UNIVERSITÀ DEGLI STUDI CA' FOSCARI DI VENEZIA

DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA E BENI CULTURALI

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE FILOSOFICHE

Sulla possibilità di un'ontologia degli enti matematici

Relatore:
Ch.mo Professore Pietro Daniel Omodeo

Laureando:
Mattia Benedetti
Matricola 887374

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Tesi Magistrale in Scienze Filosofiche, A.A 2021/2022

Mattia Benedetti, matricola 887374

Relatore: Professor Pietro Daniel Omodeo

Titolo: Sulla possibilità di un'ontologia degli enti matematici

Indice

Introduzione

Abstract: In questo lavoro di tesi mi sono proposto di indagare la possibilità di un'ontologia degli enti matematici, con particolare riferimento al loro valore nelle teorie scientifiche. A questo proposito, ho cercato di individuare nella storia della scienza casi che possano soddisfare le caratteristiche di astrazione e valore esplicativo tali da poter considerare gli enti matematici come dotati di effettivo valore ontologico. Ho poi esaminato il dibattito attualmente ancora vigente in filosofia della scienza tra le tesi realiste ed antirealiste che dibattono su questa particolare questione, nota come l'Indispensability Argument, traendo alcune conclusioni sull'associazione che viene effettuata dai maggiori esponenti della controversia (Baker, Colyvan, Melia), che lega un impegno ontologico nei confronti di un ente e il valore esplicativo dell'ente stesso . È dunque sul piano della loro capacità esplicativa che esaminerò di conseguenza alcune teorie scientifiche ed in particolare i modelli matematici che sono adottati dalla comunità scientifica come rappresentazioni del reale, allo scopo di osservare se tali rappresentazioni astratte hanno effettivamente potere esplicativo al di là del piano matematico, e se possono illuminarci sulla natura delle entità e delle leggi che assumono come costituenti (ad esempio in ambito fisico, ma anche biologico).

La matematizzazione delle scienze è un fenomeno che ha investito ogni ramo del nostro sapere, in un processo progressivo oramai secolare il quale ha riguardato la maggior parte delle discipline, sia quelle che sono considerate scientifiche in senso pragmatico, ovvero che Comte definirebbe positive, sia quelle che hanno uno statuto scientifico più moderno, come le scienze sociali, economiche e psicologiche.

Questo processo, che è in atto dal Rinascimento in forma riconoscibile, è tuttavia molto più antico, e si rifà alle tradizioni pitagoriche e, successivamente, platoniche, che, pur con le approssimazioni e inesattezze legate alla inadeguatezza delle conoscenze del tempo, hanno prodotto nella culla della civiltà greca un paradigmatico sistema di conoscenze con un altissimo grado di astrazione. Damerow, nel suo importante testo *Abstraction and Representation*, arriva persino ad analizzare il sistema aritmetico della società mesopotamica, e offre un incredibile scorcio della storia dell'evoluzione del pensiero logico, matematico ed astratto, con un peculiare interesse epistemologico nei confronti della pedagogia e della formazione infantile del pensiero matematico.

Ma non è una storia della matematica lo scopo di questo mio lavoro, anche se tocca in maniera collaterale il percorso che le scienze hanno compiuto durante il loro processo di evoluzione fino alla forma che oggi hanno assunto come caratteristica; il punto focale che questo testo vuole trasmettere è una analisi del concetto di astrazione dei concetti matematici in ambito scientifico. Questa espressione merita di essere spiegata, poiché essa è importante, dal punto di vista del filosofo della scienza, per comprendere il *modus operandi* delle scienze moderne, e come la filosofia si è approcciata a esse.

Il compito del filosofo della scienza, per come lo interpreto, è più simile a come era percepito presso la scuola neokantiana che presso i neopositivisti logici: si tratta infatti studiare a fondo e con spirito critico il modo di operare, i sistemi di pensiero emergenti, la comunità e i valori che le nostre scienze costituiscono attorno a sé stesse allo scopo di comprenderne il funzionamento, e di domandarsi continuamente "*perché questo o quello è considerato scientifico?*"

Non si tratta di un compito performativo, e non offre in nessun modo una direzione al modo di operare scientifico, è un ruolo di critica positiva e comprensione, dal punto di vista filosofico, delle condizioni di possibilità della scienza, e della sua evoluzione all'interno della nostra storia. Un compito che, pur essendo relativamente recente nella storia delle filosofie, deve, per sua propria natura, coprire l'interezza del percorso scientifico della nostra storia, e segnalare le tendenze così come presentire il possibile futuro di siffatte discipline. Fra le tendenze emergenti in tutte le branche della scienza moderna, e che dipende strettamente dalla sua sempre crescente onnicomprensività è il legame con la matematica, ed in particolare, con la struttura a modelli che caratterizza questo legame.

Le discipline matematiche si sono fatte sempre più essenziali ad una scienza che diventa sempre più astratta, che si permette di elaborare teorie su ipotesi ancora in parte tecnicamente indimostrabili, che abbandona il materiale ed il generale, per dirla con Bachelard, per focalizzarsi sull'estremamente particolare ed astratto.

La questione che, filosoficamente, viene naturale sollevare riguarda due punti: la legittimità di un tale processo, ovvero l'abbandono crescente del dato osservato per focalizzarsi sul dato calcolabile, e lo statuto che queste entità di cui la scienza fa così largo uso da un punto di vista ontologico.

È qui importante notare che queste domande *non* sono un problema scientifico; il singolo scienziato, e nemmeno la comunità degli scienziati, è interessata né tantomeno dovrebbe interessarsi a una tale questione. A meno che non sia anche filosofo, lo scienziato non ha interesse a interrogarsi sul valore ontologico o epistemologico delle unità che tratta; esse sono mezzi per raggiungere un obiettivo e completare un lavoro. Questa questione non ha rilevanza dal punto di vista scientifico, poiché i risultati che trova la scienza, se ottenuti correttamente, *funzionano.* Nonostante si possa obiettare che la scienza trova i risultati che vuole poiché i suoi strumenti sono creati allo scopo di recepire determinati tipi di dati e di risposte, e c'è chi ha seguito questa linea d'indagine, il problema non sussiste per lo scienziato; è un problema di natura prettamente filosofica.

La mia indagine parte quindi propriamente da questo punto: data la crescente importanza data all'astrazione nella scienza, e verificato il collegamento di questa prevalenza con una continua modellizzazione matematica delle teorie scientifiche, ci si chiede quale sia l'interpretazione filosofica da dare a questo processo; cosa si possa imparare, che genere di lezioni si possano trarre, che conseguenze filosofiche questo tipo di azione comporti per la nostra comprensione della scienza. Il mio lavoro è diviso in tre parti, che hanno tre diversi obiettivi ma che si susseguono logicamente allo scopo dell'elaborazione della tesi che voglio sostenere.

La prima parte, necessaria, ha lo scopo di stabilire storicamente il legame appena discusso tra astrazione scientifica e matematizzazione della conoscenza: dico necessaria perché penso sia importante avere un chiaro quadro di riferimento, nonché esempi concreti a portata di mano, della tesi di partenza, affinché la discussione sia ancorata in maniera specifica a eventi e teorie che possano rappresentare bene il problema che si andrà ad affrontare. In questa sezione cercherò di esporre un ventaglio il più possibile diversificato di esempi che possano riferirsi a diverse scienze, e non solamente alla fisica, che è l'esempio più scontato: proprio per questo ho scelto di percorrere sia una linea del tempo storica che interdisciplinare, cercando di mostrare un filo rosso comune, un *leitmotiv* che leghi l'ottica, la teoria della luce, la scienza economica, l'elettromagnetismo, l'astronomia. Un percorso che è reso coerentemente unitario, come si potrà osservare, dal progressivo abbandono di una visione generale-qualitativa a favore di una particolare-quantitativa; il mezzo tecnico attraverso cui è avvenuta la trasformazione è, appunto, l'astrazione matematica.

La seconda sezione verte invece su una discussione molto attuale, prettamente filosofica, e di natura ontologica. Dato come punto di partenza la filosofia della scienza della fine del Novecento e degli inizi del duemila, questo capitolo ha lo scopo di calare il lettore direttamente nel dibattito tra realismo e antirealismo scientifico, ovvero sulla disputa ontologica riguardante le entità che la scienza utilizza nelle sue teorie, e che sono per loro natura inosservabili.

Nonostante la disputa sia di per sé estremamente interessante e più vasta dell'ambito in cui mi andrò a concentrare, ho deciso consciamente di circoscrivere la mia indagine a uno specifico settore, ovvero la discussione attorno allo statuto ontologico degli enti matematici.

Il campo suddetto è ricco di spunti, e il dibattito, inizialmente scaturito come una sterile discussione impregnata di olismo quineano, si è trasformata rapidamente in tempi contemporanei in un fertile terreno di confronto su questioni realmente essenziali quali il potere esplicativo della scienza, rilevato in particolare nei confronti delle discipline matematiche, e sul significato, collegato alla possibilità ontologica delle entità che le formano, di una spiegazione scientifica. Questa sezione del lavoro fa riferimento alla ricerca di un cospicuo numero di moderni studiosi i cui confronti sono documentati da una serie di articoli direttamente collegati gli uni con gli altri, che offrono uno stimolante scorcio sul funzionamento operante di una comunità filosofica decisa ad investigare con forza uno specifico tema.

La terza sezione di questo testo tenterà di collegare le due analisi precedentemente illustrate allo scopo principale di una la tentativa costruzione di un metodo applicativo, dal punto di vista filosofico, delle conclusioni raggiunte sul problema dell'ontologia degli enti matematici. A questo proposito, esaminerò con attenzione il lavoro propositivo di Hacking, ovvero la parte interveniente di *Representing and Intervening*, così come la prospettiva sociale e scientifica presentata da Damerow, allo scopo di considerare due esempi di come l'approccio filosofico alle questioni scientifiche può essere sviluppato.

Ciò premesso, discutere di questo genere di argomenti comporta sempre qualche rischio; la letteratura a riguardo è vasta e arriva fino all'attualità; spesso è frammentata in singoli articoli che rispondono direttamente alle tesi presentate in documenti precedenti; ho fatto del mio meglio per ricostruire in maniera fruibile al lettore la maggior parte di questo dibattito, anche se i rimandi sono spesso estesi e toccano diversi autori. Poiché il tema che vado a trattare è ancora attualmente discusso, le conclusioni che si vogliono trarre da questo lavoro sono tutt'altro che definitive; alcuni punti particolari sono, infatti, ancora soggetti a discussione fra filosofi, e non ho la pretesa di risolverli autonomamente. Spero invece di offrire il più possibile una visione completa del dibattito in corso, e di contribuire a esso in maniera produttiva, anche se limitata.

Capitolo I:
Cenni storici sulla matematizzazione delle scienze

Allo scopo di porre un corretto fondamento alla mia ricerca, in questo capitolo mi sono prefisso di ricostruire una storia della matematizzazione delle scienze, naturali ed antropologiche, per dimostrare la lenta ma costante ascesa del pensiero astratto all'interno di queste discipline, che si sono elevate dal fenomeno bruto per proporre modelli sempre più complessi e puntuali della rappresentazione del mondo. L'idea di associare la matematica alle scienze della natura non è certo nuova, e le regolarità riscontrate negli eventi e nei fenomeni naturali hanno portato a una ricerca all'interno del sapere matematico volta principalmente a tre scopi: la misurazione, la predizione e l'unificazione delle teorie. Se anche lo spirito pre-scientifico è in grado di studiare metodiche per comprendere la ripetizione dei fenomeni della natura, è solo con l'avvento di un sistema propriamente scientifico che queste metodiche sono studiate in profondità, viene attribuito loro un fine per un programma di ricerca, e la loro necessità viene radicalmente spostata dall'immanenza del fatto, o dell'esperimento, per essere studiata propriamente come entità astratta.

In questo primo capitolo, dunque, analizzerò questo continuo ma inesorabile processo di astrazione, che per alcune discipline è stato svolto autonomamente e senza bisogno di suggestioni dall'esterno, e ha funzionato tanto bene che si è provato, con incredibile successo, a innestarlo nell'albero del sapere di altre discipline, che ne hanno tratto spesso stupefacenti risultati. L'esame sarà svolto nell'ambito della fisica, dell'aritmetica a fini commerciali, della biologia e di altre materie scientifiche.

Questi diversi esempi che ho scelto per rappresentare la storia dell'astrazione sono tra di loro scollegati, nulla di più di tentativi; gli autori e gli studiosi che hanno scritto su questi temi spesso non avevano l'idea di contribuire a un lungo percorso di modificazione del pensiero scientifico dell'umanità, e le loro ricerche si focalizzano spesso sull'utile, e su una forte convinzione o presentimento che una determinata caratteristica di un fenomeno, o le regolarità che essi hanno riscontrato abbiano profondi effetti sul reale, e che ci sia necessariamente qualcosa che determina l'agire della natura.

È del resto fin troppo presente a noi lettori moderni l'affermazione di Galileo che il libro della natura sia scritto in caratteri matematici, ed è questa la convinzione pressante anche di autori sempre più vicini a noi nel corso della storia; allo scopo di comprendere la struttura delle scienze, è necessario scoprirne le leggi, formulate come regole della matematica e della natura in grado di svelare i principi nascosti, la regolarità intrinseca dell'universo. Nonostante sia passata molta acqua sotto i ponti e il modello meccanicistico della natura abbia subito forti critiche fino ad essere completamente abbandonato, a tutt'oggi, nella scienza moderna, teorie e modelli di natura matematica sono il linguaggio in cui sono scritte le nostre leggi scientifiche, a dimostrazione del fatto che la scienza e la sua comunità operante non hanno mai abbandonato del tutto questa idea della completa astrazione, e che il linguaggio matematico sia di per sé lo strumento di unificazione delle più disparate eventualità del reale.

Spero che, al termine del capitolo, sarò riuscito a illustrare la genesi di questo processo, dal suo stadio embrionale fino a dibattiti più recenti che dimostrano il costante interesse verso questo modello di scienza.

1.1. L'Algebra di Bombelli e la separazione dal concetto di *naturae* algebriche

Il periodo del Rinascimento vede numerose innovazioni dal punto di vista tecnico e scientifico, sviluppate in particolare in relazione alle nuove suggestioni e ai bisogni di un mondo in espansione economica sempre crescente; e dal punto di vista matematico il principale motore per lo sviluppo dell'aritmetica e della scienza matematica è stata la crescita commerciale che ha investito il mondo tardo medioevale e dei primi del Rinascimento, con l'apertura di nuove rotte di scambio, una crescita economica e urbanistica notevole, abbinata a un aumento conseguente della popolazione.

In particolare, la scuola italiana di aritmetica fa riferimento al *Liber Abaci* (1202), il documento creato da Leonardo Pisano (Fibonacci), che dopo aver viaggiato attraverso il Mediterraneo introduce per la prima volta in Italia il metodo di scrittura dei numeri arabi; questa tecnica di notazione, per sua propria natura, semplifica i calcoli e permette di risolvere più facilmente problemi dell'aritmetica così come della geometria rispetto al sistema di notazione romano.

Il libro era decisamente prematuro per il suo tempo, e fu solo parecchi anni dopo la sua pubblicazione che si assistette al lento ma costante progredire della scienza dei cosiddetti maestri d'abaco, figure di medio livello di istruzione (il maestro d'abaco aveva all’incirca lo stesso status culturale di un grammatico del tempo) fino a sviluppare e risolvere problemi matematici di natura estremamente astratta.

L’insegnamento dei maestri d’abaco, che è documentato in numerose scuole, verteva principalmente su problemi di ordine commerciale e di aritmetica basilare, ed era per questo considerato una dottrina “bassa”, utile ad una professione, ma non paragonabile alle arti nobili, come la grammatica o la teologia.

È tuttavia in questo periodo che cominciamo a intravedere i primi segni da parte dei maestri d’abaco dello spostamento verso un’area della matematica che ha a che fare con l’ideale e con l’astrazione. I primi tentativi di risolvere le equazioni con incognita, la nostra attuale x definita dai maestri come “*tanto*”, partono dal basso medioevo, ed arrivano fino agli esperimenti di risoluzione per casi particolari delle equazioni di terzo grado da parte del veneziano Maestro Dardi, che nel suo testo *Aliabraa Argibra* illustra i casi in cui $(x - a)^3 = b$. [1]

Sarà necessario attendere Girolamo Cardano, nella metà del sedicesimo secolo, perché sia possibile risolvere la maggior parte delle equazioni cubiche; ciò è documentato nella sua *Ars Magna*, nella quale gran parte del lavoro è dovuto alle scoperte geometriche della scuola araba, in particolare al-Khwarizmi, che Cardano ringrazia all’inizio del suo primo capitolo, insieme agli altri autori che hanno rappresentato le sue altre ispirazioni e predecessori:

> “Questa arte nasce con Maometto, figlio di Mosè l’Arabo. Leonardo da Pisa è una fonte affidabile che riporta tale informazione. [...] Molto tempo dopo, tre proposizioni derivate vennero aggiunte a queste. Si è incerti sull’autore di queste ultime, anche se vennero riunite con quelle principali da Luca Pacioli. Ai giorni nostri, Scipione del Ferro di Bologna ha risolto il caso del cubo e della prima potenza che eguagliano una costante, un risultato ammirabile ed elegante"[2]

In queste iniziali fasi della sua opera, ricostruendo la storia delle tentative risposte alle domande delle equazioni di terzo grado, Cardano conferma il passaggio della storia dell’aritmetica italiana, trasmessa dagli arabi alle scuole di abaco commerciali, fino alle università (Scipione del Ferro era professore universitario a Bologna). Tuttavia, Cardano, nelle sue tredici regole per risolvere i cubi nella formula

[1] cfr. Maestro Dardi, 2001, Aliabraa Argibra dal manoscritto I.VII.17 della Biblioteca Comunale di Siena: Quaderno del Centro Studi della Matematica Medioevale no. 26 edito da Raffaele Franci, Siena.
[2] Cardano, G. 1545, in *Ars Magna sive de regulis algebraicis.*

$y^3 + px + q = 0$ si trova a fronteggiare il problema delle radici cubiche di numeri negativi, che seguendo pedissequamente il suo metodo diventano problemi insormontabili, ma che Cardano è sicuro esistano e siano reali poiché il discriminante che deriva da ognuna dalle sue equazioni è un numero reale e distinto; ciò impedisce di classificare l'intera equazione come impossibile.

Il problema delle radici dei numeri negativi viene risolto per la prima volta nel documento noto come l'*Algebra* di Raffaele Bombelli, un lavoro del 1572. Questo testo è stato oggetto di un ottimo studio da parte di Roy Wagner, che, in un suo articolo del 2010, si propone di affrontare il contesto relativo all'*Algebra* di Bombelli, per illustrare come l'emergenza dell'algebra letterale e i suoi fantastici risultati, quali per la prima volta l'uso di radici di numeri negativi per trovare una soluzione reale di una equazione polinomiale con coefficienti interi, dovesse essere generata proprio nel periodo e nel luogo in cui è avvenuta:

> "Il contesto della mia analisi del lavoro di Bombelli è la tradizione volgare di scuola d'abaco sviluppatasi per due secoli, da un periodo nel quale "quasi tutti i problemi che erano svolti nella maniera della scuola d'abaco erano risolti con la regola dei tre[3]" alle soluzioni rinascimentali dell'equazione cubica e alla potenza di quattro, e dai maestri d'abaco, che insegnavano matematica elementare ai figli di mercanti, fino a studiosi umanisti. Il mio scopo è di ritrovare la pratica dei segni matematici attraverso l'algebra volgare italiana per spiegare l'emergenza dell'algebra quasi simbolica di Bombelli``[4]

Il lavoro di Bombelli, commenta l'autore, segue una lunga linea di tradizione di maestri d'abaco, non solo seguendo il metodo della loro esposizione, ma spesso anche la loro terminologia nonché notazione.

In particolare, l'autore rinascimentale fa affidamento su una serie di nozioni pregresse provenienti dall'ambito commerciale e bancario per trattare di problemi

---

[3] Wagner si riferisce qui alla regola dei tre, secondo la quale, se quattro numeri sono in una relazione proporzionale, tre termini possono essere usati per trovare il quarto moltiplicando il secondo e terzo termine, e dividendo il risultato per il primo [$a : b = c : d$ veniva risolto con $d = bc/a$]

[4] Wagner, R. 2010, "The Natures of Numbers in and around Bombelli's L'Algebra", in *Arch. Hist. Exact Sci.* 64:485-523, Springer-Verlag. "The context for my analysis of Bombelli's work is the vernacular abbacus tradition spanning across two centuries, from a time where "almost all problems that are done in the abbacus way reduce to the rule of three" to the Renaissance solution of the cubic and quartic equations, and from the abbacus masters, who taught elementary mathematics to merchant children, through to humanist scholars. My purpose is to track down sign practices through vernacular Italian algebra to account for the emergence of Bombelli's almost-symbolic algebra."

algebrici; Bombelli infatti assegna ai numeri una determinata *natura*, che si può facilmente trasporre nel mondo dell'economia come una determinata quantità di misura. Egli considera, infatti, la differenza tra un radicale e un numero intero come se fossero quantità dotate di una diversa unità di misura, ovvero, come commenta Wagner, come se fossero ad esempio monete di valuta diversa.

Il processo che permette a Bombelli di razionalizzare, di ridurre a una stessa natura, radicali e interi è lo stesso che permette a un mercante di gestire equivalenze tra *libre* e *soldi.*

Il concetto ontologico di *natura* di un numero, che porta a suddividere in sezioni l'aritmetica, diventa sempre più sfocato mentre un processo di omogeneizzazione viene attuato in maniera seriale, rendendo il concetto di quantità più fluido, e, di conseguenza, sempre più irrilevante.

Con il costante studio della matematica nelle aule universitarie italiane e nelle scuole d'abaco, l'algebra viene separata sia dalla sua componente ontologica, che suddivide le quantità in *naturae*, sia dalla sua componente pratica commerciale, dove, in successivi trattati di aritmetica, i problemi sono continuamente riproposti, ma le unità che li definiscono sono cambiate a piacimento:

> "Quindi, ad esempio, Paolo dell'Abaco poteva porre un problema riguardante la ricchezza di una persona facoltosa composto indifferentemente di bizanti o fiorini (Paolo 1964, 140), Benedetto scambiò indifferentemente giudei e mori per indicare coloro che dovevano essere ingannati ad abbandonare la nave e lasciare i cristiani sicuri a bordo (Benedetto 1974, 143), e Jacopo non si interessò per nulla di considerare se il suo problema di pavimentazione riguardasse una grande stanza, una piazza o una casa, e usò ognuno di questi termini nella cornice di un singolo problema (Høyrup 2007, 276)"[5]

Questa continua operazione di cambiamento prepara il terreno all'algebra rinascimentale per introdurre il concetto di variabile, che, pur in modo ancora stentato, si comincia ad intravvedere sia in Cardano che in Bombelli.

---

[5] Ibid. "Thus, for example, Paolo dell'Abbaco could pose a question about the treasure of a rich person composed indifferently of bisanti or fiorini (Paolo 1964, 140), Benedetto switched between giudei and mori to name those who should be tricked into abandoning ship and leave the Christians safely on board (Benedetto 1974, 143), and Jacopo could not care less if his paving question concerned a large room, a piazza or a house, and used all in the framework of a single problem (Høyrup 2007, 276)"

Nonostante questa concezione sia solo agli albori, e chi ne tratti abbia un'idea nebulosa del suo funzionamento, la matematizzazione dell'ignoto, del variabile, è in effetti il primo passo per permettere la completa astrazione del numero in sé; questo non è più visto come natura, ma la sua possibilità di essere trasformato permette l'organizzazione di una conoscenza in base alla similitudine delle regole che governano i problemi, che si traduce in una concezione ontologica scomoda e spesso mal spiegata. Tuttavia, in maniera tipicamente rinascimentale, il concetto di natura non viene abbandonato, e lavora in un sincretismo spesso sconcertante con le nuove proposte di omogeneizzazione, che spesso sono date come scontate o come regole da applicare senza nemmeno una chiara idea del perché vengano applicate; il processo non giunge ancora del tutto alla sua radicale conclusione, ovvero una completa deontologizzazione della matematica, una separazione completa tra ente e variabile. Viene tuttavia sempre di più a crearsi una dimensione dove il numero puro è separato dalla sua materialità, ed acquisisce un significato che non è più naturale, ma astratto.

1.2. La matematizzazione della natura in Galileo

È luogo comune considerare Galileo Galilei come il padre della fisica moderna, fondatore del suo metodo scientifico, e l'inventore del telescopio. La prospettiva che getta sulla fisica moderna è tuttavia ben più ampia, e sfugge a coloro che vorrebbero semplicemente ascrivere la sua genialità a brillanti sperimentazioni, che certamente eseguì; tuttavia, coloro che sottolineano questo aspetto mancano di mettere in evidenza come egli crei il punto di contatto che unisce la natura, ovvero il mondo dei dati osservati, alla teoria matematica. La rivoluzione che egli effettua sta soprattutto in un nuovo modo di considerare la scienza, una scienza che ricerca le prove della propria correttezza all'interno di una struttura matematica del mondo, che fino ad allora non era solo non scontata, ma attivamente negata.

Sappiamo dal suo *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi*, in cui Simplicio figura come l'esponente della dottrina aristotelica, che una spiegazione matematica dei fenomeni non era considerata particolarmente stringente:

> “SIMP: Io non dirò che questa vostra ragione non possa esser concludente, ma dirò bene con Aristotile che nelle cose naturali non si deve sempre ricercare una necessità di dimostrazion matematica”[6]

La struttura della scienza aristotelica, infatti, negava uno stretto contatto tra le figure geometriche, ritenute come ideali, e le figure reali del mondo, che erano viste qualitativamente. Galileo risponde all’obiezione del suo Simplicio nell’introduzione al lettore con la stessa metodologia con la quale ha seguito le orme di Copernico:

> “A questo fine ho presa nel discorso la parte Copernicana, procedendo in pura ipotesi matematica, cercando per ogni strada artificiosa di rappresentarla superiore, non a quella della fermezza della Terra assolutamente, ma secondo che si difende da alcuni che, di professione Peripatetici [..], non filosofando con l’avvertenza propria, ma con solo memoria di quattro principi mal intesi”[7]

Da questo passaggio è facile evincere come, nella struttura aristotelica della scienza, le discipline della matematica fossero considerate come non applicabili alle vicende del reale, e spiegazioni di altro genere erano preferibilmente utilizzate. È in questo ambito che il mio interesse viene attratto dal lavoro di Alexandre Koyré, che esplicita una distinzione che dovrebbe essere premessa fin dal principio: Galileo chiaramente non è aristotelico, ma la sua scienza affonda in radici platoniche.

