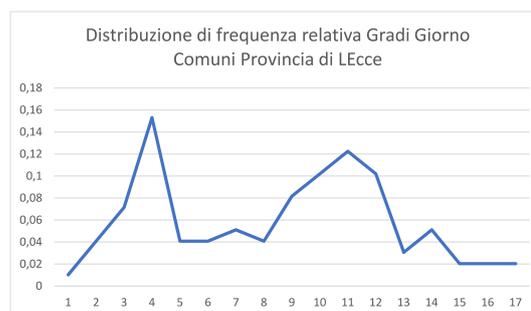
essendo  $U_m$  la trasmittanza termica media di involucro,  $S/V$  il rapporto tra la superficie disperdente e il volume dell'edificio e  $GG$  i gradi giorno della località.

Nella valutazione di tali parametri occorre tenere presente che  $U_m$  dipende a sua volta da  $S/V$ .

Il grafico della figura 5 riporta la distribuzione di frequenza dei gradi giorno all'interno dei Comuni della Provincia di Lecce. I dati sono ricavati direttamente dal DPR 412/93, riportato in bibliografia [6].

Si osserva un andamento evidentemente bimodale della distribuzione, in base alla discretizzazione del dominio attuato in 20 sottointervalli.

Per la determinazione del valore medio della trasmittanza bisogna fare un distinguo tra gli



**Figura 5:** Distribuzione di frequenza relativa Gradi Giorno Comuni della Provincia di Lecce - Dati DPR 412/93.

edifici realizzati precedentemente e in seguito alla redazione di una legge energetica.

Nel caso di edifici realizzati successivamente alla legge energetica si pone l'ipotesi che questi siano realizzati seguendo pedissequamente la normativa: ciò semplifica notevolmente il lavoro in quanto limita la variabilità di alcuni parametri. In particolare si fa riferimento alle prescrizioni del D.M. 10 marzo 1977 e D.I. 30 luglio 1986 rispettivamente per gli anni 80 e 90: [7, 8] in entrambi gli strumenti legislativi il parametro caratterizzante l'isolamento minimo è il coefficiente volumico di dispersione per trasmissione  $C_d$ , definito come

$$C_d = U_m \cdot \frac{S}{V} .$$

### Dispersioni termiche per ventilazione

Le dispersioni termiche per ventilazione vengono definite dalla normativa UNI EN 12831 come la dispersione termica di progetto per ventilazione, vale a dire la dispersione termica verso l'esterno dovuta a ventilazione o infiltrazione attraverso l'involucro dell'edificio, e il calore trasferito per ventilazione da uno spazio riscaldato ad un altro spazio riscaldato all'interno dell'edificio.

Per la valutazione delle dispersioni termiche di progetto per ventilazione si segue l'approccio semplificato indicato all'interno delle UNI TS 11300, facendo riferimento alla procedura di valutazione indicata per gli edifici non dotati di impianti di ventilazione meccanica controllata

(VMC). La valutazione della dispersione termica per ventilazione viene effettuata in relazione alla portata di aria di ventilazione minima di progetto: tale portata viene presa pari numericamente al volume netto occupato dall'abitazione/stanza, e poi moltiplicata per un coefficiente dipendente dalla destinazione d'uso; in particolare si farà riferimento al Prospetto riportato in UNI EN 12831, normativa unificata per la valutazione del carico termico invernale di progetto, relativamente alla sola aliquota di ventilazione.

La dispersione termica di progetto per ventilazione,  $\Phi_{vi}$ , per uno spazio riscaldato  $i$  è calcolata come segue:

$$\Phi_{vi} = H_{vi} \times (\theta_{int,i} - \theta_e) ,$$

essendo  $H_{vi}$  il coefficiente di dispersione termica di progetto per ventilazione in Watt per Kelvin (W/K),  $\theta_{int,i}$  la temperatura interna di progetto dello spazio riscaldato  $i$  in gradi centigradi (°C) assunta pari a 20°C e  $\theta_e$  la temperatura esterna di progetto in gradi centigradi (°C).

Sulla base delle informazioni riportate nella tabella apposita della suddetta normativa relativamente alla Provincia di Lecce, il valore della temperatura esterna di progetto viene convenzionalmente scelto pari a 0°C.

In particolare si ha:

$$H_{vi} = 0.34 \cdot \dot{V}_i \text{ [W/K]} ,$$

essendo  $\dot{V}_i = 3 \cdot V$  ricambi/ora dove  $V$  è il volume della stanza, espresso in ricambi.

Dalle formule analizzate, diventa quindi fondamentale, ai fini di una conoscenza della distribuzione statistica delle dispersioni per ventilazione, la distribuzione di frequenza del volume delle stanze e delle abitazioni, desumibile dai dati del Censimento ISTAT 2011.

