

# ENCICLOPEDIA ITALIANA

DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI

UNDICESIMA APPENDICE



ISTITUTO DELLA  
ENCICLOPEDIA ITALIANA

FONDATA DA GIOVANNI TRECCANI

ROMA  
MMXXIV

# SCIENZA

La scienza a confronto con la società. Il viaggio della scienza. La simulazione numerica. La responsabilità della scienza. Bibliografia.

La scienza a confronto con la società. – La libertà e la responsabilità della scienza sono un tema arduo, che contrappone e mette sullo stesso piano due importanti paradigmi.

Da un lato, quello dell'assenza di barriere, di limiti, di pregiudizi sulle indagini che la scienza con la sua creatività e, al tempo stesso, rigore, percorre in modo libero e spesso imprevedibile, senza condizionamenti esterni: l'uomo che guarda la natura che lo circonda, compreso l'Universo, come un osservatore esterno. Dall'altro, quello delle possibili implicazioni che le nuove conoscenze acquisite possono avere in interventi anomali sulla natura stessa, sulle conseguenze delle loro applicazioni nella vita quotidiana e in quella delle generazioni future. Un uomo-scienza quindi, che analizza sé stesso e al contempo come la scienza che produce si confronta con la società, la memoria, la cultura e il pensiero (Lévy-Leblond 1996). È opportuno qui riflettere su due aspetti paradigmatici di questo importantissimo tema: quello di una scienza che continua imperterrita il suo viaggio verso una rappresentazione dell'Universo, un viaggio che la mette costantemente di fronte a problematiche complesse e che affronta con grande determinazione e, al tempo stesso, con ottimismo rispetto alle proprie capacità, e quello di una scienza che si confronta con le domande che la società le pone e i rischi che le applicazioni tecnologiche derivanti da una vertiginosa crescita della conoscenza possono far correre all'umanità.

Il primo di questi due aspetti verrà affrontato mettendo a fuoco due *highlights* della scienza che hanno avuto una notevole accelerazione nell'ultimo quinquennio ed è prevedibile che abbiano un impatto sempre maggiore nello sviluppo della conoscenza e delle sue metodologie di indagine. Esso si inserisce nel filone della creatività pura, ovvero quello che si basa sulla piena fiducia che gli scienziati ripongono sulla coerenza logicomatematica nel costruire modelli che rappresentano l'Universo. Il secondo invece è un esempio della rigorosa continuità della scienza, di un procedere passo dopo passo in modo inesorabile, ma che assume improvvisamente crescite inaspettate. Questo secondo filone, proprio per questo suo procedere in modo evolutivo, è più comprensibile per coloro che producono innovazione tecnologica, con i quali sempre più spesso mantiene contatti e instaura collaborazioni.

Il secondo aspetto tematico, quello delle responsabilità della scienza e del suo dialogo con la società, sarà affrontato in modo trasversale e ripreso più esplicitamente nella parte conclusiva, dove si mette a fuoco l'importanza della comunicazione della scienza.

Un visitatore presso il GIPSA-lab (*Grenoble Images Parole Signal Automatique*), un'unità di ricerca congiunta del CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*) e dell'Università di Grenoble, Grenoble, 20 novembre 2017 (fot. Jean-Pierre Clatot/AFP/Getty Images)

*Il viaggio della scienza.* – I due *highlights* individuati rappresentano due tematiche paradigmatiche che hanno visto negli ultimi anni una grande produzione di pubblicazioni su riviste internazionali e che stanno coinvolgendo un numero crescente di ricercatori.

Immaginiamoli come due arcipelaghi, la fisica e la scienza dei dati, nel grande oceano della conoscenza, andati formandosi a partire dagli ellenisti della Magna Grecia (Russo 1996), con le grandi accelerazioni avvenute nel Rinascimento e soprattutto nel 20° secolo. Un oceano che è diventato sede della *big science* nel dopoguerra con i grandi acceleratori di particelle, i grandi telescopi, i potentissimi calcolatori, gli enormi laboratori di genetica e bioingegneria, e sempre meno lasciata al singolo ricercatore, ma gestita da grandi gruppi. Cominciamo con l'arcipelago della fisica, soffermandoci sull'isolotto delle onde gravitazionali (GW, *Gravitational Wave*). Uno splendido esempio di quanto l'intuizione dell'uomo possa andare ben oltre la realtà visibile, ben oltre le osservazioni fatte e i dati che ha avuto a disposizione. Non è la prima volta che questo succede nella scienza. Si pensi all'antimateria, la cui esistenza fu predetta da Paul Dirac, oppure al neutrino, quella particella evanescente senza carica e quasi senza massa che Wolfgang Pauli ipotizzò nel 1930 per poter descrivere il decadimento del neutrone, o *decadimento beta*, successivamente inserita da Enrico Fermi in una mirabile costruzione teorica, e della quale ebbe a dire: «ho fatto una cosa terribile; ho proposto una particella che non potrà essere rilevata» (Sutton 1992, p. xi), e che invece fu 'vista'.