L’evidenza di questa affermazione dovrebbe risultare da una serie di fattori, primo tra tutti che Galileo stesso abbia scritto in forma dialogica le sue opere di divulgazione, nonché per la rilevanza che egli conferisce alla matematica; se Simplicio nel Dialogo sopra i due Massimi Sistemi lo accusa di pitagorismo, Salviati, il personaggio che parla per Galileo nel dialogo ed espone la sua dottrina copernicana, risponde facendo notare come l’importanza attribuita alla natura dei numeri fosse propria anche di Platone stesso:

> “SIMP: Par che voi pigliate per ischerzo queste ragioni: e pure è tutta dottrina de i Pittagorici, i quali tanto attribuivano a i numeri; e voi, che sete matematico, e credo anco, in molte opinioni filosofo Pittagorico, pare che ora disprezziate i lor misteri.

---

[6] Galilei, G. 1970, in *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, a cura di Sosio Libero, Einaudi, Torino

[7] Ibid.

SALV: Che i Pittagorici avessero in somma stima la scienza de i numeri, e che Platone stesso ammirasse l'intelletto umano e lo stimasse partecipe di divinità solo per l'intender egli la natura de' numeri, io benissimo lo so, né sarei lontano dal farne l'istesso giudizio"[8]

La natura della matematizzazione galileiana della natura è, tuttavia, come considera Koyré, unica in quanto non nata dalla presenza di aporie all'interno della scienza aristotelica: pur apprezzando la superiorità del sistema galileiano, egli afferma che la coerenza interna del metodo aristotelico non era particolarmente erronea, ed, in alcuni punti, addirittura sensibile:

"Nella natura reale non ci sono cerchi, o triangoli, o linee dritte. È di conseguenza inutile imparare il linguaggio delle figure matematiche: il libro della Natura, a dispetto di Galileo e Platone, non è scritto per loro. Infatti, non è solo inutile, ma anche pericoloso: più una mente è abituata alla precisione e alla rigidità del pensiero geometrico, meno sarà in grado di afferrare la mobile, cangiante, qualitativamente determinata varietà dell'essere. Questa attitudine dell'aristotelico è molto lontana dall'essere ridicola. Almeno a me, pare perfettamente sensibile"[9]

Echeggia qui il germe dell'incommensurabilità di due paradigmi scientifici, identificato poi meglio da Kuhn nella sua Struttura delle Rivoluzioni Scientifiche; secondo l'autore il cambio di paradigma è creato da un crescente senso di inadeguatezza del vecchio sistema, nei confronti di un numero crescente di aporie e indeterminazioni che favoriscono la ricerca di un nuovo metodo di osservazione del mondo; tuttavia, sempre secondo Kuhn, il cambio di paradigma non sarebbe un 'miglioramento' della nostra conoscenza, ma solamente un alternativo metodo di esplicitarla[10].

Koyré nuovamente analizza in maniera precisa il problema, indicando come causa evidente del fallimento del sistema aristotelico-tolemaico la struttura cosmologica dell'ultimo; se, infatti, è vero che sia difficile individuare le regolarità matematiche sul

[8] Ibid.

[9] Koyré, A. 1943, "Galileo and Plato" in *Journal of the History of Ideas*, Vol. 4 No. 4, pp. 400-428, University of Pennsylvania Press. "In real nature there are no circles, no triangles, no straight lines. Therefore it is useless to learn the language of mathematica figures: the book of Nature, in spite of Galileo and Plato, is not written for them. In fact, it is not only useless, it is dangerous: the more a mind is accustomed to the precision and rigidity of geometrical thought, the less it will be able to grasp the mobile, changing, qualitatively determined variety of being. This attitude of the Aristotelian is very far from being ridiculous. To me, at least, it seems perfectly sensible."

[10] cfr Kuhn, T. 2009, in *La Struttura delle Rivoluzioni Scientifiche*, traduzione di Adriano Carugo, Einaudi

piano terreno, dove l'irregolarità e la particolarità la fanno da padrone per via della vicinanza con l'oggetto osservato, altrettanto non si può dire della scienza del cielo, dove i moti sono più facilmente associabili a figure geometriche per via della esplicita distanza dal fenomeno.

Non è un caso, dunque, che il fallimento del sistema aristotelico e la genesi della fisica moderna sia iniziata con l'astronomia, e con l'invenzione ed il miglioramento del telescopio, e con i conseguenti studi di ottica, una disciplina che sarebbe poi stata sviluppata ancora meglio da Cartesio e successivamente da Newton.

Nonostante King sostenga che *"Galileo pubblicò i risultati delle sue osservazioni in un piccolo lavoro chiamato il Sidereus Nuncius [...] Galileo si accontenta di esplicitare i fatti bruti delle sue osservazioni, lasciandoli privi di una relazione con le idee copernicane*"[11], la sicurezza con cui Galileo discredita il modello aristotelico e di conseguenza lo status quo religioso sottolinea una convinzione sottostante più forte della semplice osservazione. Si può dire infatti che King sottovaluti, in una lettura semplicemente storica dei fatti, di considerare quanto l'idea di un'osservazione dei satelliti di Giove supportasse la convinzione di un cosmo pluricentrico.

Il metodo scientifico da lui sviluppato nei suoi esperimenti rappresenta una prova tangibile della sicurezza con la quale i suoi calcoli matematici dovessero necessariamente confrontarsi con il reale: "*La nuova scienza è, per lui, una prova sperimentale del platonismo*"[12].

È importante notare che Koyré ritiene, dunque, che non sia l'osservazione a fornire a Galileo le basi per sostenere con sicurezza un innovativo principio matematico sul quale fondare una nuova scienza; è la sicurezza dei calcoli, che vengono ritrovati, poi, nel grande libro della natura, a dare l'impulso a Galileo nel mettere alla prova la sua nuova scienza con il mondo del reale:

> "La filosofia è scritta in questo grandissimo libro, che continuamente ci sta aperto dinanzi agli occhi, ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua

[11] King, H.C. 2016, in *The History of the Telescope*, Dover, Mineola, New York. "Galileo published the results of his observations in a small work called the Sidereus Nuncius […] Galileo was content to state the bare facts of his observations, leaving them unrelated to Copernican ideas"

[12] Koyré, A. 1943, "Galileo and Plato" in *Journal of the History of Ideas*, Vol. 4 No. 4, pp. 400-428, University of Pennsylvania Press. "The new science is for him an experimental proof for Platonism"

matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezi è impossibile a intenderne umanamente parola"[13]

1.2.1 *Il platonismo di Galileo come modello scientifico*

Considerato come assodato il platonismo di Galileo Galilei, unito con una buona dose di atomismo[14], viene naturale chiedersi quali siano le differenze del pensiero galileiano con quello platonico in sé e per sé. Del resto, già durante il Rinascimento italiano si erano avute istanze di platonismo per contrasto all'aristotelismo corrente, e diversi studiosi, in maniera più o meno scientifica, avevano adottato istanze platoniche dal punto di vista medico, magico e religioso[15].

Il platonismo di Galileo è tuttavia completamente diverso, come fa notare bene Mattioli rilevando che tipo di struttura platonica Galileo utilizzi:

> "A essere sinceri, per un platonista in senso stretto, sarebbe assurdo applicare la matematica al mondo fisico dato che oggetti ideali e sensibili sono completamente incommensurabili in quell'ottica. Ma questo è precisamente ciò in cui consiste la rivoluzione di Galileo."[16]

Il platonismo di Galileo sembra essere, dunque, applicato al mondo del reale, ma questo non è di per sé completamente corretto; come è stato notato, infatti, la struttura della conoscenza galileiana non suppone immediatamente il dato mondano, ed anzi è forse più corretto assegnare il primato del valore conoscitivo alla conoscenza aprioristica matematica: rileva infatti Koyré che

> "La prova che [una buona fisica sia fatta a priori] sta nel fatto che [...] Simplicio stesso non ha bisogno di ricorrere all'esperienza per riconoscere la verità"[17]

---

[13] Galilei, G. 1953, "Il Saggiatore", in *Opere di Galileo Galilei*, a cura di Ferdinando Flora, Ricciardi.
[14] cfr. Galluzzi, P. 2011, "Tra atomi e indivisibili, la materia ambigua di Galileo", Olschki.
[15] cfr Ficino, M. 1489 "De Vita"
[16] Mattioli, G. 2019 "Galileo, Plato and the Scientific Revolution: The origin of Galileo's Platonism. Thesis in the Historiography of Science", in *Transversal: International Journal for the Historiography of Science*, no. 7, pp. 70-84, Belo Horizonte, Brasil. "To be sure, for a strict Platonist, it would be absurd to apply mathematics to the physical world since ideal and sensible objects are entirely incommensurable in that view. But this is precisely what Galileo's revolution brought about.
[17] Koyré, A. 1978, in *Galileo Studies*, Humanities Press. "The proof that [good physics is done a priori] is in the fact that [...] Simplicio himself does not need to resort to experience to acknowledge the truth"

In altre parole, la verità, in senso peculiarmente platonico, non è giustificata dall'esperimento, ma l'esperimento stesso non è che una conferma della verità matematica sottostante che viene ritrovata poi come regolarità nel dato osservato.[18]

La precedenza che ha, quindi, la verità matematica sulla struttura fisica del mondo è ciò che separa non solo la fisica galileiana dalla scienza aristotelica, ma anche dalla matematica applicata che già era in utilizzo prima di Galileo. In sostanza, l'esperimento diventa la rappresentazione visiva di una certa regolarità che sarebbe comunque vera a priori, e che funge quindi da modello della situazione reale.

Galileo è famoso per avere eseguito esperimenti di enorme successo che 'hanno provato' le sue convinzioni sulle leggi fisiche, ma il metodo con cui sono stati eseguiti questi esperimenti pone in immediata luce l'atteggiamento di Galileo riguardo al reale: gli esperimenti di discesa sul piano inclinato seguono le leggi del moto senonché l'attrito agisce come forza frenante sulla sfera, e lo stesso vale per i corpi in caduta libera: la scoperta delle costanti di attrito avviene come conseguenza della già stabile credenza in una precisa legge del moto e di accelerazione del corpo in caduta libera; se fosse stato altrimenti, si sarebbe cercato probabilmente un altro approccio alla soluzione del problema.

È bene qui fare un confronto che possa rendere l'idea del processo conoscitivo galileiano in confronto a quello dell'epoca: abbiamo notato nella sezione precedente come Cardano, Bombelli ed altri matematici rinascimentali non possedessero la struttura conoscitiva necessaria per sviluppare in maniera completa un'equazione di terzo grado, riuscendo solo, ognuno con i propri metodi particolari, a risolvere casi specifici; mancando la regola generale, che sarebbe stata formulata solamente molto dopo, grazie ad Eulero, i casi particolari mancavano di coesione e di un'unica metodologia di soluzione. Allo stesso modo avrebbe potuto procedere la scienza, che, essendo deficitaria delle leggi generali del moto, avrebbe potuto procedere per casi particolari, giungendo solo molto dopo a una teoria unificante.

È quindi necessario sottolineare, nella visione di Koyré, il cambiamento fondamentale di prospettiva che Galileo opera all'interno della fisica, un cambiamento

---

[18] È qui importante notare che l'interpretazione di Koyré, che seguo per la maggior parte di questo capitolo, è molto polarizzante per quanto riguarda la platonizzazione di Galileo. Se è vero che si può parlare dell'esperimento come come conferma giustificazionista di una verità matematica, non si può tuttavia ignorare il valore dell'esperimento come metodo di scoperta, che è sicuramente presente in Galileo, ma glissato nella concezione di Koyré.

dovuto anche al suo atteggiamento platonico nei confronti della natura, che lo ha portato a credere in una soluzione generale, di natura ideale, e a correggere gli esperimenti da lui stesso effettuati quando individuava una discordanza con quello che l'esperimento avrebbe dovuto testare e dimostrare. Un difetto di questa interpretazione è il trascurare, appunto, il valore sperimentale della scienza Galileiana, e l'importanza del processo di scoperta fornito dall'esperimento.

In un senso più ampio, quindi, non è scorretto parlare di platonismo applicato alla realtà, ma la precedenza che ha la legge matematica rispetto al caso particolare non può essere sottovalutato. Un'altra acuta osservazione effettuata da Koyré riguarda la distinzione che viene a formarsi necessariamente tra qualità e quantità, ovvero tra conoscenza sensibile ed intelligibile:

> "L'aristotelico ha perfettamente ragione. È impossibile fornire una deduzione matematica del concetto di qualità. E sappiamo bene che Galileo, come Cartesio successivamente, e per la stessa ragione, fu obbligato ad abbandonare la nozione di qualità, a dichiararla soggettiva, a esautorarla dal reame della natura. Allo stesso tempo questo implica che fu obbligato ad abbandonare la percezione sensibile come fonte di conoscenza ea proclamare che la conoscenza intellettuale, persino aprioristica, sia il nostro unico e solo metodo di apprendimento dell'essenza del reale"[19]

Questa singola espressione contiene al suo interno la maggior parte della natura della conoscenza scientifica da Galileo in poi, ma anche del tentativo filosofico di trovare una conoscenza effettivamente stabile.

La distinzione che separa, realmente, la scienza moderna dalla scienza antica e rinascimentale è, in fin dei conti, una di incommensurabili unità di misura. Dove la scienza antica individuava la proprietà di un corpo di "esser caldo", la scienza moderna vede una quantità di energia cinetica o una temperatura; avviene, cioè, una riduzione da qualità a quantità. La conoscenza, la vera conoscenza scientifica, viene quindi separata da ciò che è esperito e diventa ciò che può essere misurato.

---

[19] Koyré, A. 1943, "Galileo and Plato" in *Journal of the History of Ideas*, Vol. 4 No. 4, pp. 400-428, University of Pennsylvania Press. "The Aristotelian was perfectly right. It is impossible to furnish a mathematical deduction of quality. And well we know that Galileo, like Descartes somewhat later, and for just the same reason, was forced to drop the notion of quality, to declare it subjective, to ban it from the realm of nature. This at the same time implies that he was obliged to drop sense-perception as the source of knowledge and to proclaim that intellectual, and even a priori knowledge, is our sole and only means of apprehending the essence of the real."

Il sapere scientifico diventa dunque matematizzato, astratto:

> "Il pensiero scientifico è allora spinto a 'costruzioni' più metaforiche che reali, a 'spazi delle configurazioni' di cui lo spazio sensibile non è che, dopotutto, un esempio impoverito. Il ruolo della matematica nella fisica supera quindi decisamente la semplice descrizione geometrica. Il matematico non è più descrittivo, ma formativo. […] Dal momento che il concreto già accetta, dopotutto, l'informazione geometrica ed è correttamente analizzato nell'astrazione, perché non ammettere allora di porre l'astrazione come la pratica normale e feconda dello spirito scientifico?"[20]

È con queste parole che Bachelard introduce alla formazione dello spirito scientifico, di cui i primordi si possono ritrovare, come abbiamo appena notato, nelle concezioni di Galileo. Perché dunque introdurre il concetto di modello in riferimento a Galileo? La risposta è più che mai evidente se si considera come un modello sia sostanzialmente una configurazione 'perfetta', priva di errori, di un qualcosa, nel caso scientifico, di un esperimento o di un fenomeno della natura.

Il modello, quindi, appartiene al reame del platonico ideale, ed è la guida per il pensiero galileiano. Si può certo dire che il platonismo galileiano sia applicato al reale, ma non lo è in verità, e Koyré lo specifica in maniera precisa quando descrive lo spostamento dei corpi in uno spazio infinito; essi non sono infatti corpi reali, "*ma corpi matematici che si muovono in uno spazio matematico*"[21].

Galileo è quindi il primo ad effettuare con successo l'operazione di platonizzazione della scienza, non solo riconducendo la conoscenza scientifica all'esperienza quantitativa piuttosto che qualitativa, ma eliminando la possibilità dell'esperimento come scienza esperita. L'esperimento, infatti, non è parte del metodo scientifico come un atteggiamento curioso ed ingenuo dal quale si traggono risultati sorprendenti, bensì una ricerca di conferma, le cui qualità principali sono la ripetibilità e la precisione. L'esperimento, nella scienza moderna, raramente procede senza una ipotesi teorica da confermare.

Nonostante i Kuhniani sostengano che ci siano state più rivoluzioni scientifiche nel corso della nostra storia, di cui l'ultima è stata il passaggio in fisica dal paradigma

---

[20] Bachelard, G. 1995 in *La Formazione dello Spirito Scientifico: contributo a una psicoanalisi della conoscenza oggettiva*, a cura di Enrico Castelli Gattinara, Raffaello Cortina, Milano.
[21] Koyré, A. 1943, "Galileo and Plato" in *Journal of the History of Ideas*, Vol. 4 No. 4, pp. 400-428, University of Pennsylvania Press. "but mathematical bodies moving in mathematical space"

Newtoniano a quello Einsteiniano (o dal meccanicismo al relativismo), è forse importante notare come l'atteggiamento scientifico non abbia mai effettivamente subito così profonde cesure come dopo Galileo, e come tuttora la fisica Newtoniana funzioni ancora perfettamente per le dimensioni terrestri; in altre parole la rivoluzione inaugurata da Galileo nel completo distacco da un modello aristotelico di scienza in favore di uno spirito di ricerca scientifica, è un paradigma rimasto tuttora immutato, e che semmai è stato solo ampliato.

1.2.2 *La distruzione galileiana del Kosmos*

Abbiamo visto come Koyré abbia operato una netta separazione tra la scienza galileiana e la filosofia aristotelica, tale da fare da spartiacque tra un modello basato sulla percezione qualitativa del reale ed uno basato sull'analisi quantitativa del mondo naturale. Una differenza fondamentale che opera all'interno di queste due percezioni della natura è il concetto di universo che viene a formarsi, o, per dirla con l'autore russo, di *kosmos*.

Il concetto di un universo finito, perfettamente ordinato è, sostiene egli, una delle più durature concezioni derivate dalla filosofia e dallo spirito greco, e perdura completamente fino a Copernico e Galileo: l'universo è infatti costruito per essere perfetto, e ha un fine teleologico nell'essere stato messo a punto apposta per l'uomo. Nel Rinascimento questa credenza si è sposata perfettamente non solo con l'allora dominante religione cristiana, la quale ha trovato in questo nesso teleologico precedente ai testi sacri una giustificazione delle Scritture dal punto di vista scientifico, ma anche con la concezione d'allora, ben descritta da Ficino, dell'uomo come *copula mundi*.

La scienza pre-copernicana fa della perfezione del mondo un assioma, ed in questa mentalità pre-scientifica è, dunque, naturale giustificare l'impulso connettivo delle scienze mediche-alchemiche (che facevano ampio uso, ad esempio, dell'astrologia per curare i malati o per predirne i comportamenti e le diagnosi), in quello che è stata ben descritto dalla massima alchemica "come sopra, così sotto", ad indicare la completa comunione tra l'universo e l'uomo che lo abita; così pure è comprensibile lo sforzo, compiuto dalle scienze fisiche, per assimilare un fenomeno a un altro, per cui un corpo riceve proprietà per similitudine con un altro. Questo spirito sostanziale, che Bachelard individua bene e definisce come

> “l’assemblaggio delle intuizioni più diverse e addirittura delle più opposte fra loro. Per la sua tendenza quasi naturale, lo spirito pre-scientifico blocca su un oggetto tutte le conoscenze in cui questo oggetto svolge un ruolo, senza preoccuparsi della gerarchia dei ruoli empirici. Esso unisce direttamente alla sostanza le diverse qualità, siano esse qualità superficiali o profonde, manifeste od occulte"[22]

può essere compreso solo nella misura in cui è possibile un *kosmos* ordinato.

Dove Bachelard vede solo spirito pre-scientifico, ingenuo, che collega semplicemente le più disparate proprietà sulla base di somiglianza o addirittura semplice etimologia, Koyré, e Kuhn ancora di più, comprende che nella mentalità aristotelica questo tipo di scienza era non solo ovvia, ma naturale, in quanto poggiava le basi su un cosmo che era stata creato (cristianamente) in questa maniera.

La rivoluzione di Galileo consiste quindi in una nuova dimensione, e questa dimensione sta nell’infinità: la geometrizzazione dello spazio e del tempo comportano una nuova concezione di spazio e tempo, che possono perdurare o continuare *ad infinitum*. La negazione di un mondo chiuso, sferico, perfetto ed ordinato, e al contrario l’affermazione di un modo che accetta le kepleriane orbite ellittiche di una forma imperfetta, che nega la centralità della dimensione terrena, e che porta con sé l’imperfetto infinito non rappresentano solo una rivoluzione scientifica, ma culturale: è essenziale alla comprensione non solo della scienza moderna, ma anche della filosofia, che si trova a fronteggiare questioni pertinenti a un nuovo universo.

La distruzione del *kosmos* di greca rimembranza, chiude Koyré, è, quindi, la seconda parte di un processo che fa della rivoluzione galileiana un punto di partenza per una serie di autori successivi, a cui viene lasciata in eredità questa visione del mondo, che cercheranno di fare chiarezza su tali aspetti.

1.3. Il rapporto tra natura e matematica nel meccanicismo di Cartesio

Osservato fin qui lo stretto legame che lega scienze naturali e discipline matematiche in Galileo, la storia della filosofia e della scienza usualmente indica

[22] Bachelard, G. 1995 in *La Formazione dello Spirito Scientifico: contributo a una psicoanalisi della conoscenza oggettiva*, a cura di Enrico Castelli Gattinara, Raffaello Cortina, Milano

Cartesio come il continuatore del paradigma matematizzante della conoscenza; tale scienziato, fino a tempi molto recenti, è stato visto come il diretto successore dello studioso italiano, tanto che Husserl additerà l'errore della metafisica di Cartesio, nella sua Crisi delle Scienze Europee, domandandosi:

> "Cartesio non è qui per caso dominato preliminarmente dalla certezza galileiana di un mondo universale e assoluto di corpi e dalla distinzione di ciò che rientra nella sfera dell'esperienza meramente sensibile e di ciò che, in quanto matematico, è oggetto del pensiero puro? Secondo Cartesio non è per caso ovvio che la sensibilità rimanda ad un essente in-sé ma può ingannare, e che quindi deve esistere una via razionale per giudicarla e per conoscere razionalmente e matematicamente l'essente in sé?"[23]

Lasciando da parte la metafisica husserliana, che è stata criticata anche per la sua lettura di Cartesio, si può, tuttavia, trovare un filo rosso che collega la matematizzazione galileiana delle scienze con i successivi tentativi cartesiani.

Koyré, Dijksterhuis, Burtt e molti altri studiosi hanno proposto che anche Cartesio faccia parte di questa rivoluzione, e di sicuro il lavoro effettuato dal filosofo e scienziato francese dimostrano la sua propensione per l'utilizzo di un forte apparato matematico nelle scienze. La sua personale filosofia, tuttavia, che verrà riassunta successivamente nel meccanicismo, non parte da una base fondativa matematica, bensì da una filosofica, di matrice metafisica.

Cartesio è infatti preoccupato di stabilire una ragione certa su cui fondare poi le scienze, che egli trova nella sua famosa *res cogitans*, che, a sua propria volta, dipende dalla mente divina per ricevere le proprie idee chiare e distinte.

Le convinzioni matematiche sono tali nella nostra mente proprio perché hanno questa fondazione metafisica, a partire da Cartesio, ma Ariew, dal canto suo, è esitante a fornire la matematica come principio sottostante alla scienza cartesiana.

Il lavoro che cito in questa sezione analizza appunto le tesi di Koyré, Dijksterhuis e Burtt e si chiede se non sia piuttosto il caso che questi studiosi, nel tentativo di creare una storia della filosofia naturale su cui l'idea di matematizzazione delle scienze sia stata imposta, abbiano travisato o deformato il lavoro di Cartesio stesso. Per Ariew, la matematizzazione della natura è un processo più diversificato ed

[23] Husserl, H. 2015, in *La Crisi delle Scienze Europee e la Fenomenologia Trascendentale*, traduzione di Enrico Filippini, prefazione di Enzo Paci, Il Saggiatore

emergente rispetto ad un istinto programmatico che ha coinvolto generazioni di scienziati. Scrive infatti:

> "Una rivalutazione più promettente consisterebbe nel riconsiderare la matematizzazione della natura da una prospettiva di "nuovi orientamenti metodologici", e, in particolare, della storia contestuale. Qui qualcuno potrebbe fare notare che quando parliamo di "matematizzazione della natura" intendiamo cose differenti nel contesto di diversi pensatori. Quando uno si focalizza su cosa sarebbe una matematizzazione della natura per Galileo, Cartesio, Huygens o Newton, troviamo che queste sono attività radicalmente differenti; quello che Galileo provò a ottenere a questo riguardo è chiaramente differente da quello che provarono a ottenere Cartesio, Huygens Newton e altri. La matematizzazione della natura come un segno della rivoluzione scientifica o della scienza della prima età moderna comincia a sembrare una delle invenzioni del nostro ventesimo secolo, forse un costrutto che stiamo forzando sul passato"[24]

La tesi di Ariew è interessante, sebbene radicale. È chiaro infatti che pur non essendoci ancora una strutturazione della ricerca scientifica e resa assolutamente certa in epoca cartesiana, si può parlare con certezza di un costante processo che ha spinto la scienza moderna nella direzione che ora assume e che le riconosciamo. Sebbene il processo non sia stato progressivo, è chiaro che le suggestioni che una generazione di scienziati ha trasmesso alla successiva si siano successivamente stratificate in un nuovo modo di fare scienza.

Tuttavia l'albero delle scienze cartesiane non è in partenza fondato sulla matematica, ma sulla metafisica, come fa giustamente notare l'autore, e correttamente egli critica Dijksterhuis per l'imposizione di una precedente fondazione matematica della metafisica:

[24] Ariew, R. 2016, "The Mathematization of Nature in Descartes and the First Cartesians, in *The Language of Nature: Reassessing the Mathematization of Natural Philosophy in the Seventeenth Century*, by editors Gorham, G. Hill, B. Slowik, E. Waters, K. University of Minnesota Press. "A more promising reevaluation would consist in reconsidering the mathematization of nature from the perspective of "novel methodological orientations," and in particular, of contextual history. Here one could point out that when we talk about the "mathematization of nature" we mean different things with regard to different thinkers. When one focuses on what mathematizing nature would be for Galileo, for Descartes, Huygens, or Newton, we find that these are radically different activities; what Galileo tried to do in this regard is clearly different from what Descartes tried to do, or what Huygens, Newton, and others tried to do. The mathematization of nature as an account of the scientific revolution or early modern science begins to look like our twentieth-century invention, perhaps a construction we are forcing on the past"

> "Egli riconosce che la fisica è dipinta come radicata nella metafisica, che che "la matematica non è riferita a ", ma aggiunge che la fondazione sulla quale la metafisica è basata è anch'essa non riferita a niente, e finisce con una domanda retorica: "Non può forse essere che la spiegazione di questo problema sia che il pensiero matematico, considerato non riguardo al suo contenuto ma alla sua forma, a essere questo fondamento?" Suppongo che le domande retoriche non necessitino di risposta, anche se la risposta è chiaramente 'no'."[25]

È perciò innegabile come la costruzione cartesiana della natura prenda quantomeno a prestito concetti matematici. Ariew è convinto di questo fatto, e propone una soluzione secondo la quale le scienze possano rendersi simili alla matematica, senza tuttavia essere fondate da essa. L'approccio è sensibile e in compatibilità con il *Discorso sul Metodo* di Descartes stesso, che recita:

> "quanto all'analisi degli antichi e all'algebra dei moderni, oltre al fatto che esse si riferiscono solo a materie molto astratte, e che non sembrano di alcuna utilità, la prima è sempre così legata alla considerazione delle figure da non poter esercitare l'intelletto senza affaticare molto l'immaginazione; e, nell'ultima, si è talmente vincolati a certe regole e a certi caratteri, che se ne è fatta un'arte confusa ed oscura che intralcia la mente, invece di una scienza che la coltivi"[26]

Tuttavia, nonostante tutta la conoscenza in sé non sia fondata sulla matematica, questo non vuol dire che le scienze non lo siano: del resto Cartesio stesso cita i principi geometrici come necessari e fondamentali alla costruzione della sua fisica. Ariew, tuttavia, propone un'interessante tesi secondo la quale le espressioni di Cartesio che potrebbero fare sospettare una supposta matematizzazione della scienza da parte del filosofo francese siano da interpretare in un'altra maniera: facendo ricorso alla porzione metafisica dei suoi Principi, egli sostiene che

---

[25] Ibid. "He recognizes that physics there is depicted as rooted in metaphysics, and that "Mathematics is not referred to," but he adds that the foundation on which metaphysics is based is also not referred to, and ends with a rhetorical question: "Cannot the explanation of this be that it is mathematical thought, considered not with regard to its contents but to its form, which constitutes this foundation?" I suppose rhetorical questions should not be answered, though the answer is clearly 'no'."
[26] Descartes, R. 1637, in *Discorso sul Metodo*

"Cartesio radica la sua fisica in una metafisica che produce, all'inizio, una fisica identica alla matematica, ma non perché sia fondata sulla matematica, ma perché è fondata su una metafisica delle idee chiare e distinte."[27]

Egli si riferisce qui al modo secondo il quale Cartesio definisce l'estensione come una proprietà di una sostanza della quale si può avere un'idea chiara e distinta quanto della stessa sostanza, e che questa estensione possa essere qualificata quantitativamente, ovvero come datità matematica.