## Rendimento globale medio stagionale

Ricordiamo che, ai sensi di UNI TS 11300-2 [5], il rendimento globale medio stagionale  $\eta_g$  si calcola come:

$$\eta_g = \eta_p \cdot \eta_d \cdot \eta_e \cdot \eta_c ,$$

essendo  $\eta_p$  il rendimento di produzione,  $\eta_d$  il rendimento di distribuzione,  $\eta_e$  il rendimento di

emissione,  $\eta_c$  il rendimento di regolazione.

Si assume un valore unitario del rendimento di accumulo, ossia si suppone per semplicità e per mancanza di informazioni al riguardo che gli impianti termici della popolazione in esame siano privi di sistemi di accumulo. Si trascura inoltre l'energia relativa alla componente elettrica degli impianti.

Per la valutazione statistica del rendimento medio stagionale si osserva che esso non è correlabile (se non per la sola parte del rendimento di distribuzione, il quale dipende dall'anno di costruzione) alla distribuzione di frequenza del fabbisogno di energia termica utile: tale informazione è fondamentale per la valutazione dei dati.

## Rendimento di produzione

Al rendimento di produzione si può dare una connotazione statistica considerando le variabili aleatorie tipo di impianto e tipo di combustibile disponibili direttamente dal Censimento ISTAT. Tuttavia tali dati sono insufficienti perchè a tali distribuzioni di frequenza non è associato alcun valore di rendimento di produzione. Ciò induce a considerare cautelativamente un valore unitario del rendimento in esame, rimandando l'analisi in seguito ad approfondimenti relativi a nuove indagini statistiche sul parco edilizio della Provincia di Lecce.

$$\eta_p = 1.0 .$$

## Rendimento di distribuzione

Il rendimento di distribuzione dipende, secondo i prospetti della normativa, dall'epoca di costruzione e dalla tipologia di impianto, grandezze che assumono il carattere di variabili aleatorie essendo note le distribuzioni di frequenza. I valori da associare ai rendimenti sono ricavati dal Prospetto 21 di UNI TS 11300-2. Si riportano i valori sintetici nella tabella 4.

## Rendimento di emissione

Il censimento ISTAT 2011 non fornisce alcun dato sulla tipologia di terminali presenti nella popolazione statistica, pertanto si considera forfettariamente una distribuzione costante di impianti

## Rendimenti di regolazione per diverse tipologie di sistema di controllo dei terminali

| Sistema di controllo       | Tipologia di regolazione           | Rendimento di regolazione |
|----------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| Regolazione centralizzata  | Regolazione ON-OFF                 | 0,84                      |
|                            | Regolazione modulante              | 0,90                      |
| Controllori zona           | Regolazione ON-OFF                 | 0,93                      |
|                            | Regolazione modulante (banda 2 °C) | 0,95                      |
|                            | Regolazione modulante (banda 1 °C) | 0,97                      |
| Controllo singolo ambiente | Regolazione ON-OFF                 | 0,94                      |
|                            | Regolazione modulante (banda 2 °C) | 0,96                      |
|                            | Regolazione modulante (banda 1 °C) | 0,98                      |

**Figura 6:** Prospetto 20 UNI TS 11300-2 [5].

| Anno      | Freq. assoluta | Freq. relativa | $\eta_d$ |
|-----------|----------------|----------------|----------|
| <1961     | 20369          | 0.16           | 0.958    |
| 1961-1976 | 58637          | 0.37           | 0.969    |
| 1977-1993 | 52245          | 0.32           | 0.980    |
| >1993     | 25010          | 0.15           | 0.990    |

**Tabella 4:** Rendimento di distribuzione al variare dell'anno di costruzione.

a radiatori su parete interna, secondo lo stato dell'arte relativamente a tali sistemi. Seguendo il Prospetto 17 di UNI TS 11300-2, vedi la figura 6, si suppone un valore pari a

$$\eta_e = 0.96 \text{ .}$$

### Rendimento di regolazione

Il rendimento di regolazione non è oggetto di valutazione statistica per il Censimento del 2011, tuttavia si possono fare delle ipotesi per correlarlo alle distribuzioni analizzate. In particolare è possibile associare il sistema di regolazione, e quindi il relativo rendimento, alla tipologia di impianto, che invece viene analizzata.

Si fa in particolare una distinzione tra impianto autonomo e centralizzato, e i rispettivi valori dei rendimenti sono presi da UNI TS 11300-2 Prospetto 20, supponendo che tutto il parco edilizio sia caratterizzato da sistemi a bassa iner-

zia termica e presenti delle regolazioni di tipo ON-OFF.