Albert Einstein ipotizzò le GW nel 1916, come conseguenza della sua teoria della relatività generale, pubblicata nel 1915. Le ipotizzò come oscillazioni di un fluido speciale, quello dello spaziotempo, e che si propagano alla velocità della luce. Lo spaziotempo, uno spazio quadridimensionale, in cui la variabile tempo non si distingue da quelle spaziali, come si pensava nella fisica newtoniana. Una concezione rivoluzionaria, che ha impiegato molto tempo per essere digerita.

Dopo più di cinquant'anni di ricerche, durante i quali le GW sono rimaste elusive, il 14 settembre 2015 sono state finalmente viste dai due interferometri statunitensi Advanced LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) e ufficialmente riconosciute con l'assegnazione del premio Nobel del 2017 ai fisici Rainer Weiss, Barry Barish e Kip Thorne. Un'ulteriore conferma si ebbe quando nel 2017 i due LIGO statunitensi assieme all'interferometro europeo Advanced Virgo videro la fusione di due stelle di neutroni. Le GW si materializzano quando un evento cosmologico perturba la curvatura dello spaziotempo.

Così come una goccia d'acqua che cade sulla superficie di uno stagno perturba la superficie dell'acqua e questa perturbazione si propaga verso l'esterno sotto forma di onde, con una velocità che è tipica del fluido acqua, similmente un evento cosmologico perturba lo spaziotempo e la perturbazione si propaga alla velocità della luce (~300000 km/s) sotto forma di onde gravitazionali. Ciò avviene, per es., quando due buchi neri o stelle di neutroni orbitano velocemente l'una attorno all'altro, o perfino durante il Big Bang, l'evento che crediamo abbia dato origine al nostro Universo.

L'isolotto delle GW è intimamente connesso alle altre attività della fisica nel suo complesso e alle continue sfide scientifiche e tecnologiche che si stanno affrontando. Si tratta di opere che esaltano le capacità dell'*homo faber*. Si pensi al Future circular collider (FCC) del CERN, destinato a succedere entro il 2035 al Large hadron collider (LHC), che avrà una circonferenza di circa 100 km e fornirà un'energia di circa 100 TeV. Analoghi sviluppi si vedono anche nella fisica astroparticellare, come quelli attesi dell'Einstein telescope e del Cosmic explorer, due futuri osservatori a terra, per i quali si stanno sviluppando nuove tecnologie finalizzate all'ottenimento di un aumento della sensibilità di almeno dieci volte superiore a quella attualmente disponibile.

Il secondo *highlight* esalta maggiormente una scienza più vicina alle richieste della società, che chiede una vita più sana, più lunga e soprattutto più felice. Lo chiede in realtà a un'avanzatissima tecnologia, che non è diventata solo il risultato di una accresciuta conoscenza, ma che comincia a vivere di vita propria, con una propria evoluzione, che ci auguriamo non sia mai in conflitto con quella dell'uomo: la scienza dei dati, anche questa un arcipelago che include diversi isolotti come, per es., la simulazione numerica, la gestione dei Big data, gli algoritmi dell'intelligenza artificiale (IA; v.), il *machine learning* (ML) e perché no, il sogno del calcolatore quantistico.

Si tratta di un arcipelago che è sede di una vera e propria rivoluzione nelle metodologie scientifiche soprattutto per quanto riguarda le formalizzazioni teoriche e la loro risoluzione in termini matematici. Ecco il perché di una sua propria evoluzione. Il *machine learning* sta prendendo rapidamente il sopravvento sullo *human learning*, e la gestione di una enorme mole di dati osservativi e sperimentali non rappresenta più un limite alla rappresentazione scientifica di fenomeni naturali complessi o di artefatti sperimentali creati per studiare l'infinitamente piccolo e le leggi fondamentali dell'Universo. Abbiamo assistito a un vero e proprio salto concettuale, una discontinuità anche qui imprevedibile, come nel caso delle onde gravitazionali (v. V. Fafone, *Onde gravitazionali*, in *Enciclopedia Italiana, X Appendice*, Istituto della Enciclopedia Italiana, 2020, *ad vocem*), emersa però da uno sviluppo lento e continuo della metodologia di calcolo e di gestione dei dati.

