Science & Philosophy Volume 7(2), 2019, pp. 113-124

Mathematics is a Science!

Luca Granieri[1]

Abstract

Mathematics plays a central role in modern science. However, it is very common an instrumental and utilitarian view of math leading to the underestimation of its scientific nature. We propose some consideration to emphasize a different idea on the fundamental role of math in modern science.

Keywords: mathematics; positivism; philosophy of science; history of science; demarcation.[2]

Sunto

La matematica riveste un ruolo fondamentale nella scienza moderna. Ma nell'immaginario collettivo è molto diffusa, anche tra gli insegnanti, una concezione piuttosto utilitaristica e strumentale che ne ridimensiona o talvolta nega lo status di scientificità vera e propria. Si propone una pista di riflessione che supporti un'immagine diversa della matematica e del suo ruolo fondante nell'impresa scientifica.

Parole chiave: matematica; scienza; positivismo; storia della scienza; filosofia della scienza; demarcazione.

[1] Liceo Scientifico E. Fermi, Bari, Italy; granieriluca@libero.it.

[2] Received on October 28th, 2019. Accepted on December 25th, 2019. Published on December 30th, 2019. doi: 10.23756/sp.v7i2.488. ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765.

1 Introduzione

Le conoscenze più affidabili e accurate provengono dalla scienza. Ma di *scienze* ce ne sono tante, ciascuna con i suoi punti di forza e di debolezza. E questo panorama così variegato nasconde anche insidie e pericoli. In effetti, talvolta il termine *scientifico* viene utilizzato in modo piuttosto generico con lo scopo di rendere più *autorevole* il corpus di conoscenze alle quali è applicato. Oggi c'è la tendenza a dare della *scienza* a tutto o quasi. Senza sconfinare nelle *scienze occulte*, anche a scuola, con tutto rispetto parlando, la ginnastica si chiama ormai *scienze motorie*.

Talvolta si distingue tra *scienze esatte (o dure)* e meno esatte a seconda del grado di matematizzazione che le caratterizzano. Ma, quasi paradossalmente, la matematica in sé spesso non rientra in questa categoria. La matematica è o non è una scienza?

2 Matematica e scienza

Di norma, la nascita della scienza moderna si colloca nel Seicento con personaggi del calibro di Galileo, Newton ecc. Il percorso che porta a questa grande conquista è lungo e variegato (si veda [4,5,14]), ma sicuramente un ingrediente decisivo che caratterizza il passaggio dalla scienza antica a quella moderna è il ruolo (decisivo) giocato dalla matematica. Nella tradizione aristotelica c'è una separazione netta tra matematica e fisica. Perché la matematica è la scienza dell'essere, di ciò che è eterno ed immutabile, mentre la fisica è il regno del divenire. La matematica è allora esclusa quasi per definizione, o relegata in pochi ambiti circoscritti (statica, astronomia, musica). Principalmente, l'avvento della scienza moderna si caratterizza proprio nel superamento dell'aristotelismo e nel recupero della centralità della matematica nella comprensione scientifica del mondo.

Celebre è la metafora di Galileo tratta dal *Saggiatore* secondo la quale il mondo sarebbe *un libro scritto in lingua matematica* senza la quale ci si ridurrebbe a brancolare in un oscuro labirinto. Anzi, tale immagine del libro è molto di più che una semplice analogia o metafora, richiamando la radicata tradizione dei *due libri*. Il primo è ovviamente la Bibbia che contiene la Parola di Dio, responsabile della creazione (*Dio disse: sia la luce. E la luce fu* ... come riportato nel libro della Genesi). Il secondo è il *libro della natura* scritto in lingua matematica. Entrambi ricondotti a Dio quale unico autore. La matematica è allora molto più di un semplice linguaggio che possa descrivere i fenomeni naturali, giacché la Parola di Dio (*Il Verbo*) è incarnata e causa trascendente del mondo (*In principio era il Verbo, il Verbo era presso Dio e il Verbo era Dio. Egli era in principio presso Dio: tutto è stato fatto per mezzo di lui, e senza di* *lui niente è stato fatto di tutto ciò che esiste. [...] E il Verbo si fece carne e venne ad abitare in mezzo a noi*. Dal Prologo del Vangelo di Giovanni). Sulle orme di una concezione se vogliamo *pitagorica* in cui la matematica è intrinseca alla realtà, anzi la causa della realtà stessa.