Pur non essendo contrario all'ipotesi di Ariew in senso lato, questa distinzione non è effettivamente rilevante nella complessiva interpretazione del pensiero cartesiano riguardo alla scienza. In particolare, la sua fisica e la sua struttura dell'universo corpuscolare portarono a risultati matematici estremamente felici, come Kuhn stesso ha cura di sottolineare

"applicando ad un corpuscolo, posto nell'infinito spazio neutro della cosmologia atomistica, versioni contemporanee della teoria medioevale dell'impulso, egli giunse a una prima chiara formulazione delle leggi inerziali" [28]

e lo stesso si può dire per le sue leggi d'urto, delle quali la maggior parte non sono state accettate dai suoi successori.

Si può osservare qui come la fisica di Cartesio, pur in tutta la sua inadeguatezza, faccia un uso estremamente ampio e rigoroso della matematica, ma non solo, le leggi del moto sono necessarie alla spiegazione della particolare visione dell'universo dell'autore; possiamo essere d'accordo quindi con Ariew che la proposta cartesiana non nasce propriamente da una posizione della matematica come principio della conoscenza, ma ci è sufficiente sottolineare come la sua scienza sia profondamente basata su una quantificazione dello spazio che ha influenzato per un secolo gli studiosi successivi.

In particolare, la natura corpuscolare dell'universo cartesiano e la sua spiegazione basata sul movimento creato dall'urto di frammenti di materia implica

[27] Ariew, R. 2016, "The Mathematization of Nature in Descartes and the First Cartesians, in *The Language of Nature: Reassessing the Mathematization of Natural Philosophy in the Seventeenth Century*, by editors Gorham, G. Hill, B. Slowik, E. Waters, K. University of Minnesota Press. "Descartes roots his physics in a metaphysics that produces, at first, a physics that looks the same as mathematics, not because it is rooted in mathematics, but because it is rooted in a metaphysics of clear and distinct ideas."

[28] Kuhn, T. S. 1972, in La Rivoluzione Copernicana: L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale, traduzione di Tommaso Gaino, Einaudi, Torino

nuovamente la strada dell'astrazione, dove leggi matematiche fanno da principio alla fisica sperimentale.

1.3.1. *Keplero,Cartesio e l'ottica moderna: una scienza astratta dall'osservatore*

Possiamo ritrovare l'astrazione di Cartesio in un campo specifico che nell'era moderna ha attratto l'attenzione di numerosi scienziati: l'ottica. Negli studi di ottica effettuati inizialmente da Keplero e successivamente da Descartes, Gal e Chen-Morris hanno ritrovato un fenomeno peculiare, e, a loro detta ,paradossale: la lenta scomparsa dell'osservatore, dell'occhio, dai trattati di ottica.

L'ottica è una disciplina che agisce come giocatore fondamentale nella scienza barocca e moderna, in quanto necessaria per lo sviluppo delle varie teorie sulla luce che si dimostreranno poi essenziali per osservare i fenomeni, e per costruire strumenti capaci di effettuare suddette osservazioni in maniera sempre più precisa; è naturale dunque che molti degli astronomi del tempo, con un occhio puntato al telescopio, cercassero di progredire in maniera efficiente in questa disciplina.

Questa attenzione allo strumento, necessario per catturare l'osservazione, è particolarmente importante, perché enfatizza il fatto che il vero agente dei fenomeni ottici non è l'occhio, bensì la luce:

> "It was light that created images, bouncing off "an opaque medium" and falling on an "opaque screen." If the screen happened to be the eye, "vision is produced," but there was nothing unique to the eye: any screen would do. With light as the sole agent of all optical phenomena, there was no fundamental epistemological difficulty with observing the distant celestial objects: the mathematical nature of light and the assumption that its rays did not decay, but only dispersed (propositions 6 and 7 of Ad Vitellionem), turned distance into nothing but an element in the geometrical analysis of observation."[29]

Ritorna in queste frasi un tema che abbiamo già rilevato nell'analisi di Galileo, e che forma un altro passo nella comprensione del moderno spirito scientifico:

[29] Gal, O. - Chen-Morris, R. 2010, "Baroque Optics and the Disappearance of the Observer: From Kepler's Optics to Descartes' Doubt", in *Journal of the History of Ideas*, Vol. 71, No. 2, pp. 191-217, University of Pennsylvania Press

l'allontanamento della scienza dalla singola percezione, nonché dal soggetto percipiente.

L'esperienza primitiva della visione, basata sul processo teleologico che rende le immagini create per essere viste, e sull'occhio come l'organo principe della visione, viene qui abbandonato dalla scienza moderna; come insegna Bachelard

> "Il primo ostacolo che s'incontra nella formazione di uno spirito scientifico è costituito dall'esperienza primitiva […] che non rappresenta in nessun caso una base sicura […] vogliamo opporci subito e apertamente a quella filosofia che si fonda su un sensismo più o meno apparente, più o meno romanzato, che ha la pretesa di ricevere direttamente le sue lezioni da un dato chiaro, netto, sicuro"[30]

L'ostacolo filosofico contro cui Keplero si scaglia è quello del processo della visione, della condizione naturale dell'osservazione, nella quale l'occhio è un protagonista privilegiato. L'ottica deve, quindi, trasformarsi da una teoria della percezione visiva a una teoria della fisica della luce. Questo passaggio è un superamento dell'antropocentrismo rinascimentale che rende l'osservazione un qualcosa di impersonale, oggettivo; l'osservatore come non fa più parte dell'esperimento. A questa maniera, l'occhio umano viene equiparato a una qualunque altra lente; il tentativo di giustificare quindi l'utilizzo di specifici strumenti quali i telescopi da parte di Keplero passa per la riduzione d'importanza dell'organo visivo per eccellenza, l'occhio; quest'organo, anzi, viene utilizzato per costruire una macchina in grado di percepire oggetti ben più distanti di quelli che l'organo nudo sarebbe riuscito ad osservare:

> "He described, for the first time, the defect of spherical aberrations and stated that it could be overcome by giving optical surfaces hyperboloidal forms, This notion was suggested to him after he had studied the crystalline lens of the human eye, the anterior refracting surface of which is hyperboloidal. As far as he could judge, the eye was free from spherical aberration. […] He showed, also for the first time, that before an object can be seen distinctly, its image must be sharply formed on the retina"[31]

[30] Bachelard, G. 1995 in *La Formazione dello Spirito Scientifico: contributo a una psicoanalisi della conoscenza oggettiva*, a cura di Enrico Castelli Gattinara, Raffaello Cortina, Milano
[31] King, H.C. 2016, in *The History of the Telescope*, Dover, Mineola, New York

L'occhio diventa quindi un meccanismo, una camera oscura, come commentano Gal e Chen-Morris, i quali deducono un'altra conseguenza, forse non consapevolmente dedotta da Keplero, sulla base di questa equiparazione: non è dunque evidenziato il fatto che il telescopio sia preciso quanto l'occhio, le cui percezioni erano considerate fino ad allora accurate, ma è che l'occhio, perdendo il suo statuto privilegiato, finisca per essere considerato come inaccurato.

Le immagini retiniche, infatti, non sono assolutamente precise, ed è solo l'intelletto a permettere una comprensione delle macchie colorate che rimangono impresse sulle nostre retine, in una maniera che Keplero non era in grado di comprendere: "*Questo era il paradosso ottico: la naturalizzazione dell'occhio emargina l'osservatore, ed una più profonda comprensione dell'ottica trasforma la visione in un mistero.*"[32].

I successi di Keplero inaugurano, dunque, gli studi di Cartesio, il cui campo d'interesse riguarda lo spettro dei colori dell'arcobaleno, e in particolare, la credenza, risalente alla filosofia antica, secondo la quale solo oggetti opachi potessero essere dotati di colore. Considerando Keplero come il suo maestro nell'ottica, Cartesio parte da feconde ipotesi fisiche che consideravano il colore come una rifrazione vista da un certo angolo, e, come Keplero, egli elimina l'occhio dal suo studio sui colori:

> "Once the mathematical questions received their causal-physical import, however, the eye lost its privileged status: the angles of the rainbow do not refer to the eye; the rays fall on different screens and appear the same from different viewpoints. Disappearing together with the eye was the water globe; no longer attempting to mimic raindrop and eye, Descartes constructed a physical-experimental model of abstract refraction and abstract projection with a prism" [33]

La luce quindi diventa parte del modello corpuscolare della fisica cartesiana, ed è il movimento ondulatorio dei corpuscoli luminosi a generare il colore.

---

[32] Gal, O. - Chen-Morris, R. 2010, "Baroque Optics and the Disappearance of the Observer: From Kepler's Optics to Descartes' Doubt", in *Journal of the History of Ideas*, Vol. 71, No. 2, pp. 191-217, University of Pennsylvania Press. "This was the optical paradox: the naturalization of the eye estranges the observer, and a deeper understanding of optics turns vision into a mystery".
[33] Ibid.

Forte di questa nuova teoria, anche Cartesio provò a migliorare il telescopio, utilizzando la legge del seno della rifrazione, formulata da Willebrord Snell nel 1621, ma senza successo:

> "He thought highly of this theorem and mantained that by this means it would be possible to increase the aperture and magnifications of telescopes. While spherical aberrations can be corrected this way, Descartes failed to differentiate between this and chromatic aberration […] He held, moreover, a theory of the nature of light and color which, while interesting as a theory, was in the present instance of no practical value"[34]

Il valore principale delle indagini di Cartesio è di avere tuttavia definitivamente coronato il processo Kepleriano, insistendo sul fatto che l'occhio fosse un oggetto riflettente come qualunque altro, e che l'immagine non dipendesse né da un processo di visione né dall'oggetto percepito, ma semplicemente dalla luce che si rifrange su di essi.

Questa conclusione, che acutamente i due autori commentano come un ribaltamento della visione aristotelica del processo percettivo, comporta un costo: la fiducia nella visione viene profondamente scossa, e non solo questo, essa può risultare addirittura ingannevole nel peggiore dei casi, e nel migliore ha bisogno di essere interpretata. Interpretata da cosa? Dalla scienza, che permette di conoscere i processi secondo il quale la nostra immagine immediata viene a formarsi prima nella nostra retina e poi nella nostra mente, e che in fin dei conti non rappresenta l'oggetto reale, ma solamente una sua interpretazione "*Dalla fondazione epistemologica di tutta la scienza, la visione era diventata dipendente dalla scienza stessa come garante della sua limitata affidabilità.*"[35]

1.4. La scoperta dell'effetto Faraday e la storia della sua interpretazione

[34] King, H.C. 2016, in *The History of the Telescope*, Dover, Mineola, New York
[35] Gal, O. - Chen-Morris, R. 2010, "Baroque Optics and the Disappearance of the Observer: From Kepler's Optics to Descartes' Doubt", in *Journal of the History of Ideas*, Vol. 71, No. 2, pp. 191-217, University of Pennsylvania Press. "From the epistemological foundation of all science, vision had become dependent on science as the guarantor of its limited reliability."

Questo capitolo non potrebbe essere completo se non portasse un esempio relativamente recente di matematizzazione della natura e del potere dell'astrazione in campo scientifico.

L'effetto Faraday viene scoperto nel 1845, e prende il nome dal suo scopritore Michael Faraday; lo scienziato, ipotizzando una connessione tra il campo elettromagnetico, l'elettricità e la luce, fece passare un raggio di luce polarizzato attraverso un blocco di vetro posto all'interno di un campo magnetico, scoprendo così che che il percorso del raggio luminoso era in qualche modo deviato.

> "Faraday had always expected to find that light interacts with other powers, for example, suffering a rotatory polarization under an electrostatic force"[36]

La convinzione dello scienziato era che le forze elettriche e la luce fossero in qualche modo collegate nell'ambito di una precisa legge naturale, una convinzione che è stata descritta come "*una fondamentale credenza nell'unità delle varie forze della natura*"[37].

Il punto critico dei risultati di Faraday era che, per essere interpretati, richiedevano una riformulazione della teoria scientifica sul rapporto tra luce ed elettricità, criticità che non era assolutamente facile da superare e a cui una risposta arrivò compiutamente solo due decadi e mezzo dopo, grazie al lavoro di James Clerk-Maxwell.

La storia che occupa questo periodo è tuttavia ricca di tentativi di interpretazioni che mostrano come la comunità scientifica operante all'epoca potesse trattare una simile problematica. La scoperta di Faraday, che superava la scoperta del legame tra luce ed elettromagnetismo, toccava un nuovo fenomeno, che lui avrebbe chiamato diamagnetismo. Al contrario delle normali linee di campo magnetico, esso si manifestava attraverso nuove linee di un campo (definito diamagnetico), di cui lo studioso non sapeva darsi spiegazione:

[36] Gooding, G. 1981, "Final Steps in Field Theory: Faraday's Study of Magnetic Phenomena, 1845-1850", in *Historical Studies in the Physical Sciences*, Vol. 11, No. 2, pp. 231-275, University of California Press

[37] Knudsen, O. 1976, "The Faraday Effect and Physical Theory, 1845-1873", in *Archive of History of Exact Sciences,* Vol. 15, No. 3, pp.235-281, Springer . "a fundamental belief in the unity of the various forces of nature"

"In a short-lived attempt to apply his preferred visual method of representation, he introduced a "new set of magnetic curves" to describe these paths. This was in keeping with earlier practice but it carried an unwanted implication. Faraday had always supposed the electric and magnetic curves to be the lines in which these forces are exerted. The new curves thus implied a new force that was always repulsive and that acted across the lines of magnetic induction. He included the "diamagnetic" curves in the published report. But his thinking tended away from them, towards unification rather than proliferation of force."[38]

La sua convinzione riguardante l'esistenza di linee di forza lo spinse, in una lezione sulle vibrazioni dei raggi, ad abbandonare la cautela che normalmente lo caratterizzava e a proclamare che

"La luce è una vibrazione delle linee di forza magnetiche. L'unità delle forze richiede la convertibilità di luce e magnetismo; l'idea di vibrazione ha suggerito come ssa accadere."[39]

La sicurezza di Faraday lo spinse a trattare le linee di forza come se fossero oggetti reali, anche se gli le aveva ipotizzate solo da un punto di vista prettamente intuitivo, e ad adoperarle sia come dispositivo visivo che come spiegazione, anche se egli non aveva una teoria sottostante che confermasse la sua ipotesi, ed i suoi esperimenti, pur puntuati da molti successi, non individuassero abbastanza esaurientemente una spiegazione di questo tipo.

La persuasione dell'esistenza delle linee di forza lo convinsero a creare un'intera teoria basata sulle forze magnetiche e diamagnetiche, la teoria del campo di forza, secondo la quale la forza stessa era la causa di una serie di fenomeni quali l'elettricità, la gravità e la luce, in contrasto con la teoria allora in auge secondo la quale luce ed elettricità si propagavano attraverso l'etere. Le convinzioni di Faraday, seppur non completamente accettate dalla fisica contemporanea, si sono rivelate sufficientemente

---

[38] Gooding, G. 1981, "Final Steps in Field Theory: Faraday's Study of Magnetic Phenomena, 1845-1850", in *Historical Studies in the Physical Sciences*, Vol. 11, No. 2, pp. 231-275, University of California Press

[39] Gooding, G. 1981, "Final Steps in Field Theory: Faraday's Study of Magnetic Phenomena, 1845-1850", in *Historical Studies in the Physical Sciences*, Vol. 11, No. 2, pp. 231-275, University of California Press "Light is a vibration in the lines of magnetic force. The unity of forces required the convertibility of light and magnetism; the idea of vibrations suggested how it might take place."

adattabili e più resilienti di altre teorie contemporanee come quella dell'etere, e le sue scoperte si inseriscono tuttora nel quadro della scienza attuale. Tuttavia, l'effetto Faraday in sé rimane inspiegato dall'autore, e diversi studiosi hanno tentato di dare una spiegazione del fenomeno.

Il primo tentativo di trattare matematicamente il problema si deve a G.B. Airy, il quale

> "Sembra che l'avesse compreso nel momento stesso in cui ebbe notizia della scoperta. Nonostante Airy, in maniera non sorprendente, procedette dalla teoria generalmente accettata della luce come onde traverse in un etere elastico, il suo trattamento del problema fu puramente fenomenologico nel senso che si limitò a introdurre un nuovo termine nell'equazione dell'onda di luce, senza provare a giustificare né l'esistenza né la particolare forma matematica di questo termine derivandolo da postulati più fondamentali"[40]

In altre parole, Airy, così come successivamente Verdet, cercarono una giustificazione *ad hoc* all'interno dell'allora dominante teoria delle onde luminose per spiegare, almeno analiticamente, l'effetto Faraday.

Il tentativo successivo di spiegare questo fenomeno fu effettuato da Thomson, il quale ipotizzò un movimento rotatorio delle particelle all'interno del campo magnetico che avrebbero giustificato la deformazione del raggio di luce. Faraday stesso era contrario a spiegazioni di tipo molecolare o particellare delle sue teorie, ma le soluzioni successive presero in considerazione questo tipo di soluzioni, ed in particolare si basarono sulla possibilità, a partire da questo peculiare risultato, di creare un modello dinamico delle forze elettromagnetiche-luminose.

Maxwell tentò una soluzione che integrava la propria 'teoria dei vortici' con la propagazione della luce attraverso un medium statico ed elastico. La soluzione che viene impiegata oggigiorno combina i risultati ottenuti da Maxwell per creare un modello fisico dinamico con la teoria dell'elettrone fornita da Lorentz.

---

[40] Knudsen, O. 1976, "The Faraday Effect and Physical Theory, 1845-1873", in *Archive of History of Exact Sciences,* Vol. 15, No. 3, pp.235-281, Springer. "seems to have worked it out as soon as he heard of the discovery. Although Airy, not surprisingly, proceeded from the generally accepted theory of light as transverse waves in an elastic ether, his treatment was purely phenomenological in so far as he restricted himself to introducing a new term in the wave equation of light, without attempting to justify either the existence or the particular mathematical form of this term from more fundamental postulates."

Dal punto di vista filosofico, questa scoperta è stata analizzata da Hacking in *Representing and Intervening*, il quale ha dato una sua spiegazione che chiama 'sei livelli di teorie':

> "The 'theoretical' ideas, in order of appearance, are as follows:
>
> 1 Motivated by faith in the unity of science, Faraday speculates that there must be some connection between electromagnetism and light.
>
> 2 There is Faraday's analogy with Brewster's discovery: something electromagnetic may affect polarizing properties.
>
> 3 Airy provides an ad hoc mathematical representation.
>
> 4 Kelvin gives a physical model, using a mechanical picture of rotating molecules in glass.
>
> 5 Maxwell uses symmetry arguments to provide a formal analysis within the new electromagnetic theory.
>
> 6 Lorentz provides a physical explanation within electron theory."[41]

L'assunzione sottostante dell'autore è che la teoria attraversi diversi stadi, e che venga irrobustita dagli esperimenti effettuati. Hacking definisce '*Baconian*' il percorso storico effettuato da questi tentativi di spiegazione, nell'intendere come da una vaga idea, successivamente corroborata da diversi tentativi ed *experimenta*, si raggiunga un modello finale, con l'assunzione che la speculazione sia, di solito, il primo passo per effettuare una scoperta di questo genere.

Sono d'accordo con Hacking solo in parte, in quanto a mio parere la forza dimostrativa della storia di questo esperimento risiede altrove; infatti, due sono i punti che voglio sottolineare rispetto a questo processo per tentativi ed errori.

Il primo, è che la forza della convinzione di Faraday è quella che mette in moto il processo di scoperta, ed è una fede, un humeano *belief*, che precede sia l'esperimento sia la teoria.

La motivazione di Faraday per compiere i suoi esperimenti, è, a conti fatti, completamente astratta: egli è sicuro che ci sia un collegamento fondamentale tra le forze della natura, una convinzione potremmo definirla metafisica perché riporta ad un'origine unica le forze del nostro universo. Questo atteggiamento è perfettamente in linea con la procedura platonica che abbiamo visto essere applicata nella scienza fino a

---

[41] Ian Hacking, in *Representing and Intervening: introductory topics in the Philosophy of natural science,* 1983, Cambridge University Press

questo momento, ed è una convinzione che fortunatamente si è rivelata essere sostanzialmente corretta.

Certo, a Faraday erano ignoti gli elettroni e la sua teoria delle linee di forza è troppo onnicomprensiva per la corrente concezione della fisica, ma essa si è rivelata più duratura delle teorie a lui contemporanee che operavano sulla base di una convinzione in una moltitudine di forze diverse e disparate. Anche qui, dunque, possiamo notare la forte spinta unificatrice che fa da direzione alla scienza moderna.

In secondo luogo, è importante sottolineare come la dimostrazione matematica dell'effetto Faraday fosse, di nuovo, sostanzialmente corretta e precedente rispetto ad un effettivo modello fisico di tale fenomeno.

Il lavoro di Airy e Verdet ci porta a considerare come l'attitudine matematizzante delle scienze sia insita e indipendente rispetto al fenomeno sperimentale, e che anzi lo guidi, permettendo i calcoli che si sarebbero poi rivelati necessari per giungere ad una comprensione fisica dell'effetto Faraday. Di nuovo, si può percepire l'istinto platonizzante della scienza moderna nel momento in cui è in grado di creare un processo descrittivo puramente matematico che è base per poi risolvere sperimentalmente la necessità di un modello fisico.

1.5. Conclusioni del Capitolo Uno

In questo capitolo spero di avere sottolineato come il processo della scienza sia stato indirizzato, a partire dalla rivoluzione scientifica esemplificata da Galilei, verso la matematizzazione di tutte le discipline, cominciando un processo che poi riuscirà a essere trasferito gradualmente, nel corso del Novecento, dalle scienze fisiche a quelle sociali.

Ho descritto, con i tentativi iniziali dell'Algebra di Bombelli, un'aritmetica che parte dalla particolarità commerciale e dalla necessità materiale per trasformarsi progressivamente in una scienza completamente astratta, nella quale la quantità viene completamente esautorata da ogni valore qualitativo ad essa connotata. La natura intrinseca del numero, invece, che era stata definita come un genere o una classe di un determinato valore, viene abbandonata tra tentennamenti e contraddizioni per dare luogo a una concezione più fluida ed indeterminata di numero. Questo può essere trasformato a seconda delle necessità e diventare un simbolo per una quantità che assume il valore che oggi viene riconosciuto all'incognita.

Ho fatto notare come il processo iniziato da Galileo nel tentativo di trasformare la scienza aristotelica affondi le proprie radici in un platonismo nuovo, che, pur essendo applicato alla realtà, non la riguarda in misura diretta: anzi, viene a stabilirsi per la prima volta una suddivisione tra oggetto reale e oggetto scientificamente osservato dal punto di vista matematico; l'oggetto scientifico fa da modello ideale per l'oggetto fisico anche per ciò che concerne le forze che lo interessano (in quanto il modello può permettersi di considerare solo le forze o le circostanze necessarie ad esplicitare una relazione, al contrario dell'esperimento fisico immerso in una serie di fenomeni reali).

La differenziazione tra l'emergente scienza galileiana e la scienza aristotelica viene dunque a presentarsi come un confronto di cosa sia rilevante nella scienza: da una parte la misurazione quantitativa, dall'altra la descrizione qualitativa; ho mostrato attraverso gli studi di Koyré che il modello galileiano si presenta come un cambio paradigmatico non solo nel modo di vedere scientifico, ma anche nella struttura mentale dell'uomo della nuova età moderna; convinzione che viene rinforzata dai suoi successori, che lentamente eliminano l'elemento qualitativo dalla scienza per ascriverlo alla soggettività.

A questo proposito, ho effettuato una serie di approfondimenti sull'evoluzione del telescopio, allo scopo di dimostrare come le nuove conoscenze tecniche e matematiche permettano di sviluppare strumenti sempre più potenti che siano in grado di aumentare la nostra visione, e di conseguenza la comprensione dei fenomeni.

D'altro canto, lo sviluppo di una strumentazione ausiliaria per osservare i fenomeni infligge un altro duro colpo all'idea della centralità dell'uomo nel *kosmos* aristotelico, come conseguenza degli studi di ottica effettuati da Cartesio, Keplero e i loro successori.

La distruzione del *kosmos* comporta, dal punto di vista epistemologico, un'assenza di certezze ed una riduzione della fiducia nei sensi. Tale riduzione è possibile sia stata una delle spinte che hanno indirizzato Cartesio a sviluppare il suo scetticismo radicale, su cui poi ha fondato una scienza il cui principio è la metafisica, ma che rimane scritta in caratteri matematici.

La convinzione metafisica di un'unità delle scienze si può ritrovare in epoca moderna molto tarda, con la fede incrollabile di Faraday nel legame tra elettricità, magnetismo e luce, che lo ha portato a sviluppare una teoria delle linee di forza. Questa, pur sviluppata matematicamente, mancava dell'appoggio dei suoi contemporanei, che preferivano basare la visione degli effetti dei suoi esperimenti su una moltitudine di soluzioni complementari, come la teoria ondulatoria della luce, il corpuscolarismo dei mezzi di propagazione, e le varie teorie dell'etere che spiegavano le azioni a distanza. In nuce, questi elementi storici sono essenziali per la comprensione del dibattito tra realismo e antirealismo del capitolo successivo.