Dal sogno di Charles Babbage di creare «un calcolatore universale, in grado di effettuare meccanicamente un'enorme quantità di calcoli in tempi brevissimi» (Schaffer 1994), sogno che rimase irrealizzato nell'ultimo ventennio dell'Ottocento, passando attraverso i primi calcolatori degli

anni Cinquanta del 20° sec., quando il matematico inglese Alan Turing, uno dei fondatori dell'IA profetizzava che «le macchine un giorno gareggeranno con gli uomini in tutti i campi puramente intellettuali» (Turing 1950); si è giunti ai supercomputer e al calcolo nei cloud dei giorni nostri. Assolutamente indispensabili per gestire i Big data forniti dai rivelatori del CERN che scrutano l'infinitamente piccolo, così come dai telescopi spaziali il cui sguardo si spinge vicino al Big Bang, o anche dagli osservatori oceanografici che monitorano i continui cambiamenti della vita marina e dell'ambiente del nostro pianeta e della sua sostenibilità, come anche per gestire l'enorme complessità della rete che si è andata formando nel nostro pianeta con la globalizzazione. Interagire tutti con tutti, al di là dei linguaggi, delle religioni, degli usi, delle diversità in genere. Diversità e inclusione stanno diventando due facce della stessa medaglia.

**La simulazione numerica.** - La simulazione numerica, nata per studiare le strutture nucleari, atomiche o molecolari (Benhar, Fantoni 2020), è una sorta di metascienza, che, non essendo la scienza a conoscenza di alcuni elementi fondamentali del sistema fisico da esaminare, ne simula alcuni più o meno possibili in un processo di 'prova e riprova', con l'obiettivo di suggerire esperimenti di verifica. Questa metascienza si è estesa fino a diventare strumento di straordinaria efficienza per la progettazione e ottimizzazione di molti prodotti di interesse per il mondo industriale. Il *digital twin*, così è chiamato, è un nuovo approccio per ogni forma di modellizzazione e analisi basati sui Big data e le tecniche di IA e di ML (Salvatidezfouli, Nikishova, Torlo, in *Quantitative sustainability...*).

I tempi in cui gli scienziati si cimentavano con modelli che approssimavano la realtà, usando procedure al limite, che rappresentavano l'unico modo per una possibile soluzione matematica, sono diventati oramai storia della scienza. Sono stati fondamentali per guardare al di là della siepe leopardiana. E c'è voluto un po' di tempo perché abbandonassero questo trionfo dell'intelletto umano. Eppure è avvenuto, e da allora in poi c'è stata una straordinaria accelerazione verso ciò che profetizzavano Babbage e Turing.

Esiste già un'ampia letteratura sui nuovi compagni dell'essere umano, i robot, le intelligenze artificiali. Helga Nowotny così descrive le sensazioni che immergersi in questa letteratura le ha dato: «a colpirmi è stato soprattutto il fatto che la grande maggioranza dei libri sposa una visione o ottimista e tecnoentusiasta o distopica [...] inadatta a unire significativamente gli sviluppi tecnologici con i processi sociali e a volte è arrogante nel liquidare il 'sociale' oppure trattandolo come se fosse una semplice appendice al 'tecnologico'» (Nowotny 2022, p. 29).

Questi nuovi compagni che la scienza dei dati ci ha fatto conoscere possono essere di grande aiuto per entrare nell'arena della sostenibilità, dove si studia come risolvere il problema dell'incompatibilità dell'*homo faber* e della sua invasione della natura senza tenere conto della finitezza del pianeta e delle sue risorse (Omodei, Grilli, Marsilli, in *Quantitative sustainability...*). Un problema a molte sfaccettature che deve essere affrontato in modo olistico, interdisciplinare. Non c'è una sostenibilità per ciascuna