Nonostante la grandiosità di questa immagine *originaria*, oggi è invece piuttosto diffusa una concezione molto più utilitaristica e strumentale del ruolo della matematica nella scienza. La matematica è spesso considerata solo come un linguaggio tra tanti altri, magari comodo ma non indispensabile. Una specie di cassetta degli attrezzi che lo scienziato utilizza secondo necessità. In linea di principio se ne potrebbe anche fare a meno e la utilizziamo nella fisica ad esempio al mero scopo di formularne precisamente le leggi e rendere l'indagine scientifica più efficace, come una sorta di *compressione algoritmica*. Oppure allo scopo di collegare le previsioni teoriche con i dati empirici rendendole quantitative. In quest'ottica la matematica non sarebbe una scienza ma soltanto un efficace strumento al servizio delle altre scienze. Del resto, quale può essere il contenuto empirico della matematica? Nessuno? E' solo un linguaggio che non parla di nulla? Si può rispondere di sì, ovviamente. Questa è la risposta del positivismo che in fondo ha dominato la visione della scienza per tutto il XX secolo, fino a oggi.

La concezione positivista è solo lo "scheletro" della scienza. E in verità un certo positivismo ed empirismo è decisamente utile nella prassi scientifica e tecnologica, in cui diventa l'idea di una crescita delle conoscenze dovuta a un'opera naturalistica collettiva e condivisa; non è fruttuoso però quando si traduce in una concezione della matematica/logica come semplice strumento linguistico di una scienza sostanzialmente empirica. Di fatto la grande matematica greca non ha trovato nell'antichità e nel Medioevo sostanzialmente alcuna applicazione, un dato che permarrà con pochissime eccezioni fino a pochi secoli fa, mentre la matematica moderna è stata (ed è) la cornice culturale -prima ancora che lo strumento linguistico- tanto della pratica di laboratorio, quanto delle teorie delle scienze "dure" moderne (chimica, fisica, informatica).

[…] La storia "positivista" della scienza si rivela, allora, solo una "cronaca" di teorie ed esperimenti tenuta insieme da un puro precetto ideologico […] Un aspetto tipico dei positivisti: la sottovalutazione del carattere genuinamente scientifico della matematica, che resta di fatto fuori dalla loro analisi. E' addirittura comune considerare la matematica esente dalle "rivoluzioni scientifiche". Ho cercato di descrivere quanto questo sia errato, e come invece nella matematica si realizzino autentici "mutamenti antropologici", molto più radicali e impercettibili delle rivoluzioni scientifiche [6 p.75-76;103].

Sono possibili allora altre risposte, forse più vicine alla *natura* della matematica, qualunque essa sia. Stranamente, anche in alcuni matematici di professione si può instillare il dubbio sulla scientificità della loro disciplina. In [7] si sostiene ad esempio che la matematica non dovrebbe essere annoverata tra le scienze *in senso stretto*. La motivazione *anagrafica* ivi sostenuta sulla base del fatto che una matematica già matura preceda di parecchi secoli l'epoca di Galileo ci pare poco calzante per escluderla dal novero delle scienze. La scienza non è un corpo unitario e ogni scienza matura in tempi diversi. Il fatto è che nel Seicento nasce se vogliamo la fisica, e spesso si tende ad identificare tout court l'impresa scientifica con la fisica, o con un certo tipo di fisica. Magari la statica era già matura ai tempi di Archimede (si veda anche [22]). Anzi, se vogliamo, il fatto che la matematica greca fosse già sviluppata prima della sua applicazione alla meccanica del Seicento potrebbe dimostrare proprio il contrario della tesi del carattere non scientifico della matematica. Infatti rivela esattamente il fatto che la meccanica medievale non era una scienza ma solo una tecnica (e nell'antichità e nel medioevo scienze e tecniche erano due ambiti del tutto distinti!) e fu solo nella sua forma matematica - geometrica prima e analitica poi - che la meccanica divenne una *scienza*! Questo dovrebbe già farci capire che la matematica non è soltanto *una* scienza ma la condizione di esistenza della scienza tout court!

Ma ad ogni modo, in [7] si procede poi delineando in maniera efficace e competente le virtù della matematica. E se non è scienza quella di cui si parla allora cosa lo può essere? Uno degli scopi in [7] è anche quello di spiegare perché la matematica in genere piace agli scienziati. Il lettore potrà immaginare la nostra risposta al riguardo.

