

APPUNTI PER UNA STORIA DEI CONCETTI DI "MATEMATICA" E "FISICA"

Lucio Russo

1. Cosa sono la "matematica" e la "fisica"?

Secondo un'opinione diffusa rispondere alla domanda precedente sarebbe banale. La matematica fornirebbe un linguaggio alla fisica, ma di per sé sarebbe capace solo di esprimere tautologie, la cui verità è indipendente dall'esperienza; la fisica, procurandosi con il metodo sperimentale i contenuti empirici che esprime nel linguaggio matematico, fornirebbe invece una descrizione del mondo. Ad esempio l'affermazione che il quadrato costruito sull'ipotenusa è equivalente alla somma dei quadrati costruiti sui cateti, in quanto dimostrabile senza ricorrere a misure empiriche, sarebbe un teorema matematico, mentre la legge di Biot e Savart (che fornisce il campo magnetico prodotto da un filo rettilineo percorso da corrente), avendo un fondamento sperimentale, sarebbe una legge fisica.

Alcune semplici considerazioni possono però far apparire troppo semplicistico il quadro appena accennato. L'affermazione precedente, sui quadrati costruiti su ipotenusa e cateti di un triangolo rettangolo, era già nota nella matematica paleobabilonese, che però ignorava i procedimenti dimostrativi. Dobbiamo dedurre che quello che per noi è il "teorema" di Pitagora per uno scriba paleobabilonese aveva probabilmente solo un fondamento empirico. D'altra parte la legge di Biot e Savart, introdotta come legge sperimentale, può essere dimostrata anch'essa come teorema, se si usano le equazioni di Maxwell come postulati. È vero che senza una conoscenza sperimentale dei fenomeni elettromagnetici non sarebbero state scritte le equazioni di Maxwell, ma non hanno avuto un'origine empirica anche i postulati di Euclide dai quali deduciamo il teorema di Pitagora?

Possiamo chiederci: quante altre affermazioni dapprima considerate "sperimentali" hanno cambiato il loro status nel tempo? O possono ancora cambiarlo? È accaduto mai il cambiamento inverso? Teoremi non più compresi hanno finito cioè con l'essere considerati verità sperimentali? Non si tratta di problemi riguardanti solo i secoli passati. Ad esempio alcune proprietà "fisiche" dei sistemi di meccanica statistica (come le relazioni tra gli esponenti critici) cominciano ad apparire oggi come proprietà matematiche. A volte si è riusciti a dimostrare l'equivalenza di due teorie che erano state a lungo studiate separatamente l'una nei dipartimenti di fisica e l'altra nei

dipartimenti di matematica. È ciò che è avvenuto, ad esempio, nel caso delle catene di Markov a più dimensioni e delle misure di Gibbs generate da un'interazione a *range* finito (l'importanza concettuale di un tale teorema di isomorfismo fu sottolineata dal fisico matematico Dobrushin). Per citare un'esperienza personale, quando cominciai a occuparmi di teoria della percolazione lavoravo in un istituto di fisica e molti ammettevano che si trattasse di un argomento di fisica teorica. Solo alcuni anni più tardi il termine *percolation* apparve nella classificazione degli argomenti del "Mathematical Review". Nel frattempo mi ero trasferito in un dipartimento di matematica, ma non ho mai capito quando esattamente e perché mi accadde di varcare il confine tra le due discipline.

Senza affrontare qui direttamente il problema epistemologico dello *status* delle due scienze (problema che è di grande importanza per la filosofia della scienza) accontentiamoci per il momento di notare che non si tratta di un problema banale. Per affrontarlo può essere di qualche utilità ripercorrere la storia dei due concetti: una storia complessa e probabilmente non sufficientemente studiata. Gli storici della scienza che hanno scritto una "storia della matematica" o, più raramente, una "storia della fisica", hanno infatti per lo più assunto implicitamente l'esistenza statica di due discipline con questo nome sin dall'antichità. L'argomento richiederebbe almeno un libro. Le considerazioni seguenti costituiscono un primo intervento e propongono alcune ipotesi interpretative che spero possano costituire il punto di partenza di uno studio più analitico.

2. I termini "fisica" e "matematica" nella Grecia classica

Il rapporto tra la lingua e la formazione dei concetti scientifici... può essere studiato, propriamente parlando, soltanto nella lingua greca, la sola in cui i concetti si sono sviluppati dalla lingua in modo organico: soltanto in Grecia... troviamo un concetto scientifico che si sviluppa in forma autoctona. Tutte le altre lingue si nutrono, prendono a prestito, traducono o dipendono in qualche modo dal greco.

Bruno Snell

I termini "fisica" e "matematica" sono greci. Dal verbo φύω (genero, cresco) deriva il sostantivo φύσις (reso in latino con "natura"), che indica tutto ciò che vive, cresce e, per estensione, diviene e da questo l'aggettivo φυσικός, cioè "naturale". Questi termini appaiono già sistematicamente nelle opere dei filosofi presocratici, molti dei quali scrissero un poema *Περὶ φύσεως*, ossia *Sulla natura* e per questo loro interesse furono chiamati φυσιολόγοι¹ o φυσικοί,² termini che possiamo traslitterare

¹ Ad esempio Aristippo di Cirene e Crisippo, tra gli altri, avevano intitolato *Περὶ φυσιολόγων* la loro opera

rispettivamente con "fisiologi" e "fisici" ma che valgono semplicemente studiosi della natura. Aristotele, le cui opere hanno influenzato profondamente la terminologia medievale e moderna, parla esplicitamente di "scienza fisica" (φυσική ἐπιστήμη)³ e scrisse un'opera su questo argomento il cui titolo latinizzato, *Physica*, è direttamente all'origine del termine attuale. La "fisica" di Aristotele differisce tuttavia profondamente dall'omonima scienza moderna sia nell'oggetto (che includeva non solo piante e animali, ma anche il "primo motore") sia nel metodo.

Il termine "matematica" deriva dal verbo μανθάνω (apprendo, imparo), il sostantivo μάθημα (oggetto di apprendimento, argomento di studio) e il relativo aggettivo μαθηματικός, il cui il neutro plurale τὰ μαθηματικά (tutto ciò che viene studiato) ha dato origine al termine attuale; nella scuola pitagorica i "matematici" erano gli adepti messi a parte delle conoscenze più profonde. Il termine "matematica" nel senso di una particolare scienza non appare nelle opere di Platone (che parla invece spesso di "geometria" e di altre discipline poi incluse nella "matematica"), ma è usato sistematicamente nelle opere di Aristotele e nella letteratura successiva. Cosa si intendeva allora con "matematica"? Riportiamo innanzitutto una citazione tarda che cerca di spiegare il passaggio dall'uso del termine nel senso generico di "tutto ciò che è oggetto di studio" all'uso specifico, relativo ad una particolare disciplina. Anatolio (vescovo del III sec. d.C.) scrive:

*Perché la matematica è chiamata così? I Peripatetici, che dicono che la retorica, la poesia e la musica popolare possono essere praticate anche senza essere studiate, ma che nessuno può capire le cose che vengono chiamate con il nome matematica senza averle prima studiate, rispondono che per questa ragione la teoria di queste cose è detta matematica.*⁴

Dobbiamo dedurre che, almeno secondo l'interessante opinione peripatetica riportata da Anatolio, la matematica si chiama così perché bisogna studiarla.⁵ È un fatto che, a differenza di quasi tutte le altre discipline, il nome "matematica" non deriva dal contenuto, ma dal metodo.

Aristotele aveva discusso più volte la natura della "matematica" e della "fisica". Riportiamo un solo passo:

Dopo aver definito in quanti modi si dice "natura", dobbiamo esaminare in cosa il matematico differisca dal fisico; infatti i corpi fisici posseggono superfici e

sui filosofi della natura, come sappiamo da Diogene Laerzio.

² Il termine è usato spesso da Aristotele, ad esempio citando un'affermazione di Anassagora (*Metaphysica*, XII, 6, 1071b, 27).

³ Cfr., ad es., *Metaphysica*, VI, 1.

⁴ *Heronis Alexandrini Opera quae supersunt omnia*, Leipzig 1899 segg., vol. IV, 160.8-162.2. Vari brani di Anatolio sono stati pubblicati con le opere di Erone perché erano nella raccolta bizantina che ci ha conservato le *Definizioni di Erone*.