La divisione tra platonismo ideale e nominalismo è quella che intercorre attualmente sulle entità non osservabili e sugli enti matematici.

La critica a una scienza basata sulla matematica, sul suo valore esplicativo, e sulla pratica delle soluzioni *ad hoc* che descrivono i fenomeni è fondamento di dibattito contemporaneo.

La differenza tra potere descrittivo e ruolo di guida delle leggi matematiche nei confronti della scienza sperimentale rimane tuttora una problematica che divide gli studiosi del settore.

In questo capitolo ho dunque posto le basi conoscitive per permettere di contestualizzare un dibattito che ha troppo spesso tralasciato un approccio storico al problema. Ciò permette un punto di osservazione privilegiato su quello che è già successo e su come si siano comportati i padri della scienza moderna riguardo a queste problematiche.

Capitolo II:

Realismo scientifico e realismo matematico: l'argomento dell'indispensabilità

Nel capitolo precedente ho fornito una serie di esempi che vedono la storia delle scienze naturali trasformarsi attraverso un inesorabile processo di matematizzazione. Questo percorso non è, come si può facilmente notare, compiuto coralmente dagli scienziati di un'epoca, allo scopo di indicare nuove lenti attraverso cui guardare i fenomeni naturali, piuttosto si esprime, mediante i più disparati passaggi e processi logici, in un costante lavoro di astrazione dell'intera comunità scientifica, ma svolto individualmente. Le nuove scoperte matematiche sono impiegate in svariati tipi di scienza, da quella economica a quelle naturali, in maniera integrale, seppur spesso approssimativa, e portano via via ad una generale modellizzazione del lavoro scientifico, astratto, codificato, trasformato in apparato. Le teorie scientifiche fanno uso di entità inosservabili e di strumenti matematici complessi, a cui viene associato un grado di realtà, che appare sorprendente e forse ingiustificato per i non addetti al settore, e che, soprattutto nel ventesimo secolo, ha creato una notevole divisione all'interno della comunità dei filosofi della scienza.

Il dibattito sullo statuto ontologico delle entità adottate dalla comunità scientifica, su quanto sia accettabile considerarle reali, la disputa cioè tra realismo e antirealismo scientifico, è ancora viva e recente, ed influenza la nostra percezione delle teorie scientifiche. Questa distinzione di campo, memore della medioevale disputa tra platonisti e nominalisti, può essere effettivamente considerata una versione della discussione sugli universali adattata alla scienza moderna; il realismo scientifico implica infatti una certa dose di platonismo, tanto che gli autori che verranno citati in questo capitolo utilizzano per descrivere i due campi indifferentemente il binomio realista-antirealista o platonista-nominalista.

In questo capitolo mi pongo come scopo l'analisi della disputa sopracitata dal punto di vista di un particolare tipo di realismo, ossia quello riferito alle entità matematiche; se, infatti, la maggior parte del dibattito è incentrato sull'esistenza delle entità inosservabili e di conseguenza su quanto sia giustificato prendere alla lettera le leggi, le spiegazioni e le descrizioni forniteci dalle scienze naturali, un settore più specifico e recente di questa discussione è emerso con riferimento allo statuto ontologico delle entità matematiche.

Il dibattito tra l'antirealista e il realista riguardo a questo specifico soggetto, che mette in discussione il linguaggio attraverso il quale sono scritte le nostre leggi scientifiche, è particolarmente interessante per due motivi; innanzitutto, cerca di delineare cosa significhi per una teoria scientifica avere potere esplicativo. Varie sono le questioni che sono importanti da porsi: che differenza c'è, se c'è, tra una spiegazione scientifica che fa uso di teoria matematica e una spiegazione matematica? Esistono, ed è possibile trovare vere e proprie spiegazioni matematiche? È il modello di una spiegazione basato sull'inferenza alla miglior spiegazione il più appropriato per discutere di verità scientifiche? In secondo luogo, entra in diretto contatto con il *leitmotiv* del mio lavoro, ovvero il processo di astrazione matematica della scienza, e la discussione ontologica che ne consegue.

Cercherò di mostrare nei paragrafi successivi il processo di pensiero che ha portato alla formulazione dell'*Indispensability Argument*, definito spesso come la migliore difesa del realismo matematico. Partirò dalla tesi realista in generale, soffermandomi successivamente sulle possibili questioni che essa può sollevare nonché sulle obiezioni più comuni ed importanti che le sono state opposte, per poi esaminare in dettaglio la questione più specifica del realismo matematico fino agli studi contemporanei.

2.1. La tesi realista in filosofia della scienza:

Quando si parla di una tesi filosofica, è bene cercare di spiegare più dettagliatamente possibile di che cosa tratti, quali siano le sue assunzioni, e cosa cerchi di determinare, ovverosia quale sia il suo campo di ricerca.

Questo è ancora più vero per un movimento tanto espanso e tanto vario quanto il realismo scientifico, che, pur essendo connesso da alcune convinzioni fondamentali comuni, non è propriamente un fronte unito di studiosi che condividono un programma di ricerca, quanto una

> "…attitudine, più che una dottrina chiaramente scritta. È un modo di pensare al contenuto della scienza naturale [...] che si definisce in opposizione ad altri modi di pensare."[42]

Questa definizione da parte di Hacking ci aiuta a comprendere non solo la varietà delle idee realiste in filosofia della scienza, ed gli svariati studi che hanno generato, ma il rapporto indissolubile che sta tra realismo e antirealismo; infatti le due posizioni antitetiche definiscono vicendevolmente i propri ambiti in modo più preciso attraverso l'opposizione di quanto non possano fare dal loro interno. A questo scopo, infatti, mi soffermerò inizialmente su come uno dei più influenti lavori a difesa dell'antirealismo interpreti la posizione realista, per poi fare i dovuti aggiustamenti e specificazioni, integrando via via il quadro per avere un'immagine se non completa, almeno sufficientemente esaustiva.

2.1.1. *La proposta realista minima di Bas Van Fraassen*

Con un lavoro eccezionale e rivoluzionario, Bas Van Fraassen, nella sua *Scientific Image*, propone la sua forma di antirealismo, che chiama empiricismo costruttivo, ponendolo in opposizione sia alle altre teorie antirealiste che quelle realiste; le prime sostengono che non sia necessario prendere le nostre teorie scientifiche (il positivismo e lo strumentalismo) alla lettera, le ultime vengono riassunte in una proposizione che l'autore considera minimale, ovvero in grado di essere accettata da tutti coloro che si associano al realismo:

> "La scienza ha come scopo , nelle sue teorie, il fornire una storia letteralmente vera di come è il mondo; l'accettazione di una teoria scientifica comprende la credenza che questa teoria sia vera."[43]

L'autore scompone successivamente questa affermazione in tre passi:

---

[42] Ian Hacking, in *Representing and Intervening: introductory topics in the Philosophy of natural science,* 1983, Cambridge University Press. "…attitude, more than a clearly stated doctrine. It is a way to think about the content of natural science […] defining itself in opposition to other ways of thinking"

[43] Bas Van Fraassen, in *The Scientific Image*, 1980, Oxford University Press, Clarendon Library of Logic and Philosophy. "Science aims to give us, in its theories, a literally true story of what the world is like; and acceptance of a scientific theory involves the belief that it is true."

- Scrivendo che il solo scopo della scienza sia di fornirci una storia vera del mondo, si eliminano facili argomentazioni riguardanti il fatto che la scienza attuale non sia ancora in grado di dipingere un affresco completo e genuino.
- L'aggiunta dell'avverbio "letteralmente" si riferisce al precedentemente nominato desiderio di eliminare interpretazioni che considerino la scienza veritiera solo in caso si possegga un'autentica comprensione di cosa significhino le teorie scientifiche.
- La formulazione che riguarda solo la fiducia nella teoria viene definita come accettazione minima, senza che questa comporti la necessità di accettarla completamente, ma solo quella di assegnarle una probabilità che sia vera.

Questa proposta, che l'autore utilizza attivamente poi per formulare la sua teoria in opposizione ad essa, è tuttavia più complicata di quello che sembra, e riunisce in sé numerose proposizioni la cui accettazione non è né immediata né condivisa da parte di ogni realista.

2.1.2. *Variazioni e fattori della tesi realista*

Van Fraassen, nel suo sforzo di dare una visione il più possibile completa della visione realista, fallisce nel fare risaltare le differenze specifiche presenti all'interno dello stesso corpus di filosofi che, pur sottoscrivendo la tesi platonista, hanno idee molto differenti su cosa ritenere accettabile. Hacking sostiene che ci siano infatti due tipi di realismo:

> "Realism about entities says that a good many theoretical entities really do exist. […] Realism about theories says that scientific theories are either true or false independent of what we know: science at least aims at the truth, and the truth is how the world is."[44]

Nonostante sia possibile trovare diversi esempi di filosofi che sostengono entrambi i tipi di realismo, la maggioranza di essi si colloca in una posizione sfumata,

[44] Ian Hacking, in *Representing and Intervening: introductory topics in the Philosophy of natural science,* 1983, Cambridge University Press

una gradazione tra i due estremi, e sostiene solo in parte o in nessun modo una delle due tesi, negando con forza l'altra.

Come si può notare, Van Fraassen nella sua proposta è convinto che il realista debba per forza sottoscrivere l'interezza di una teoria affinché possa definirsi tale, quando, invece, il realista si garantisce il diritto di separare la credenza in una teoria dalla credenza nelle entità di cui la teoria fornisce una spiegazione. È possibile infatti che il realista ritenga le entità di cui parla la teoria inesistenti o comodi strumenti matematici, e viceversa possa considerare le entità come reali, ma la teoria che le sottende un'approssimazione e assolutamente irrilevante rispetto alle entità in sé.

Pur non considerandosi un realista, Elliott Sober rappresenta in maniera evidente il caso di una posizione sulla base della quale le entità inosservabili, che l'antirealista raggruppa sotto un generale velo di non impegno, possano essere divise in due diversi campi: quegli oggetti quali quark e geni (che l'autore considera essere buone approssimazioni utili alla scienza), e le costruzioni teoriche che fanno uso di suddette entità, che egli considera, al contrario, in maniera completamente nominalista.

In generale, comunque, il realismo scientifico può essere ricondotto a tre fattori principali che, in forma più o meno accentuata, sono accettati dalla grande maggioranza degli aderenti a questa visione, che Newton-Smith descrive con particolare attenzione:

1. un ingrediente che egli chiama come *ontologico* ovvero che "*le teorie scientifiche sono o vere o false, e che questo statuto dipenda da come è effettivamente il mondo*"
2. un ingrediente *causale* che è definito come la "*pretesa che se una teoria è vera, i termini teoretici della teoria denotano entità teoretiche che sono responsabili in senso causale per il fenomeno osservabile la cui occorrenza è evidenza per la teoria*".
3. Un fattore *epistemologico*, che sostiene che "*possiamo avere una credenza garantita (almeno in principio) riguardo il valore di verità delle nostre teorie*"[45].

[45] Newton-Smith, W. and Lukes, S. 1978, "The undetermination of theory by data", in *Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes*, vol. 52, 1978, Oxford University Press. "scientific theories are either true or false and which a given theory is, it is in virtue of how the world is", "claim that if a theory is true, the theoretical terms of the theory denote theoretical entities which are causally responsible for the observable phenomenon whose occurrence is evidence for the theory", "we can have warranted beliefs (at least in principle) concerning the truth-values of our theories"

Questi fattori, che uniscono molti dei teorici del realismo, come Popper e Putnam, indicano che la visione realista della scienza punta in maniera decisa verso la costruzione di una rappresentazione vera del mondo.

Dal punto di vista logico, la tesi realista fa propria una serie di assunzioni riguardo alla verità di una determinata proposizione, e sostiene con forza una teoria della verità come corrispondenza (in quanto la verità di una proposizione deve essere decisa solo attraverso la corrispondenza con il mondo), il principio di bivalenza (una teoria può essere vera o falsa) e il principio del terzo escluso. Se questa è tuttavia la posizione standard del realismo, nulla impedisce di accettare alcune o solo in parte alcuni dei fattori. Come è stato già chiarito, infatti, il realismo non è una dottrina definita, quanto una compagine variegata all'interno della quale è possibile trovare diverse scuole di pensiero.

Alcune di queste, ad esempio, esprimono un certo livello di scetticismo nei confronti delle teorie, e dimostrano di credere nelle entità inosservabili a partire dal livello di manipolazione che la scienza è in grado di imporre su questi oggetti; Hacking è il classico esempio di questo tipo di realismo, e lo esprime senza giri di parole nell'espressione "*if you can spray them, they are real*" (se puoi spruzzarli, sono veri):

> "What convinced me of realism has nothing to do with quarks. It was the fact that by now there are standard emitters with which we can spray positrons and electrons - and that is precisely what we do with them. We understand the effects, we understand the causes, and we use these to find out something else. The same of course goes for all sorts of other tools of the trade, the devices for getting the circuit on the supercooled niobium ball and other almost endless manipulations of the 'theoretical'.[46]

2.2. Entità matematiche nelle nostre migliori teorie

È dunque con queste definizioni preliminari che mi appresto ad affrontare una delle questioni più interessanti della tesi realista, che si sviluppa in maniera concreta dalla prospettiva comune che utilizza questo *modus operandi* nella scienza. Un campo d'inchiesta comune in questo settore alla fine del ventesimo secolo ha riguardato la continua ed incessante matematizzazione della scienza, e il motivo nonché il valore di

[46] Ian Hacking, in *Representing and Intervening: introductory topics in the Philosophy of natural science,* 1983, Cambridge University Press

questo passo necessario in molte delle moderne discipline scientifiche. Due sono le questioni che tormentano i pensatori di questo periodo: quale è la natura dei numeri? Possono spiegare qualcosa?

Il passaggio logico che permette di fare il salto dal parlare dell'esistenza di entità inosservabili agli enti matematici è intuitivamente comprensibile, seppur non di immediata chiarezza; infatti, il sentire comune ha creato un linguaggio con cui si ha l'abitudine di definire oggetti quali atomi ed elettroni, ma non accetta intuitivamente l'esistenza di quelle che vengono definite entità matematiche.

La domanda più che legittima da porsi è, dunque, che cosa si intenda con entità matematiche, e perché assumono importanza nella discussione tra realismo e antirealismo scientifico. Per rispondere a queste due domande, strettamente legate, cercherò di collegare i tasselli che sono stati posti in precedenza in modo che l'intero ragionamento risulti comprensibile.

In precedenza è stato delineato un tipo di realismo che sostiene la posizione che le teorie scientifiche hanno a che fare con la verità indipendentemente dalle nostre conoscenze odierne; è quindi ragionevole pensare che, se una teoria è vera, lo siano anche tutte le parti che la compongono. Una teoria, per essere vera, deve parlare del mondo esattamente com'è, descrivere entità dotate della proprietà di esistenza e permettere di spiegare come opera il mondo. Riguardo all'ultima espressione si possono notare un paio di cose: innanzitutto, una teoria vera è vera in tutte le sue parti (ed in particolare, per quello che riguarda questa discussione, l'apparato matematico che la sostiene), ed è, in secondo luogo, in grado di descrivere in maniera veritiera un fenomeno, oltre che essere in grado di spiegarlo.

Lasciando per il momento da parte il significato di spiegazione, che verrà ripreso in un paragrafo successivo, la domanda che si sono posti alcuni filosofi è stata: quale funzione hanno le entità matematiche nelle nostre teorie scientifiche? Cosa sono e perché vengono utilizzate?

La risposta del realista è che per entità matematiche si intendono le strutture, le proprietà, le funzioni e le classi che fanno parte del reame della matematica, e che fungono da lingua inespressa di molte discipline scientifiche odierne; poiché le scienza tende ad utilizzare il linguaggio della matematica per esprimersi, e le nostre attuali scienze sono fondate sul sapere matematico, questo risulta non solo essenziale, e di conseguenza vero (per il realista rispetto alle teorie), ma in grado di spiegare qualcosa che sarebbe impossibile fare senza di esso. In altre parole, gli enti matematici sono dotati di un valore ontologico, e sono indispensabili per le nostre migliori teorie. Il realista cioè fonda su una necessità epistemologica una necessità di tipo ontologico, ed è quello che gli autori che andrò a trattare proveranno a dimostrare.

Questo è il terreno su cui si fonda la discussione sull'Indispensability Argument.

2.3. l'Indispensability Argument e le sue declinazioni

È stato visto come la discussione sulla possibilità di un'ontologia delle entità matematiche comincia a muovere i suoi primi passi dall'innegabile osservazione di come gran parte delle scienze abbiano cominciato un processo di integrazione, astrazione e misurazione permesso dalle teorie matematiche. Quine, in particolare, ha notato acutamente come questo percorso scientifico fosse trasmesso per contatto da una disciplina all'altra:

> "A progressive sharpening and regimenting of Ordinary idioms: this is what led to arithmetic, symbolic logic, and set theory, and this is mathematization. Once it has been achieved by arduous evolution in one domain, it may be sometimes achieved swiftly in another domain by analogy; for the mathematical notation that was developed in one domain may, by reinterpretation, be put to use in another."[47]

Questo indubitabile successo che ha permesso l'espansione a così tante discipline è stato così distintivo da suscitare l'interesse di alcuni filosofi, Quine *in primis*, che hanno cercato di comprendere se fosse possibile parlare di numeri in senso esistenziale, ovvero se, nell'ambito di un approccio realista alla scienza, potesse essere dato a questo ente astratto lo stesso valore ontologico che possono avere atomi, quark ed elettroni. La teoria non è irragionevole, e presenta, a proprio supporto, un concetto che viene definito come indispensabilità.

[47] Quine, W.V. 1983 "Success and Limits of Mathematization", in *Theories and Things*, Cambridge, MA: Harvard University Press, pp. 148–155.

2.3.1. *La formulazione iniziale dell'Indispensability Argument*

Indispensabile in un teoria è ciò che, se fosse rimosso, renderebbe questa meno preferibile, intendendo con questo termine ciò che la indica come più completa rispetto a tutte le altre teorie in competizione; questa preferibilità può assumere una moltitudine di declinazioni, che vari studiosi hanno tentato di definire: si è spesso discusso di generalità, aderenza al dato osservato, comprensività e potere esplicativo come possibili qualità che rendono alcune teorie preferibili ad altre.

Le nostre teorie scientifiche sono le migliori possibili attualmente anche in virtù del fatto che utilizzano il linguaggio della matematica pura. Questo ha portato Quine, e successivamente Putnam, a definire quello che viene a tutt'oggi riferito come "*il migliore argomento per il realismo matematico*"[48]. L'Indispensability Argument, nella sua versione basilare, è chiamato anche Quine-Putnam, e recita, nella formulazione di Mark Colyvan:

> (P1): Dobbiamo avere un impegno ontologico verso tutte e sole quelle entità che sono indispensabili alle nostre migliori teorie scientifiche.
> (P2): Le entità matematiche sono indispensabili alle nostre migliori teorie scientifiche.
> C: Dobbiamo avere un impegno ontologico verso le entità matematiche.[49]

Vediamo dunque che la base per il realismo matematico affonda profondamente le sue radici nel realismo scientifico, equiparando le entità matematiche ad altri oggetti inosservabili di cui la scienza suppone l'esistenza per le sue migliori teorie scientifiche.

Per come è stata stabilita, Putnam stesso avrà successivamente da ridire per quanto riguarda la sua posizione, che non considera assimilabile a quella di Quine:

---

[48] Mark Colyvan, 1998, "Indispensability Arguments in the Philosophy of Mathematics," in E.N. Zalta, ed., *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*

[49] La forma generalizzata dell'Indispensability Argument, in lingua originale, è descritta come segue:

(P1)We ought to have ontological commitment to all and only the entities that are indispensable to our best scientific theories.

(P2)Mathematical entities are indispensable to our best scientific theories.

(C)We ought to have ontological commitment to mathematical entities.

> "In sum, my “indispensability” argument was an argument for the objectivity of mathematics in a realist sense—i.e. for the idea that mathematical truth must not be identified with provability. Quine’s indispensability argument was an argument for “reluctant Platonism,” which he himself characterized as accepting the existence of “intangible objects'' ”[50]

Putnam difende l’unicità della sua posizione sostenendo che essere realisti riguardo alla fisica e non riguardo alla matematica sia un’incoerenza. L’autore ha cercato infatti di incatenare al terreno del misurabile e dell’osservabile l’esistenza degli oggetti della matematica: giustifica solo quelle entità che sono utilizzate dalle teorie della scienza naturale, rimanendo il più possibile agnostico rispetto a entità di cui l’uso scientifico non è ancora stato adottato:

> "Insofar, then, as the indispensability of quantification over sets is any argument for their existence, we may say that it is a strong argument for the existence of at least predicative sets, and a pretty strong, but not as strong, argument for the existence of impredicative sets. When we come to the higher reaches of set theory, however -sets of sets of sets of sets- we come to conceptions which are today not needed outside of pure mathematics itself. The case for "realism" being developed in the present chapter is thus a qualified one: at least sets of things, real numbers, and functions from various kinds of things to real numbers should be accepted as part of the presently indispensable (or nearly indispensable) framework of both physical science and logic, and as part of that whose existence we are presently committed to. But sets of very high type or very high cardinality (higher than the continuum, for example), should today be investigated in an "if-then" spirit.``[51]

2.3.2 *Obiezioni di Penelope Maddy*

Nonostante, comunque, in questa formulazione, o nelle sue più recenti, l’Indispensability Argument non obblighi all’impegno ontologico, se non per quella parte della matematica che è possibile utilizzare nella scienza corrente, la realtà di

---

[50] Putnam, H., "Indispensability Arguments in the Philosophy of Mathematics", 2012, in *Philosophy in an Age of Science: Physics, Mathematics and Skepticism*. Harvard University Press. pp. 181–201.
[51] Putnam, H. “How much Set Theory is really indispensable for Science’” in *Philosophy of Logic*, 1972, Routledge Revivals

questi oggetti non è provata dalla scienza naturale o dai dati. Questo, tuttavia, non collima con l'esperienza e l'attitudine di coloro che effettivamente lavorano nel campo della scienza, per i quali il problema di accettare una data teoria matematica non dipende dall'utilizzo che ne viene fatto, come fa notare correttamente Maddy:

> "The support of the simple indispensability argument extends to mathematical entities actually employed in science, and only a bit beyond. The trouble is that this does not square with the actual mathematical attitude toward unapplied mathematics. Set theorists appeal to various sorts of non demonstrative arguments in support of their customary axioms, and these logically imply the existence of inaccessible numbers. [Maddy si sta qui riferendo al testo di Quine "Reply to Charles Parsons"] Inaccessibles are not guaranteed by the axioms, but evidence is cited on their behalf nevertheless. If mathematics is understood purely on the basis of the simple indispensability argument, these mathematical evidential methods no longer count as legitimate supports; what matters is applicability alone."[52]

Se la posizione di Maddy attacca l'olismo di Quine sulle basi del comportamento della scienza, che vede come informativo dell'atteggiamento che il filosofo dovrebbe tenere nei confronti della stessa, la posizione di Putnam, che è decisamente più mitigata, non ne viene particolarmente scalfita. Putnam stesso, rispondendo punto per punto a Colyvan, si trova d'accordo con Maddy:

> "I agree with Maddy that the actual attitudes of working scientists towards the components of well-confirmed theories vary from belief, through tolerance, to outright rejection. But this does not invalidate my "indispensability arguments," because they were never offered as an account of which "ontological commitments" are "confirmed. […] I repeat, my indispensability arguments address the question whether antirealism with respect to mathematics is compatible with realism with respect to physics. That scientists do not take seriously all of the "components of well confirmed theories" that they accept does not refute my argument, unless what they "do not take seriously" includes the whole mathematical apparatus of fundamental physics. And obviously it doesn't."[53]

---

[52] Maddy, P. "Indispensability and Practice" in The Journal of Philosophy , Jun., 1992, Vol. 89, No. 6 (Jun., 1992), pp. 275-289

[53] Putnam, H., "Indispensability Arguments in the Philosophy of Mathematics", 2012, in *Philosophy in an Age of Science: Physics, Mathematics and Skepticism*. Harvard University Press. pag. 181–201.

2.3.3. *Obiezioni all'olismo di Sober e contrastive empiricism*

L'Indispensability Argument, nella sua forma quineana, viene messo in dubbio da Elliott Sober nel suo articolo *Mathematics and Indispensability* con un approccio nuovo, che chiama in causa il *Principio di Verosimiglianza*. Mentre la maggior parte dei nominalisti rigetta il principio dell'indispensabilità sulla base di un agnosticismo di natura simile a quella presentata da Van Fraassen, accomunando enti matematici ed entità inosservabili nella stessa categoria di oggetti di cui non si può essere persuasi dell'esistenza, ma che possono essere considerati solo empiricamente adeguati, Sober tenta di trovare una terza via che mostri come gli enti matematici siano fondamentalmente differenti da quark e geni, in una forma di nominalismo da lui propugnata che chiama *contrastive empiricism* (in contrasto con l'empiricismo costruttivo di Van Fraassen).

> "As it turns out, contrastive empiricism entails that coalescing mathematics with empirical science is highly problematic. I believe that there is an important kernel of truth in abductive arguments for genes and quarks. But no counterpart argument exists for the case of numbers."[54]

Chiave di volta della posizione di Sober è il *Likelihood Principle*, che è meglio tradurre con verosimiglianza che probabilità; lo stesso autore infatti mette in guardia dallo scambiare la verosimiglianza di un'ipotesi con la sua probabilità.

Se infatti la verosimiglianza di un'ipotesi H, relativa ad una serie di osservazioni O, è la probabilità che l'ipotesi assegna alle osservazioni P(O/H), la probabilità di un'ipotesi è calcolata sulla base delle sue osservazioni P(H/O). Il principio di verosimiglianza afferma dunque che le osservazioni O favoriscono un'ipotesi H1 rispetto ad un'ipotesi H2 se e solo se P(O/H1) > P(O/H2).

Una spiegazione è, dunque, data come plausibile solo attraverso una serie di ipotesi concorrenti delle quali solo una appare interpretare i dati osservativi chiamando in causa il numero minore possibile di coincidenze;

[54] Sober, E. "Mathematics and Indispensability", 1993, in The Philosophical Review, vol°102, Duke University Press, pag. 35-57

> "The Likelihood Principle entails that the degree of support a theory enjoys should be understood relatively, not absolutely. A theory competes with other theories; observations reduce our uncertainty about this competition by discriminating among alternatives. The evidence we have for the theories we accept is evidence that favors those theories over others"[55]

L'empiricista, quando confronta teorie in competizione che sono credute essere empiricamente equivalenti, non può assegnare una preferenza, mentre il realista tende a preferire una teoria rispetto ad un'altra sulla base di criteri e considerazioni non basati sull'osservazione (semplicità, regolarità, armonia con la struttura generale e la teoria di sfondo della disciplina scientifica in oggetto, ecc.). Questo porta ad interessanti conseguenze quando si discute dell'Indispensability Argument, perché, sostiene Sober *"L'indispensabilità non è un sinonimo per conferma empirica, ma la sua antitesi"*[56]; poiché è un dato di fatto che ogni teoria in competizione nelle scienze attualmente fa uso di un apparato matematico, non si può concludere che un'ipotesi rispetto ad un'altra sia da preferire sulla base dell'apparato matematico, poiché l'apparato matematico dietro le ipotesi è indifferente rispetto allo stabilire se una di queste sia più verosimile rispetto alle altre;

> "If the mathematical statements M are part of every competing hypothesis, then, no matter which hypothesis comes out best in the light of the observations, M will be part of that best hypothesis. M is not tested by this exercise, but is simply a background assumption common to the hypotheses under test."[57]

Se volessimo testare la verosimiglianza dell'apparato matematico M, continua Sober, sarebbe necessario possedere un differente set di affermazioni M' da confrontare con M, e questo contrasterebbe il concetto di indispensabilità di M alla base.