3 Demarcazione

A conti fatti non è così immediato distinguere le conoscenze scientifiche da quelle che non lo sono. Una delle proposte più conosciute è il *falsificazionismo popperiano*. Sommariamente, una teoria è *scientifica* se è possibile falsificarla in qualche modo. Se cioè è possibile escogitare qualche esperimento i cui risultati siano in grado di confutare la teoria in oggetto. Questa semplice idea può essere chiarita dalle parole di Einstein: *Nessuna montagna di esperimenti potrà mai provare che ho ragione: ma un singolo esperimento potrà sempre provare che ho torto*. Così, l'affermazione: *il vento è causato da un dio del vento* non è scientifica poiché per definizione un dio non è osservabile o sperimentabile in alcun modo o, qualora sia possibile, non certamente con le caratteristiche di ripetibilità tipiche dell'approccio scientifico. Né è chiaro come escogitare un esperimento che possa confutare l'esistenza di questo dio. Qualunque cosa accada, si potrà sempre pensare che il dio del vento l'abbia fatto apposta per eludere ogni nostra ingerenza nei suoi affari.

Per quello che riguarda la matematica, Popper sembra escluderla quasi *per definizione* dalla sua indagine perché ritenuta priva di contenuto empirico. Dove ritiene vi possa essere, come per la probabilità ([8,9,12]) propende per negarne lo stato di scientificità galileiana, non potendo soddisfare i suoi criteri di demarcazione. In [12] si dice che *Popper non si avvide che la Teoria delle Probabilità non è una teoria scientifica nel senso galileiano del termine, ma una branca della matematica che* *quindi, in quanto tale, riveste solo un ruolo strumentale in ambito scientifico*.[…] *Popper non richiede il requisito di falsificabilità per le teorie matematiche, e non potrebbe essere altrimenti, dato che la matematica è il linguaggio con cui formulare una teoria scientifica ed estrapolarne le conseguenze da sottoporre ad indagine sperimentale.* Senza entrare nel merito se la teoria della probabilità potesse o no essere considerata una teoria matematica matura al tempo di Popper (per i matematici sicuramente sì), la difficoltà ad inquadrare la matematica in un paradigma scientifico ha anche qualcosa di grottesco e paradossale. Ma siamo così sicuri che i matematici non *falsifichino* o effettuino esperimenti? In realtà questo lo fanno continuamente. Nella pratica quotidiana è quello che fanno i matematici nei loro studi, mettendo alla prova le loro teorie e congetture, facendo esperimenti, cercando falsificazioni, controesempi ecc. Certo non è esattamente quanto si fa nella fisica più strettamente sperimentale e per la maggiore riguardano esperienze interne alla matematica stessa, ma non molto lontano rispetto a quanto potevano fare Einstein e Bohr durante i celebri *congressi Solvay*, quando tentavano di falsificarsi a vicenda a suon di *esperimenti mentali*. Che sono di tipo logico, anche se teoricamente hanno a che fare con il mondo esterno per la loro *interpretazione fisica*. Galileo stesso era un maestro di esperimenti mentali. Si dice che Galileo abbia fatto cadere dalla torre di Pisa due sfere identiche, ma composte di materiali differenti, per dimostrare che la caduta non dipende dal materiale. Questo tipo di esperimento fu svolto in maniera spettacolare sulla Luna dall'astronauta D. Scott durante la storica missione Apollo 15. Lasciando cadere un martello e una piuma sul suolo lunare poté esclamare: Galileo aveva ragione! Anche se probabilmente Galileo non effettuò mai i lanci dalla torre di Pisa, sicuramente escogitò degli esperimenti mentali per falsificare la dipendenza della caduta dal peso nella fisica aristotelica. Argomentava ad esempio che, se due palle identiche vengono fatte cadere, queste devono farlo assumendo velocità identiche. Ma se immaginiamo di collegarle con un filo sottilissimo questo non dovrebbe influire sulla caduta. Ma in questo modo si avrebbe un unico corpo di peso doppio che, secondo gli aristotelici, dovrebbe cadere con velocità doppia rispetto alle due palle separate. Contraddizione. Certo il ruolo dell'esperimento è fondamentale ma quest'ultimo non è soltanto empirico ma spesso proprio di tipo logico-matematico. Del resto discipline come la fisica teorica sono molto affini a una teoria matematica vera e propria. Ad ogni modo, anche nella matematica in senso stretto c'è spazio per l'esperimento: *Oggi molti matematici usano computer non solo per le email e il web, e nemmeno per calcoli numerici, ma come strumento che li aiuta ad esplorare i problemi in modo quasi sperimentale. Appaiono infatti ogni tanto dimostrazioni assistite dal computer, spesso per problemi importanti che hanno resistito ai metodi più tradizionali a base di penna, carta e intelligenza umana* ([23]). Ma non solo, la mole di risultati sempre più numerosi e difficili da controllare contribuisce a spostare l'ago della bilancia da un controllo classico di tipo dimostrativo ad uno di tipo sperimentale. Nessun matematico oggi è più in grado di controllare per filo e per segno tutte le dimostrazioni che vengono prodotte anche soltanto in un settore limitato di ricerca. Man mano che raggiungiamo i limiti delle capacità umane si renderà sempre più necessario il ricorso a strategie *sperimentali*. Ma il legame tra matematica ed esperimento è molto più profondo e articolato, anzi potremmo dire che non esiste nella scienza moderna l'esperimento di laboratorio che non abbia una forma immediatamente matematica. Lo sforzo di trovare nella matematica moderna qualcosa di *sperimentale* potrebbe allora essere bilanciato dal considerare che in fondo tutta la prassi sperimentale è per sua natura *matematica*.