⁵ È molto meno convincente il tentativo di Proclo di ricondurre l'uso del termine "matematica" alla teoria platonica della reminiscenza (*In primum Euclidis elementorum librum commentarii*, ed. Friedlin, 44, 25 sgg.).

volumi, linee e punti, sui quali indaga il matematico. Anche l'astronomia o è diversa dalla fisica o ne è parte. Sarebbe assurdo se fosse di competenza del fisico conoscere il sole o la luna, ma non lo studio delle loro proprietà essenziali; d'altra parte coloro che studiano la natura studiano anche la forma della luna e del sole e la sfericità della terra e del cosmo. Di queste cose [superfici, linee,...] dunque tratta anche il matematico ma non in quanto ciascuna di esse costituisca un limite del corpo fisico....

E ciò appare anche nelle più fisiche delle scienze matematiche, come l'ottica, l'armonica e l'astronomia: queste scienze infatti sono l'inverso della geometria. La geometria indaga sulle linee fisiche, ma non in quanto fisiche; l'ottica invece indaga le linee matematiche, ma non in quanto matematiche, ma in quanto fisiche.⁶

La differenza tra il fisico e il matematico è quindi secondo Aristotele nel punto di vista. Chi, ad esempio, studia la proprietà focale della parabola al fine di realizzare uno specchio ustore sarebbe, almeno in parte, un fisico, mentre chi usa un corpo materiale solo come modello della forma, che lo interessa in sé, sarebbe un vero matematico. Va notato che discipline come l'ottica o l'astronomia non solo sono considerate le "più fisiche" tra le scienze matematiche, ma sono addirittura contrapposte alla geometria. Nel complesso le idee di Aristotele sulla natura della fisica appaiono abbastanza vicine a quelle moderne, certamente molto più vicine di quanto non siano tra loro la "fisica" aristotelica e la nostra.

3. La scienza esatta ellenistica

Il termine "matematica" divenne usuale nell'ambito della scienza ellenistica e in quella di età imperiale. Il suo significato non coincideva però con quello attuale e neppure completamente con quello di Aristotele, in quanto in epoca ellenistica gli sviluppi di discipline come la meccanica, l'ottica o l'astronomia le fecero includere a pieno titolo nella "matematica". Per fare un esempio, nel dialogo di Plutarco *De facie quae in orbe lunae apparet*, che costituisce un'importante fonte sulla scienza ellenistica, si parla più volte di "matematici" e di "matematica" (nove volte, per l'esattezza) e uno dei partecipanti al dialogo, Menelao, è presentato appunto come un "matematico". Gli argomenti accennati nel dialogo come tipici dei "matematici" appartengono però tutti o all'ottica o all'astronomia. L'opera astronomica di Tolomeo, oggi più nota col nome arabo *Almagesto*, aveva come titolo originale quello di *Trattato matematico* [μαθηματικὴ σύνταξις]. Tra gli argomenti studiati dai "matematici" vi erano l'aritmetica, la geometria, l'armonica, l'idrostatica e altro. Non è difficile capire quale fosse l'elemento comune che giustificava l'uso dello stesso termine "matematica" per tutte queste scienze: si trattava in ogni caso di teorie costruite dimostrando teoremi, basati su alcune assunzioni iniziali enunciate esplicitamente. Poiché è difficile sottrarsi all'uso automatico delle categorie moderne,

⁶ *Physica*, II, 1, 193b, 23 sgg.

è bene sottolineare esplicitamente che le teorie sviluppate, ad esempio, nei trattati di Archimede *Sui galleggianti* e *Sull'equilibrio delle figure piane* o nell'*Ottica* di Euclide non sono "matematiche" solo perché applicano strumentalmente concetti e risultati geometrici o aritmetici, ma in quanto sono basate su postulati rispettivamente di idrostatica, di statica e di ottica, esattamente come l'opera più famosa di Euclide, gli *Elementi*, è basata su postulati di geometria. È anche impossibile applicare alle opere ellenistiche la distinzione moderna tra discipline "fisiche" in quanto legate alla realtà sperimentale e discipline "matematiche" puramente astratte. Per rimanere nell'esempio già fatto, è certamente vero che le opere di statica o di ottica hanno un chiaro rapporto con attività concrete quali l'uso della bilancia o di strumenti ottici (come la diottra o l'astrolabio), ma esattamente lo stesso rapporto esiste tra la geometria euclidea e la pratica del disegno con riga e compasso.⁷

Nella tarda antichità il termine "matematico" (anche probabilmente per l'influenza del titolo dell'opera di Tolomeo) fu spesso usato come sinonimo di "astronomo".

Il termine "fisica" continuò a essere usato per indicare quella parte della filosofia che si occupava della natura. Diogene Laerzio assume come generalmente accettata la divisione della filosofia in tre settori: "fisica" (ossia "naturale"), etica e logica,⁸ divisione che egli fa risalire ai primi Stoici.⁹ Il termine "fisica" corrispondeva quindi esattamente al nostro "filosofia naturale".

Poiché i fenomeni ottici o astronomici sono certamente "naturali" e rientrano quindi nell'ambito dell'interesse dei "fisici", ossia dei filosofi della natura, che cosa differenzia questi ultimi dai matematici? Il problema, già affrontato da Aristotele, è ripreso più volte nell'antichità. Il passo più interessante oggi disponibile su questo argomento è probabilmente il seguente, che attraverso una lunga catena di testimonianze è approdato nel commento di Simplicio ad Aristotele, che possiamo ancora leggere:

Alessandro [di Afrodisia] cita un passo dall'epitome di Gemino dei Meteorologica di Posidonio; Gemino, ispirandosi alle opinioni di Aristotele, dice: "È proprio dell'indagine fisica considerare ciò che riguarda la sostanza del cielo e degli astri, la loro potenza e qualità, la loro generazione e corruzione... L'astronomia invece non si occupa di tutto ciò... In molti casi astronomi e fisici si occupano degli stessi argomenti, ad esempio della grandezza del Sole o della sfericità della terra ma non seguono la stessa via. L'uno infatti [il fisico] dedurrà ogni cosa dalla sostanza [οὐσία] o dalla potenza [δύναμις] o da ciò che è meglio che sia o dalla generazione e dalla trasformazione, l'altro invece [l'astronomo] dalle opportune figure o dalle grandezze o dalla misura del moto e del tempo corrispondente. Il fisico in molti casi coglierà la causa individuando la potenza produttrice, mentre l'astronomo, dovendo basarsi su ciò che è esteriore, non sarà un giusto osservatore della causa... a volte

⁷ Tale rapporto, che è chiarissimo negli *Elementi*, fu fortemente indebolito nelle esposizioni moderne della geometria euclidea. Torneremo su questo punto nel §6.

⁸ Diogene Laerzio, *Vite dei filosofi*, I, 18.

⁹ Diogene Laerzio, *Vite dei filosofi*, VII, 39.

egli [l'astronomo] attraverso un' "ipotesi" [ὑπόθεσις] trova il modo di "salvare le apparenze" [φαινόμενα σώζειν]. Ad esempio perché il sole, la luna e i pianeti appaiono muoversi irregolarmente? Se supponiamo che le loro orbite circolari siano eccentriche o che gli astri si muovano su un epiciclo, l'irregolarità che appare sarà salvata e bisognerà investigare in quanti modi diversi si potranno rappresentare le apparenze [φαινόμενα]...¹⁰

Questo passo è di grande importanza, anche per l'influenza che ha avuto nei secoli successivi. Per Simplicio Il "fisico" è colui che, usando categorie filosofiche, può conoscere la sostanza della realtà naturale. Il termine a lui esplicitamente contrapposto è "astronomo", ma avrebbe potuto essere altrettanto bene "matematico". Simplicio subito prima del passo riportato aveva in effetti contrapposto alla fisica "la matematica e l'astronomia".¹¹ Una caratteristica essenziale di queste scienze è la loro incapacità di affermare "verità" assolute, in quanto sono in grado solo di controllare delle deduzioni, senza poter garantire le premesse. Si tratta evidentemente di una conseguenza dell'uso del metodo dimostrativo, che caratterizzava la "matematica" ellenistica. Poiché "dimostrare" un'affermazione significa dedurla da altre affermazioni, è evidente che tale metodo non permette di fondare la validità delle affermazioni scelte come punti di partenza. La scelta delle premesse non è tuttavia arbitraria, ma deve soddisfare un criterio: quello che dalle premesse scelte sia possibile dedurre ("salvare" nella terminologia delle fonti di Simplicio) ciò che viene osservato (i φαινόμενα, termine che possiamo traslitterare con "fenomeni" ma che in greco significa "apparenze"). Questo criterio non permette però di individuare univocamente le premesse "vere", in quanto le stesse "apparenze" sono spiegabili usando premesse diverse. Ad esempio oggi sappiamo che molti fenomeni ottici sono spiegabili sia usando una teoria corpuscolare sia usando una teoria ondulatoria della luce.