sfaccettatura o attività produttiva. Per es., la produzione di biofuel, proposta per mitigare la crisi climatica, sembra aver indotto maggiori costi per l'alimentazione, causando la crisi del 2008. «La transizione ecologica da un'attività prevalentemente estrattiva a una rigenerativa», sostiene Andrea Illy, «necessita di uno sforzo titanico, che risulterà nell'acquisizione di un'immensità di dati relativi alla transizione energetica (da quella fossile a una rinnovabile), a quella agroalimentare (da un'agricoltura tradizionale a una rigenerativa) e industriale (da un'economia lineare a una circolare)» (Illy, in *Quantitative sustainability...*, p. VIII). Sulla stessa linea si pone l'economista Kate Raworth con il suo modello raffigurativo a ciambella che rappresenta «una base per il benessere sociale sotto la quale nessuno dovrebbe mai andare e un tetto per la pressione sui sistemi ecologici che non dovremmo superare, con uno spazio sicuro ed equo per tutti che si trova tra la base e il tetto» (Raworth 2017, pp. 65-72). Di rilievo è il *vademecum* che l'autrice propone per suggerire come dovrebbe pensare un economista del 21° secolo.

La scienza quindi sta seriamente affrontando il problema della sostenibilità e della gestione della sua *complessità*. Tra le varie linee di ricerca che si stanno intensamente sviluppando, ve ne sono alcune di particolare interesse per il rapporto scienza-società.

a) *Studio di modelli concettuali*. Le conseguenze inattese dei sistemi sociali, che sono intrinsecamente complessi, nascono spesso dagli effetti sistemici delle scelte fatte dall'uomo. I *Gedanken Experimente*, affrontabili con la scienza dei dati, capaci di mettere in relazione tra loro micromotivazioni con macrocomportamenti possono dare importanti indicazioni in questa direzione (Omodei, Grilli, Marsili, in *Quantitative sustainability...*). Si tratta di una branca della fisica statistica molto vivace, che va sotto il nome di *ecologia umana* e che sta fornendo risultati molto interessanti.

b) *Le reti complesse*. La scienza delle reti è un campo di ricerca interdisciplinare che studia i sistemi complessi rappresentandoli con *agenti*, ovvero elementi distintivi del sistema e con le interazioni tra di loro. Nelle ultime decadi la crescente disponibilità di enormi quantità di dati ha aperto la via a tecniche computazionali basate sui dati stessi, che hanno permesso di fare dei veri e propri esperimenti sulle reti empiriche. Ciò tra l'altro ha agevolato la scienza delle previsioni che vuole rispondere all'anelito umano di prevedere tutto e subito. Il fisico ed epidemiologo Alessandro Vespignani (2019) sostiene che «la scienza delle previsioni si è evoluta assimilando dati, modelli matematici, intelligenza artificiale tramutando l'uomo in un atomo sociale e rendendolo quindi predicibile [...]. Gli algoritmi si sono evoluti velocemente in indovini che riescono ad avere le risposte sul nostro futuro, e solo una casta di sacerdoti sembra capire la loro lingua» (p. 31). Successi e rischi.

c) *Il machine learning*, le macchine che imparano. L'IA è un concetto ampio, che si riferisce all'uso del calcolatore per imitare le funzioni cognitive degli esseri umani in svariati campi, come la visione artificiale, la robotica, i videogiochi e i veicoli autonomi come droni e auto senza guidatore. Il *machine learning* è un campo specifico dell'intelligenza artificiale, che ha l'obiettivo di consentire al calcolatore, cioè

alla macchina, di apprendere autonomamente le relazioni precise nei dati osservati.

d) *Il calcolatore quantistico*. Richard Feynman nel 1981 ebbe a dire: «la natura non è classica, dannazione, e se vuoi fare una simulazione della natura è meglio farla usando la meccanica quantistica, ed è, perbacco, un problema meraviglioso perché non sembra così facile» (p. 486). Dal sogno di Feynman, che sembrava dovesse rimanere nell'alveo delle utopie, a una vera e propria branca della scienza e della tecnologia. «Tra i concetti che dominano la nostra concezione del mondo moderno c'è sicuramente quello dell'*informazione*. Abbiamo un bisogno spasmodico di informazioni, al fine di prendere decisioni, preferire un tipo di studi a un altro [...]. Ma come ci giungono le informazioni? Esse devono essere catturate e trasformate opportunamente per permettere la loro trasmissione e diffusione» sostiene Luigi Martina (2023, p. 55). Ma poiché, come ci dice Feynman, il mondo è quantistico, è necessario l'uso dell'*informazione quantistica*, ovvero della scienza che si basa sull'asserto di utilizzare dispositivi quantistici per immagazzinare, manipolare e trasmettere informazioni.

