L'EFFETTO SCALA, IL VUOTO E I DIVERSI INFINITI NELLA PRIMA GIORNATA DEI "*DISCORSI INTORNO A DUE NUOVE SCIENZE*" DI GALILEO GALILEI

SCALE EFFECT, VACUUM AND DIFFERENT TYPES OF INFINITY IN THE FIRST DAY OF "*DISCORSI INTORNO A DUE NUOVE SCIENZE*" BY GALILEO GALILEI

Antonio Freddi[1]

Astratto: Le "due nuove scienze" a cui si riferisce il titolo di questo pioneristica opera di Galileo sono oggi note come Meccanica dei materiali e Meccanica del corpo rigido (o Meccanica Classica). In accordo con il suo indomito desiderio di ricerca e perfezione, Galileo progettava di estendere quest'opera con ulteriori questioni e argomenti. In questo articolo si analizzano I contenuti scientifici e filosofici della "prima giornata" di questa, ingiustamente, non molto nota opera, con dovizia di commenti relativi allo stimolante dialogo tra i vari personaggi.

Parole chiave: Galileo. Infinito. Meccanica. Vuoto. Pratica vs Teoria.

Abstract: The "due nuove scienze" ("two new sciences") the title is referring to are Mechanic of Materials and Classical Mechanics (Dynamics and Kinematics). Following his constant desire for research and perfect fulfillment, Galileo was planning to extend this work with further subjects. The author of this article analyses the scientific and philosophical content of the "first day" of this unfortunately not so well known written by Galileo Galilei, commenting on the stimulating dialogue between the characters.

Keywords: Galileo. Infinity. Mechanics. Vacuum. Practice vs. Theory.

* * *

Introduzione

I *Discorsi intorno a due nuove scienze* (pubblicati nel 1638 in Olanda) sono una delle testimonianze dell'indomita passione con cui Galileo Galilei si dedicò alla speculazione scientifica anche negli anni successivi alla condanna e alla censura decretate dal Sant'Uffizio con il secondo processo (1633), cioè quello successivo alla pubblicazione del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632).

Le "due nuove scienze" a cui ci si riferisce nel titolo dell'opera, imposto dagli editori e non gradito all'autore[2], sono la teoria della resistenza dei materiali e le teorie

[1] Cultore della materia (Voluntary Fellow) in Storia della filosofia moderna e contemporanea presso Università del Piemonte Orientale "A. Avogadro", Vercelli, Italia.

[2] Riguardo alla costante "sfasatura" sull'argomento "titolo" tra autori e editori potrebbe essere interessante documentarsi sul rapporto tra Dostoevskij ed il suo editore Stellovskij: per esempio, perché noi ora leggiamo *Il giocatore* anziché *Roulettenburg*?

https://doi.org/10.36311/1984-8900.2014.v6n11.4562

sul moto dei corpi (cinematica e dinamica): scienze che attualmente rientrerebbero rispettivamente nella meccanica dei materiali e nella meccanica del corpo rigido o del punto materiale. Galileo, in ossequio al suo costante desiderio di ricerca e perfezionamento, pensava di estendere quest'opera con la trattazione di ulteriori argomenti: anche per questo il titolo probabilmente non gli rende perfettamente giustizia.

L'opera, suddivisa in quattro giornate più alcune appendici, è organizzata in forma di dialogo[3], i cui protagonisti sono gli stessi del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo:* Salviati, nella realtà discepolo di Galileo e nei dialoghi portavoce delle sue idee; Sagredo, anch'egli nella realtà discepolo di Galileo, che rappresenta l'uomo colto aperto alle nuove scienze; Simplicio, storico commentatore greco della *Fisica* e del *De Caelo* di Aristotele, che nei dialoghi difende la dottrina tradizionale, secondo Galileo dogmaticamente legata ad un'interpretazione riduttiva della filosofia aristotelica.