L'esempio astronomico riportato da Simplicio, la possibilità cioè di spiegare gli stessi moti osservabili con un eccentrico o con un epiciclo, allude a un teorema dimostrato già da Apollonio di Perga e poi da Claudio Tolomeo nell'*Almagesto*.¹² Si tratta di questo: se un punto B si muove di moto circolare uniforme attorno a un punto A e un terzo punto C a sua volta si muove di moto circolare uniforme attorno a B (percorrendo ciò che viene detto un *epiciclo*) allora nel caso particolare in cui i due moti hanno la stessa velocità angolare il moto risultante può essere ancora circolare uniforme, ma con un centro diverso da A. Lo stesso moto può quindi essere descritto usando due modelli diversi: o supponendo che C si muova su un'orbita circolare eccentrica rispetto ad A, oppure supponendo che si muova su un epiciclo.

Per le premesse dalle quali gli scienziati deducevano i propri teoremi erano usati diversi termini, dei quali non è sempre facile cogliere le differenze. Venivano usati i termini λαμβανόμενα e αἰτήματα, che possiamo tradurre entrambi

¹⁰ Simplicio, in *Aristotelis physicorum libros commentaria*, vol. 9, 291, 21 - 292, 19.

¹¹ Simplicio, in *Aristotelis physicorum libros commentaria*, vol. 9, 291, 19-20.

¹² Tolomeo, *Almagesto*, XII, i, 451-454 (ed. Heiberg).

"postulati", e anche "ipotesi" (ὑπόθεσις, ossia letteralmente "ciò che è posto sotto"), termine che non aveva il significato attuale, ma valeva, come gli altri, "base", "fondamento", "principio". Sesto Empirico, ad esempio, chiama "ipotesi" i postulati della geometria.¹³

L'idea di potere offrire spiegazioni diverse degli stessi fenomeni, basate su premesse diverse, è presente sin dall'inizio del periodo ellenistico, essendo documentata già in Epicuro.¹⁴ Un'applicazione importante di questa idea riguarda il moto. Gli scienziati ellenistici avevano scoperto che si poteva assumere per "ipotesi" che un qualunque corpo fosse fermo, giacché i fenomeni osservabili potevano dare informazioni solo sul moto relativo e non sul moto assoluto. Questa osservazione è riportata, tra gli altri, da Euclide,¹⁵ Erofilo di Calcedonia¹⁶ e Tolomeo.¹⁷

Dopo il periodo aureo, nel III e II secolo a.C., la scienza ellenistica decadde rapidamente. Durante le riprese avutesi nel periodo imperiale e nella tarda antichità, di livello via via inferiore, non solo non si produssero risultati scientifici confrontabili con quelli del primo periodo, ma fu anche sempre meno compresa la metodologia scientifica. In particolare risultò di sempre più difficile comprensione l'idea di potere usare teorie diverse, basate su assunzioni iniziali diverse, per spiegare gli stessi fenomeni. Una delle prime conseguenze di tale difficoltà fu la perdita dell'idea della relatività del moto. Tolomeo riferisce nell'*Almagesto* degli argomenti chiaramente "relativistici", ma non li comprende pienamente. Egli riporta diligentemente l'argomento che diverse ipotesi sullo stato di quiete o di moto della terra e del cielo implicano gli stessi "fenomeni" astronomici, purché i moti relativi siano gli stessi, ma ne deduce solo che per stabilire che la terra è davvero ferma bisogna usare argomenti non astronomici, che egli trae in buona parte dalle opere di Aristotele. Allo stesso modo Simplicio, nel passo che abbiamo letto, sembra citare l'incapacità degli astronomi di scegliere tra diversi modelli soprattutto per dedurre la superiorità della filosofia naturale (di cui personalmente è un cultore) sull'astronomia. Non a caso il brano che abbiamo riportato appartiene a un commento alla *Physica* di Aristotele. Analogamente sappiamo delle osservazioni di Erofilo sulla relatività del moto attraverso una testimonianza di Galeno, che però non è in grado di capire l'argomento che riporta. Anche Sesto Empirico, nella sua opera *Contro i matematici*, aveva cercato di gettare discredito sul metodo dimostrativo usando come uno dei principali argomenti l'incapacità dei matematici di stabilire con certezza la verità delle proprie premesse.

Nel Medio Evo il metodo dei "matematici" ellenistici non è completamente dimenticato. Tommaso d'Aquino, ad esempio, scrive:

Ci sono due modi diversi di render conto di una cosa. Il primo consiste nello

¹³ Sesto Empirico, *Adversus Mathematicos*, III, 1 sgg.

¹⁴ Cfr., in particolare, Epicuro, *Lettera a Pitocle* (in Diogene Laerzio, *Vite dei filosofi*, X, 87).

¹⁵ Euclide, *Ottica*, proposizione 51.

¹⁶ Il passo di Erofilo (riportato da Galeno) è nella testimonianza 59a in H. Von Staden, *Herophilus. The Art of Medicine in Early Alexandria*, Cambridge, 1989.

¹⁷ Tolomeo, *Almagesto*, I, vii, 24, (ed. Heiberg).

*stabilire con una dimostrazione sufficiente l'esattezza di un principio da cui questa cosa deriva; così, in fisica, si dà una ragione sufficiente a provare l'uniformità dei moti del cielo. Un secondo modo di render ragione di una cosa consiste non nel dimostrarne il principio con una prova sufficiente, ma nel far vedere come gli effetti si accordino a un principio precedentemente posto; così, in astronomia si rende conto degli eccentrici e degli epicicli per il fatto che, per mezzo di quest'ipotesi, si possono salvare le apparenze sensibili relative ai moti celesti; ma non è, questo, un motivo sufficientemente probante, perché questi moti apparenti si potrebbero salvare per mezzo di un'altra ipotesi.*¹⁸

La fonte di Tommaso sembra essere qui Simplicio, del quale Tommaso riporta la stessa contrapposizione tra "fisica" e "astronomia" e lo stesso esempio degli eccentrici e degli epicicli. La critica al metodo degli astronomi è divenuta però in Tommaso più esplicita e severa. Naturalmente se due principi diversi permettono, attraverso dimostrazioni egualmente rigorose, di dedurre le stesse "apparenze sensibili" per stabilire quale dei principi è "vero" bisogna ricorrere ad argomenti estranei sia all'evidenza sperimentale che al metodo dimostrativo, come erano gli argomenti che permettevano a Tommaso di essere certo "a priori" dell'uniformità dei moti celesti. Probabilmente oggi molti sarebbero d'accordo nel considerare tali argomenti non scientifici.

4. Il Rinascimento scientifico

La terminologia degli scienziati del Rinascimento cerca di seguire i modelli greci. Per "matematica", in particolare, continua a intendersi la "scienza esatta" nel suo insieme.¹⁹ Quando ad esempio Copernico, nella lettera dedicatoria del *De revolutionibus*, afferma orgogliosamente che *mathemata mathematicis scribuntur* (la matematica si scrive per i matematici), non ha alcun dubbio sul fatto che le sue teorie sul sistema solare facciano parte della "matematica".

Come esempio di cosa poteva intendersi per "matematica" ancora all'inizio del Seicento, consideriamo l'operetta di Stevino (che è stato tra l'altro uno dei principali studiosi moderni di Archimede) sulla teoria delle maree. Si tratta infatti di una tipica opera "matematica" nel senso antico della parola, in quanto è basata su postulati e definizioni esplicite e contiene proposizioni dimostrate a partire da questi (oltre a esempi illustrativi). I postulati sono due:

¹⁸ Tommaso d'Aquino, *Summa Theologica*, parte I, questione XXXII, articolo 1. Ho usato la traduzione di Libero Sosio, che riporta il brano nella sua edizione del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* di Galileo (Einaudi, Torino, 1970).