La codifica dell'informazione in un calcolatore ordinario avviene attraverso il bit, ovvero un dispositivo classico che può trovarsi solo in due stati (zero-uno, sì-no, vero-falso, acceso-spento). In meccanica quantistica i due stati del bit diventano due vettori ortonormali  $|zero\rangle$  e  $|uno\rangle$  nello spazio vettoriale di Hilbert, che costituiscono il *qubit*. Quanto siamo lontani dalla costruzione di un calcolatore quantistico? Forse non molto, se l'obiettivo a breve termine di IBM è quello di un calcolatore con 100 mila *qubit*, e altri giganti tecnologici come Google competono con IBM.

Lo scoglio più grande da superare o quantomeno da tenere sotto controllo è la cosiddetta decoerenza quantistica: una caratteristica fondamentale del mondo quantistico, noto come *principio di indeterminazione di Heisenberg*: non possiamo osservare un sistema quantistico senza produrvi un disturbo incontrollabile. Dovremmo mantenere il nostro supporto quantistico quasi perfettamente isolato dal mondo esterno, e al tempo stesso dovremmo far sì che i *qubit* interagiscano fortemente tra loro, in modo da poter correlare le loro informazioni. *Mission impossible*. Quindi la sfida è e sarà quella di controllare la decoerenza. Riuscire a vedere tra i rumori, le ombre, il segnale significativo del calcolatore quantistico.

*La responsabilità della scienza*. - Dopo aver dato un rapido sguardo alle isole della fisica e della scienza dei dati, è opportuno ritornare su un punto cruciale per quanto riguarda le responsabilità della scienza: quanto e come la scienza si confronta con la società, la cultura, l'arte e il pensiero. Questo confronto si esplica in modo prioritario attraverso la comunicazione della scienza. Non è un caso che la scienza moderna sia nata dopo l'invenzione della stampa, che ha permesso una comunicazione pubblica e rapida per riferire, registrare e discutere i risultati dell'osservazione della natura. È infatti solo in virtù della pubblicazione del *Sidereus nuncius*, in cui Galileo Galilei rese pubbliche le prime osservazioni del cielo con il cannocchiale nell'inverno tra il 1609 e il 1610, che le rugosità della Luna e la scoperta delle Lune di Giove hanno potuto superare il muro dell'attenzione, uscendo dalle lente e dotte discussioni scolastiche.

Quindi la comunicazione scientifica partecipa del sistema della scienza e diventa essa stessa oggetto di ricerca, una ricerca che coinvolge non solo gli scienziati, ma anche il pubblico, o meglio, i pubblici a cui la comunicazione è rivolta (Fantoni 2024). Nell'era postaccademica esistono molti pubblici che interagiscono e dialogano di scienza con le varie comunità scientifiche e tra di loro. Lo scienziato non può più tirarsi indietro. Dialogare con loro fa parte integrante del suo essere scienziato (Ziman 1998).

Ma la comunicazione scientifica ha un altro ruolo ancora: quello di attivare un dialogo tra le varie discipline della scienza. Abbiamo visto come nello studio di problemi tangibili che stanno a cuore alla società nelle sue diverse articolazioni, come la sostenibilità, sia essenziale una metodologia interdisciplinare. Questa interdisciplinarietà ha bisogno disperato di un suo linguaggio. È necessario che lo sviluppo di questo linguaggio entri a far parte degli obiettivi della comunicazione scientifica.

In conclusione, non ci si può esimire dal mettere in evidenza gli insostituibili contributi che la scienza ha dato e sta dando alla qualità della vita umana, in termini di innovazione, conoscenze e, perché no, di sogni sulle grandi potenzialità dell'uomo, in modo scevro da pregiudizi e false ideologie. Come dimenticare che la società è stata pervasa, a partire dalla metà del 20° sec., da una tecnologia, figlia della scienza, che è andata crescendo con tempi molto più rapidi di quelli della natura stessa, tali, per questo, da incutere alcune paure, come quella del nucleare o quella di una intelligenza artificiale senza regole.

Ciò fa comprendere quanto il rapporto scienza-società debba essere sempre più biunivoco. Se è vero, come è vero, che la scienza deve far proprie le istanze della società, cosa che sta facendo, è altrettanto vero che la società e chi la governa devono dar credito ai risultati della scienza e fornire i finanziamenti indispensabili a chi la scienza la fa. Ma devono agire rapidamente, per non cadere in un declino culturale e tecnologico probabilmente irreversibile. La scienza non è mai stata una spesa, quanto piuttosto un investimento.