La differenza, quindi, tra entità matematiche ed entità quali i quark o i geni sta proprio nel fatto che esistono teorie alternative che rendono verosimili queste entità in quanto confermate dalle osservazioni a nostra disposizione, mentre non esistono teorie competitive per la matematica; in questo sta la differenza che Sober crea tra la sua

---

[55] Ibid.
[56] Ibid.
[57] Ibid. "Indispensability is not a synonym for empirical confirmation, but its very antithesis"

posizione e quella dell'empiricismo costruttivo, che considera tutte le entità inosservabili allo stesso modo.

Sober nota che nulla di quello che ha detto nega la posizione, che si potrebbe definire kantiana, dell'indispensabilità della matematica come una sorta di condizione a priori per poter fare scienza; ciò che egli attacca, nello specifico, è l'olismo epistemologico che sostiene la necessità di credere che, confermata una teoria, ogni parte della teoria debba essere vera, o avere valore ontologico. La critica di Sober è un ulteriore passo importante, sia per realisti che per nominalisti, per allontanarsi dalla concezione di Quine, e spostarsi su quella più fertile della spiegazione.

2.3.4. *Obiezioni e dibattito Melia-Colyvan*

Un'altra posizione che mette in dubbio in maniera differente l'Indispensability Argument viene a formarsi nel 2000 quando Joseph Melia pubblica un articolo dal nome *Weaseling away the Indispensability Argument;* questo testo, che ha avuto un certo seguito, tenta di dimostrare come la prima premessa dell'Indispensability Argument sia scorretta. In sostanza, Melia è convinto che pur essendo le teorie scientifiche attualmente formulate con una quantificazione di entità astratte, esse non siano indispensabili, ma siano meramente comodità pragmatiche, verso cui non è necessario avere impegno ontologico.

Alla base di questo lavoro stanno due differenti strategie, o strade, volte a dimostrare la difficoltà di considerare le entità matematiche utilizzate dal linguaggio normale della scienza come necessarie ad essa.

La prima strada, che chiama la *Strategia Triviale*, si propone di sostituire ogni teoria scientifica che faccia uso di entità, il cui valore ontologico un nominalista si sentirebbe a disagio ad accettare, con una teoria altrettanto valida, ma che elimini suddetto linguaggio ed ogni riferimento ad esso.

Questo processo, tentato in passato già da Hartry Field nel 1980 nella sua *Science without numbers: a defense of Nominalism*[58], si scontra con la necessità di rendere le teorie sostitutive altrettanto appetibili ed utilizzabili dalla più vasta comunità scientifica. La sua conclusione è stata che, con una tale trasformazione del linguaggio, nessuna teoria scientifica sarebbe stata altrettanto esaustiva per i suoi utilizzatori.

[58] Field, H., "Science without Numbers: a defense of Nominalism", 1980, Oxford, Blackwell

Lo stesso Melia compie il passo ulteriore di dimostrare come la *Strategia Triviale* sia in ogni caso non sempre efficace creando un esempio di due teorie T e T*, dove T è la versione nominalista di una teoria e T* la sua estensione platonista; qualora T* contenga T, ciò implicherebbe che un linguaggio nominalista non sia in grado di comprendere tutte le ramificazioni di una teoria realista convertita in linguaggio nominalista.

La seconda possibilità secondo Melia è di trovare una via alternativa, che chiama *weaseling*[59], per mantenere una concezione nominalista delle entità matematiche pur accettando i risultati delle teorie che ne fanno uso. Questa concezione, che lui sostiene essere condivisa dalla maggior parte degli scienziati, non può essere spiegata con semplice ipocrisia del mondo scientifico, e viene difesa da una metafora di discreto successo:

> "Mathematics is the necessary scaffolding upon which the bridge must be built. But once the bridge has been built, the scaffolding can be removed. It is surely more charitable to take scientists to be weasels rather than to be inconsistent hypocrites"[60]

Il ragionamento di Melia, infatti, si basa non solo sul dato di fatto della fiducia degli scienziati nelle entità matematiche e nell'uso che ne fanno, ma anche su una "certa estetica della scienza":

> "I accept that considerations of simplicity play an important role in theory choice. But I prefer the hypothesis that makes the world a simpler place. For sure, all else being equal, I prefer the theory with the simpler ontology. For sure, all else being equal, I prefer the theory that postulates the least number of fundamental properties and relations."[61]

Secondo Melia, postulare entità come i quark rende genuinamente il mondo più semplice, mentre un tale processo non avviene per le entità matematiche; ciò, di fatto crea una classe di entità inosservabili completamente differente, che, pur essendo in grado di descrivere fatti teorici, che altri modelli di teoria non sarebbero stati in grado

---

[59] Potrebbe essere tradotto come "sgusciare" ma l'autore fa chiaramente riferimento al *weasel*, il furetto, come immagine metaforica per l'impostazione della sua argomentazione.
[60] Melia, J. "Weaseling away the Indispensability Argument, 2000, in *Mind*, Vol. 109, pag. 455-479, Oxford University Press
[61] Ibid.

di approcciare, non acquistano un'esistenza per questa ragione: "*nessuno pensa che questi ulteriori tipi di regioni esistano a causa degli oggetti e delle proprietà matematiche* "[62].

Mark Colyvan, nel 2002[63], si assume il compito di rispondere alle nuove obiezioni sollevate da Melia. Non contestando la posizione del *weaseling*, ma cercando invece di chiarire il concetto di semplicità di una teoria.

Pur trovandosi d'accordo sul fatto che ricada sulle spalle del platonista la dimostrazione dell'appetibilità delle proprie teorie, Colyvan sostiene che la semplicità non sia l'unico fattore da tenere in considerazione in questo contesto. La stessa versione dell'Indispensability Argument citata da Melia fa risaltare altre qualità, quali il potere esplicativo e la forza di una teoria. Inoltre, l'autore mette in luce una nuova qualità che potrebbe indurre a pensare alla indispensabilità della matematica nelle scienze, e questo è il potere di unificazione tra le scienze, e predizione. Infatti la matematica fornisce non solo un linguaggio comune, ma offre risposte comuni a problemi apparentemente scollegati suscitati da differenti discipline delle scienze naturali (ad esempio, la legge di gravitazione universale spiega allo stesso tempo il moto dei pianeti e quello di un proiettile).

In parole povere, Colyvan sostiene che il potere di previsione e di spiegazione delle teorie platoniche ben compensa l'economia ontologica offerta dalle controparti nominaliste.

2.4. Matematica e potere esplicativo

Il valore della discussione intercorsa tra Melia e Colyvan non è passato inosservato, poiché ha inavvertitamente posto l'accento su un diverso terreno di confronto tra realisti ed antirealisti; l'accento non è più riguardante l'olismo di Quine e le sue conseguenze metafisiche, ma si può discutere di utilità delle teorie scientifiche, dell'effettivo *modus operandi* degli uomini di scienza e del potere esplicativo delle teorie matematiche. Il testimone della disputa sull'Indispensability Argument viene quindi raccolto da Alan Baker, che tra il 2003 ed il 2011 si è prodotto in una serie di articoli che avevano come tema centrale le seguenti domande: I) Esistono spiegazioni

---

[62] Ibid. "nobody thinks that these extra kinds of regions exist because of mathematical objects and properties"

[63] Colyvan M. "Mathematics and Aesthetic Consideration in Science", 2002, in Mind, Vol.111, pag. 69-74, Oxford University Press

matematiche genuine in scienza? II) Esiste un fatto, una legge, una regolarità inclusa in una teoria scientifica che è spiegata da una teoria matematica?

A partire da questa duplice inchiesta, Baker comincia la sua indagine sottolineando come lo scambio Melia-Colyvan abbia ancora di più rafforzato il concetto che la tesi realista si fondi sulla spiegazione:

> "A crucial plank of the scientific realist position involves reference to the best explanation (IBE) […] Nonetheless, the indispensability debate only goes off if both sides take IBE seriously, which suggests that explanation is of key importance in this debate"[64]

A questo proposito, Baker, raccoglie l'invito a pensare diversamente rispetto alla necessità matematica, ricordando l'affermazione di Melia secondo la quale "*la matematica deve essere indispensabile in una maniera sua propria*"[65]. Proprio per questo, egli riformula l'Indispensability Argument in una versione che chiama Enhanced:

(P1) Dobbiamo credere razionalmente nell'esistenza di ogni entità che gioca un indispensabile ruolo esplicativo nelle nostre migliori teorie scientifiche
(P2) Gli oggetti matematici giocano un ruolo esplicativo indispensabile nella scienza.
(C) Di conseguenza, dobbiamo credere razionalmente nell'esistenza degli oggetti matematici[66]

Si può immediatamente notare come l'attenzione al potere esplicativo sia il nuovo focus di questa forma dell'Indispensability Argument, e come, quindi, questo

---

[64] Baker, A. "Are there Genuine Mathematical Explanations of Physical Phenomena?", 2005, in *Mind*, vol. 114 p.223-238

[65] Melia, J. "Weaseling away the Indispensability Argument, 2000, in *Mind*, Vol. 109, pag. 455-479, Oxford University Press. "mathematics must be indispensable in the right kind of way"

[66] Baker, A. "Mathematical Explanation in Science", 2009, in the British Journal of Philosophy of Science, vol. 60, pag. 611-633

P1: We ought rationally to believe in the existence of any entity that plays an indispensable explanatory role in our best scientific theories.

P2: Mathematical objects play an indispensable explanatory role in science.

C: Hence, we ought rationally to believe in the existence of mathematical objects.

restringa il campo di interesse a quella parte della teoria matematica che viene effettivamente utilizzata al di fuori della matematica stessa, come nel caso delle scienze.

Ricostruendo in questa maniera la tesi essenziale della posizione realista, Baker accoglie anche il disagio che molti realisti, così come tutti i nominalisti, avevano espresso nei confronti dell'olismo di Quine; d'altro canto sulla scorta di quanto aveva fatto notare anche Putnam, permette al realista di assumere un atteggiamento di indifferenza nei confronti di quelle entità matematiche che a non sono presentemente utilizzate dalla scienza.

Il processo che Baker adotta è quello del focalizzarsi sulla "*spiegazione matematica 'esterna'; in altre parole, il ruolo potenziale della matematica in scienza come strumento per dare spiegazioni di fenomeni fisici*"[67], e di conseguenza, è la seconda premessa dell'Indispensability Argument che ora diventa il principale punto di contesa tra realisti e nominalisti.

La divergenza di vedute tra Colyvan e Melia riguarda principalmente l'indispensabilità della spiegazione, e uno dei principali punti possibili per attaccare la posizione realista è quello di contestare l'arbitrarietà del sistema matematico scelto per rappresentare i dati. Seguendo le orme di Field e soprattutto di Sober, la scelta dell'apparato matematico da utilizzare viene contestato come arbitrario, e non scelto tra ipotesi competitive. Baker tenta di districarsi da questa accusa cercando di distinguere tra tre tipi di arbitrarietà: la prima, che chiama *arbitrarietà al livello dell'oggetto*, una seconda, che definisce come *arbitrarietà al livello del concetto*, ed una terza, *arbitrarietà al livello della teoria*.

Quando Baker parla di *arbitrarietà al livello dell'oggetto* egli di solito intende la scelta, dell'unità di misura. Una certa quantità ha uno specifico valore perché è stata misurata con una determinata unità di misura. L'autore in un certo senso concede agli antirealisti che la scelta dell'unità di misurazione sia arbitraria, ma nega che, finché ci sia un qualche oggetto matematico che ha un ruolo nella spiegazione, questa arbitrarietà sia un grave punto di contrasto con la tesi realista.

Arbitrarietà al livello del concetto viene chiamata in causa quando l'*explanandum* possa essere spiegato da una teoria alternativa, che non faccia ricorso a nessuna entità teoretica matematica. In tale caso, possono essere presi in considerazione strumenti diversi dagli enti matematici per misurare regolarità; inoltre esiste come

[67] "'external' mathematical explanation; in other words, the potential role of mathematics in science as a tool for providing explanations for physical phenomena"

possibilità che quanto sia descritto da una proprietà matematica sia in realtà una proprietà intrinseca dell'*explanandum*. Baker è convinto, però, che queste alternative siano soltanto teoriche; infatti, l'applicazione concreta scientifica è destinata a fallire, come è successo per il tentativo di Field, il quale, pur concedendo che sia possibile creare una "scienza senza numeri", ammette che il linguaggio matematico è un'utile strumento pragmatico. E', d'altronde, chiara la laboriosità implicita nel cercare uno specifico linguaggio per ogni *explanandum* , cosicché siano eliminati i riferimenti all'ente matematico.

Baker infine chiama *arbitrarietà al livello della teoria* la situazione nella quale:

> "For even if it is conceded that number theoretic notions are essential to the explanation, the critic may argue that number theory does not necessarily carry commitment to numbers. By trying to break the link between number theory and numbers—construed as abstract objects—this objection amounts to a claim of theory-level arbitrariness. The aim is to show how nominalistic underpinnings can be provided for our number-theoretic explanations while still retaining these explanations."[68]

Questa accusa di arbitrarietà, sostiene l'autore, è fuori dallo scopo di chi parla oggigiorno dell'Indispensability Argument; secondo la definizione Enhanced antecedentemente ricordata, si può notare come il dibattito non si sviluppi sul fatto che il linguaggio matematico sia indispensabile o meno nelle nostre teorie scientifiche, perché questo è già dato come un fatto; la nuova argomentazione è rivolta al concetto di potere esplicativo della matematica nella scienza.

La ricerca di Baker si focalizza dunque su quei casi dove l'aver postulato oggetti matematici dia un effettivo potere esplicativo; e tra i criteri della sua scelta cita l'estraneità dalla matematica, per evitare accuse di circolarità, così come la necessità che il fenomeno da spiegare sia fisico, affinché la spiegazione sia davvero di matematica applicata alle scienze naturali.

Il caso che porta come explanandum, preso dalla biologia evoluzionista, è il peculiare ciclo vitale della cicala americana, la *Magicicada septendecim*, che ha una durata estremamente lunga e curiosamente specifica del proprio ciclo vitale, poiché

[68] Ibid.

emerge come adulto, a seconda dell'area geografica, ogni tredici o diciassette anni. Baker è convinto che questa peculiarità entomologica sia perfetta per sostenere la sua posizione, in quanto ciò che è da spiegare di questo fenomeno deve necessariamente essere sviluppato in concomitanza da leggi della biologia e della matematica. Il prolungato periodo di sviluppo dell'insetto, l'effetto dei due differenti areali geografici sulla differente durata del ciclo di sviluppo e la sincronizzata emergenza di tutte le cicale adulte, sostiene Baker, sono tutti dati spiegabili da una legge naturale, la quale implica che che il comportamento della cicala sia esattamente questo, per ragioni evolutive, climatiche e biologiche.

Ciò che Baker trova oltremodo interessante è che, a suo parere, resti da spiegare il perché i cicli vitali abbiano sempre una durata misurata in numeri primi:

> "why are the life-cycle periods prime? In other words, given a synchronized, periodic life-cycle, is there some evolutionary advantage to having a period that is prime? If so, this would help explain why 13 and 17 are the favored cycle periods for each of the three species of the genus Magicicada."[69]

La biologia si è dimostrata in grado di fornire due differenti spiegazioni sul perché di questa regolarità. Una di queste ipotizzava la presenza di predatori preistorici che fossero allo stesso modo periodici, ma con cicli vitali più brevi, e che fosse, dunque, vantaggioso per la cicala cercare di distribuire nel tempo più lungo possibile il suo ciclo riproduttivo per evitare pericolose intersezioni con il periodo di attività di tali organismi.

L'altra spiegazione cita come causa il tentativo di evitare l'ibridazione con altre sottospecie similari, con cui i cicli riproduttivi cercava la minore sovrapposizione possibile. Un periodo di stasi costituito da un numero primo di anni sarebbe stata la strategia migliore per evitare inutili sovrapposizioni con il periodo di attività della cicala.

Baker sostiene che, alla base di questo fenomeno, la regolarità dei cicli vitali della cicala sia dovuta a una spiegazione matematica, in particolare le proprietà dei numeri primi, che, in quanto possono essere divisi solo per uno e per sé stessi, sono naturalmente portati ad avere un numero minimo di intersezioni (multipli in comune)

[69] Baker, A. "Are there Genuine Mathematical Explanations of Physical Phenomena?", 2005, in *Mind*, vol. 114 p.223-238

con un altri numeri; l'ibridazione con sottospecie simili, dunque, che può avvenire soltanto durante periodi all'incirca sovrapponibili, è minimizzata grazie al fatto che i numeri primi tendono ad avere un numero minimo di multipli in comune rispetto ad altri numeri.

La legge mista (biologico-matematica) che Baker deriva per spiegare la durata dei cicli vitali della cicala è la seguente:

> I) Avere un ciclo vitale che minimizza l'intersezione con altri (simili, più veloci) periodi è vantaggioso dal punto di vista evolutivo ["legge" biologica]
> II) I cicli primi minimizzano l'intersezione (comparati a cicli non primi)
> —
> III) Quindi organismi con cicli vitali periodici è probabile che sviluppino cicli vitali primi ["legge" mista biologica-matematica][70]

Baker è convinto che questa spiegazione sia matematica e genuina, poiché rispetta le clausole che si era dato egli stesso in partenza: l'applicazione di questa spiegazione è infatti estranea alla matematica e non circolare; e la seconda condizione è che il fenomeno abbia bisogno di una spiegazione. Nelle parole di Baker "*Questa condizione è soddisfatta, dacché il ciclo vitale della cicala periodica è considerato "insolito" e "misterioso" dagli stessi biologi*".[71]

La spiegazione, per come fornita da Baker, ha effettivamente la teoria dei numeri primi come fattore essenziale; il suo modello di spiegazione segue anche la forma della spiegazione nomologica-deduttiva, in quanto deriva la sua inferenza da leggi generali della natura. Baker stesso nota, tuttavia, che se anche questa legge ha la forma che si era prefisso, questo non significa che tutta l'applicazione della matematica abbia questa forma, e che, tornando a Melia, non tutti gli usi del reame della matematica effettuati dalle scienze naturali siano effettivamente esplicativi. In ogni caso, è convinto

[70] Ibid.
"I: Having a Life cycle period which minimizes intersection with other (nearby/lower) periods is evolutionary advantageous [biological "law"]
II: Prime periods minimize intersection (compared to non-prime periods)
III: Hence organisms with periodic life-cycles are likely to evolve periods that are prime [mixed biological/mathematical law]"

[71] "this condition is met, since the life-cycle of the periodical cicadas is considered 'remarkable' and 'mysterious' by biologists themselves"

che questo sia una forte prova a favore dell'esistenza di oggetti matematici, e che essi siano in grado di spiegare qualcosa.

2.5. Spiegazione Matematica ed Inferenza alla Miglior Spiegazione

Nel corso di questa trattazione ho cercato di mostrare il nesso tra la spiegazione scientifica e la spiegazione matematica; il problema della spiegazione è infatti, per l'intero impianto realista della costruzione matematica della scienza, un impegno che deve essere toccato, valutato e risolto da ogni autore che cerchi di districarsi attraverso questi temi difficili.

La prima necessità è stabilire una serie di convenzioni da cui partire per elaborare la discussione, ed è quello che è stato fatto dalla scuola realista (sia scientifica che matematica) nel momento in cui han dovuto fronteggiare il problema.

2.5.1. *Inferenza alla miglior spiegazione*

L'Indispensability Argument, per sua stessa natura, è infatti un terreno di confronto delimitato da entrambe le parti, e lo stesso Baker sostiene

> "the indispensability debate only goes off the ground if both sides take inference to the best explanation seriously, which suggests that explanation is of key importance in this debate"[72]

Come è noto, infatti, l'inferenza alla miglior spiegazione è uno dei metodi utilizzati dal realista per avvalorare la sua tesi, ed un primo esempio di questo uso continuo sta nel famoso argomento di Putnam che viene a chiamarsi "*argomento niente miracoli*"[73].

Il lavoro di Putnam, che sostiene che le entità di cui la scienza parla debbono per forza essere vere e le teorie scientifiche avvicinarsi sempre di più alla verità, considera che i successi della scienza potrebbero altresì essere dichiarati "miracoli" se la visioni antirealiste o storiciste della scienza fossero corrette. Dall'altro campo, è raro che

[72] Baker, A. "Are there Genuine Mathematical Explanations of Physical Phenomena?", 2005, in *Mind*, vol. 114 p.223-238

[73] Putnam, H. *Mathematics, Matter and Method. Philosophical Papers, vol. 1*. 1975, Cambridge: Cambridge University Press. "no miracles argument"

l'antirealista accetti senza sforzo l'*inference to the best explanation* (d'ora in poi IBE), ed è solo in determinati e ristretti campi, come quello citato qui sopra, che la questione non viene sollevata.

Il ragionamento che pertiene a IBE è un tipo particolare di inferenza induttiva, che giunge ad affermare un fatto generale a partire da un campione di dati osservati nel mondo; si differenzia dunque dall'inferenza deduttiva perché le conclusioni non seguono necessariamente dalle premesse. È, tuttavia, ancora diversa dall'inferenza induttiva semplice per il fatto che adduce, come ulteriore premessa da cui trarre la conclusione, che la conclusione generalizzata è tale perché è la migliore spiegazione del fenomeno del quale si trae la conclusione.

In altre parole, IBE aggiunge un ulteriore valore, il valore esplicativo, alle premesse di un'inferenza induttiva, e che quindi prende la forma seguente: "Data l'evidenza E, e varie ipotesi H1, H2, H3… sulla ragione di E, si inferisce Hx che è la migliore spiegazione [perché è la più soddisfacente o perché è quella che riesce meglio tra le ipotesi competitive] di E".

Naturalmente, pur non essendo rigorosamente e logicamente inattaccabile, IBE è spesso utilizzata dagli operatori scientifici competenti, e l'esempio forse più noto per dimostrare questo appropriamento di IBE nel metodo scientifico è la postulazione, indipendentemente l'uno dall'altro, della presenza di un pianeta ancora non scoperto nel sistema solare (Nettuno), per spiegare le irregolarità del moto di Urano, che non rispettava il modello gravitazionale newtoniano, da parte di Adams e Leverrier.

Per uno studioso della scienza di inclinazioni kuhniane due scienziati che postulano l'esistenza di un pianeta di cui ignorano l'esistenza per mantenere il paradigma scientifico potrebbe essere giudicato erroneo; al contrario, per il realista è del tutto giustificato l'utilizzo di IBE al massimo grado, per assumere come sicurezza l'effettiva esistenza di un altro pianeta. Tale esistenza è stata successivamente provata e il pianeta ora è chiamato Nettuno.

Nonostante non tutti gli studiosi che oggi definiremmo realisti siano stati favorevoli all'utilizzo di IBE, con Popper come esempio lampante, le due critiche principali a questa formula induttiva vengono effettuate da Bas Van Fraassen; e l'autore le articola secondo l'attacco ai seguenti punti: 1) IBE come inferenza "naturale"; 2) il collegamento tra spiegazione e verità; 3) il probabilismo insito nella normale formulazione di IBE:

1. Seguire le regole di un'inferenza che viene naturale, è per Van Fraassen "*agire in accordo con le regole in un senso che non richiede una deliberazione conscia. Questo non è facile da dire precisamente, dato che ogni regola logica è una regola di permesso (il modus ponens permette di inferire B da A (se A quindi B), ma non proibisce dall'inferire invece (B o A))*"[74]. L'autore esplicita che per seguire una regola si debba credere a tutte le conclusioni che essa permette, precisando che non si possa non credere o cambiare il proprio desiderio di credere alle premesse delle conclusioni che sono in disaccordo con la regola. In questo senso, Van Fraassen sostiene che, dunque, la proposizione che tutti seguiamo una regola in certi casi sia da confrontare con i dati e con le ipotesi competitive: "*Un'ipotesi psicologica riguardo ciò che siamo e non siamo disposti a fare. È un'ipotesi empirica, da confrontarsi con i dati, e con ipotesi rivali.*"[75]
2. Utilizzare IBE significa scegliere, tra le ipotesi competitive, quella che, tra tutte, ci fornisce una migliore spiegazione del mondo, ovverosia ci porta a scegliere la teoria che è più estesa. Questa, sostiene Van Fraassen, è una naturale contraddizione: l'equazione tra estensione esplicativa e verità non è solo falsa, ma completamente contraddittoria, in quanto più una teoria è estesa, più ha probabilità di essere falsa o falsificabile in uno dei suoi punti.
3. La seconda obiezione ad IBE pertiene alla sua formulazione probabilistica, o bayesiana, per dirla con l'autore. Prendendo in considerazione questa formulazione, che afferma che H sia una migliore spiegazione di E rispetto ad H' se P(E/H)>P(E/H'), chi la sostiene si affida ad una nozione probabilistica che non è sempre disponibile. Non è detto che sia possibile infatti affermare in maniera non soggettiva un grado di probabilità per una particolare combinazione di eventi. Van Fraassen quindi non considera appetibile per il realista una teoria basata sulla soggettività, che "*si basa sulla prestabilita plausibilità soggettivamente del darsi di entità inosservabili, quindi dubito che questa sorta di direzione bayesiana possa essere di aiuto in questo caso*"[76]

[74] Bas Van Fraassen, in *The Scientific Image*, 1980, Oxford University Press, Clarendon Library of Logic and Philosophy. "acting in accordance with the rules in a sense that does not require conscious deliberation. That is not so easy to make precise, since each logical rule is a rule of permission (modus ponens allows you to infer B from A (if A then B), but does not forbid you to infer (B or A) instead)"
[75] Ibid. "A psychological hypothesis about what we are willing and unwilling to do. It is an empirical hypothesis, to be confronted with data, and with rival hypotheses."
[76] Ibid. "hinges on the subjectively established initial plausibility of there being unobservable entities, so I doubt that this sort of Bayesian move would help here"

Forse è per eliminare a priori le difficoltà riguardo ad IBE che Baker la include come un *sine qua non* nella discussione dell'indispensabilità, e che nel dibattito Melia-Colyvan entrambi danno IBE come punto di partenza; del resto, spostando il dibattito sul potere esplicativo degli enti matematici, l'argomento antirealista accetta come assodata la possibilità di valutare sulla base di una maggiore capacità di spiegazione le teorie in competizione.