Certo, forse la questione è che l'attenzione di Popper è rivolta essenzialmente alle scienze empiriche. La fisica è senz'altro una scienza sperimentale. Ma il punto è che non è *soltanto sperimentale*. Paradossalmente poi, proprio nella fisica o nelle scienze empiriche in generale, non sempre le falsificazioni producono il loro effetto di confutare una teoria portando alla sua sostituzione. In genere con le contraddizioni si convive finché si può. E queste contraddizioni sono di tipo sperimentale, ma anche di tipo logico-matematico. Ad esempio nel considerare l'incompatibilità tra elettromagnetismo e meccanica Newtoniana nel rendere conto della natura della luce e del presunto *etere* in cui questa doveva propagarsi, il fenomeno di aberrazione della luce stellare mostrava che la Terra non trascina con sé l'etere. La Terra quindi deve muoversi rispetto all'etere. Ma le esperienze di Michelson-Morley mostravano che la Terra è in quiete rispetto all'etere. Una contraddizione su base empirica dunque.

Einstein si muoveva invece su un piano più logico legato all'esistenza di sistemi inerziali privilegiati, partendo cioè dall'incompatibilità logica tra i principi della meccanica classica e quelli dell'elettromagnetismo.

Inoltre, non tutto è falsificabile empiricamente e il ricorso ad un piano logico-matematico è per certi versi quasi obbligato. Basti pensare al principio d'inerzia della meccanica classica. Ci sono, o possono esserci, delle procedure empiriche per validare o falsificare il principio di inerzia (o principio di inerzia generalizzato)? Nessun corpo è *veramente* isolato e controllare il suo moto (rettilineo uniforme) significherebbe seguirlo per uno spazio e un tempo imprecisati. Discrepanze osservate sarebbero attribuibili a influenze esterne di cui non è possibile tener debito conto né in linea teorica né pratica. Insomma, si tratta di un principio logico che prescrive come si comporterebbe la natura in una situazione ideale (che non può esistere). Lo accogliamo alla fine perché serve a definire in modo coerente (matematico) il concetto di forza e la dinamica. Queste a grosse linee alcune delle considerazioni su cui si basa il cosiddetto convenzionalismo di Poincaré (si veda ad esempio [21 p. 161]).