Analizzerò in questo breve scritto lo svolgersi del dialogo e gli argomenti trattati nella prima giornata dei *Discorsi* (si veda la nota iniziale), con dovizia di commenti e di collegamenti personali.

Teoria e pratica

L'iniziale dichiarazione di Salviati dell'importanza della frequentazione dell'arsenale veneziano e la successiva conferma di Sagredo si pongono come elogio e apprezzamento dell'aspetto tecnico-pratico nella ricerca scientifica[4].

---

[3] Riguardo alla scelta del dialogo come modalità di esposizione ed alle "similitudini" da molti riscontrate con i dialoghi platonici mi permetto alcune osservazioni. E' senz'altro appropriato avvicinare la scelta del dialogo da parte di Platone e di Galileo come rappresentazione della ricerca continua, dello scambio e della evoluzione delle idee; non so però quanto dell'esigenza platonica di superare la rigidità della forma scritta, utilizzando la forma che più conserva la duttilità dell'oralità e della conversazione e più permette di preservare l'idea di filosofia come lavoro dialogico tra almeno due persone, sia consapevolmente presente in Galileo; sicuramente l'ironia platonica o socratica non si limitano all'ironico sarcasmo e alla messa in ridicolo o caricaturizzazione dell'avversario di certi passaggi di Galileo. La forma dialogica permette a Galileo la contrapposizione dinamica della sua e dell'opposta teoria; il dialogo appare assai funzionale a questa netta antitesi, nonostante la funzione di raccordo di Sagredo; raramente così netta è la contrapposizione di opposte posizioni nei dialoghi speculativi di Platone e quasi mai si raggiungono teorie definite e palesemente espresse su cui non resti, ad opera dello stesso autore, qualche dubbio. A questo proposito, solo per citare un esempio, si veda quanto controverse siano nel *Teeteto* le interpretazioni sulla parte in cui si confuta il relativismo Protagoreo e sulla più o meno mancata definizione del "sapere", oppure si valuti la molteplicità di interpretazioni che *La Repubblica* continua ad alimentare (in virtù per esempio del mito finale di Er che sembra porre in equilibrio assai precario quanto precedentemente affermato).

[4] Il termine "scienza" e i suoi derivati nella parte di questo scritto che parafrasa o riassume il testo galileiano vanno intesi nel significato ad essi attribuito da Galileo.

Questa apertura s'inserisce nell'approccio innovativo alle scienze (in questo caso alla meccanica) di Galileo: egli cerca di superare la dicotomia tra l'atteggiamento dei "dotti" medievali, che in nessuna considerazione tenevano l'aspetto pratico-sperimentale e si rivolgevano esclusivamente all'universale a scapito dell'osservazione del particolare[5], e l'atteggiamento dei tecnici, che consideravano la meccanica come pratica tramandata, non come scienza, senza quasi alcuna consapevolezza dei fondamenti teorico-scientifici ma anzi con frequenti rischi di deriva verso approcci fortuiti o addirittura misterico-iniziatici[6].

Si sente in Galileo, e non mi riferisco solo all'opera in esame in questo scritto, l'esigenza di una "nuova scienza" che tragga ispirazione dalla pratica e dalle cose, che si costruisca su osservazioni concrete, cioè che dia il giusto valore all'esperienza, all'esperimento.

Allo stesso tempo egli ribadisce l'importanza della matematica basata sulla convinzione, di origine neopitagorica e neoplatonica, della struttura matematica dell'universo.

Si tratta della "*sensata esperienza*" e delle "*matematiche dimostrazioni*" che potranno permettere di stabilire precise relazioni tra grandezze fisiche al fine di prevedere con rigore i vari fenomeni.

"Effetto Scala"

Con un palese riferimento allo scollamento tra dotti e tecnici si presenta quindi il primo argomento (di carattere volutamente tecnico) del discorso che riguarda la diminuzione della robustezza, proporzionale al peso, degli oggetti di maggiori dimensioni.