2.5.2 Inferenza alla miglior spiegazione e applicabilità alla matematica

Accettando momentaneamente come un dato di fatto la presenza dell'inferenza alla miglior spiegazione come uno standard della pratica scientifica, è tuttavia alquanto incerta la richiesta di dare potere esplicativo alle prove che in qualche maniera provengono dall' induzione matematica. Del resto, di solito si è abituati a considerare le leggi matematiche sulla base delle quali la scienza trae conclusioni come puramente deduttive, ma sono relativamente comuni i casi in cui un vasto numero di dati e di prove naturali vengono formulate in un teorema che ha una formulazione induttiva: questo problema, filosofico più che scientifico, viene ben riassunto da Mark Lange:

> "One especially striking disagreement concerns the explanatory power of proofs that proceed by mathematical induction. Some philosophers appear quite confident that these arguments are generally explanatory, even in the face of other philosophers who appear equally confident of their intuition to the contrary. Very little in the way of argument is offered for either view. The face-off is philosophically sterile."[77]

La sua soluzione è tentare di creare un'argomentazione per dimostrare come le prove fornite da induzioni matematiche non siano mai esplicative. La sua strategia comincia dall'assunzione che la spiegazione di una verità matematica F derivi (deduttivamente) da un'altra serie di verità matematiche G. In secondo luogo, assume una relazione tra il fatto matematico che contribuisce alla spiegazione di F e F stessa, tale che G sia parzialmente responsabile per F, ma che F non sia responsabile in nessun modo di G, evitando in questo modo la circolarità del rapporto di spiegazione. A questo

[77] Lange, M. 2009, "Why proofs by mathematical induction are generally not explanatory" in *Analysis*, Vol. 69 No. 2, pp. 203-211, Oxford University Press on behalf of the Analysis Committee

punto, Lange è pronto a fornire il suo argomento contro la possibilità esplicativa delle prove matematiche induttive;

> "For any property P:
> if P(1) [1 has property P] and
> for any natural number (i.e. 1, 2, 3. . .) k, if P(k), then P(k+ 1). Then for any natural number n, P(n)"[78]

Lange considera questa formulazione una classica dimostrazione induttiva di una verità matematica, e si chiede a riguardo se sia da considerare esplicativa; se ciò fosse il caso, la spiegazione della proprietà P per qualunque numero k dovrebbe fare ricorso al fatto che la proprietà funziona per k=1, e di conseguenza per k+1.

Tuttavia, nota l'autore, k=1 non gode di uno speciale trattamento esplicativo, il che fa pensare che la scelta di questo numero come partenza sia dettata dalla comodità, piuttosto che da una specifica proprietà del numero 1. Sarebbe dunque possibile iniziare la trattazione della proprietà da qualunque numero k, per esempio, partendo da P(5) e continuando ad applicare la proprietà per k maggiori e minori di k=5. Allo stesso modo, questa proprietà avrebbe lo stesso potere esplicativo della precedente, e, in effetti, non c'è nessuna differenza dal fare partire la serie da 5 piuttosto che da 1.

Lange argomenta tuttavia che, dovendo essere per necessità entrambe esplicative, nessuna delle due lo è: se infatti è stato stabilito che la spiegazione della prima proprietà dovrà coinvolgere in qualche maniera il ricorso al funzionamento della tale per k=1, la seconda dovrà ricorrere al funzionamento di P per k=5. Ma abbiamo appunto appena dettato che l'una spiega l'altra, poiché sono la stessa proprietà. Per la premessa che Lange ha stabilito prima, ovvero che una spiegazione deve essere parzialmente responsabile per una verità matematica F ma non può darsi che F stessa sia parzialmente spiegazione della sua ipotesi esplicativa G, la proprietà non è esplicativa. Lange continua commentando che questa regola funziona per tutte le prove matematiche induttive; nessuna di queste è carica di potere esplicativo, per via di ricorso a circolarità della spiegazione.

Un'altra obiezione portata all'inferenza alla miglior spiegazione applicata alla matematica è quella sollevata da Mary Leng, in due testi, nel 2005 e nel 2021, in diretta

[78] Ibid.

risposta all'esempio di spiegazione matematica genuina portato da Baker in relazione al suo caso studio sulla *Magicicada*.

Leng sostiene un particolare tipo di antirealismo, nel quale supporta la conclusione che la matematica giochi un ruolo indispensabile nelle nostre migliori teorie, ma rifiuta la conseguenza platonista, ovverosia il credere *tout court* nell'esistenza di entità matematiche:

> "I have agreed with platonists including Baker and Colyvan that mathematics sometimes plays an indispensable explanatory role in empirical science, with mathematical hypotheses sometimes doing genuine explanatory (or at least, explanation-like) work that is not exhausted by the nominalistic content that those hypotheses enable us to represent. Nevertheless, I have argued, the involvement of mathematical hypotheses in these explanations does not support platonism".[79]

Il modo in cui Leng sviluppa la questione consiste inizialmente nel concedere che i lavori nominalisti (e l'autrice prende il lavoro di Brown come esempio, il quale aveva provato a spiegare in termini antirealisti la regolarità dei cicli vitali primi della cicala americana[80]) volti ad eliminare da una teoria i riferimenti matematici siano destinati al fallimento; la nostra comprensione del fenomeno risulta impoverita, in quanto Leng attribuisce alle spiegazioni matematiche un potere di unificazione:

> "While nominalistic versions of each explanation are available that succeed in showing that the nominalistically characterizable features of the particular systems in question sufficed to guarantee that the observed phenomenon would occur, the mathematical explanations serve to add another explanatory dimension, the ability to unify a range of what at first glance may seem like different phenomena." [81]

Leng definisce strutturali le spiegazioni che fanno uso dell'impianto matematico, un termine che recupera dal lavoro di Bokulich[82]: l'autrice intende per

---

[79] Leng, M. 2021 "Models, Structure, and the Explanatory Role of Mathematics in *Empirical Science, in Explanatory and heuristic Power of Mathematics*, Springer
[80] cfr. Brown, J.R. 2012, in *Platonism, Naturalism, and Mathematical Knowledge,* Routledge
[81] Leng, M. 2021 "Models, Structure, and the Explanatory Role of Mathematics in *Empirical Science, in Explanatory and heuristic Power of Mathematics*, Springer
[82] Bokulich, A. 2008, in *Re-examining the quantum-classical relation*, CUP

spiegazione strutturale una il cui *explanandum* sia una conseguenza fattuale di una data struttura teorica, la quale limita gli enti ammissibili all'interno di quella teoria stessa.

Le spiegazioni genuine matematiche delle scienze della natura sono tali, quindi, che il modello matematico che fa riferimento alla situazione empirica dimostra che il fenomeno da spiegare sia necessariamente conseguenza del modello stesso. Ancora Leng nota come questo tipo di spiegazione, deduttiva e assiomatica, assomigli molto da vicino al modello nomologico-deduttivo; ciò stride con quello che conosciamo dalla storia della scienza, ma l'autrice sostiene che è necessario un fenomeno empirico che faccia da premessa ed eviti le conseguenze generalizzanti e assunte come "leggi" di un modello puramente deduttivo. In particolare, il tipo di spiegazione strutturale che Leng utilizza condivide una qualità con la spiegazione nomologica-deduttiva, la simmetria esplicativa, che diventa il suo principale argomento per sostenere che sì, nonostante le spiegazioni matematiche siano necessarie alla scienza, non presuppongono l'esistenza degli enti di cui parlano:

> "We may simply view the pure mathematical theory that is involved in the explanation as telling us what would have to be true, were there a system instantiating the structure characterized by the axioms, something that we can discover simply by inquiring into the consequences of the axioms of the theory. […] Structural explanations of this sort may make essential use of mathematical theories to explain empirical phenomena, but such essential use does not require us to posit the existence of a special realm of mathematical objects about which these theories assert truths, only that such a theory is, when appropriately interpreted, true of the concrete system whose behavior we are trying to explain".[83]

In sostanza, i modelli matematici usati per comprendere le nostre teorie sono necessari in quanto ottime e adatte rappresentazioni per mostrare come funzioni la realtà, ma non sono altro che finzioni che noi pretendiamo siano la realtà; questo modo di osservare i fenomeni ricorda estremamente da vicino il paragone del ponte proposto da Melia, che sostiene che la matematica sia necessaria per costruire le nostre teorie

[83] Leng, M. 2021 "Models, Structure, and the Explanatory Role of Mathematics in *Empirical Science, in Explanatory and heuristic Power of Mathematics*, Springer

quanto le impalcature lo siano per costruire un ponte, ma che entrambe possano essere rimosse una volta che l'opera è stata eseguita, in quanto non più necessarie.

La posizione di Leng, che cerca di combinare il finzionalismo matematico con il realismo scientifico, ha incontrato l'opposizione di Baker, che nel 2009 ha posto alcune delle posizioni dell'autrice sotto analisi. Baker riconduce l'articolo dell'autrice del 2005 a tre principali argomenti, che possono essere così riassunti:

1. Le nostre teorie matematiche possono essere buone anche se false, e possono utilizzare false premesse per cercare di dire qualcosa di vero sul mondo.
2. Le nostre teorie matematiche sono applicabili non perché afferenti a veri e propri enti dotati di certune peculiari proprietà, bensì perché la nostra teoria dei numeri assume determinate proprietà per i determinati enti.
3. Se una teoria degli enti matematici come reali fosse corretta, il mondo sarebbe costituito nella maniera in cui è per la relazione che intercorrerebbe tra questi enti e i fatti fisici, creando una condizione per cui il mondo fisico è dipendente da enti matematici affinché possa essere esattamente come è descritto.[84]

Le risposta di Baker al primo argomento commenta come effettivamente non ci sia nulla di sbagliato dal punto di vista teorico in un finzionalismo matematico, ma sostiene che Lang non colga il punto della divisione operata da Baker stesso tra enti matematici intesi come rappresentazione e come spiegazione:

> "Rejecting the existence of frictionless slopes, say, or continuous fluids, does not mean rejecting inference to the best explanation because these posits play a representational role, not an explanatory role"[85]

L'autore commenta riguardo al secondo argomento che, se si accetta il finzionalismo, si può effettivamente ottenere una spiegazione matematica, ma questo tipo di posizione è incapace di spiegare un fenomeno fisico: sostenere che alcune entità matematiche potrebbero fare da spiegazione di un fenomeno fisico anche se false non è

[84] Cfr. Leng. M. 2005, "Mathematical Explanation', in C. Cellucci and D. Gillies (*eds*), *Mathematical Reasoning, Heuristics and the Development of Mathematics*, London: King's College Publications, pp. 167–189

[85] Baker, A. "Mathematical Explanation in Science", 2009, in the British Journal of Philosophy of Science, vol. 60, pag. 611-633

un argomento sufficiente per non credere nelle entità matematiche, che sono effettivamente spiegazione del fenomeno.

Per finire, Baker considera il terzo argomento non sufficientemente sviluppato in quanto a suo parere si adatta molto meglio ad applicazioni descrittive della matematica piuttosto che ad applicazioni esplicative, poiché, facendo uso di controfattuali, invoca una situazione per la quale si definisce una matematica differente da quella reale.

2.5.3. Sulla possibilità di una spiegazione matematica

Numerosi autori hanno parlato di spiegazione matematica, ma il concetto effettivo di spiegazione matematica è rimasto nebuloso. Ho fatto notare che Baker associa la spiegazione matematica alla necessità di essere "genuina", affinchè possa considerarsi una vera spiegazione scientifica, e ci fornisce una concreta definizione di spiegazione genuina, dando, tuttavia, per scontato il lato matematico. Ho poi analizzato la versione di Melia di una spiegazione matematica come importante ma non "indispensabile" alla comprensione della scienza, per poi arrivare alla nozione di finzionalismo matematico e di considerare una spiegazione matematica come strutturale, da parte di Leng. Tutti questi autori o danno per scontata questa nozione, o si avvicinano a una definizione, ma il riscontro più chiaro a riguardo è stato dato da Marc Lange in un suo articolo del 2013.

In questo documento l'autore si propone due scopi: il primo è il dichiarato intento, enunciato già nel titolo, di definire con chiarezza cosa sia una *spiegazione scientifica distintamente matematica*[86]; l'altro, più ambizioso, tenta di prendere in esame il funzionamento delle spiegazioni matematiche, ovvero, riconosce la necessità che queste spiegazioni siano genuine, cioè manifestino la fonte del loro potere esplicativo. Il suo lavoro parte dal considerare come, in seguito al fallimento del modello nomologico-deduttivo, la ricerca di spiegazione scientifica si sia rivolta maggiormente alla nozione di causa; le spiegazioni matematiche, tuttavia, non sono causali, ma

> "distinctively mathematical explanations are 'non-causal' because they do not work by supplying information about a given event's causal history or, more broadly, about the world's network of causal relations. Such an explanation works instead by (roughly) showing how the fact to be explained was inevitable to a

[86] "distinctively mathematical scientific explanation"

> stronger degree than could result from the causal powers bestowed by the possession of various properties”[87]

La forte convinzione di Lange è che una spiegazione matematica risulti in una certa maniera più forte di una spiegazione causale perché rivela l’impossibilità per un fenomeno di poter essere avvenuto differentemente; non esiste accidentalità in una spiegazione matematica. In particolare, nell’indagare la possibilità per definire le spiegazioni matematiche come assolutamente non causali, Lange esclude dall’insieme delle spiegazioni che sta cercando quelle che semplicemente non comunicano una causa, ma che celano al loro interno.

La differenza, suppone l’autore, tra le spiegazioni puramente a-causali e quelle che semplicemente falliscono nel determinare una causa precisa è che le prime “*impongono costrizioni alle leggi di natura; richiedono che le leggi di natura prendano una certa forma*”[88] mentre le altre possono essere dedotte dalla struttura causale del mondo, che è data per scontata in questo tipo di spiegazioni. In particolare, Lange si trova nel campo contrario alla supposizione di Baker sul fatto che l’esperimento della cicala rappresenti una effettiva spiegazione matematica. Egli, sostiene, al contrario

> "This explanation is also just an ordinary causal explanation. It uses a bit of mathematics in describing the explanandum's causal history, but it derives its explanatory power in the same way as any other selectionist explanation. Taken as a whole, then, it is not a distinctively mathematical explanation”.[89]

Se assecondiamo dunque Lange nel credere che le spiegazioni puramente matematiche siano a-causali, il cavallo di battaglia di Baker cade, in quanto una ragione causale per il suo caso studio c’è, ed è la storia di selezione naturale che le cicale americane hanno subito per evitare ibridazione o predatori. Un esempio che l’autore, dunque, porta di una spiegazione puramente matematica di un fenomeno è la seconda legge di gravitazione di Newton, che egli cita con un’interessante aggiunta:

[87] Lange, M. 2013 “What Makes a Scientific Explanation Distinctively Mathematical?” in *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 64 No. 3, pp. 485-511, Oxford University Press
[88] Ibid. “impose constraints on the laws of nature; they require that the laws of nature take a certain form”
[89] Ibid.

> "Why doesn't this law make the explanation causal? Because, roughly speaking, Newton's second law describes merely the framework within which any force must act; it does not describe (even abstractly) the particular forces acting on a given situation. Any possible force accords with Newton's second law."[90]

Abbiamo dunque più chiarezza su che cosa sia una spiegazione matematica per Lange: egli parla di *framework*, e precedentemente ho fatto notare le parole con cui ha descritto la necessità che le leggi della natura si alterino attorno ad una spiegazione, affinchè si tratti di una spiegazione matematica.

In poche parole, una spiegazione matematica è una sorta di piano di necessità di un avvenimento, che comprende tutte le possibilità indipendentemente dall'evento o fenomeno che agisce al suo interno. È lo sfondo sul quale agiscono le normali spiegazioni causali, che hanno la necessità di descrivere le forze in gioco nella loro totalità affinché possano effettivamente dimostrarsi fedeli al fenomeno che tentano di spiegare. Le spiegazioni matematiche sono tuttavia ontologicamente più deboli dei fatti matematici, ovvero potrebbero essere falsificate senza che nessun fatto della matematica o modello della matematica pura ne soffra.

Sono in un certo qual modo qualcosa che non è legato alla matematica in virtù dell'essere in grado di spiegare un fatto matematico, ma in virtù di essere al di fuori del normale orientamento causale del mondo, fornendo la cornice all'interno della quale le nostre spiegazioni causali e scientifiche possono avvenire.

Una visione ancora più riduzionista viene applicata da Mark Zelcer, che sostiene

> "it is difficult to see how Philosophers can assert the distinction between explanatory and non-explanatory mathematics, or that mathematics as explanation as one of its ends. I argue that they are equivocating on 'explanation' and are using the word in a way that significantly diverges from the scientific meaning"[91]

L'autore, invece di ridurre i fenomeni che hanno una spiegazione effettivamente matematica, nega in partenza che la matematica sia una disciplina esplicativa in sé; a suo parere, fornire una giustificazione per l'esistenza di una spiegazione matematica

[90] Ibid.
[91] Zelcer, M. 2013, "Against Mathematical Explanation", in *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, Vol. 44, No. 1, pp. 173-192, Springer

dovrebbe sostanziarsi di cinque punti che è impossibile dimostrare: 1) che la matematica come disciplina abbia una lunga storia di interessi esplicativi, 2) che ci sia un buon metodo predittivo in matematica che sia simmetrico alle spiegazioni scientifiche, 3) che sia spiegata la differenza metodologica tra scienza (che richiede che ogni cosa sia spiegata) e matematica, 4) che ridurre la sorpresa in maniera oggettiva non sia desiderabile in matematica ed, infine, 5) che la spiegazione matematica giochi un ruolo importante nella disciplina.

In contrasto con l'opinione corrente che sostiene le numerose similarità tra matematica e scienza naturale, Zelcer dubita dell'esistenza di spiegazioni matematiche, concentrandosi sulle differenze tra le due discipline; nella sua opinione i "giudizi positivi", che scienziati o filosofi possono chiamare con facilità "esplicativi", ad un esame più attento non lo sono, e la stessa comunità matematica non sembra essere interessata ad un concetto di spiegazione che va ad essere mutuato per similitudine e simmetria da quello della scienza. Le prove offerte dalla matematica non sono spiegazioni, e quello che viene chiamato spiegazione è più simile ad un giudizio euristico o psicologico di comprensione, ma non rispetta i canoni dettati per la spiegazione.

Non è infatti tipico della matematica pretendere che le leggi generali, secondo le quali opera, siano in qualche maniera spiegate, ed è perfettamente normale che

> "some proofs can be completely non-explanatory and still be perfectly acceptable as proofs. The reason for this seems to be that there are some clear cases of proofs that have no explanatory content whatsoever, and there seem to be many mathematical facts that clearly do not act as explanations that are accepted by the mathematical community without comment"[92]

Prendendo in esame la Tesi di Simmetria del modello nomologico-deduttivo, secondo la quale una spiegazione è potenzialmente una predizione e che ogni predizione è potenzialmente una spiegazione, l'autore commenta come non esista nulla di simile per la matematica; i matematici infatti non fanno predizioni su fatti matematici, ma solamente tentativi che, se in contraddizione con le regole della matematica, rappresentano più di una mal congettura che effettivamente un errore nella teoria matematica in generale; l'autore si premura tuttavia di notare come attualmente la

92 Ibid.

tesi di simmetria, almeno nella sua forma completa, non sia più così comunemente accettata dai filosofi, anche se la prima parte viene ancora utilizzata da Salmon.

Questo implica solo che se ci sono spiegazioni, ci siano predizioni, ma come è stato detto, la predizione non è assolutamente all'interno dello scopo della matematica, che, quindi, fa dubitare della stessa presenza di spiegazioni.

Anche riguardo alla riduzione della sorpresa pare che non abbia senso discuterne da un punto di vista matematico; se, infatti, la riduzione della sorpresa viene definita come una qualità della spiegazione che permette di vedere che la conclusione di un processo fosse totalmente prevedibile, cioè non sorprendente in nessun modo, si può concludere che la spiegazione ha fatto un buon lavoro di descrizione del fenomeno in questione. Le verità matematiche sono tuttavia necessarie, e, ritornando all'argomento discusso più estensivamente trattando di Lange, si può parlare di sorpresa solo come corollario di una certa accidentalità; infatti, si può avere sorpresa solo se la risposta alla domanda può essere vera in tutti i mondi possibili, e un certo grado di contingenza è richiesto per permettere alla caratteristica psicologica della sorpresa di poter essere ridotta.

Per finire, la spiegazione è tale perché aggiunge qualcosa di nuovo e specifica qualcosa di ignoto precedentemente; in questo senso, essa è utile alla scienza perché permette di vedere la struttura causale degli eventi o il contorno di leggi che autorizzano tali eventi causali di avverarsi. Questo non è il caso della matematica, le cui eventuali spiegazioni non contribuirebbero in nessun modo ad arricchire il patrimonio di conoscenza in possesso della disciplina. Per questi motivi, l'autore commenta che una spiegazione in matematica non solo non si può dare, ma è, fondamentalmente, inutile.

È importante notare che Zelcer specifica in una nota che, trattando della differenza tra spiegazione matematica e spiegazione scientifica, egli non abbia voluto toccare il tema di come la matematica entri in contatto con la scienza nelle forme di spiegazione che sono state discusse fino a questo punto, e rimanda ad autori di cui ho già parlato come Colyvan per una più precisa idea sulla questione. Sorge dunque spontanea la domanda sul perché questo lavoro di Zelcer sia particolarmente importante alla trattazione che sto articolando.

Ho cercato di fare notare come, l'ambito di che cosa sia una spiegazione matematica debba essere sia ristretto che specificato rispetto a come era stato definito all'inizio della discussione. Lange cerca di trovare *distinctively mathematical explanations* ovvero spiegazioni scientifiche che, per loro natura, fanno solo appello alle verità fondamentali della matematica; ciò le pone in una zona di mezzo tra le spiegazioni scientifiche causali e i fatti della matematica; sappiamo anche che Baker e Colyvan considerano spiegazioni matematiche quelle che sono date sia da un fatto bruto della natura che da una legge matematica, che vengono sintetizzate in una spiegazione che è genuina proprio perché non "circolare" ovvero effettivamente matematica.

Sembra dunque certo, come spiegato con il lavoro di Zelcer, che sia estremamente difficile fare appello a una spiegazione matematica per un dato fenomeno, in quanto queste o non sono tali o sono fatti tautologici ed autoevidenti per necessità; la progressiva restrizione del dominio della spiegazione matematica sembra impedire che la disciplina possa risultare in un'esperienza esplicativa di qualunque tipo.

Contrariamente a Zelcer, Weber e Frans colgono questa opportunità non solo per cercare di investigare la possibilità di una spiegazione in matematica, ma anche ristabilire una posizione di contatto tra le scienze naturali e la matematica pura.

I due autori sostengono che esistono due approcci alla filosofia della spiegazione, che tenteranno successivamente di applicare nel contesto della matematica, dei quali il primo viene chiamato "*approccio della pratica scientifica*" ed il secondo "*approccio della pratica regolativa*". Il primo approccio

> "consists in developing and using philosophical models of explanation in order to describe and evaluate the explanatory practices in a scientific domain"[93]

Il suo scopo è analitico, volto ad individuare la descrizione dei diversi tipi di spiegazione propri del campo d'indagine di una data disciplina e a fornire una valutazione del processo esplicativo seguito; metodologicamente parte da casi studio che sono analizzati alla luce di modelli filosofici. Il secondo approccio

> "sees his model of explanation as an instrument to clarify what it means to say that science provides understanding. Providing understanding is often considered to be an aim of science"[94]

---

[93] Weber, E. and Frans, J. 2017, "Is Mathematics a Domain for Philosophers of Explanation, in *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, Vol. 48, No. 1 (March 2017), pp. 125-142, Springer

[94] Ibid.

Lo scopo di questo approccio è riflessivo, ovvero mira a formare un ideale regolativo con cui confrontare, poi, la pratica della disciplina; da un punto di vista metodologico crea un caso ideale di quello che la disciplina scientifica dovrebbe comprendere, confrontato in maniera successiva con casi studio.

In sostanza, il primo approccio cerca di dedurre un modello esplicativo dalla pratica scientifica, induttivamente, mentre il secondo parte con un presupposto o desiderato modello di spiegazione regolativo che viene poi confrontato con la realtà dei fatti; il primo metodo è destinato a fallire se non esiste un modello esplicativo di ricerca da parte della disciplina stessa, il secondo sostiene che, se questo è il caso, sia necessario cambiare lo scopo della disciplina stessa.

La presenza di due differenti approcci porta i due autori a considerare per forza l'esistenza di due scopi differenti, quindi, per la spiegazione; uno analitico, che dovrebbe analizzare la pratica della matematica allo scopo di ricostruire un modello di spiegazione già presente in esso, ed un secondo, che chiamano riflessivo, che sostiene la necessità per la matematica di fornire un certo tipo di comprensione.

Come si può evincere da questa distinzione, la posizione che Zelcer critica è quella prettamente analitica, in quanto sostiene che, per come è strutturata la disciplina matematica, essa non da luogo a spiegazioni di nessun tipo. Zelcer, pertanto, sostiene anche che eventuali spiegazioni matematiche sarebbero inutili, perché queste si oppongono allo scopo riflessivo in base al quale i modelli di spiegazione servono ad aumentare la nostra comprensione. Il secondo approccio quindi, pur essendo discusso, è compatibile con la visione di Zelcer, ed è su questo terreno che Weber e Frans cercano di investigare.

Nonostante infatti alcuni matematici abbiano un approccio analitico nel cercare di costruire un sapere matematico di tipo esplicativo (indicando le raccolte di citazioni di matematici da parte di Lange e Pincock), i due autori sono d'accordo con Zelcer sul fatto che un approccio analitico sarebbe solamente giustificato nel caso l'idea di un complesso di spiegazioni, che vogliano rappresentare di più delle semplici prove matematiche di determinati teoremi, si trovasse già nella pratica matematica; ma questo complesso non è dato, almeno per il momento. Lo scopo riflessivo, d'altronde, ha maggiore stabilità:

> "The common underlying idea of these proposals is that there is more to proof than merely a justificatory role. By doing something with a proof certain questions can be answered that increase our understanding"[95]

Considerare un ideale regolativo di una matematica le cui prove siano utilizzate per ampliare la comprensione di quello che giustificano, è effettivamente il lavoro di molti filosofi della matematica, che, di conseguenza, mostrano seguire uno scopo riflessivo nella spiegazione.

Rimane, dunque, da chiarire se il modello di spiegazione fornito dalle scienze sia inapplicabile alla matematica come Zelcer aveva ritenuto. Tuttavia, molte delle supposizioni di Zelcer dipendono dal fatto che lui consideri le spiegazioni scientifiche basate su un modello causale, affidandosi troppo alla struttura esplicativa del modello nomologico-deduttivo; tale argomento è relativamente debole: il modello nomologico-deduttivo non è più particolarmente in auge dopo le violente critiche che gli sono state mosse contro, e anche con gli aggiustamenti proposti da Zelcer il suo argomento non regge. Zelcer parla di predizioni e di spiegazioni come deduzioni causali, ma i più moderni modelli di spiegazione scientifica rigettano questa idea. I due autori convengono con Zelcer sul fatto che le regole esplicative della scienza applicate alla matematica siano destinate a fallire ora come ora, ma ritengono che sia compito dei filosofi della spiegazione adattare tali modelli alla matematica.