Paradossalmente, il luogo in cui la falsificazione Popperiana trova maggiore vigore è proprio nella matematica stessa. Sì, poiché il fondamento del falsificazionismo di Popper è proprio di tipo logico-matematico. Un Teorema è infatti in generale una scrittura del tipo A→B. L'enunciato A si dice *ipotesi* mentre B si dice *tesi*. Tra i primi elementi di logica si trova che *l'implicazione* A→B è sempre vera tranne in un caso, quello in cui l'ipotesi A è vera e la tesi B è falsa. Da questa proprietà segue una certa *asimmetria*: dalla conoscenza della sola verità della tesi B non possiamo concludere nulla sulla bontà dell'ipotesi; ma invece dalla falsità di B segue automaticamente quella di A (altrimenti avremmo proprio il caso in cui l'implicazione è falsa). Se la tesi B corrisponde a quanto può essere soggetto a controllo empirico di qualche ipotesi A, allora Popper ne deduce che i controlli empirici possano soltanto *confutare* una teoria e mai *verificarla* in senso stretto. A questo quadro aggiungiamo un altro ingrediente: la cosiddetta legge di Duns Scoto secondo la quale da una contraddizione segue qualunque cosa. Così, in matematica, con la contraddizione non si può convivere. Ne basta anche una sola. Per quanto innocua possa apparire la legge di Duns Scoto non lascia vie d'uscita. In quella teoria sarebbe vero tutto e il contrario di tutto. Insomma, tutto da rivedere. In questo modo è proprio nell'ambito della matematica che il falsificazionismo può mostrare tutta la sua forza. Nel piccolo di ogni giorno i matematici cercano costantemente piccole falsificazioni come una bussola che li orienti evitando strade sbagliate. Uno degli episodi più clamorosi è la scoperta del paradosso di Russell all'interno della cosiddetta *teoria ingenua degli insiemi*. Il noto matematico G. Frege mirava a costruire tutta la matematica su basi logiche, secondo un programma molto vasto: il cosiddetto *logicismo*. Frege aveva profuso sforzi enormi nell'impresa pubblicando molti risultati e un grosso e importante volume sui *principi dell'aritmetica* e ne aveva già in cantiere un seguito quando ricevette una famosa lettera da B. Russell nel 1902. In questa lettera Russell informava il collega di aver trovato una contraddizione nella sua teoria, corrispondente a quello che oggi chiamiamo *paradosso di Russell* appunto. La desolante risposta di Frege, pubblicata in appendice del secondo volume dei *Principi di Aritmetica*, che vedeva vanificare il suo progetto di ridurre l'aritmetica alla logica fu: *A uno scrittore di scienza ben poco può giungere più sgradito del fatto che, dopo aver completato un lavoro, venga scosso uno dei fondamenti della sua costruzione. Sono stato messo in questa situazione da una lettera del signor Bertrand Russell, quando la stampa di questo volume stava per essere finita*.

La teoria degli insiemi doveva essere rifondata completamente. Anzi, se vogliamo molte delle complicazioni e delle difficoltà della matematica nascono proprio dalla necessità di evitare le antinomie. Riassumendo. Le scienze non sono tutte uguali e si distinguono per caratteristiche, per oggetto di studio ecc. Hanno molto in comune ma anche molte differenze. La biologia studia gli esseri viventi, diciamo, la matematica gli oggetti matematici. Come nelle altre scienze, per la maggiore la base empirica o sperimentale è interna alla disciplina stessa. Così gli esperimenti matematici sono fatti con carta e penna, o con il computer, o semplicemente con la mente. Si consideri ad esempio l'Ipotesi di Riemann ([11]), uno dei più importanti problemi della matematica moderna (vale un milione di dollari!). Sommariamente: gli zeri della cosiddetta *Funzione zeta di Riemann* hanno tutti parte reale uguale a $\frac{1}{2}$. Possiamo tentare di falsificare l'affermazione calcolando gli zeri di questa funzione e controllandone la parte reale. Con carta e penna, oppure istruendo un calcolatore che lo faccia per noi. Ad oggi questo controllo è stato fatto con metodi vari per moltissimi casi, tutti a favore dell'ipotesi di Riemann. Oppure possiamo controllare come l'affermazione si armonizza con tutte le altre conoscenze scientifiche. Abbiamo al momento vaste teorie matematiche che dicono che se l'ipotesi di Riemann è vera allora accade questo e quest'altro. E l'affermazione di Riemann si incastra in modo notevole nel panorama scientifico (questo è il motivo per cui è così importante). Ma se domani trovassimo un controesempio che la falsifica, o contrasti con altre conoscenze, tutta quella matematica sarebbe da buttare via o comunque da riformulare profondamente.

Conoscenze come quelle filosofiche ad esempio non sarebbero invece scientifiche perché, tranne che in casi speciali, non è possibile in generale produrre osservazioni o esperimenti in modo da confutarne le affermazioni, nemmeno restando all'interno del campo filosofico stesso.