¹⁹ La straordinaria unità culturale del Rinascimento suggeriva per la verità ad alcuni autori un'accezione ancora più ampia del termine. Fra Luca Pacioli, nel frontespizio della sua famosa opera *De divina proportionione*, si rivolge a *ciascun studioso di philosophia, prospectiva, pictura, sculptura, architectura, musica e altre matematiche*.

1° postulato.

Postuliamo che la luna e il punto a lei opposto attirino continuamente a sé l'acqua.

2° postulato.

*[Postuliamo] che la terra sia completamente coperta dall'acqua, senza che il vento o altre cause ne impediscano il flusso e il riflusso.*²⁰

È particolarmente interessante la circostanza che il secondo postulato contenga affermazioni palesemente e volutamente "false". L'intenzione di Stevino è evidentemente quella di costruire un modello basato su una semplificazione della realtà. Stevino (a differenza di molti scienziati a lui posteriori) non pensa che i postulati debbano essere delle affermazioni "certamente vere", ma semplicemente le basi di un modello teorico della realtà. L'opera (che non contiene formule, né sviluppi quantitativi di alcun tipo) fu pubblicata nel 1608 tra i *Wisconstighe Ghedachtenissen* di Stevino, cioè tra i suoi "lavori matematici".

Anche il termine "fisica" nel Seicento era usato in un senso vicino a quello greco, essendo adoperato soprattutto in trattati di filosofia naturale, nei tanti commenti all'opera omonima di Aristotele e in scritti medico-naturalistici, mentre i cultori della scienza esatta, quando non si dicevano filosofi, preferivano chiamarsi matematici.

Galileo non aveva dubbi sul fatto che la sua "nuova scienza" sul moto dei gravi appartenesse a quella stessa "matematica" che era stata coltivata da Euclide, Archimede e Apollonio. Egli spiega anche chiaramente che l'omogeneità metodologica tra il suo lavoro e quello dei suoi illustri predecessori consiste nel metodo dimostrativo.²¹

Ai tempi di Galileo la scienza esatta conservava l'unità presente nei modelli greci dai quali traeva la terminologia, ma l'antico metodo era raramente compreso. Non che la spiegazione riferita da Simplicio fosse stata dimenticata, ma pochi, come Stevino, usavano la libertà di scelta delle ipotesi per costruire modelli; molto più spesso la relativa arbitrarietà delle assunzioni iniziali appariva (come era apparsa a Simplicio e a Tommaso) come una particolarità (e una stranezza) del metodo dei "matematici" che determinava la loro inferiorità rispetto a filosofi e teologi, che sapevano bene come distinguere tra "vero" e "falso". L'arcivescovo Marco Antonio de Dominis, ad esempio, nella sua interessante operetta sulle maree, propone l'ipotesi che l'azione del sole e della luna sulle acque sia massima lungo tutto il cerchio meridiano al quale appartiene il punto della terra nel quale il corpo celeste appare allo zenit. Per giustificare questa strana idea, egli ricorda semplicemente che gli astronomi non devono giustificare le loro ipotesi, se non mostrando che esse sono in

²⁰ L'operetta di Stevino è (con una traduzione inglese) in *The Principal Works of S. Stevin*, 5 voll., Amsterdam, 1961, III, 323-357.

²¹ Cfr., ad esempio, Galileo Galilei, *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Meccanica & i Movimenti Locali* (in Edizione nazionale delle Opere di Galileo Galilei, Firenze 1890-1909, vol. 8), pp. 266-267.

grado di "salvare i fenomeni".²² L'osservazione metodologica è riferita correttamente nei termini classici, ma l'applicazione che ne fa il nostro autore è così superficiale e sbrigativa da tradire la natura scolastica e di maniera del riferimento.²³

Il 12 aprile 1615 il cardinale Roberto Bellarmino scriveva al frate carmelitano P.A. Foscarini, che aveva cercato di conciliare l'eliocentrismo con la Sacra Scrittura:

*Dico che mi pare che V.P. et il signor Galileo facciano prudentemente a contentarsi di parlare "ex suppositione" e non assolutamente, come io ho sempre creduto che abbia parlato il Copernico. Perché il dire che, supposto che la terra si muova et il sole stia fermo, si salvano tutte le apparenze meglio che con porre gli eccentrici et epicicli, è benissimo detto, e non ha pericolo nessuno; e questo basta al mathematico: ma volere affermare che realmente il sole stia nel centro del mondo e solo si rivolti in sé stesso senza correre dall'oriente all'occidente, e che la terra stia nel 3° cielo e giri con somma velocità intorno al sole, è cosa molto pericolosa non solo d'irritare tutti i filosofi e theologi scholastici, ma anco di nuocere alla Santa Fede con rendere false le Scritture Sante;...*²⁴

L'antica metodologia scientifica continua a essere ricordata come tipica del "mathematico", ma è interpretata anche qui come un limite che gli impedisce di assurgere alla verità riservata ai teologi e, in parte, ai filosofi scolastici. Come è ben noto la raccomandazione di Bellarmino fu parzialmente accolta dallo stesso Galileo, ma solo come un espediente per tentare di evitare censure e condanne.

5. La prefazione di Cotes ai "Principia".

Newton è spesso considerato il fondatore della "fisica" nel senso moderno del termine. In effetti, anche se i *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* si basano su definizioni e assiomi, secondo l'uso dell'antica scienza, è chiara l'intenzione di Newton di allontanarsi dal modello dell'antica "matematica". Su questo punto è particolarmente chiara la prefazione dell'editore Roger Cotes alla seconda edizione dei *Principia*, del 1713. Cotes scrive (la sottolineatura è mia):

Coloro che intrapresero a trattare della fisica si possono raggruppare sotto tre classi. Ci furono, infatti, quelli che attribuirono alle singole specie di cose qualità specifiche ed occulte, dalle quali, poi, vollero ricavare, secondo un certo misterioso

²² Marcantonio de Dominis, *Euripus, seu de fluxu et refluxu maris...*, Roma, 1624, p. 12.

²³ De Dominis sbaglia anche nel riferire la fenomenologia relativa alle maree. Ciononostante egli riesce a fornire una teoria delle maree migliore sia di quella di Galileo che di quella di Stevino (che, a differenza di de Dominis, aveva riconosciuto solo l'influenza sulle maree della luna e non quella del sole). Per un'analisi del contenuto dell'opera di de Dominis cfr. F. Bonelli, L. Russo, *The origin of modern astronomical theories of tides: Chrisogono, de Dominis and their sources*, "The British Journal for the History of Science", 1996, 29, 385-401.

²⁴ La lettera è in *Edizione nazionale delle Opere di Galileo Galilei*, Firenze 1890-1909, vol. 12, pp. 171-172.

metodo, le operazioni dei diversi corpi. La totalità della dottrina scolastica, derivata da Aristotele e dai Peripatetici, è fondata su questo: affermano, in particolare, che i singoli effetti nascono dalle nature particolari dei corpi; ma non insegnano donde provengano quelle nature; perciò non insegnano nulla. E poiché essi tutti sono impegnati piuttosto con i nomi delle cose che con le cose stesse, vanno considerati come inventori di un certo linguaggio filosofico e non come coloro che hanno trasmesso una filosofia.

Altri invece, respinta l'inutile farragine delle parole, hanno sperato di acquistare merito con miglior cura. Perciò hanno stabilito che tutta la materia è omogenea, che tutta la varietà di forme che si scorge nei corpi è nata da certe relazioni semplicissime, molto facili da capire, delle particelle componenti. E se alle fondamentali relazioni delle particelle non si assegnano altri modi che quelli che la stessa natura assegna, si istituisce una giusta progressione dalle cose più semplici a quelle più complesse. Ma quando si prendono la libertà di porre a piacere forme e grandezze delle parti, e posizioni e moti dubbi... allora cadono nei sogni... Coloro che ricavano dalle ipotesi il fondamento delle proprie speculazioni, anche se poi procedessero rigidamente secondo leggi meccaniche, raccontano, forse, una storia elegante e bella, ma sempre una storia.