Il rendimento di regolazione complessivo verrà calcolato secondo una media pesata tra i rendimenti del Prospetto suddetto in relazione alla distribuzione degli impianti autonomi e centralizzati. Dai dati ISTAT 2013 relativi al censimento energetico, si osserva che nella Provincia di Lecce gli impianti di riscaldamento risultano così distribuiti:

- impianto centralizzato: 3.0%
- impianto autonomo: 82.9%
- apparecchi singoli fissi o portatili: 14.1%

Si ha pertanto:

$$\eta_c = 0.03 \cdot 0.84 + (0.829 + 0.141) \cdot 0.94 = 0.94 \text{ .}$$

### Analisi di interventi di retrofit

Avendo definito un modello opportuno che descriva in maniera abbastanza efficace la prestazione energetica del parco edilizio salentino, si pongono le basi per l'utilizzo di tale strumento in un'ottica di valutazione dei benefici derivanti da un eventuale intervento sul costruito, supponendo che tutte le nuove costruzioni siano realizzate in conformità con la normativa vigente nazionale, in particolare il Decreto Requisiti Minimi, che orienta la progettazione verso i principi della sostenibilità ambientale.

Lo strumento della distribuzione di frequenza poc' anzi delineato diventa di fondamentale importanza, perché permette di valutare come cambia l' EP in seguito ad un particolare intervento, e in definitiva di effettuare una stima sui risparmi potenziali di vari interventi di riqualificazione energetica. La valutazione della convenienza energetica ed economica di un intervento è il SIR (Safety Investment Ratio), definito come

$$SIR = \frac{\Delta Q_{PE}}{C_1},$$

essendo  $\Delta Q_{PE}$  [kWh/anno] il risparmio energetico annuo di energia primaria e  $C_1$  il costo di investimento di una data tecnologia.

In relazione a tale indicatore, sono pertanto da privilegiare gli interventi ad alto SIR, ossia quelli che consentono di conseguire il massimo risparmio energetico annuo con il minimo investimento.

## Conclusioni e Sviluppi futuri

Il presente articolo ha tracciato un filone speculativo in tema di energia nell'edilizia che prevede l'utilizzo della statistica, e quindi di un metodo scientifico sistematico, per analizzare la grande mole di dati provenienti dai vari attestati e certificati di prestazione energetica, in modo da fornire alle Amministrazioni e alla Politica uno strumento solido su cui basare la legittima discussione democratica in materia di piani, misure ed interventi volti al perseguire la sostenibilità ambientale del costruito all'interno della Provincia di Lecce.

In un'ottica futura, gli studi potranno proseguire affinando il modello precedentemente impostato, oltre alla pianificazione di campagne di indagine sempre più specifiche, in modo tale da diminuire il numero di ipotesi poste alla base della speculazione, e pertanto ottenere un modello non solo efficiente per la sua semplicità, ma anche efficace nell'effettuare una fotografia dello status quo del patrimonio edilizio della Provincia di Lecce da un punto di vista energetico.

- [1] Brian Dean, John Dulac, Ksenia Petrichenko, and Peter Graham. Towards zero-emission efficient and resilient buildings.: Global status report. 2016.
- [2] Enea. Rapporto energia e ambiente 2009-2010. Rome, Italy, 2012.
- [3] D Lgs. 192/2005 e sm-attuazione della direttiva 2002/91. CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.
- [4] GV Fracastoro and M Serraino. Valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici alla scala provinciale. Contratto di consulenza, 1064:2008, 2008.
- [5] Norma UNI TS 11300-2:2019 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali.
- [6] Dati Statistici Istat. Popolazione residente - censimento 2011- superficie delle abitazioni occupate da persone residenti. Istat. Italian National Institute of Statistics. Available online: <http://daticensimentopopolazione.istat.it/>(accessed on 9 November 2016).
- [7] D.M. 10 marzo 1977, n. 801 Determinazione del costo di costruzione di nuovi edifici.
- [8] D.I. 30 luglio 1986, Aggiornamento dei coefficienti di dispersione termica degli edifici.



**Matteo Viscoti:** studente del corso di laurea Magistrale in Ingegneria civile, II anno

**Antonella Sarcinella:** dottoranda in Ingegneria dei Materiali, delle Strutture e Nanotecnologia, III anno.

**Michele Ingrosso:** studente di Ingegneria Industriale, III anno.





The logo for Ithaca Educational features the word "Ithaca" in a large, bold, serif font, with the word "Educational" in a smaller, bold, sans-serif font below it. The letters are surrounded by several overlapping, thin, grey circles of varying sizes, some of which have small dots at their centers, creating a decorative, geometric pattern.

# Ithaca

## Educational

Numero I Anno 2019

---