---

[5] Mi sovviene a questo riguardo, non so quanto opportunamente, la critica che Wittgenstein muove nei suoi scritti alla filosofia in generale: "desiderio di generalità" (LB p. 28), essenza come "ideale che se ne sta saldo e inamovibile" (RF §103), "fuori dallo spazio e dal tempo" (RF § 108), oppure la critica al *Teeteto* nel Libro blu. Forse in entrambi, Galileo e Wittgenstein, si può riscontrare l'intuizione della necessità di partire dall'osservazione dei particolari, di riattribuire loro la dovuta importanza. Ma mi rendo conto che un simile accostamento meriterebbe un assai maggiore approfondimento per non apparire banale esibizione.

[6] A riprova della separazione epistemica tra tecnica e teoria scientifica e della conseguente adozione da parte dei tecnici di principi alternativi basta pensare all'alone misterico ed esoterico che ancora circonda le grandi cattedrali gotiche ed i loro costruttori (significati esoterici ulteriori ed alternativi alle finalità religiose degli edifici, soluzioni strutturali segrete quali le celebri pietre-chiave che costituirebbero il fulcro strutturale dell'intero edificio, et cetera) oppure all'origine della massoneria (con i suoi riti e segreti) legata alle corporazioni dei maestri muratori.

L'osservazione (vedi per l'appunto l'importanza dell'esperienza) nell'arsenale delle più complesse strutture di sostegno necessarie per navi geometricamente simili ma di maggiori dimensioni, e il dialogo, non esplicitato, con un anziano lavoratore dell'arsenale, fanno notare a Sagredo questa apparente contraddizione tra l'uguaglianza geometrica e la differenza nel comportamento meccanico (che in realtà dovrebbe essere legato e dipendere appunto dalla forma geometrica), tra le credenze dei dotti e le realizzazioni dei tecnici.

Salviati critica sia l'opinione del "volgo", che crede che sempre le macchine più piccole siano migliori, perché alcune macchine risultano effettivamente più perfette in grande che in piccolo, sia i dotti che attribuiscono all'imperfezione della materia "l'inobbedienza delle macchine in concreto alle medesime astratte ed ideali" "purissime dimostrazioni matematiche"[7].

La corretta enunciazione della questione è ben illustrata nelle parole di Salviati:

> il solo essere materiale fa che la macchina maggiore, fabbricata dell'istessa materia e con l'istesse proporzioni che la minore, in tutte l'altre condizioni risponderà con giusta simmetria alla minore fuor che nella robustezza e resistenza contro alle violente invasioni: ma quanto più sarà grande, tanto a proporzione sarà più debole", "si può geometricamente dimostrare, sempre le maggiori essere a proporzione men resistenti che le minori[8].

Assai importante è l'accenno alla possibilità di dimostrazione geometrica, che permette il raccordo tra l'osservazione e la pratica sul campo ed il livello di legittimazione matematico-razionale.

Per meglio illustrare il problema e portare esempi concreti, che negli scritti di Galileo rivestono importanza fondamentale, viene mostrato il diverso comportamento di due aste di legno con uguale rapporto tra lunghezza e diametro di sezione incastrate perpendicolarmente ad un'estremità in un muro verticale e gravate da carichi proporzionali al loro peso: il carico limite per l'asta di dimensioni minori risulterà in proporzione oltre il limite per l'asta di dimensioni maggiori[9].

---

[7] *Opere*, p. 572. In effetti l'imperfezione della materia entra, sebbene con contributo assai limitato, nelle cause della minore robustezza proporzionale degli oggetti di maggiori dimensioni in quanto è statisticamente più probabile la presenza di zone difettose del materiale in masse maggiori dello stesso: è questo un aspetto decisamente considerato nella progettazione meccanica anche attuale, dove il valore di resistenza di un certo materiale, ricavato sperimentalmente per un provino di certe dimensioni predefinite, viene opportunamente diminuito per "pezzi" di maggiori dimensioni.