Resta così la terza specie, quella di coloro che professano la filosofia sperimentale. Questi sono del parere che le cause di tutte le cose debbano essere derivate da principi i più semplici possibili; e, invero, non assumono come principio niente che non sia stato provato dai fenomeni. Non immaginano ipotesi, né le accettano nella fisica se non come problemi la cui verità è oggetto di discussione. Procedono perciò secondo un duplice metodo, l'analitico e il sintetico. Mediante l'analisi deducono le forze della natura e le leggi più semplici delle forze da certi particolari fenomeni, per mezzo dei quali espongono poi, mediante la sintesi, la costituzione delle cose restanti. Questo è quel modo di filosofare, senz'altro il migliore, che a preferenza di altri il nostro celeberrimo autore stabilì di abbracciare.

Questo brano, insieme alle affermazioni analoghe dello stesso Newton,²⁵ è un buon candidato, a mio parere, a rappresentare la nascita della moderna "fisica" come scienza distinta dall'antica "matematica". L'antico metodo scientifico, che per tanti secoli non si era osato contraddire esplicitamente, neppure da parte di chi non lo capiva, è orgogliosamente abbandonato. La scienza di Newton, a differenza della filosofia naturale classica, usa sistematicamente strumenti che sono "matematici" nell'attuale significato del termine (ad esempio Newton usa sistematicamente la teoria delle coniche). Eppure quella di Newton è "fisica" e non più "matematica", proprio perché Newton rifiuta le "ipotesi" delle quali non può stabilire la verità, non accontentandosi di una teoria "matematica" capace di "salvare le apparenze", essendo invece interessato a quella realtà sostanziale, al di là delle mere "apparenze", la cui conoscenza Simplicio e Tommaso, seguendo Aristotele, avevano riservato appunto ai

²⁵ Cfr., in particolare, le *regulae philosophandi* (soprattutto la quarta) alla fine del III libro dei *Principia*, lo *scolio generale* che chiude la seconda edizione dell'opera (dove appare, in particolare, la famosa affermazione *hypotheses non fingo*) e le considerazioni alla fine dell' *Opticks* (a p. 404 dell'edizione Dover).

"fisici". La parola "ipotesi" ha assunto il significato che oggi ci è familiare, diverso da quello classico: una "ipotesi" è ormai un'affermazione ancora in discussione, che dovrà prima o poi essere definitivamente accolta o rifiutata: in entrambi i casi perderà la propria natura originaria di "assunzione iniziale". Anche il termine greco "fenomeni" ha assunto il significato moderno. Non si tratta più di "apparenze" provocate dall'interazione tra soggetto e oggetto, ma di fatti oggettivi, che si pensa di poter descrivere prescindendo completamente dal metodo con cui vengono osservati. La consapevolezza che teorie diverse possano "salvare" gli stessi fenomeni è sostituita dalla convinzione che i fenomeni individuino univocamente e definitivamente i principi "veri". Mentre la struttura tecnica della moderna "fisica" è basata in modo essenziale sui risultati dell'antica "matematica", il nuovo status epistemologico è profondamente influenzato dalle opere di Aristotele e dalla tradizione teologica. Non a caso nel titolo dell'opera di Newton il termine "matematico" appare solo come aggettivo, mentre la "filosofia naturale" ha il ruolo essenziale. Forse cominciamo a capire perché Aristotele ci appaia abbastanza "moderno" quando discute le caratteristiche della "fisica" e le differenze tra "fisica" e "matematica", nonostante la sua "fisica" ci appaia estranea e lontana.

Avevamo notato come la relatività del moto fosse stata introdotta nella scienza ellenistica come applicazione dell'idea, molto più generale, che si potessero offrire spiegazioni diverse ed equivalenti degli stessi fenomeni, basate su premesse diverse. Non è quindi un caso se con Newton si perde di nuovo anche l'idea della relatività del moto (che con Galileo era stata recuperata, almeno in parte, dopo diciassette secoli) e si torna a una concezione sostanzialmente aristotelica dello spazio.²⁶

6. La scissione tra fisica e matematica e la storia della scienza

Le teorizzazioni espresse da Cotes (e dallo stesso Newton) si diffusero insieme alla meccanica newtoniana. La scienza esatta ne risultò spezzata in due tronconi: la "matematica" e la "fisica". Ambedue le scienze avevano ereditato dall'antica "matematica" il metodo quantitativo e molti risultati tecnici e dall'antica "fisica" (ossia dalla filosofia naturale) l'idea di produrre affermazioni assolutamente "vere". La differenza essenziale fu posta nella natura di tale verità. Mentre le assunzioni della "matematica" (dette postulati) furono considerate verità immediatamente evidenti, le assunzioni della "fisica" (dette principi), furono considerate vere in quanto "provate dai fenomeni", come aveva scritto Cotes. Quanto alle altre affermazioni, esse potevano essere dedotte da quelle iniziali; mentre però nel caso della matematica il metodo dimostrativo era essenziale, costituendo l'unico metodo per stabilire verità non immediatamente evidenti, le affermazioni fisiche, pur essendo deducibili dai principi, erano considerate anche direttamente verificabili, e ciò indeboliva, nel loro

²⁶ Poiché la meccanica newtoniana è invariante per trasformazioni galileiane, non vi è alcun motivo tecnico per privilegiare un particolare sistema di riferimento tra quelli in moto relativo traslatorio uniforme. Newton tuttavia ne privilegia uno (quello rispetto al quale il baricentro del sistema solare è in quiete), sostenendo che si tratti del vero "spazio immobile".

caso, l'interesse per il metodo dimostrativo, il cui uso diveniva opzionale. Le differenze appena individuate erano naturalmente strettamente connesse alla diversa natura attribuita agli enti studiati dalle due discipline: gli enti "matematici", pur essendo utilizzabili per descrivere oggetti concreti, furono considerati astratti, mentre le entità "fisiche" furono considerate tanto concrete quanto gli oggetti ai quali venivano riferite.

La scelta degli argomenti che furono considerati "matematici" o "fisici" può sembrare in una certa misura arbitraria. Ad esempio la statica e l'ottica finirono sotto l'etichetta "fisica", mentre la geometria rimase un capitolo essenziale della "matematica". Il metodo, che nell'antichità era stato lo stesso nei tre casi, si modificò in modo coerente ai nuovi criteri di classificazione. In geometria, in particolare, si indebolì il rapporto con la pratica del disegno, eliminando dalle trattazioni moderne tutte le proposizioni "costruttive" di Euclide.²⁷ Nelle discipline incluse nella "fisica" si indebolì invece l'uso del metodo dimostrativo, finendo spesso col considerare "leggi sperimentali" anche affermazioni dimostrabili sulla base di principi semplici. Ad esempio nelle trattazioni moderne dell'idrostatica si enunciò come legge sperimentale il cosiddetto "principio di Archimede", che nel trattato originale di Archimede *Sui galleggianti* non era affatto un "principio", bensì un teorema. Slittamenti analoghi si possono documentare in diversi altri casi (ad esempio in statica) e sospettare in altri, come in quello della legge della rifrazione, che fu presentata in genere nelle trattazioni moderne direttamente come una verità sperimentale, invece di essere dedotta da un principio di minimo.²⁸

Il nome "matematica" rimase legato soprattutto a quei settori in cui l'uso dei trattati greci continuò a essere essenziale.²⁹ Un buon motivo per questa scelta può essere individuato nella circostanza che quando la scissione tra matematica e fisica si compì (tra Seicento e Settecento) si era in grado di usare compiutamente il metodo dimostrativo (che appariva essenziale per caratterizzare la "matematica") solo su argomenti già sviluppati dagli autori classici o sui quali si poteva almeno seguire da vicino il loro modello. Naturalmente il nome "matematica" fu poi esteso anche agli argomenti sviluppati con continuità a partire da questi primi, ma lo sviluppo impetuoso della "matematica" nel Settecento e nel primo Ottocento, via via che si

²⁷ Nella geometria classica le proposizioni in cui si dimostrava la costruibilità di enti geometrici svolgevano un ruolo essenziale, in quanto garantivano l'esistenza degli enti geometrici costruiti. Nella didattica moderna tali proposizioni "costruttive", considerate evidentemente indegne di apparire nei testi di "matematica" perché troppo "concrete", furono dirottate nei corsi di disegno, dopo però essere state spogliate delle loro dimostrazioni. Le due caratteristiche essenziali della scienza, il rigore logico e l'applicabilità, venivano così poste in alternativa.