È con questa rinnovata comprensione delle difficoltà che stanno dietro alla possibilità di una spiegazione matematica che ritorno ad un testo di Baker, che percepisce la problematicità delle supposizioni che sono necessarie per operare con i termini che finora sono stati utilizzati così liberamente:

> "A striking feature of this recent literature is the almost total absence of any analysis of just what kind of explanatory relation is involved in a typical Mathematical Explanation in Science (MES). This is a puzzling lacuna since the availability of an analysis of this sort would enable the discussion to move beyond the trading of intuitions about individual candidate cases of MES. Nor is the lack of analysis of MES a problem just for the ontological debate within the philosophy

95 Ibid.

of mathematics. It has also contributed – as I hope to show – to the tendency of philosophers working on general accounts of scientific explanation to set aside mathematical explanation”[96]

Una migliore comprensione di cosa viene inteso per spiegazione matematica nella scienza deve essere una priorità dei nostri filosofi della scienza, e se è vero che, con Weber e Frans, il terreno della matematica è divenuto per i filosofi, per parlare di spiegazione, quello che Baker prova a porre nel suo articolo sono le prime basi allo scopo di chiarire il concetto.

Il suo lavoro prende spunto dal lavoro di Steiner[97], il quale propone una idea di modello di MES che è per natura un connubio tra regole matematiche e fatti del regno della natura: si ha la certezza del fatto che si stia parlando di una vera e propria spiegazione matematica perché, se anche venissero eliminati i fatti della natura dalla spiegazione, rimarrebbe comunque una verità matematica. In altre parole, la verità matematica che fa da ragione sussistente della spiegazione scientifica è indipendente dal suo legame con i dati osservabili, ed è vera a prescindere. Una spiegazione matematica dunque, per dirla con Mancosu, "*una spiegazione nelle scienze matematiche che si rifà essenzialmente a fatti matematici* ”[98], e viene definita da Baker come '*Transmission View*'.

Fin qui, tutto è estremamente simile a come ho descritto il rapporto tra dati scientifici e verità matematiche nei paragrafi precedenti, ma l’autore cerca nel suo lavoro di dimostrare che la Transmission View appena descritta non è applicabile alla maggior parte delle spiegazioni scientifiche-matematiche:

"one nice feature of the Transmission View of mathematical explanation in science is that it makes a clear prediction, namely that any genuine MES contains a purely mathematical explanation (of a mathematical fact) within it. Unfortunately,

[96] Baker, A. 2012, “Science-Driven Mathematical Explanation”, in *Mind* 482, Vol. 121, pp. 243-267, Oxford
[97] cfr Steiner, M. 1978, “Mathematics, Explanation, and Scientific Knowledge”, in *Nous*, 12, pp. 17-28
[98] Mancosu, P. 2008, *The Philosophy of Mathematical Practice*, Oxford, Oxford University Press. “an explanation in natural science carried out by essential appeal to mathematical facts “

> this predictive claim – which I have been referring to as Steiner's Hypothesis – is not in general true"[99]

La ragione per la quale Baker ritiene che questo sia il caso si basa sullo scoglio che ho affrontato precedentemente mostrando la relazione tra il lavoro di Zelcer e quello di Weber e Frans: nella maggior parte dei calcoli matematici non si verifica che la prova matematica di qualcosa sia sempre una spiegazione; infatti, moltissime volte la dimostrazione di un teorema che consegue, correttamente, dalla dimostrazione di una qualche prova matematica non aumenta in nessun modo la nostra comprensione del fenomeno.

Quando Zelcer, infatti, sottolinea come nella matematica il potere esplicativo non sia prettamente una priorità, non ha torto, e persino i suoi oppositori gli concedono che un approccio di ricerca prettamente analitico non sia sostenibile in matematica, per quanto sia stato tentato.

Baker propone due metodologie di ricerca che insieme possono fornire una completa descrizione dei vari tipi di analisi della spiegazione scientifico-matematica. La prima, che egli chiama "*spiegazione spinta dalla matematica*", fa riferimento a nuove e limitate effettive spiegazioni matematiche in nostro possesso, nate come scoperte teoriche, e alle applicazioni che esse possono trovare nelle scienze naturali. In questa maniera il problema di reperire una prova matematica esplicativa viene eliminato alla radice: qualunque spiegazione scientifica costruita attorno a una prova matematica esplicativa sarà, infatti, in grado di incorporarla automaticamente.

Questa metodologia è tuttavia estremamente limitata nella sua applicazione, sia per via delle scarse prove matematiche esplicative attualmente in nostro possesso, che per la relativa sterilità del poter definire effettivamente come spiegazioni matematico-scientifiche solo quelle di ricerche originate da applicazioni scientifiche di una spiegazione matematica.

Il secondo metodo Baker lo definisce "*spiegazione matematica spinta dalla scienza*"; contrariamente rispetto al primo metodo, egli trae spunto da un interessante fenomeno naturale la cui spiegazione coinvolge un discreto grado di apparato matematico; può darsi che essa sia la attuale miglior spiegazione, oppure che sia una congettura generata dal fatto stesso, ma questo tipo di metodologia raramente contiene

[99] Baker, A. 2012, "Science-Driven Mathematical Explanation", in *Mind* 482, Vol. 121, pp. 243-267, Oxford

una spiegazione matematica pura o, se c'è, questa è essenziale alla spiegazione del fenomeno in questione.

Il fallimento del modello di Steiner e della sua Transmission View porta quindi a considerare le spiegazioni scientifico-matematiche come meno matematicamente pregnanti di come era stato presupposto. Esse non sono, infatti, pure spiegazioni matematiche, e devono perciò essere considerate, almeno per il momento, pienamente scientifiche.

2.7 Conclusioni del Capitolo Due

In questo capitolo ho cercato di ricostruire la storia del problema ontologico delle entità matematiche nel loro rapporto con le spiegazioni fisiche, alla luce dei movimenti dell'ultima parte del ventesimo secolo e dell'inizio del ventunesimo. Ho cominciato la discussione a partire dal problema del realismo scientifico, il movimento che, con un atteggiamento positivo nei confronti della scienza sostiene che le entità di cui essa parla abbiano effettivo valore ontologico; citando Ian Hacking, ho cercato di dimostrare che esistono almeno due tipi di realismo, uno dei quali riguarda gli enti, ed un altro che riguarda le teorie, ed essi non sono mutuamente esclusivi, ma nemmeno complementari.

Ho cercato di illustrare diverse posizioni all'interno del realismo stesso così come le critiche a cui è stato soggetto da parte dell'antirealismo, in particolare nella sua forma più specializzata, così come ci è stata fornita da van Fraassen nella sua Scientific Image.

Ho successivamente individuato un particolare tipo di oggetti che sono di particolare interesse per un gruppo più ristretto di filosofi della scienza, ovvero le entità matematiche, e ho indagato se queste possano essere considerate avere un valore ontologico; in caso di risposta positiva, se esse debbano essere considerate come enti o come teorie. Ho analizzato le iniziali e approssimative definizioni rispetto agli enti matematici fornite dal realismo, che sono culminate con l'individuazione dell'Indispensability Argument di matrice quineana come punto di arrivo per osservare la peculiare relazione che gli enti matematici hanno con le nostre migliori teorie scientifiche; in questo contesto ho investigato sul contatto esistente tra realismo scientifico e necessità di impegno ontologico delle entità matematiche come parte fondamentale delle nostre migliori teorie.

Ho analizzato come la discussione sull'Indispensability Argument si sia via via spostata dall'olismo quineano per interessarsi, nello scambio di articoli tra Melia e Colyvan, al potere esplicativo che gli enti matematici possiedono nelle nostre teorie scientifiche, quando la questione è passata dall'indispensabilità in sé all' indispensabilità "*in the right kind of way*".

Questa discussione entra in contatto con una lunga serie di argomenti, che ho cercato lentamente di illustrare: il processo che il realismo scientifico deve percorrere per giustificare l'inferenza alla miglior spiegazione, che sta alla base dell'Indispensability Argument; la necessità di comprendere cosa significhi effettivamente spiegare, cosa sia una spiegazione scientifica e cosa invece sia una spiegazione matematica.

Da qui ho analizzato l'interessantissimo tentativo di Alan Baker di trovare un fatto della natura che fosse riconducibile ad una legge matematica, una spiegazione che fosse connubio di leggi della natura e modelli matematici, che egli ha definito con il termine di spiegazione genuina.

Questo argomento ha generato il problema di formulare in partenza la possibilità di una spiegazione matematica, ovverosia la dimostrazione che la matematica sia una scienza che tenta effettivamente di spiegare qualcosa di naturale, e che esistano prove matematiche che aumentino la nostra conoscenza del mondo.

Posta la matematica come parte integrante della scienza per anche ma non solo il suo potere di unificazione delle teorie, è stato cercato di capire se ci sia una differenza tra spiegazioni scientifiche che fanno uso della matematica e spiegazioni matematiche pure, per concludere che l'area di interesse della matematica può in effetti avere valore esplicativo, ma questo deve essere ricercato tramite un processo normativo piuttosto che analiticamente all'interno della matematica stessa, ed è compito della filosofia della scienza trovare suddetto programma.

Per finire, ho concluso con un ritorno a Baker per dimostrare che le lezioni imparate dalle numerose critiche alla visione realista della matematica non sono state dimenticate: è stata riconosciuta l'importanza dell'effettiva mancanza di valore esplicativo della matematica in sé, in quanto il processo normativo poco sopra accennato è solo tentativo e a malapena iniziato. Le spiegazioni matematiche risultano quindi molto meno "matematiche" nella loro apparenza e più esplicitamente scientifiche, lasciando alla filosofia della scienza il compito di interrogarsi su che tipo di spiegazioni esse possano essere, se rientrano all'interno di uno dei modelli sopra citati, o se sono qualcosa di ancora completamente inesplorato.

Capitolo III:
Interpretazioni dell'astrazione matematica:

La ricerca effettuata finora si è focalizzata su ad una serie di fattori che attengono la questione relativa a una possibile ontogenesi degli enti matematici: in particolare, finora si è discusso il loro inestricabile legame con la scienza moderna, la loro possibile indispensabilità, e, di conseguenza, il rapporto che essi hanno con il concetto di spiegazione.

L'immagine che si presenta di fronte all'osservatore è, quindi, che la scienza abbia una sorta di necessità operativa della matematica, e che l'utilizzo di questa finora sia stato finora ricondotto a fini utilitaristici e non ontologici (come, ad esempio, potere esplicativo, potere di unificazione, precisione, e così via), da cui si è cercato di trarre induttivamente o deduttivamente una necessità come entità.

La risposta dell'antirealismo, come è stato visto, è più complessa e variegata rispetto alla semplice difesa di uno statuto nominalista delle entità di cui si discute, e passa per l'approccio kuhniano-storicista, che nega uno statuto privilegiato alla scienza contemporanea come la migliore scienza a nostra disposizione. Questa concezione, in generale, suscita un dubbio su una visione positivista della scienza, nonché sulla generale possibilità di una teoria che miri all'avvicinamento alla verità, come testimonia l'approccio di Maddy; l'autrice riconosce l'utilità delle matematiche ma solo dal punto di vista strumentalista, in quanto sostiene che non abbiano di per loro un valore esplicativo; su questa linea è anche l'approccio finzionalista, sostenuto da Cartwright e, in parte, da Hacking, che nega un valore di verità alle teorie ma non necessariamente alle entità non matematiche che esse descrivono.

La peculiare situazione degli enti matematici è che essi non si trovano in una posizione che li delimiti come oggetti o come teoria, poiché la loro definizione è quanto mai vaga, ed anzi vengono utilizzati a seconda della convenienza come l'una e come l'altra cosa. Il che lascia lo studioso di tali problemi con la necessità di distinguere e di analizzare altre vie per definire questi oggetti.

La prima, e la principale su cui verrà a concentrarsi questo capitolo, è quella di rappresentazione. Rappresentazione nel senso di teoria, modello, e, di conseguenza, astrazione del dato o della legge fisica, finalizzati a discutere di oggetti e teorie che facciano parte dell'immagine, della rappresentazione che noi abbiamo del dato reale.

Questo salto logico è giustificato dall'interpretazione della scienza che abbiamo fornito finora e dal suo lento ma costante passaggio dall'analisi di oggetti e relazioni fisiche-materiali a relazioni astratte-matematiche.

Verrà preso, cioè, in esame questo spazio della rappresentazione e come esso è collegato all'entità. Per fare ciò seguiremo il lavoro di Hacking, il quale suddivide il compito della scienza in rappresentazione ed intervento; e cercherò di dimostrare che questa linea di separazione, quella tra l'astrazione, la teoria da un lato e la sperimentazione, la datità strumentale della scienza dall'altro è quanto mai vaga ed indefinita, in maniera tale da non poter chiaramente distinguere un oggetto teorico dal suo utilizzo poi pratico.

In sostanza, seguendo Feyerabend, cercherò di annullare la necessità di parlare di '*natura-carica-di-teoria*' riguardo all'entità, che è necessariamente letta attraverso le lenti di una struttura mentale preconcetta. Per rafforzare questa convinzione, farò uso del lavoro epistemologico di Peter Damerow, il quale ha trattato a fondo i temi dell'astrazione matematica.

In particolare, egli sviluppa una visione preistorica e protostorica della scienza che indica il lavoro, la necessità del fare e l'organizzazione di tale impulso creatore come terreno di formazione del sapere scientifico; in questo la necessità matematica, formata, sia nella mente del singolo, come astrazione, attraverso l'apprendimento, sia nella mente di una collettività come scienza attraverso l'ereditarietà della conoscenza diviene indispensabile pianificazione affinché l'attività operazionale possa prendere luogo.

Lo scopo quindi di questo capitolo è di chiarire l'astratto, e dimostrarne la vicinanza con il concreto, l'operare scientifico ordinario, per svelare non solo la necessità, ma l'innata vicinanza che le due attività di teoria e pratica condividono. La fondazione di un'ontologia diventa dunque possibile sulla base di questa relazione.

3.1. l'Approccio Interveniente di Ian Hacking

Nello studio che ho effettuato tra realismo ed antirealismo, e sulla loro rispettiva posizione rispetto alle entità matematiche, la situazione che è stata delineata nel Capitolo II è ancora ampiamente dibattuta, e conclusioni definitive non sono ancora state tratte.

Innanzi tutto, pare che esistano buoni argomenti sia per il realismo che per la posizione opposta, e le prove addotte dal realismo paiono o non essere sufficientemente convincenti, o fare appello ad una teoria della spiegazione che di per sé o non è ben descritta o permette diversi tipi di interpretazioni. Il valore della discussione che ho effettuato sulle modalità e la possibilità di determinati tipi di spiegazione è principalmente quello di avere dimostrato quanto sia difficile discutere tesi all'interno della pura teoria.

Questo sentimento è ritrovabile in tutte le parti coinvolte, che, in un modo o nell'altro, cercano sempre di ritrovare nella pratica scientifica o un fondamento, o una nuova idea, o una similitudine, un esempio, con i quali ancorare al regno del reale una discussione la cui natura è, prevalentemente, ontologica. L'esempio che è stato portato da Alan Baker ha suscitato tanto scalpore proprio perché, interpretato correttamente o meno, rappresenta esattamente il tipo di soluzione che può permettere di specificare questo dibattito all'interno del *modus operandi* scientifico. In altre parole, la discussione teorica è una palude, e Ian Hacking se ne accorge fin da subito, quando scrive

> "Incommensurability, transcendental nominalism, surrogates for truth, and styles of reasoning are the jargon of philosophers. They arise from contemplating the connection between theory and the world. All lead to an idealist cul-de-sac. None invites a healthy sense of reality. Indeed much recent philosophy of science parallels seventeenth-century epistemology. By attending only to knowledge as representation of nature, we wonder how we can ever escape from representations and hook-up with the world"[100]

L'approccio di Hacking, simile ma non completamente identico a quello che possiamo trovare in Nancy Cartwright[101], è quello di un antirealismo riguardo alle teorie, ma realismo riguardo a specifici tipi di entità; quali tipi di entità? Quelle che possiamo, in qualche maniera, manipolare.

Hacking scrive il suo testo per cercare una soluzione al dilemma della filosofia della scienza, che secondo lui si è focalizzata principalmente su una specifica componente della scienza in generale, la rappresentazione. Il metodo che l'autore

[100] Hacking, I. 1983 in *Representing and Intervening: introductory topics in the Philosophy of natural science,* Cambridge University Press
[101] cfr. Cartwright, N. 1983, in *How the Laws of Physics Lie*, Clarendon

suggerisce per ritrovare una giusta specificità e descrizione del processo scientifico è un baconiano ritorno all'esperimento, al fare, a quello che lui chiama "intervento". Egli sostiene che la maggior parte dei problemi del realismo siano principalmente problemi di rappresentazione, ovvero di differenti immagini della stessa oggettività non combacianti tra di loro, quando lo scopo del movimento dovrebbe essere affermare il realismo, appunto, delle entità descritte da suddette teorie:

> "New theories are new representations. They represent in different ways and so there are new kinds of reality. So much is simply a consequence of my account of reality as an attribute of representation [..] Anti-realism makes no sense when only one kind of representation is around." [102]

Hacking ci parla di due tipi di realtà, una che è fornita dalla rappresentazione, dalla teoria, e l'altra che è originata da cosa possiamo fare ed operare, nonché subire.

È evidente, per come abbiamo dipinto il quadro, quale tipo di realtà sembri più difendibile per l'autore; a suo parere una grande parte della scienza è trascurata dai filosofi che se ne occupano, e questa è la parte sperimentale, interveniente.

L'esperimento, come si è potuto far notare nel corso della trattazione, è spesso sottoposto al giogo della teoria. È stato visto come l'interpretazione della scienza galileiana da parte di Koyré sottolinei la precedenza della convinzione teorica rispetto all'esperimento, che ha una funzione di conferma, ma questo convincimento scorre come substrato di tutto il filone deduttivista della filosofia della scienza moderna. L'esperimento, cioè, secondo gli antirealisti, non è effettuato senza uno scopo, "per vedere cosa accade"; esso ha sempre una precisa funzione e connotazione teorica che lo precede, ed il suo scopo principale è la conferma o l'aggiustamento di macchinari e teorie, ma Hacking sostiene che dovrebbe verificarsi il contrario:

> "I believe this to be simply false. One can conduct an experiment simply out of curiosity to see what will happen. Naturally many of our experiments are made with more specific conjectures in mind. Thus Davy asks whether all algae of the same kind, whether in fresh water or salt, produce gas of this kind, which he

[102] Hacking, I. 1983 in *Representing and Intervening: introductory topics in the Philosophy of natural science,* Cambridge University Press

doubtless also guesses is oxygen. He makes new trials which lead him to a 'general scientific truth''"[103]

Non esiste dunque secondo l'autore una netta precedenza tra teoria e azione sperimentale, e le due parti si influenzano a vicenda, in quanto la teoria può dare un impulso all'esperimento, come possono già esistere leggi e fenomeni meccanici singolari che aspettano di essere riuniti sotto l'ombrello di una teoria generale.

Due sono i punti fondamentali in cui Hacking introduce la sua particolare visione di realismo scientifico, che sono i punti di contatto tra la rappresentazione e l'intervento: l'osservazione e la costruzione di modelli.

L'osservazione è stata, a parere dell'autore, sopravvalutata nel corso della storia della scienza, e la sua importanza nella filosofia della scienza viene attribuito a un residuo positivista; il modo di percepire l'osservazione è, infatti, una delle principali caratteristiche discriminanti tra il realista e l'antirealista. Nelle situazioni in cui il realista non nota nessuna differenza tra entità osservate naturalmente ed entità osservate tramite strumenti, l'antirealista vede una distinzione che lo porta a formulare la distinzione tra oggetti osservabili e non. L'antirealista, quindi, introduce l'espressione di *natura-carica-di-teoria* per sottolineare come le entità di cui la scienza fa utilizzo siano percepite in una dimensione in cui la conoscenza teorica diventa una necessità per affermare l'esistenza di tali oggetti; il realista invece elimina la distinzione tra osservazione mediata e osservazione che si potrebbe definire 'naturale'. Si può qui notare l'eco della discussione sull'ottica che ho sviluppato nel corso del primo capitolo: la denaturalizzazione della vista, dell'osservazione, diventa nella discussione tra realismo e antirealismo fondamentale.

Hacking afferma che non ci sia fondamentale differenza tra l'osservare i fenomeni con la vista e con un microscopio, inserendosi nella lunga tradizione della filosofia che elimina uno statuto privilegiato alla 'naturalezza' della visione. In questo campo, Hacking non utilizza il classico esempio del telescopio per mostrare la sua posizione, ma effettua una lunga digressione sul microscopio, che a suo parere è lo strumento perfetto per fondare in maniera diegetica la sua concezione scientifica: il microscopio, infatti, necessita di essere utilizzato da un operatore, l'esperimento dell'osservazione deve avvenire attraverso una manipolazione, che sia essa agita dal vetrino, dalle lenti, dal campione che si va osservando.

[103] Ibid.

L'osservazione viene giustificata, sperimentalmente, dalla capacità di alterare le condizioni della stessa. Le entità che vengono a trovarsi sotto il vetrino del microscopio sono 'reali' in quanto parte operante di una esperienza processuale, ed è l'operazione della loro modificazione che permette la loro osservazione. La misurazione della variazione, il percepire il cambiamento operato, diventa quindi un'altra parte fondamentale della sperimentazione: gli esperimenti effettuati allo scopo di misurare un cambiamento stupiscono per accuratezza e precisione, ma il loro ulteriore scopo, suggerisce Hacking, è di porre le basi per nuove teorie, le cui osservazioni sono basate sulla precisione osservativa degli strumenti a nostra disposizione.

Nel focalizzarsi sulla precisione degli strumenti, e di conseguenza delle misurazioni che vengono effettuate, l'autore si pone una domanda che sarà utile per la successiva trattazione della possibilità di applicare la struttura interveniente alle entità matematiche: "*Are there exact constants of nature?*" citando Pierce e Duhem, Hacking risponde:

> "One finds a similar strand in Pierre Duhem. He regards the constants of nature as an artifact of our mathematics. We produce theories, which have various blanks in them, such as G. But it is not an objective fact about our universe that G is such and such. It is a qualitative fact that our universe can be represented by certain mathematical models, and from that there arises another qualitative fact, that there is something like an exact number that rides best with our mathematics."[104]

La visione dei due filosofi è qui interessante, perché introduce la seconda parte del collegamento che Hacking sostiene esista tra rappresentazione e intervento, ovvero il modello. L'autore tratta il modello come il punto di contatto tra la scienza sperimentale e la rappresentazione teorica, il cui ruolo è fornire un'approssimazione sia del fenomeno fisico che della teoria associata alla sua spiegazione.

Hacking fa di nuovo riferimento a Cartwright quando sostiene che i modelli sono fondamentalmente falsi, in quanto i modelli non sono deducibili dalle teorie che riteniamo vere, e che per spiegare le leggi fenomenologiche vengono usati modelli incompatibili tra di loro; l'approssimazione tra teoria, fenomeni e modelli è complicata:

[104] Ibid.

> "Our usual idea of an approximation is that we start with something true, and, to avoid mess, write down an equation that is only approximately true. But although there are such approximations away from the truth, there are far more approximations towards the truth. In many a theory of mathematical physics we have a structural representation with some equations at a purely hypothetical level, equations which are already simplifications of equations which cannot be solved. In order to make these fit some level of phenomenological law, there are endless possible approximations. After a good deal of fiddling someone sees that one approximation tallies nicely with the phenomena. Nothing in the theory says that this is the approximation we shall use. Nothing in the theory says that it is the truth. But it is the truth, if anything is."[105]

La verità sta dunque, in queste possibili approssimazioni, e non nella teoria, che "*non ha verità in essa*".

3.1.1. *La possibilità di un approccio interveniente alle entità matematiche*

Abbiamo qui potuto notare come Hacking esprima una complicata relazione con il realismo scientifico. La sua posizione è influenzata dalle tesi antirealiste di Nancy Cartwright, e la doppia posizione che egli propone per quanto riguarda le teorie e le entità che suddette teorie trattano è variegata quanto complessa. Hacking non discute il realismo scientifico espressamente dal punto di vista delle entità matematiche, ed anzi egli sembra cercare, con un ritorno baconiano all'importanza dell'esperimento, di minimizzare il ruolo della teoria nella scienza per invece espressamente cercare un ritorno alle entità, che devono essere slegate dall'interpretazione corrente.

La sua risposta è un realismo chiaramente influenzato dalle tesi storiciste di Kuhn, che a suo parere, hanno completamente distrutto la possibilità di parlare di realismo riguardo alle teorie. Nella prima parte del suo testo, *Representing*, tuttavia, egli esprime di nuovo la tesi del realismo matematico secondo cui le teorie scientifiche "*almeno cerchino di puntare alla verità"*; questo è di nuovo rinforzato dalla conclusione che trae invece nella sezione *Intervening* della sua opera in cui, in accordo con Cartwright, parla dell'approssimazione matematica come la verità che abbiamo a disposizione, se è in qualche modo possibile procedere verso la verità.

[105] Ibid.

È qui importante notare che, almeno per Hacking, non è possibile trovare in forma definitiva una verità nella rappresentazione, come è, invece, possibile trovare nelle entità: la sua posizione a riguardo implica che ci saranno sempre nuove, migliori e più soddisfacenti teorie riguardo agli oggetti, in un approccio di avvicinamento asintotico alla verità scientifica. Questo lascia da parte le entità matematiche, che, come si è potuto notare, non sono di particolare interesse per Hacking.

La domanda che dunque pare legittimo porsi, e che viene implicata da questo lavoro, è dunque questa: È possibile parlare di entità matematiche come entità, o sono esse strumento della rappresentazioni della teoria? E, seguendo Hacking, è quindi possibile dare uno statuto a queste possibili entità sulla base della nostra capacità di intervenire su di esse? È stata spesa buona parte del Capitolo II a discutere della possibilità ontologica di enti matematici dal punto di vista del realismo: è possibile interpretarli nella maniera suddetta?

L'Indispensability Argument lascia il realista e l'antirealista con una certezza: le entità matematiche sono indispensabili alle nostre migliori teorie scientifiche: questa premessa è di per sé attualmente incontrovertibile, e da quello che è stato detto nel Capitolo I, pare che questo processo, iniziato progressivamente nel Rinascimento, sia lontano sia dal fermarsi che dall'essere ritenuto erroneo. La matematizzazione della natura è attualmente il nostro migliore modo di intenderla razionalmente, che questa sia una approssimazione oppure no: infatti, è grazie a queste teorie matematiche che noi siamo in grado di manipolare la natura.