Talvolta si dice che vere falsificazioni in matematica non sono possibili perché *la Matematica non è un'opinione* e se un teorema è dimostrato allora vale per sempre e non può mai essere contraddetto. Fare matematica, si dice, significherebbe soltanto dedurre cose vere dagli assiomi. Ma così facendo si rischia di perpetrare lo stereotipo di una visione piuttosto statica e formalistica della matematica: solo assiomi e deduzioni dagli assiomi. Se riduciamo la matematica ai soli aspetti logico-formali allora sì, la matematica non sarebbe una scienza. Anzi, sarebbe poco più di un gioco: *prendi assiomi e deduci*. Ma la matematica è molto ma molto di più. Altrimenti dovremmo dire che Cauchy o Eulero non facevano matematica perché la sistemazione assiomatica dei numeri reali è di secoli posteriore.

In effetti, questa visione riecheggia la contrapposizione tra sintassi e semantica. Non bisogna dimenticare che quest'ultima è una creazione ottocentesca, sostanzialmente nata dalla filosofia kantiana: prima non esisteva e infatti prima di allora nessuno pensava neanche lontanamente che la matematica potesse essere qualcosa di puramente formale e *privo di contenuto scientifico*. D'altra parte chi dice che *la sintassi è vuota di contenuto*? Solo chi ritiene che il linguaggio (una volta il greco, oggi la logica matematica) sia perfettamente *naturale*, e quindi *oggettivo*, un semplice riflesso dell'ordine *immediato* delle cose. Ma il linguaggio stesso, specialmente quello logico-matematico, racchiude già in sé una concezione del mondo. Del resto la nostra stessa logica e matematica moderne *mostrano* implicitamente una forma di conoscenza strutturale, non solo formale, molto profonda e inevitabile, ma pur sempre una forma autonoma di conoscenza. In particolare la stessa coppia vero/falso è mutata nel corso della storia e allora nel ricercare qualcosa di *falsificabile*, specialmente nella logica e nella matematica, dovremmo comunque tener conto che la stessa nostra idea di *falso* ha natura linguistica e logica.

Certamente la matematica ha le sue peculiarità e le sue caratteristiche che la contraddistinguono dalle altre scienze, fisica compresa, ma come Russell ha contraddetto Frege, così domani qualcuno potrà contraddire qualcun altro e costringere i matematici a smantellare e ricostruire tutto o parte di quanto fatto fino ad ora. Non lo possiamo certo escludere.

4 Mondo Matematico

Comunque sia, ammesso che anche in matematica si possa parlare di procedure *sperimentali* queste riguardano comunque il suo stesso *mondo matematico* e non una realtà esterna. Talvolta si dice che i numeri non camminano per strada (ma Pitagora avrebbe da ridire su questo).

Quali sono le ragioni profonde per cui siamo sicuri che la matematica non ci possa ingannare? C'è una risposta classica a questo problema, che a prima vista può apparire paradossale: ci possiamo fidare della matematica, perché la matematica "non parla di nulla", non ha vero contenuto. Pertanto non può essere confermata o smentita dall'esperienza. Eppure Galileo, nel dare l'avvio a quella che divenne la scienza moderna, aveva affermato che il libro della natura "è scritto in lingua matematica". Dopo di che siamo indotti a domandarci: è davvero possibile che quella lingua non abbia nulla a che fare con i "contenuti" di cui parla il libro? ([10 p. 38]).