²⁸ Il più antico testo oggi disponibile che riporta la legge della rifrazione è quello arabo di Ibn Sahl, del decimo secolo. L'esposizione di Ibn Sahl suggerisce che la legge fosse stata ricavata da quello che sarebbe stato poi chiamato "principio di Fermat" (questa opinione non è solo mia, ma anche di R. Rashed, che ha trovato, pubblicato e tradotto il testo di Ibn Sahl).

²⁹ Ricordiamo che lo studio della geometria continuò a basarsi sugli *Elementi* di Euclide fino alla fine dell'Ottocento, mentre l'uso dell'opera di Archimede *Sull'equilibrio delle figure piane* per l'insegnamento della meccanica è sempre stato molto limitato. La differenza è certamente dovuta sia alla maggiore difficoltà del testo archimedeo, sia alla circostanza che, mentre l'opera di Euclide si è conservata interamente, l'opera citata di Archimede costituisce solo una parte dei suoi (altrimenti perduti) *Elementi di meccanica*.

discostava dai contenuti classici, finì col discostarsi anche dal rigore del metodo dimostrativo.

Vi era forse anche un secondo motivo, di natura linguistica, che contribuiva a far classificare come "matematici" (riguardanti cioè enti astratti) gli argomenti più direttamente legati ai trattati greci: su tali argomenti l'uso di una terminologia tecnica derivata dal greco per denominare gli enti astratti della teoria ne facilitava la distinzione dagli oggetti concreti. Ad esempio è più facile considerare astratto un "trapezio" che una "panchetta" (che è il significato di "trapezio" in greco). Su argomenti sui quali non si avevano testi greci completi l'uso di termini delle lingue moderne (come "forza" o "massa") favoriva invece l'identificazione tra gli enti teorici e gli oggetti concreti ai quali la teoria era applicata.³⁰

L'uso moderno dei termini "fisica" e "matematica" generò la convinzione che non vi fosse stata una vera "fisica" nella scienza greca. Una conferma a quest'ultima osservazione viene da uno dei pochi studiosi che ha scritto dei libri sulla "fisica" dei Greci: S. Sambursky. Nel suo libro *Il mondo fisico dei Greci*³¹ egli cita centinaia di volte i presocratici e quasi mai gli scienziati ellenistici: una scelta delle fonti che lo porta a strani fraintendimenti. Egli considera ad esempio una novità fondamentale dovuta a Galileo l'introduzione dell' "asse dei tempi", che permette di applicare al tempo considerazioni geometriche, senza accorgersi che la fonte dell'idea di Galileo è Archimede, che aveva usato l'asse dei tempi nel trattato *Sulle spirali*. Probabilmente Sambursky non aveva ritenuto necessario leggere le opere di Archimede prima di scrivere il suo libro sulla "fisica" dei Greci, preferendo analizzare le opere dei filosofi della natura (soprattutto presocratici e stoici) perché aveva ritenuto che questi ultimi, in quanto "fisici" (ossia φυσικοί) rientrassero meglio nel suo tema, mentre aveva considerato Archimede (e gli altri scienziati ellenistici) dei "matematici". Per la verità anche Galileo si considerava un "matematico", ma nel suo caso è molto difficile ignorare l'evidente connessione tra i suoi risultati e quelli successivamente etichettati come "fisici".

Quello di Sambursky non è affatto un caso isolato. La distanza metodologica tra la scienza moderna e quella antica aveva reso di difficile comprensione le opere classiche, che furono sistematicamente fraintese da storici della scienza convinti che le categorie e le classificazioni della scienza moderna avessero un valore assoluto. Inversamente, possiamo usare oggi questi fraintendimenti per far luce sulle particolarità metodologiche della scienza esatta moderna e, in particolare, sui concetti di "matematica" e di "fisica" che le sono peculiari.

Esaminiamo, ad esempio, l'*Ottica* di Euclide. L'opera inizia enumerando alcune affermazioni iniziali³² riguardanti le ὀψεις (che possiamo tradurre "raggi visuali"), che sono gli enti fondamentali della teoria e sono definite come semirette uscenti

³⁰ Questo argomento può sembrare troppo rozzo a chi è abituato a usare una terminologia convenzionale, tratta dal linguaggio ordinario, per enti matematici, ma bisogna ricordare che alla fine del Seicento il convenzionalismo linguistico era lontano dall'essere recuperato.

³¹ S. Sambursky, *The physical world of the Greeks*, London 1956. La prima edizione italiana fu pubblicata da Feltrinelli nel 1959.

³² Nei manoscritti tali affermazioni iniziali sono chiamate οἱροι, termine che di solito vale "definizioni".

dall'occhio e separate l'una dall'altra da intervalli angolari. Tra le affermazioni iniziali vi è quella che la visione di un oggetto è tanto più nitida quanto maggiore è il numero di "raggi visuali" che lo colpisce. Si tratta chiaramente di un semplice modello della percezione visiva, che permette di quantificare il potere risolutivo dell'occhio. Ecco cosa scrive Giuseppe Ovio (uno studioso di ottica fisiologica) nell'introduzione alla sua traduzione dell'*Ottica* di Euclide (del 1918):

*In questi due libri di ottica, cui si attribuisce il nome di Euclide,..., è ammessa... quella teoria della visione, secondo la quale i raggi visivi partirebbero dall'occhio e andrebbero agli oggetti. Oggidì, come è noto a tutti, questa teoria non è più sostenibile, ammettendosi invece il cammino inverso dei raggi, cioè dagli oggetti all'occhio.*³³ [...]

*Secondo Euclide i raggi visivi starebbero a qualche distanza fra loro. Questa opinione fa oggi sorridere...*³⁴ [...]

*La visione sui vari punti dell'oggetto guardato è continua; lacune fra i singoli raggi non ve ne sono.*³⁵

Ovio non capisce, evidentemente, che le proprietà dei "raggi visuali" definiti da Euclide non possono essere dedotte da osservazioni, ma solo dalla definizione che Euclide stesso ne dà. La teoria euclidea può essere criticata sulla base dei "fenomeni" che non spiega (che secondo l'antica terminologia non riesce a "salvare"), ma non perché i suoi postulati o le sue definizioni possano essere dimostrati "falsi". Esattamente allo stesso modo si può accettare il postulato di Euclide sulle parallele o si può scegliere di usare una teoria diversa, ma non si può decidere il "vero" comportamento delle rette parallele osservandole quando le si incontra per strada, poiché quello di "rette parallele" è un concetto teorico, non direttamente osservabile, proprio come i "raggi visuali" dello stesso Euclide. Le ingenue critiche di Ovio non costituiscono affatto una svista isolata, ma furono condivise da tutti gli studiosi dell'opera di Euclide fino al 1948,³⁶ quando Albert Lejeune, per primo, capì che il cono di semirette con origine dell'occhio usato da Euclide era necessario e non poteva essere sostituito con un cono con il vertice nell'oggetto osservato, poiché quest'ultimo non ha alcuna relazione con la percezione visiva.³⁷

Come mai gli studiosi del ventesimo secolo (o almeno della sua prima metà) non erano in grado di capire il metodo di Euclide, nonostante si trattasse dello stesso metodo usato anche negli *Elementi*, che all'epoca costituivano ancora la base

³³ G. Ovio, *L'Ottica di Euclide*, Milano 1918, p.1.

³⁴ Ivi, p.15.

³⁵ Ivi, p.38.

³⁶ Cfr., ad esempio, T. Heath, *A History of Greek Mathematics*, Oxford, 1921, vol. 1, pp. 441-2; F. Enriques, G. de Santillana, *Storia del pensiero scientifico. Il mondo antico*, Bologna 1932; V. Ronchi, *Storia della luce*, Bologna 1939.