Hacking non è così ingenuo da non comprendere che, professando un realismo nei confronti delle entità ma non nei confronti delle teorie, si espone alla linea di domande che riguardano la connessione che c'è tra teoria ed oggetto: la sua risposta è sostanzialmente induttiva, rispondendo che attualmente non si da il caso che ci siano teorie in grado di essere completamente esatte, tali da essere ritenute vere, ma che apprezza gli sforzi di chi ci prova:

> "I respond to this in an inductive way. Every single year since 1840, physics alone has used successfully more (incompatible) models of phenomena in its day-to-day business, than it used in the preceding year. The ideal end of science is not unity but absolute plethora. This remark can go along with intense admiration for projects which try to unify science. Faraday's discovery of the magneto-optical effect is a lesson for us all. Stephen Hawking, the great

cosmologist, chose for the title of his 1980 inaugural lecture at Cambridge University,' Is the end in sight for theoretical physics?' He thinks the answer is, yes. We shall have one unified theory. He added: that will leave most physics intact, for we shall still have to do applied physics, working out what happens from case to case."[106]

Ma questo non è sufficiente. Se è vero che le nostre migliori teorie fanno uso di oggetti matematici, è ingenuo rimanere agnostici sulla naturale prosecuzione logica di questa linea di pensiero. È importante notare che, a difesa di Hacking, non si sta parlando in questo caso della possibilità di una teoria del tutto, come quella pensata da Hawking, ma dello statuto delle matematiche nella nostra scienza: ricoprono esse lo stesso statuto di elettroni, geni o quark, oppure no?

Per analizzare le qualità della scienza interveniente, l'autore mette a disposizione una serie di qualità che la sperimentazione permette: lo stimolo della teoria, la possibilità di misurare, la possibilità di creare nuovi fenomeni (nel senso di creare apparati in grado di apprezzare e cogliere fenomeni che altrimenti la scienza non sarebbe stata in grado di percepire). Egli nota che tutte queste caratteristiche sono una collaborazione di sperimentazione e calcolo:

"The remarkable fact about recent physical science is that it creates a new, collective, human artifact, by giving full range to three fundamental human interests, speculation, calculation, and experiment. By engaging in collaboration between the three, it enriches each in a way that would be impossible otherwise."[107]

È forse quindi possibile introdurre la possibilità di un realismo matematico in una maniera simile a quella sostenuta da Hacking: un tipo particolare di Entity Realism nel quale gli oggetti matematici sono definiti in base al loro utilizzo. In questa maniera è possibile evitare anche l'annosa questione della credenza olistica in tutta la matematica: il realista può di conseguenza professare credenza in quelle entità, e solo in quelle entità, che sono effettivamente utilizzabili e adoperabili nella scienza.

La scienza matematica di per sé non viene chiamata in causa completamente, con le sue congetture e aporie gödeliane, come, quando si parla di realismo scientifico, non viene messa in causa l'intera struttura teoretica della scienza, ma solo quella

[106] Ibid.
[107] Ibid.

applicata. Ed è facile dimostrare come le entità matematiche giochino un ruolo fondamentale nelle esperienze sottolineate da Hacking, siano essere misurazione, stimolo di teoria, o la creazione di nuovi fenomeni (ricordiamo la possibilità di una Mathematical Driven Explanation avanzata da Baker come esempio di questo ultimo caso).

Una critica che si può fare a questa interpretazione delle entità matematiche è che confonde il limite tra ciò che è teoria e ciò che è oggetto: argomenta, infatti, chi non sostiene questa tesi, che c'è una bella differenza tra considerare come oggettuale un elemento fisico come un elettrone e una legge matematica; psicologicamente, esse appaiono come appartenenti a due reami diversi: le leggi matematiche non possono essere che provate dalla logica, non possono essere, quindi, sperimentali.

La mia proposta, a riguardo, è che si possa sostenere un processo simile a quello che è avvenuto per l'osservazione, dove progressivamente si è abbandonata la distinzione tra entità osservabili ed inosservabili, tra osservazione naturale ed osservazione per mezzo di strumenti, e dove la linea tra natura e la teoria che ci permette di percepire questa natura è andata via via scomparendo, nei confronti di una progressiva eliminazione della distanza che esiste tra teoria ed oggetto. Questo segue naturalmente da ciò che è appena stato detto sull'osservazione, ovvero che sia sostanzialmente indifferente l'atteggiamento di uno scienziato nell'osservazione tramite uno strumento, oppure nel calcolo di una costante tramite la teoria matematica. Sono entrambi avvenimenti che permettono, attraverso un mezzo, una manipolazione che possiamo percepire come reale, e si può pensare quindi, con un certo grado di sicurezza, che godano di uno statuto ontologico simile.

3.2. Damerow e l'epistemologia storica dell'Astrazione

Un altro interessante approccio che si può osservare nella costruzione di un concetto degli enti matematici è quello storico-psicologico-epistemologico, descritto in maniera superba dal lavoro di Damerow "*Abstraction and Representation*": l'autore a sua volta si pone l'obiettivo di contestualizzare il lavoro di Piaget, che ha operato in ambito neo-kantiano allo scopo di creare una storiografia del pensiero astratto.

Le considerazioni di Damerow sono principalmente di natura storica e pedagogica, e pur essendo di estremamente interessanti, esse non sono rilevanti all'interno di questo lavoro: principalmente esse servono a preparare il terreno, seguendo la formazione dal punto di vista storico e psicologico del concetto di numero, alle considerazioni sull'astrazione e sulla scienza che vengono a essere finalizzate verso la parte conclusiva del volume.

Damerow, seguendo Piaget, vede il processo della formazione del concetto di numero, nella mente collettiva della civiltà, così come viene creata in quella del bambino, che deve essere educato dal punto di vista del pedagogo a costruire continuamente l'astrazione a partire da oggetti: il numero, sostiene, è una struttura mentale che viene a formarsi sulla base dell'esperienza, e che di conseguenza non è uno schema preconcetto di pensiero; tuttavia, questa struttura non è nemmeno completamente formata sull'esperienza, in quanto l'astrazione, secondo Damerow, è di natura seguente:

> "Abstraction is a constructive process which is essential for mathematics teaching and learning. […] A mathematics teacher, who demonstrates the concept of a triangle on some real object usually does not at all intend to deal with real objects. Instead he is trying to communicate a mental construct which is not identical with anything in the real world"[108]

Piaget considera questo modo di assimilare il concetto matematico come una astrazione riflessiva, che non è tuttavia un a priori, come pensava Kant, bensì un'attività di astrazione a partire da azioni concrete:

> "Numbers are abstractions of the coordination of correspondence and comparison activities forming certain systems of actions"[109]

In maniera molto kantiana, sostiene Damerow, Piaget cerca di salvare l'universalità delle concezioni a priori della matematica sostenendo come le astrazioni riflessive siano sì modellate dalle esperienze, ma che l'apporto singolare esperienziale di queste attività sia, in sostanza, irrilevante; in altre parole, il tipo di esperienze che vengono vissute dal soggetto in formazione non ha peso sull'effettiva elaborazione aprioristica dei concetti matematici.

---

[108] Damerow, P. 1996, in *Abstraction and Representation: Essays on the cultural evolution of thinking* Max Planck Institute for Human Development and Education, Berlin, Springer-Science+Business Media B.V.

[109] Ibid.

Questa distinzione tra conoscenza universale e oggetti particolari viene risolta da Piaget sostenendo appunto il potere dell'astrazione, e che cioè le strutture che vengono a formarsi sono differenti dagli oggetti nelle quali vengono esperite. Damerow così introduce il concetto di rappresentazione all'interno della sua ontogenesi del concetto matematico:

> "A powerful means of abstraction, I should like to claim, is representation. Representation is based on a very fundamental and general function of the mind which is called by Piaget the symbolic function. The symbolic function is the ability to conceive something as representing something else. Real objects functioning as symbols can represent abstract ideas and real objects as well, and can thus be used as external tools for performing mental operations. They constitute complex representations of cognitive structures."[110]

La rappresentazione è essenziale per passare a strutture sempre più complesse, che vengono definite da Piaget di secondo e di terzo livello, nelle quali il processo di astrazione riflessiva passa ogni volta per una nuova rappresentazione.

È in questo senso psicologico che la rappresentazione può essere associata alla concezione di modello che abbiamo già incontrato; in questo caso il modello assume la forma di un simbolo, un'immagine, che permette con il suo manifestarsi un'ulteriore astrazione

> "Any development of mathematical thinking is an iteration (and possibly a combination) of such cycles of reflective abstraction"[111]

A questo punto, Damerow ha tutti gli strumenti necessari per differenziare il processo di ontogenesi del concetto matematico, quello che avviene all'interno di una mente singola e che permette, tramite l'astrazione, di raggiungere l'oggetto ideale, aprioristico, che nulla ha a che vedere con l'esperienza che ne promuove la formazione, e l'istoriogenesi del concetto matematico, che invece è relativa ad una comunità di persone, che tramanda la propria conoscenza tramite l'insegnamento.

Damerow introduce, parlando dell'istoriogenesi, il concetto di divisione del lavoro, il quale permette a determinati individui all'interno di una comunità di dedicarsi

---

[110] Ibid.
[111] Ibid.

solamente alla pianificazione delle attività di lavoro, cioè a quella forma di astrazione che precede l'agire, e impostandone il percorso, lo guida.

Nella comunità, il metodo con cui l'astrazione viene comunicata è il linguaggio, e Damerow sottolinea l'importanza di questo passaggio come necessaria per l'emergenza del concetto di scienza:

> "the relationship between the mental object and its representation in language in turn itself becomes an object of scientific activity. The most general indication of this stage is the act of "defining," that is to say, of intentionally transforming the representation of the mental object in language. Now science no longer operates just with words that represent abstract entities which are constructed by specific abstractions, but by means of the definition the mental object of scientific activity turns into a composite concept represented by language"[112]

Il contesto di emergenza della scienza è dunque il lavoro, l'azione, come abbiamo visto per Hacking, l'intervento. Tuttavia, il processo scientifico non si ferma alla semplice descrizione dell'astrazione, ma determina una nuova astrazione basata sul proprio linguaggio stesso.

3.2.1. *L'astrazione del concetto matematico come linguaggio della scienza*

Abbiamo quindi potuto notare come, anche in un lavoro prettamente epistemologico come quello di Damerow, torna nuovamente il concetto di scienza come disciplina attiva, piuttosto che semplicemente riflessiva.

Il contesto di emergenza della scienza è certamente l'astrazione, ma un'astrazione direzionata all'oggetto, al pratico, al lavoro. Tuttavia, il processo di astrazione non si ferma alla mera rappresentazione del reale: esso continua a riflettere sulle sue rappresentazioni, per creare strutture che sono collegate al reale dal linguaggio. Il linguaggio scientifico, uscendo dal contesto di Damerow, può essere rappresentato dal linguaggio matematico.

Come è stato visto durante tutto il percorso finora effettuato, il concetto galileiano di un libro della natura scritto in caratteri matematici può rappresentare in

[112] Ibid.

forma embrionale la determinazione di un istinto programmatico della scienza, un modo di descrivere il linguaggio da essa utilizzato.

Torna quindi prepotente la necessità del realista matematico di indagare sull'effettivo statuto ontologico di questo linguaggio, che, in quanto tale, è un mezzo, un collegamento, tra il reale e l'astrazione teorica. Piaget era un neokantiano, e non c'è dunque da stupirsi se fonda la conoscenza del concetto matematico in uno spazio aprioristico della nostra intelligenza, ma allo stesso tempo compie un passo importante nello stabilire come l'esperienza attiva sia necessaria affinché questa struttura venga effettivamente formata; allo stesso tempo, egli nota in maniera piuttosto precisa come l'ontogenesi di questo concetto, appresa pedagogicamente attraverso l'insegnamento, passi per la rappresentazione di un oggetto che è poi sostanzialmente ideale.

Il realista che voglia risalire al concetto di ente matematico attraverso una trattazione epistemologica si trova, quindi, di fronte a una scelta: da una parte, egli può accomunare il linguaggio scientifico al linguaggio della matematica, compiendo un passaggio che si è presentato più volte durante la storia della scienza, ed affermare che le entità matematiche di cui parla sono il punto di collegamento tra la teoria e la pratica scientifica, e permettono sia di descrivere l'una sia di pianificare l'altra.

D'altra parte, si trova ad ammettere come lo statuto degli enti che sta indagando sia di natura ideale, ma questa astrazione non è necessariamente un male: come abbiamo visto per Hacking, secondo il quale la teoria scientifica non dice nulla sulla realtà, ma le approssimazioni matematiche che descrivono le leggi degli enti che poi vengono manipolati sono la cosa che più le si avvicina, così le teorie possono essere definite come astrazioni concettuali, o condizioni aprioristiche, delle approssimazioni matematiche poi utilizzate nei vari calcoli scientifici.

Dal canto mio, la seconda possibilità mi sembra decisamente troppo kantiana, mentre la prima si dimostra consistente con la definizione strumentale che abbiamo dato degli enti matematici come entità intervenienti all'interno della nostra scienza, in questo caso rappresentando il linguaggio con il quale il sapere può essere condiviso e tramandato.

3.3. Conclusioni dell Capitolo Tre

L'approccio all'astrazione effettuato da Peter Damerow è sicuramente, almeno nel suo spirito, diverso da quello utilizzato dagli altri autori analizzati durante tutto il corso di questa ricerca, ma si può vedere come, sia in lui che in Hacking, la presenza dell'intervento operativo sulla natura e della comunità scientifica siano due necessità essenziali affinché si possa avere un'astrazione costruttiva.

In entrambi i casi, sembra che la chiave di volta per definire un'astrazione non vuota, ma utile e fondata, sia collegarla con un'attività pragmatica del fare scienza, di cui l'astrazione è sostanzialmente un modello, nel senso in cui essa precede e fornisce una struttura ideale dell'effettivo processo scientifico. Hacking, come è stato visto, è scettico nei confronti dello statuto di verità dei modelli, ma ritiene che essi siano un punto medio che permette la congiunzione tra la teoria e la pratica.

I modelli, che non sono derivati dalla teoria sovrastante, sono tuttavia costruiti tramite approssimazioni che permettono di individuare e prevedere il fenomeno reale. È possibile, quindi, osservare come il contatto tra la scienza operante e la scienza teorica viene risolto all'interno dello strumento, che è sia la metodica utilizzata per confermare il dato teorico che per mettere 'sotto vetrino' il fenomeno osservativo.

Conclusioni

La scoperta dell'effetto Faraday insegna come sia possibile che un'intuizione basata completamente sulla teoria, e che non nessun supporto di osservazione scientifica nell'epoca in cui viene formulata, si dimostri, poi, l'ipotesi dominante che viene accettata come realtà da parte della comunità scientifica; l'esempio di spiegazione di un fenomeno biologico portato da Baker insegna come sia possibile associare fatti naturali a una legge matematica, che, pur appartenendo ad un altro reame, è in grado di spiegare, in congiunzione con le nostre naturali leggi scientifiche, un fenomeno che sia 'in cerca di spiegazione'.

La convinzione galileiana che le leggi matematiche siano in grado di descrivere i moti dei pianeti è un convincimento che ha sospinto la nostra ricerca scientifica nel campo dell'astronomia fino ai giorni contemporanei; il progressivo abbandono da parte delle scienze matematico-economiche rinascimentali del concetto residuo di 'natura' dei numeri ha portato allo sviluppo dei concetti moderni di incognita, numeri negativi e radicali.

La formazione dello spirito scientifico moderno è volto, con decisione, ad un lento abbandono del concetto aristotelico di una scienza delle qualità manifeste ed occulte in uno spazio concluso e perfetto e alla trasformazione in una scienza della misurazione delle quantità tramite leggi matematiche in uno spazio infinito e indeterminato.

La storia della scienza è un ininterrotto processo di matematizzazione, che porta sempre più lo scienziato dall'occuparsi di caratteristiche peculiari, concrete e sostanzializzate a leggi generali, astratte e matematizzate.

È indubbio che questo processo abbia creato la scintilla di una rivoluzione delle scienze, e sia tuttora in atto, e che, proseguendo la metafora del fuoco stia dilagando anche all'interno delle scienze sociali; infatti, anche in queste discipline sempre di più i dati e le statistiche hanno un ruolo fondamentale rispetto alla singola opinione dell'esperto del settore, il cui ruolo è quello di interpretare i suddetti dati.

Appurato quindi che questo processo di astrazione passa per un'infiltrazione della teoria matematica all'interno dell'operato della scienza; è quindi naturale chiedersi se le leggi, le costanti, le regole matematiche siano considerati o alla stregua di leggi scientifiche, o alla stregua degli enti inosservabili di cui la scienza fa utilizzo.

Si è così analizzato l'atteggiamento del realismo scientifico, il quale sostiene che non ci sia fondamentale differenza tra un approccio strumentale all'osservazione e una vista 'naturale': una lezione che viene insegnata dai tempi di Keplero e dei suoi trattati di ottica. Il realismo, di conseguenza, oltre a sostenere il valore ontologico delle entità scientifiche, si attesta su un'altra peculiare posizione, che è quella di una crescente eliminazione della differenza tra teoria e pratica.

Questa osservazione, che è la consequenziale conclusione del percorso realista, mette le entità che fanno parte delle nostre migliori teorie in una nuova luce: le espone in maniera chiara come datità in uno spazio ontologico che è indissolubile dalla nostra comprensione della realtà: le entità delle nostre migliori teorie sono, in questa maniera, il modo in cui noi osserviamo, comprendiamo e studiamo il reale, ed è solo attraverso il nostro sguardo carico-di-teoria che riusciamo a distinguere i fenomeni.

Questa conclusione, che si applica alle entità scientifiche particolari come quark, protoni o geni, per citare i classici oggetti su cui gli antirealisti mantengono almeno un atteggiamento agnostico, è particolarmente rilevante nel caso degli oggetti matematici. Superato l'istinto naturale di occuparci di questa particolare classi di enti come appartenenti ad una dimensione differente, dal punto di vista scientifico, rispetto a oggetti che compongono in maniera più evidente la struttura del reale, questo insieme di oggetti, può servire non solo da linguaggio specifico delle nostre teorie, ma anche da spiegazione di particolari classi di fenomeni.

Il dibattito tra l'antirealismo ed il realismo, pur in nessun modo concluso, impedisce di considerare i numeri come soli oggetti metafisici. Le loro proprietà e regole hanno effetti visibili nel mondo, perché determinano spiegazioni ai fenomeni; tuttavia non è semplicemente in un ruolo esplicativo che noi li ritroviamo.

Se, infatti, è possibile parlare in generale di un'ontologia degli enti matematici, questa deve per forza fare riferimento al valore strumentale-operativo che essi hanno nella nostra scienza: come è stato fatto notare sulla base della lettura di Hacking, il grado di manipolazione e controllo che possiamo avere sulle teorie è una metodologia incontestabile per asserire lo statuto ontologico delle entità matematiche, anche per chi dubita delle teorie stesse. Ora, pur noi non potendo spruzzare o spostare o colorare le leggi matematiche, le manipoliamo in moltissimi altri modi.

Siamo in grado di creare esperimenti e congetture, siamo in grado di prevedere ed ordinare l'andamento delle funzioni che sono da esse composte, e siamo in grado di creare modelli di eventi matematici.

È in questa strumentalità della matematica, che è rinforzata dalla costruzione astratta del lavoro scientifico che è osservato, seguendo la lezione di Damerow, che forse è possibile trovare il valore ontologico degli enti che sono oggetto di questo studio. Nonostante non ci sia nulla di compiuto in questa analisi, essa permette di calarsi nel reale e, a partire dalla sua manipolazione, scoprire le caratteristiche delle entità di cui noi facciamo uso.

L'astrazione, infatti, come rappresentazione del reale nella nostra mente, deve essere collegata ad esso da qualcosa, ed è solo seguendo l'esperienza del reale che noi facciamo attraverso la manipolazione dello stesso, essendo noi stessi parte del reale, che riusciamo a dare dignità ontologica alla nostra astrazione.

Riferimenti Bibliografici

- Ariew, R. 2016, "The Mathematization of Nature in Descartes and the First Cartesians, in *The Language of Nature: Reassessing the Mathematization of Natural Philosophy in the Seventeenth Century*, by editors Gorham, G. Hill, B. Slowik, E. Waters, K. University of Minnesota Press

- Bachelard, G. 1995 in *La Formazione dello Spirito Scientifico: contributo a una psicoanalisi della conoscenza oggettiva*, a cura di Enrico Castelli Gattinara, Raffaello Cortina, Milano

- Baker, A. 2005, "Are there Genuine Mathematical Explanations of Physical Phenomena?", in *Mind*, vol. 114 pp. 223-238

- Baker, A. 2009, "Mathematical Explanation in Science", in *The British Journal of Philosophy of Science,* vol. 60, pp. 611-633

- Baker, A. 2012, "Science-Driven Mathematical Explanation", in *Mind* 482, Vol. 121, pp. 243-267, Oxford

- Bangu, S. 2008, "Inference to the Best Explanation and Mathematical Realism", in *Synthese*, Vol. 160, No. 1, pp. 13-20, Springer

- Bangu, S. 2013 "Indispensability and Explanation", in *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 64 no. 2, pp 255-257, Oxford University Press, Oxford

- Bokulich, A. 2008, in *Re-examining the quantum-classical relation*, CUP

- Brown, J.R. 2012, in *Platonism, Naturalism, and Mathematical Knowledge,* Routledge

- Cardano, G. 1545, in *Ars Magna sive de regulis algebraicis*

- Cartwright, N. 1983, in *How the Laws of Physics Lie*, Clarendon

- Colyvan, M. 1998, "Indispensability Arguments in the Philosophy of Mathematics," in *The Stanford Encyclopedia of Philosophy,* E.N. Zalta, ed.

- Colyvan M. 2002, "Mathematics and Aesthetic Consideration in Science", in *Mind*, Vol.111, pp. 69-74, Oxford University Press

- Damerow, P. 1996, in *Abstraction and Representation: Essays on the cultural evolution of thinking* Max Planck Institute for Human Development and Education, Berlin, Springer-Science+Business Media B.V.

- Dardi, 2001, *Aliabraa Argibra* dal manoscritto I.VII.17 della Biblioteca Comunale di Siena: Quaderno del Centro Studi della Matematica Medioevale no. 26 edito da Raffaele Franci, Siena

- Descartes, R. 1637, in *Discorso sul Metodo*

- Field, H. 1980, "Science without Numbers: a defense of Nominalism", Oxford, Blackwell

- Gal, O. and Chen-Morris, R. 2010, "Baroque Optics and the Disappearance of the Observer: From Kepler's Optics to Descartes Doubt" in *Journal of the History of Ideas*, Vol. 71, No. 2, pp. 191-217, University of Pennsylvania Press

- Galilei, G. 1953, "Il Saggiatore", in *Opere di Galileo Galilei*, a cura di Ferdinando Flora, Ricciardi

- Galilei, G. 1970, in *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, a cura di Sosio Libero, Einaudi, Torino

- Gooding, G. 1981, "Final Steps in Field Theory: Faraday's Study of Magnetic Phenomena, 1845-1850", in *Historical Studies in the Physical Sciences*, Vol. 11, No. 2, pp. 231-275, University of California Press

- Hacking, I. 1983 in *Representing and Intervening: introductory topics in the Philosophy of natural science,* Cambridge University Press

- Husserl, H. 2015, in *La Crisi delle Scienze Europee e la Fenomenologia Trascendentale*, traduzione di Enrico Filippini, prefazione di Enzo Paci, Il Saggiatore

- King, H.C. 2016, in *The History of the Telescope*, Dover, Mineola, New York

- Knudsen, O. 1976, "The Faraday Effect and Physical Theory, 1845-1873", in *Archive of History of Exact Sciences*, Vol. 15, No. 3, pp.235-281, Springer

- Koyré, A. 1943, "Galileo and Plato" in *Journal of the History of Ideas*, Vol. 4 No. 4, pp. 400-428, University of Pennsylvania Press

- Koyré, A. 1978, in *Galileo Studies*, Humanities Press

- Kuhn, T. S. 1972, in La Rivoluzione Copernicana: L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale, traduzione di Tommaso Gaino, Einaudi, Torino

- Kuhn, T. S. 2009, in *La Struttura delle Rivoluzioni Scientifiche*, traduzione di Adriano Carugo, Einaudi

- Lange, M. 2009, “Why proofs by mathematical induction are generally not explanatory” in *Analysis*, Vol. 69 No. 2, pp. 203-211, Oxford University Press on behalf of the Analysis Committee

- Lange, M. 2013 “What Makes a Scientific Explanation Distinctively Mathematical?” in *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 64 No. 3, pp. 485-511, Oxford University Press

- Leng. M. 2005, “Mathematical Explanation’, in C. Cellucci and D. Gillies (*eds*), *Mathematical Reasoning, Heuristics and the Development of Mathematics*, London: King’s College Publications, pp. 167–189

- Leng, M. 2021 “Models, Structure, and the Explanatory Role of Mathematics” in *Empirical Science, in Explanatory and heuristic Power of Mathematics*, Springer

- Maddy, P. 1992, “Indispensability and Practice” in T*he Journal of Philosophy*, Vol. 89, No. 6 (Jun., 1992), pp. 275-28

- Mancosu, P. 2008, *The Philosophy of Mathematical Practice*, Oxford, Oxford University Press.

- Mattioli, G. 2019 “Galileo, Plato and the Scientific Revolution: The origin of Galileo’s Platonism Thesis in the Historiography of Science”, in *Transversal: International Journal for the Historiography of Science*, no. 7, pp. 70-84, Belo Horizonte, Brasil

- Melia, J. 2000, “Weaseling away the Indispensability Argument, in *Mind*, Vol. 109, pp. 455-479, Oxford University Press

- Newton-Smith, W. and Lukes, S. 1978, “The undetermination of theory by data”, in *Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes*, vol. 52, 1978, Oxford University Press

- Putnam, H. 1972, “How much Set Theory is really indispensable for Science’” in *Philosophy of Logic*, Routledge Revivals

- Putnam, H. 1975 in *Mathematics, Matter and Method. Philosophical Papers, vol. 1*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Putnam, H., 2012, "Indispensability Arguments in the Philosophy of Mathematics", in *Philosophy in an Age of Science: Physics, Mathematics and Skepticism*. Harvard University Press. pp. 181–201.

- Quine, W.V. 1983, “Success and Limits of Mathematization”, in *Theories and Things*, Cambridge, MA: Harvard University Press, pp. 148–155.

- Sober, E. 1993, “Mathematics and Indispensability”, in *The Philosophical Review*, vol°102, Duke University Press, pp. 35-57

- Steiner, M. 1978, “Mathematics, Explanation, and Scientific Knowledge”, in *Nous*, 12, pp. 17-28.

- Van Fraassen, B. 1980, in *The Scientific Image*, Oxford University Press, Clarendon Library of Logic and Philosophy

- Wagner, R. 2010, “The Natures of Numbers in and around Bombelli’s L’Algebra”, in *Arch. Hist. Exact Sci.* 64:485-523, Springer-Verlag

- Weber, E. and Frans, J. 2017, “Is Mathematics a Domain for Philosophers of Explanation, in *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, Vol. 48, No. 1 (March 2017), pp. 125-142, Springer

- Zelcer, M. 2013, “Against Mathematical Explanation”, in *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, Vol. 44, No. 1, pp. 173-192, Springer