La matematica, da sola, non parlerebbe della realtà. In che senso il mondo è matematico, come talvolta si dice? Allora è la fisica a parlare della realtà? Neanche forze e particelle ad esempio camminano per le nostre strade. Sono concetti astratti, definiti *matematicamente*, poi noi interpretiamo gli esperimenti alla luce di quei concetti. La matematica non è soltanto un linguaggio per parlare della natura o realtà, ma ha spesso (specialmente in fisica) un ruolo costitutivo e serve per costruire gli oggetti stessi della scienza e la loro *corrispondenza* con la realtà. In definitiva, il problema è che in un certo senso la realtà esterna è già matematizzata quando la consideriamo scientificamente, proprio per rendere possibile l'indagine fisica stessa. La realtà studiata dalla scienza non è semplicemente il mondo empirico dei sensi ma qualcosa di diverso. Qualcosa di matematizzato. La forza di gravitazione Newtoniana ad esempio è data tra due *punti materiali*, cose quest'ultime che non esisterebbero in natura. Nessun contenuto empirico? Poi la forza diciamo tra Sole e Terra si ottiene *sovrapponendo* tutte le forze di interazione tra le *infinite* particelle che compongono questi due corpi celesti tramite i concetti di *numero reale, integrazione* e così via. L'immagine scientifica del mondo, specialmente quella fisica, è matematizzata alla fonte, non solo per descrivere i fenomeni ma in un certo senso per creare gli oggetti di indagine. Non esiste cioè una netta distinzione tra quello che chiamiamo realtà fisica e realtà matematica ma queste realtà sono interconnesse tra loro. Anzi, è proprio da questa interconnessione che nasce la *scienza moderna* (su questo punto si vedano [2,3,4,5]). Ma su questo versante si scoperchia un vaso di Pandora: In che senso esistono gli enti matematici? Sono scoperti o inventati? Le possibili risposte spaziano in molte direzioni diverse: realismo, convenzionalismo, formalismo ecc. E ci sarebbe anche l'idealismo che porta all'estremo la presunta riduzione della matematica a puro linguaggio e basta. Se la matematica non parla del mondo fisico, nemmeno la fisica può farlo ed anche un'equazione come la legge del moto di Newton **F**=m**a** non avrebbe relazione con la realtà. Se le "forze" sono termini matematici di equazioni qual è il loro significato fisico? Questa era la posizione del famoso vescovo Berkley per sostenere che la realtà esterna della fisica Newtoniana non esiste ed esistono solo le idee e gli intelletti. *Berkeley affermava che le forze in meccanica erano analoghe agli epicicli in astronomia, vale a dire costruzioni matematiche utili per calcolare i moti dei corpi. Tuttavia, secondo Berkeley, sarebbe stato un errore attribuire a queste costruzioni un'esistenza reale nel mondo. Berkeley affermava che tutto il contenuto della meccanica newtoniana è espresso da un insieme di equazioni [...] Queste "forze" altro non sono che entità matematiche* (21 p. 155-156]).

Certo, si potrebbe dire che quanto detto poteva essere vero per la scienza fino al Settecento, ma che la scienza contemporanea ha trovato invece un suo metodo scientifico autonomo, sostanzialmente empirico, con la matematica e la logica ridotte a strumento linguistico. Ma ancora la storia ([2,3,4,5,6]) mostra quanto questo sia irrealistico: Einstein ha trovato i tensori e il calcolo differenziale assoluto già fatti e la meccanica quantistica ha trovato gli spazi di Hilbert e i suoi modelli (matriciali e funzionali) già teorizzati. E' come se fosse stato inventato l'apriscatole prima delle scatole…

La vera questione allora non è soltanto stabilire se la matematica sia o no una scienza, ma piuttosto dove essa si collochi nell'architettura concreta della scienza reale, e non in quella *sognata* da certa (moderna) filosofia della scienza.

La matematica è senz'altro un linguaggio utile alla fisica ma in un senso costitutivo ne è anche oggetto. E se la matematica non è una scienza che fine fa la fisica?

Ricapitolando, il problema è chiarire in cosa consista l'universo sensibile. Ne fanno parte gli oggetti matematici? La questione è importante per la scienza perché la fisica non parla del mondo sensibile così com'è ma lo sostituisce con concetti matematici. Rispondere in maniera del tutto negativa significherebbe privare la scienza di componenti essenziali. Altrimenti dovremmo anche concludere che la teoria delle stringhe o la meccanica razionale non sono scienza. Certo lo si può anche fare. Basti pensare alle concezioni neopositiviste, analitiche, naturaliste che hanno un'idea della matematica come puro strumento linguistico della scienza. Tesi che può anche avere il suo ascendente, ma senz'altro non è la concezione di scienza di Galileo, Keplero, Newton, Einstein e tanti altri.

Se immaginiamo di apporre un'etichetta sugli oggetti dell'universo che ne esplicitino gli ingredienti costitutivi, dovremmo inserire anche: contiene matematica? Il punto è questo. Galileo la pensava proprio così! Il mondo è anche fatto di matematica. Facciamo notare che la famosa controversia col cardinale Bellarmino era centrata proprio su questo punto. Per il cardinale, sulla scia della tradizione aristotelica, il matematico può parlare *ex suppositione,* senza preoccuparsi cioè della realtà dei modelli geometrici. Quello Copernicano sarebbe solo uno tra i possibili modelli matematici che rendono conto dei fenomeni astronomici. Ma non ci dice nulla su quanto accade *realmente* in natura. Ma questo non poteva valere per Galileo che era realista. E ancora meno per Keplero o Newton. La matematica, eterna e consustanziale a Dio, è una sorta di demiurgo, il mezzo con cui Dio crea e si relazione al mondo. Lo spazio in Newton ad esempio non è solo un ente geometrico ma molto di più. E' il sensorio di Dio, una parte di Dio, Dio stesso. L'immagine è quella di "Dio geometra (matematico)" o anche di "Dio musicista". Certo si tratta di una lettura di tipo mistico-pitagorico. Può non piacerci. Ma la scienza moderna si pone proprio in una tradizione archimedeo-pitagorica e in questi autori il mondo fisico e quello matematico non sono separati e distinti tra loro. Una curva è sia un oggetto geometrico che fisico. La leva è uno strumento sia fisico che matematico. E cosa sono le forze, i campi, le particelle della fisica?