³⁷ A. Lejeune, *Euclide et Ptolémée. Deux stades de l'optique géométrique grecque*, Louvain, 1948. Per una spiegazione dell'altra ipotesi di Euclide, sulla discontinuità dei raggi visuali, cfr. S.M. Medaglia, L. Russo, *Sulla prima "definizione" dell' Ottica di Euclide*, "Bollettino dei classici dell'Accademia nazionale dei Lincei", 1995, 41-54.

dell'insegnamento secondario della matematica? All'origine del fraintendimento vi è evidentemente la frattura tra la "matematica", che doveva usare il metodo euclideo, e la "fisica", che non doveva costruire modelli basati su postulati, ma produrre affermazioni "vere" direttamente sulla natura. Un'opera chiamata *Ottica*, anche se scritta da Euclide, usando i criteri moderni, veniva classificata automaticamente tra le opere di "fisica". Poiché gli enti delle teorie "fisiche", a differenza degli enti "matematici", erano concepiti come oggetti concreti, gli storici moderni dovevano necessariamente pensare che gli antichi "raggi visuali" di Euclide coincidessero con i moderni "raggi di luce". Se qualche proprietà dei "raggi visuali" di Euclide non era condivisa dai "raggi di luce" degli scienziati moderni la sola conseguenza che si poteva trarne era quindi quella che Euclide avesse sbagliato. Osserviamo che anche il significato della parola "ottica" era cambiato: mentre il termine greco significava (scienza) della visione, i moderni interpretarono il termine come studio della luce. L'oggetto di questa scienza non fu più la percezione visiva ma un oggetto naturale, la luce, che si pensava di poter descrivere prescindendo dal modo in cui poteva essere osservato. Il significato del termine "fenomeno" era mutato esattamente allo stesso modo.

L'interpretazione precedente può sembrare troppo impietosa verso gli studiosi moderni, ma può essere confermata in molti modi. Vediamo ad esempio come Dreyer, all'inizio del secolo, giudicava l'astronomia ellenistica:

*Aristarco fu l'ultimo dei grandi filosofi o astronomi del mondo greco a proporsi seriamente di indagare il vero sistema fisico del mondo. Dopo di lui troviamo varie teorie matematiche geniali che rappresentavano in modo più o meno fedele i moti osservati dei pianeti, ma i cui autori giunsero gradualmente a considerare queste combinazioni di moti circolari come un semplice espediente per poter calcolare la posizione di ogni pianeta in un momento qualsiasi, senza insistere sulla verità fisica del sistema.*³⁸

Dreyer sembra condividere completamente le critiche di Simplicio e di Tommaso d'Aquino alla metodologia scientifica ellenistica. Come questi suoi predecessori (e come Newton) egli ritiene che il compito dei "fisici" non sia quello di "salvare i fenomeni", ma quello di appurare i "moti veri" dei pianeti, cioè i moti rispetto allo "spazio immobile" newtoniano. La "verità fisica" gli appare qualcosa di ben superiore a un misero espediente per calcolare le posizioni osservabili e deve evidentemente essere dedotta da argomenti che, come avevano affermato, tra gli altri, San Tommaso e Newton, trascendono i dati osservativi.³⁹ Dreyer era stato anche uno scienziato, ma con ogni probabilità mentre scriveva il suo libro (pubblicato nel 1906)

³⁸ J.L.E. Dreyer, *History of the planetary system from Thales to Kepler*, Cambridge 1906; trad. it.: *Storia dell'astronomia da Talete a Keplero*, Milano 1970, p.135.

³⁹ Newton aveva scritto: ... invece dei luoghi e dei moti assoluti usiamo i relativi; né ciò riesce scomodo nelle cose umane: ma nella filosofia occorre astrarre dai sensi. Potrebbe anche darsi che non vi sia alcun corpo in quiete al quale possano venire riferiti i luoghi e i moti (*Philosophiae Naturalis Principia mathematica*, Definizioni, scolio).

non sapeva che scienziati come Henri Poincaré e Albert Einstein avevano recuperato, in un contesto tecnico diverso e molto più ricco, l'antica idea della relatività del moto, mettendo in crisi definitiva il concetto di "spazio immobile".

7. Tra Ottocento e Novecento.

La scissione tra fisica e matematica avvenuta all'epoca di Newton non era stata completa, nel senso che anche se fu per lo più accettata sul piano filosofico, storico e didattico, nell'opera di molti dei maggiori scienziati, da Halley a Eulero, dai Bernoulli a Gauss, da Laplace a Fourier, è spesso difficile separare i contenuti da porre sotto l'una o l'altra etichetta. Fourier, ad esempio, sembra riprendere la tradizione della "matematica" antica quando chiama "analisi matematica" le sue ricerche sulla trasmissione del calore, nelle quali la costruzione del modello è difficilmente separabile dai problemi tecnici interni al modello stesso.

Nel corso dell'Ottocento e del Novecento i rapporti tra "fisica" e "matematica" sono stati complessi: una tendenza "unitaria", volta alla riunificazione metodologica della scienza esatta, si è infatti scontrata, con alterne vicende, con la tendenza opposta, verso una crescente divergenza.

Le basi concettuali della separazione tra "matematica" e "fisica", accennate nei due paragrafi precedenti, furono poste in crisi prima dalla scoperta delle geometrie non euclidee, che rese insostenibile l'idea che i postulati della geometria euclidea fossero verità enunciabili "a priori", e poi, un secolo più tardi, dalla crisi della meccanica classica, che rese evidente che anche i principi fisici non potevano mai essere "verificati" sperimentalmente, come aveva creduto Cotes, in quanto si scoprì che le stesse "apparenze" già usate come prova dei principi newtoniani erano compatibili anche con principi diversi (che erano in grado di "salvare" una fenomenologia più ricca).

Lo straordinario sviluppo scientifico avvenuto tra la seconda metà dell'Ottocento e l'inizio del Novecento, che aveva recuperato il rigore del metodo dimostrativo in quella che era stata detta "matematica", aveva anche dato origine a una tendenza alla riunificazione della scienza esatta, della quale Poincaré fu uno dei massimi rappresentanti. Diversi scienziati si dedicarono sia alla sistemazione in forma "matematica" delle nuove conoscenze accumulate nella moderna "fisica", sia alla creazione di nuove teorie assiomatico-deduttive, nate direttamente come modelli di fenomeni reali (come il calcolo delle probabilità). Mentre nell'ambito del generale sviluppo della filologia classica si riaccese anche l'interesse per la scienza greca (a questo periodo risalgono quasi tutte le edizioni critiche oggi esistenti delle opere scientifiche greche), scienziati, filosofi e storici della scienza tentarono di recuperare l'antica metodologia della scienza esatta unitaria. Studi su Euclide riscoprirono l'importanza della costruzione geometrica come prova di esistenza nella matematica classica, e allo stesso tempo sorse una scuola "costruttivista" tra i matematici. L'idea che compito della scienza fosse l'elaborazione di teorie rigorose usate come modelli in grado di "salvare i fenomeni" fu allo stesso tempo studiata nella scienza antica

(ricordiamo, in particolare, il libro di Pierre Duhem $\Phi\alpha\iota\nu\acute{o}\mu\epsilon\nu\alpha\ \sigma\acute{o}\zeta\epsilon\iota\nu$) e riproposta nella scienza moderna. Vi fu una lunga polemica, in particolare, sulla natura degli atomi, tra chi (come Ernst Mach) li considerava enti teorici interni a un modello capace di spiegare molti fenomeni e chi attribuiva loro la stessa realtà di tavoli e sedie. La vittoria dei secondi (che rende oggi difficilmente comprensibile l'altra posizione) contribuì ad indebolire la tendenza "unitaria". D'altra parte i tentativi di riunificazione erano ostacolati dalle forze centrifughe generate dallo sviluppo quantitativo delle conoscenze, che restringeva sempre più il campo di interesse dei singoli ricercatori.

Nel caso della meccanica si era raggiunto uno strano compromesso tra le due tendenze, creando, almeno nell'Europa continentale, due distinte "meccaniche": l'una, priva di aggettivi, fu considerata una parte essenziale della "fisica" (e fu insegnata da fisici nei corsi di fisica), mentre l'altra, sviluppata in modo rigoroso a partire da postulati, fu fregiata dell'aggettivo "razionale" e inclusa tra le discipline "matematiche". La "meccanica razionale" non varcò tuttavia mai (almeno con questo nome) né la Manica né l'Atlantico. Naturalmente anche argomenti come la termodinamica, l'ottica o l'elettromagnetismo si prestavano altrettanto bene della meccanica ad essere sistemati "razionalmente". Tali sistemazioni furono in buona parte realizzate nel corso dell'Ottocento, ma, come nel caso della meccanica, fallirono il loro principale obiettivo metodologico. Il termine "fisica matematica", usato inizialmente per indicare la scienza della natura sviluppata in modo rigoroso grazie a tali sistemazioni, finì infatti con il designare una particolare specializzazione, distinta dalla fisica e parzialmente anche dalla matematica e poco considerata da entrambi gli ambienti accademici.