[8] *Opere*, p. 572.

[9] La maggiore resistenza a flessione di un asta incastrata ad un'estremità e sottoposta al solo proprio peso è da circa due secoli facilmente dimostrabile tramite le formulazioni del Marchese De Saint-Venant e della successiva scienza delle costruzioni. Se per semplicità si considera un asta di sezione circolare

Vengono anche portati vari esempi dal mondo naturale (si noti a proposito il riferimento a quanto precedentemente detto riguardo alla convinzione di Galileo sulla struttura matematica della natura e sulla necessità di riscontri pratici e osservabili) di organismi o esseri di minori dimensioni e proporzionale maggiore robustezza (la caduta di un bambino rispetto a quella di un adulto, un animale piccolo come il gatto rispetto ad uno grande come il cavallo, piante piccole rispetto a piante grandi) e della necessità di alterazione delle proporzioni per ottenere robustezza proporzionale in organismi di maggiori dimensioni. Analogamente deve succedere nelle macchine e strutture artificiali[10]: per esempio si mostra come guglie e colonne di piccole dimensioni si possono "maneggiare" senza rischio di romperle, mentre simili oggetti di maggiori dimensioni assai facilmente andranno in pezzi per effetto esclusivamente del loro peso[11].

Salviati porta nella discussione anche l'esperienza (come sempre essenziale per Galileo) personale della rottura di una grossa colonna di marmo, appoggiata orizzontalmente, a causa di un'errata valutazione degli appoggi[12].

Quest'esempio oltre allo scopo dichiarato di supporto allo specifico discorso, mi pare anche voler mettere in guardia dalla eccessiva confidenza nel solo "buon senso" condiviso dai tecnici che non tenga in considerazione anche da un punto di vista più generale il caso singolo. Allo stesso tempo introduce la problematica della iperstaticità: l'aggiunta di un punto di appoggio in eccesso (due punti, o meglio piccole aree, di appoggio sono teoricamente sufficienti), anziché migliorare la situazione, introduce un'incognita riguardo alla futura evoluzione della stabilità dell'oggetto, e quindi diminuisce o comunque rende più problematiche le possibilità di previsione.

---

risulta evidente che il peso della stessa aumenta all'aumentare del suo volume che è proporzionale al quadrato del raggio moltiplicato per la lunghezza; la sollecitazione sul materiale esercitata dal peso, che è un momento flettente (e dipende a sua volta dalla lunghezza), risulterà quindi proporzionale al quadrato del raggio per il quadrato della lunghezza. La resistenza strutturale dell'asta risulta proporzionale al cubo del raggio. Perciò, per aste di dimensioni diverse ma simili (in cui cioè si mantiene un certo rapporto tra diametro e lunghezza), la sollecitazione sul materiale risulta aumentare proporzionalmente alla quarta potenza del raggio mentre la resistenza strutturale aumenta proporzionalmente al cubo del raggio.

[10] Nella pratica costruttiva questa problematica doveva essere ben nota: già era stata incontrata e affrontata da greci e romani nella costruzione di travi, archi, volte e cupole, invenzioni succedutesi dettate dalla necessità di modificare completamente la geometria di strutture di cui erano state raggiunte le potenzialità limite per poter ottenere costruzioni di maggiori dimensioni o comunque diverse (più slanciate, leggere o funzionali a particolari scopi); numerosi fallimenti e disastri avevano insegnato la non trasferibilità di uguali proporzioni e la limitata funzionalità di studi su modelli di minori dimensioni ai costruttori delle cattedrali e degli edifici medievali.

[11] O per effetto, mi sentirei di aggiungere, delle forze d'inerzia, che sono comunque proporzionali al peso.