**Bibliografia:** A.M. TURING, *Computing machinery and intelligence*, «Mind», 1950, 59, 236, pp. 443-60; R. FEYNMAN, *Simulating physics with computers*, «International journal of theoretical physics», 1981, 21, pp. 467-88; C. SUTTON, *Spaceship neutrino*, Cambridge 1992 (Forward di F. Reins, pp. XI-XII); S. SCHAFFER, *Babbage's intelligence. Calculating engines and factory systems*, «Critical inquiry», 1994, 21, 1, pp. 203-27; J.M. LÉVY-LEBLOND, *La pierre de touche. La science à l'épreuve*, Paris 1996 (trad. it. Napoli 1998); L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, Milano 1996, 2021<sup>12</sup>; J. ZIMAN, *Why must scientists become more ethically sensitive than they used to be?*, «Science», 1998, 282, 5395, pp. 1813-14; S. FANTONI, A. ANCAIANI, *La valutazione dei prodotti della ricerca ed il suo impatto sul sistema universitario e sugli enti di ricerca. Il caso italiano*, in «Melanges de la casa du Velazquez», 2014, 44, 2, pp. 313-18; K. RAWORTH, *Doughnut economics. Seven ways to think like a 21st-century economist*, München 2017 (trad. it. Milano-Roma 2017); A. MASELLI, P. PANI, V. CARDOSO ET AL., *From macro to micro and back. Probing near-horizon quantum structures with gravitational waves*, «Classical and quantum gravity», 2019, 36, 16; A. VESPIGNANI, *Prologo: la scienza delle previsioni*, in *L'algoritmo e l'oracolo. Come la scienza predice il futuro e ci aiuta a cambiarlo*, Milano 2019, pp. 21-31; O. BENHAR, S. FANTONI, *Nuclear matter theory*, London 2020; H. NOWOTNY, *Il dedalo e il labirinto*, in *Le macchine di Dio. Gli algoritmi predittivi e l'illusione del controllo*, Roma 2022, pp. 29-32; L. MARTINA, *La computazione quantistica*, «Ithaca», 2023, 22, pp. 55-89; S. FANTONI, *La comunicazione scientifica*, «Ithaca», 2024, 23, pp. 5-12; *Quantitative sustainability*, ed. S. Fantoni, N. Casagli, C. Solidoro et al., Cham 2024 (in part. A. ILLY, *Why interdisciplinarity for sustainability*, pp. V-X; E. OMODEI, J. GRILLI, M. MARSILI ET AL., *Quantitative human ecology. Data, models and challenges for sustainability*, pp. 79-88; S. SALVATIDEZFOULI, A. NIKISHOVA, D. TORLO ET AL., *Computations for sustainability*, pp. 91-110.

Stefano Fantoni

## IL VALORE E L'IMPORTANZA DELLA SCIENZA

*Conoscenza scientifica, applicazioni tecnologiche e implicazioni socioculturali. Il valore della scienza, modello di ragionamento e partecipazione. Bibliografia.*

Sin dalla rivoluzione scientifica del 17° sec. la scienza ha conquistato un ruolo sempre più importante nella società, nell'economia come nella cultura, nella vita delle persone e delle collettività. La rivoluzione astronomica del Seicento ha cambiato la visione del mondo e il posto dell'uomo nella natura; la meccanica, poi la scoperta del vapore e dell'elettricità hanno permesso la rivoluzione industriale e i trasporti, mentre la chimica ha fornito prodotti per l'igiene e la sicurezza alimentare e successivamente, agli albori dell'industria chimica nella seconda metà dell'Ottocento, una larga quantità di prodotti industriali e per la vita quotidiana, in particolare farmaci e nuovi materiali. Lo sviluppo

della clinica e della medicina scientifica, completato dalla rivoluzione pastoriana (dal nome di Louis Pasteur, 1822-1895), ha permesso di controllare le malattie, portando al raddoppio quasi ovunque dell'aspettativa di vita. In campo culturale la teoria darwiniana dell'evoluzione ha mutato in profondità la visione della storia della vita sulla Terra, stabilendo le relazioni fra le varietà delle forme di vita.

Il Novecento è stato poi, da una parte, il secolo della fisica quantistica e della teoria della relatività (con la scoperta della possibilità di controllare l'energia atomica), degli studi cosmologici e astrofisici e, dall'altra, il secolo della genetica e della biologia molecolare, iniziato esattamente