La maggioranza dei matematici cercò di emancipare totalmente la propria disciplina dalla funzione di fornire modelli di oggetti e fenomeni reali. La geometria, in particolare, finì con l'essere privata del suo contenuto "intuitivo" (cioè del suo rapporto con la realtà percepibile) e fu ridotta a un puro "gioco" logico. Una volta privata la matematica del suo rapporto con la realtà,⁴⁰ si pose il problema di giustificare in qualche modo la scelta degli assiomi, se non altro accertandosi che non fossero contraddittori. Hilbert pensò che il problema potesse essere risolto con il metodo dimostrativo, formulando l'ambizioso progetto dell'autofondazione della matematica (che è stato efficacemente paragonato al tentativo di sollevarsi dal suolo tirandosi su con le proprie mani). Anche dopo il fallimento del progetto hilbertiano, e nonostante la presenza di scuole intuizioniste e costruttiviste, la tendenza formalista non si esaurì, ma fu riproposta con forza dalla scuola bourbakista. Il contemporaneo crescente disinteresse dei fisici per il rigore rappresentò naturalmente l'altra faccia della stessa medaglia.

⁴⁰ Il fatto che il rapporto con la realtà di molte teorie matematiche non possa essere che indiretto non ne diminuisce l'importanza, non solo dal punto di vista filosofico, ma anche dal punto di vista scientifico, come è mostrato dalla funzione essenziale svolta dalla fisica teorica del Novecento nel suggerire sviluppi anche in settori apparentemente astratti dell'algebra, della topologia o dell'analisi funzionale.

8. Il passato prossimo e il presente.

Le concezioni della matematica e della fisica sviluppatesi nel corso del Novecento hanno seguito sviluppi complessi che qui possono essere appena accennati. Da una parte la tendenza dei fisici ad attribuire agli enti delle proprie teorie lo stesso tipo di realtà degli oggetti direttamente percepibili si è definitivamente affermata dopo la sconfitta del convenzionalismo di Poincaré. Tale tendenza si è però combinata con elementi di soggettivismo e di irrazionalismo, producendo esiti lontani dal realismo classico. In particolare l'uso contemporaneo della meccanica corpuscolare e di quella ondulatoria, tra loro incompatibili, per descrivere gli stessi oggetti fisici si è fusa, nell'interpretazione di Copenaghen della meccanica quantistica, con una peculiare forma di "realismo", che ha attribuito realtà oggettiva non solo agli enti della teoria fisica, ma anche alla loro contraddittorietà. In altri termini quando una teoria fisica si è rivelata affetta da contraddizioni la fede nella sua immediata corrispondenza con i "fatti" ha convinto molti scienziati che la realtà stessa è contraddittoria, fornendo così un forte sostegno all'irrazionalismo.

Leggiamo alcune affermazioni che Richard Feynman (uno dei massimi fisici del XX secolo e probabilmente il principale esponente della scuola americana) ha inserito nell'introduzione alle sue conferenze divulgative sull'elettrodinamica quantistica (la sottolineatura ovviamente è mia):

Io descriverò il comportamento della Natura, ma se a voi questo comportamento non piace, il vostro processo di comprensione ne risulterà intralciato. I fisici hanno imparato a convivere con questo problema: hanno cioè capito che il punto essenziale non è se una teoria piaccia o non piaccia, ma se fornisca previsioni in accordo con gli esperimenti. La ricchezza filosofica, la facilità, la ragionevolezza di una teoria sono tutte cose che non interessano. Dal punto di vista del buon senso l'elettrodinamica quantistica descrive una natura assurda. Tuttavia è in perfetto accordo con i dati sperimentali. Mi auguro quindi che riuscirete ad accettare la Natura per quello che è: assurda.

*Per me parlare di questa assurdità è un divertimento, perché la trovo incantevole... Ascoltatemi fino in fondo, e vedrete che alla fine ne sarete incantati anche voi.*⁴¹

Il disinteresse di Feynman per la "ragionevolezza" di una teoria era certamente inteso come disponibilità ad accettare elaborazioni concettuali lontane dalla tradizione e non come disinteresse per una struttura logica coerente. Ciononostante credo che il diffondersi dell' "incanto dell'assurdo" (che può ricordare l'antico *credo quia absurdum*) tra i fisici teorici possa aver costituito un ponte oggettivo tra scienziati geniali come Feynman ed esponenti di movimenti di pensiero tradizionalmente lontanissimi dalla scienza. La capacità di teorie come l'elettrodinamica quantistica di prevedere le misure sperimentali è certamente una

⁴¹ R. P. Feynman, *QED*, Adelphi, Milano, 1989 (traduzione di Francesco Nicodemi), p. 25.

conquista importante e irrinunciabile dell'umanità, ma non permette di identificare tali teorie con *la Natura*, attribuendo all'assurdità della natura le incongruenze dei nostri modelli teorici, poiché, come aveva già scritto Simplicio, bisogna investigare in quanti modi diversi si possono "salvare i fenomeni". Non potrebbero esservene anche alcuni meno "incantevoli" perché non "assurdi"?

Altre conseguenze, ancora più preoccupanti, dell'identificazione ingenua tra realtà ed enti teorici si producono quando (al contrario del caso dell'elettrodinamica quantistica) le teorie elaborate si rivelano prive di relazione con i fatti osservati. In questo caso molti scienziati, invertendo il procedimento classico, si dedicano alla ricerca di un fenomeno capace di salvare le proprie teorie. Qualcuno ha anche pensato che lo status ontologico delle soluzioni delle proprie equazioni non abbia alcun bisogno di verifiche sperimentali. Sono nate così, tra l'altro, le teorie sugli "universi paralleli".⁴²

Credo che la situazione attuale sia caratterizzata da vari elementi contraddittori. La dispersione della scuola sovietica ha ulteriormente indebolito la tendenza "unitaria" (che recentemente aveva avuto alcuni dei suoi massimi rappresentanti tra gli scienziati russi). La fiducia di molti fisici nella possibilità di costruire teorie definitive e globali della natura nel suo insieme cresce di pari passo al loro disinteresse per il rigore del metodo dimostrativo. Credo che il significato della recente proposta di creare una nuova disciplina, la "matematica fisica" ("Physical Mathematics"), in opposizione alla classica "fisica matematica" ("Mathematical Physics") acquisti un significato più trasparente alla luce della storia di lungo periodo dei concetti di matematica e di fisica.

D'altra parte si sono moltiplicate le teorie "matematiche" elaborate direttamente come modelli di fenomeni reali (e non, come era tradizione nella "fisica matematica", come sistemazioni o perfezionamenti di teorie già esistenti nell'ambito della "fisica"). Al calcolo delle probabilità, che è stato forse il primo caso del genere, si sono aggiunte molte altre teorie, a volte etichettate come "matematica applicata" ma spesso sviluppate da persone sociologicamente classificabili come fisici teorici (o ingegneri). Ricordiamo ad esempio la teoria dell'informazione o i modelli elaborati per ricostruire o riconoscere suoni e immagini o descrivere reti neurali. Tali nuovi settori, che interagiscono e si ibridano con settori classici e recenti della fisica matematica (soprattutto con la meccanica statistica e la dinamica non lineare), ripropongono spesso le caratteristiche fondamentali dell'antica scienza esatta unitaria: la scelta relativamente libera delle assunzioni iniziali, il rigore delle deduzioni all'interno del modello scelto e il rapporto con una fenomenologia concreta. La caratteristica più nuova e interessante consiste probabilmente nel fatto che, grazie alle nuove tecnologie, la fenomenologia concreta spesso non è solo studiata ma anche progettata, poiché il modello "matematico" può concretizzarsi direttamente in un

⁴² E anche su quelli che potrebbero essere chiamati gli "universi in serie": Famosi fisici hanno infatti sostenuto che prima del Big Bang altri universi sarebbero nati e morti e altri lo faranno nel futuro. Se qualcuno obietta che nessun esperimento potrà mai realizzare un contatto tra noi e questi altri universi, gli viene spiegato che tale impossibilità non diminuisce l'interesse per queste teorie, ma costituisce un grave limite del metodo sperimentale.

prodotto informatico. Notiamo che anche questa valenza direttamente progettuale della scienza esatta ha origini antiche: la "meccanica", che il pensiero settecentesco aveva orgogliosamente identificato con la chiave di una descrizione globale dell'universo, non era nata molto più umilmente come "scienza delle macchine"?