[12] A causa dell'imprevisto cedimento, per cause secondarie (umidità), di uno degli appoggi d'estremità della colonna si è passati da una situazione iniziale di "trave" con due appoggi d'estremità, come si è

Sagredo non è ancora, a ragione, del tutto soddisfatto e convinto: Salviati ha portato alcuni esempi a sostegno della sua teoria ma Sagredo ancora non capisce come possa succedere che all'aumentare della quantità di materia non aumenti proporzionalmente la resistenza (si potrebbe dire che gli sembra un discostarsi dall'armonia della natura); a maggior ragione gli sovviene l'esempio del chiodo, dove la resistenza sembra aumentare assai più rapidamente della grossezza (infatti come successivamente viene precisato l'aumento della resistenza è la terza potenza dell'aumento del diametro del chiodo[13]).

Sagredo, probabilmente, non ha ben compreso che la resistenza di cui si vorrebbe discutere è quella proporzionale al peso e non quella assoluta ma in ogni caso mette in luce la necessità stringente di una legittimazione di tipo dimostratativo della teoria, delle "matematiche dimostrazioni": "voglio dimostrativamente accertarvi, e non con solamente probabili discorsi persuadervi"[14].

Forse è ravvisabile in questo "gioco di sponda" di Salviati sia un'artificiosa dialettica di ricerca (però qui subito smentita dalla dichiarazione di necessità di ricordare quanto precedentemente appreso dall'Accademico, Galileo appunto) presente in tutto lo sviluppo del dialogo, sia un accenno della cosiddetta maieutica galileiana.

La "nuova scienza": resistenza dei materiali

Ci si accinge quindi ad approfondire il discorso della resistenza dei materiali e nel definirla "nuova scienza" traspare la consapevolezza dell'autore del valore di novità della propria rispetto alle precedenti trattazioni, tra cui anche quella di Aristotele: oltre ad ampliare i risultati la differenza di fondo ("quello che più importa") consiste appunto nella presentazione di conclusioni "geometricamente dimostrate".

A questo scopo si procederà ad analizzare nel dettaglio quali siano gli effetti all'interno di materiali sollecitati (cioè, usando termini attuali, sottoposti a forze e momenti): si intuisce la necessità (attualmente scontata) di scendere al livello della struttura (anche invisibile) dei materiali e si pongono le basi della moderna meccanica dei materiali.

---

soliti dire nella moderna scienza delle costruzioni, ad una , assai più gravosa, di "trave" con un appoggio d'estremità ed uno centrale.

[13] Al raddoppiarsi del diametro (grossezza) del chiodo corrisponde un aumento ottuplo della resistenza assoluta (appunto due elevato alla terza potenza).

[14] *Opere*, p. 576.

Partendo dall'esempio di un corpo posto verticalmente, fissato ad un'estremità e sollecitato a trazione, si nota come all'apparente diversità strutturale tra materiali come corde, tessuti e legno, composti di filamenti o fibre longitudinali, e materiali come le rocce o i metalli di composizione apparentemente non fibrosa ma più omogenea ed isotropa, non corrisponda un comportamento di rottura qualitativamente diverso[15].

Struttura interna dei materiali

Su esplicita richiesta di Simplicio e Sagredo incomincia quindi una digressione volta ad analizzare la struttura interna e le modalità di coesione delle corde, composte da molteplici fibre di lunghezza inferiore a quella totale, e dei materiali come rocce e metalli.

Innanzitutto viene illustrato come sia possibile che corde composte da filamenti assai più corti dell'intera lunghezza possano resistere assai efficacemente ad uno sforzo di trazione senza che i filamenti si separino.