Dire che *la matematica è il linguaggio della scienza* non è allora errato, a condizione però di non avere del linguaggio (anche matematico) una idea strumentale e convenzionalistica, ma riconoscere in esso la costituzione di una determinata *concezione del mondo* e quindi di un determinato tipo di *esperienza,* così che il metodo scientifico non è tanto alla fine qualcosa da *applicare* alla matematica e nemmeno *esterno* ad essa, ma esso trova piuttosto proprio nella matematica le sue stesse specifiche condizioni e forme di esistenza.

Allora perché la matematica piace così tanto agli scienziati? Forse una risposta possibile è semplicemente perché la matematica è essa stessa una scienza. Anzi, perché, come direbbe il buon Gauss, *La matematica è la regina delle scienze!*

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento a L. Borzacchini per le utili discussioni sul tema e per aver letto una bozza iniziale dell'articolo proponendo numerosi miglioramenti.

References

[1] Boncinelli E., Bottazzini,U. (2000). La Serva Padrona, Raffaello Cortina Editore.

[2] Borzacchini L. (2005). Il Computer di Platone, Dedalo Editore.

[3] Borzacchini L. (2009). Il Computer di Ockham, Dedalo Editore.

[4] Borzacchini L. (2015). Il Computer di Kant, Dedalo Editore.

[5] Borzacchini L. (2016). La Scienza di Francesco, Dedalo Editore.

[6] Borzacchini L. (2019). La Solitudine di Leonardo, Dedalo Editore.

[7] Bramanti M. (2003). Che cos'è la Matematica, ovvero perché la matematica può piacere, Emmeciquadro 17, 38-48.

[8] Carbonaro B. (2012). La Probabilità nello sviluppo della scienza

secondo Karl Popper, Mathesis Periodico di Matematiche 1, 50-62.

[9] Carbonaro B., De Rosa C. (2013). La Probabilità nello sviluppo della scienza secondo Karl Popper II, Mathesis Periodico di Matematiche 1, 75-86.

[10] Dalla Chiara M. L., Toraldo di Francia G. (2000). Introduzione alla Filosofia della Scienza, Laterza Editore.

[11] Du Sautoy M. (2005). L'Enigma dei Numeri Primi, Rizzoli Editore.

[12] Giusti E. (1999). Ipotesi sulla Natura degli Oggetti Matematici, Boringhieri Editore.

[13] Granieri L. (2015). Dio c'è e la Scienza..., LaDotta Editore.

[14] Granieri L. (2004). Paradossi, Ulisse SISSA Bibiloteca dei 500, Trieste.

[15] Granieri L. (2016). Per definizione, AIRInforma.

[16] Granieri L. (2016). Essere o non essere, questo è il problema! Scienze e Ricerche 24, 71-74.

[17] Granieri L. (2016). Pi-Greco & Company, Mahesis Periodico di Matematiche 3, 9-16.

[18] Israel G. (2003). Scienza pura e applicata nell'ultimo trentennio: una

trasformazione radicale, LLULL Revista de la Sociedad Espanola de Historia delas Ciencias y de las Tecnicas 26, 859-888.

[19] Israel G. (1996). La Visione Matematica della Realtà, Laterza Editore.

[20] Losee J. (2009). Filosofia della Scienza, Il Saggiatore Editore.

[21] Russo L. (1996). La rivoluzione dimenticata, Feltrinelli Editore.

[22] Stewart I. (2018). I Numeri Uno, Einaudi Editore.

[23] Veronesi C. (2015). Fisica senza Matematica: è possibile? MATEpristem.

[24] Wigner E. P. (2017). L'Irragionevole Efficacia della Matematica nelle Scienze Naturali, Adelphi Editore.