Dopo aver fatto notare che trattenendo con le dita saldamente un filo per le estremità e tirandolo si verifica assai prima la rottura dello stesso rispetto allo scivolamento tra le dita, si conclude che la struttura delle corde, a filamenti attorcigliati, imprime una forte compressione lungo tutta le lunghezza dei filamenti che ne impedisce lo scorrimento reciproco con conseguente separazione: prova ne è il fatto che le corde rotte presentano l'estremità con filamenti cortissimi, segno che la rottura è avvenuta per strappo e non per separazione dei filamenti (altrimenti si presenterebbero in lunghezze diverse). Inoltre si osserva come tirando le estremità di una corda aumenti ancor più la compressione reciproca tra i filamenti che la compongono: l'attorcigliarsi tra loro dei filamenti nella corda e la trazione della stessa suppliscono alla mancanza di due corpi che comprimano tra loro le estremità dei vari filamenti, impedendone lo scorrimento relativo.

Tutto questo viene più efficacemente chiarito dall'utilizzo di un esempio semplificatore e dalla sua rappresentazione grafica[16]. Come sempre a fianco della

[15] Ovviamente nel senso che in entrambi i casi si assiste ad una rottura all'aumentare progressivo del carico: ad una attenta analisi si osserverebbe che alle diverse categorie di materiali corrispondono differenti modalità di rottura.

[16] Fondamentale mi pare l'utilizzo di figure e di esempi chiarificatori (sia di pura invenzione che tratti dal mondo della tecnica e della meccanica applicata) come fondamentale raccordo tra la trattazione teorica e le applicazioni pratiche, in un movimento che continuamente fa passare lo sguardo da un piano all'altro (movimento evidenziato e richiamato da quello dialogico tra i vari personaggi), allo scopo di non perdersi

disquisizione teorica vengono portati alcuni esempi di dispositivi dal mondo della tecnica (quasi sempre da parte di Sagredo), il cui principio di funzionamento appare ora più chiaro: l'argano a fune avvolta, che solleva enormi pesi senza che si verifichi alcun scorrimento ed un congegno per calarsi dalle finestre con una corda senza subirne il doloroso scorrimento sulle mani.

Si passa quindi all'analisi delle ragioni della coerenza tra le parti dei materiali non composti da filamenti, come ad esempio rocce e metalli: vengono ricondotte, da Salviati, all'*horror vacui* della natura e ad un qualche "*glutine*"[17] che collega le particelle che compongono i corpi.

Il vuoto

Entra, così, nel discorso uno degli argomenti più dibattuti non solo al tempo dello sviluppo iniziale della scienza moderna in opposizione alla tradizione peripatetica, ma durante tutta la successiva evoluzione (termine che qui non va assolutamente inteso come recante un giudizio di valore) delle scienze fisiche (basta pensare alla polemica sull'etere prolungatasi fino agli inizi del XX secolo).

Inizialmente viene analizzata appunto l'influenza sui corpi della "ripugnanza che ha la natura all'ammettere il vacuo"[18], argomento molto caro agli ambienti peripatetici e che si faceva forza delle parole stesse di Aristotele.

Come esempio di forza di coesione generata dall'avversione della natura al vuoto si porta quello della comune esperienza della difficoltà di separare perpendicolarmente due lastre perfettamente lisce e spianate appoggiate l'una sull'altra: la natura mantiene attaccate le due lastre indefinitamente pur di evitare che anche solo per un istante si crei il vuoto, cioè fino a che l'aria non penetri a riempirlo[19].

Da questa seguono alcune osservazioni: innanzitutto, dal fatto che nel caso di lastre non perfettamente lisce sollevate bruscamente l'adesione persista per un certo lasso di tempo, si deduce che il moto di riempimento del vuoto non sia istantaneo e che si crei effettivamente, per breve tempo, il vuoto tra le due lastre. Inoltre desta perplessità

in discorsi privi di fondamento sperimentale o non limitarsi ad osservazioni e prassi tra loro scollegate e non organizzate in un corpo unico che faccia riferimento a principi più generali: la "nuova scienza", appunto.

[17] Verosimilmente si sta facendo riferimento, alcuni secoli prima della loro scoperta, alle forze di coesione di natura intermolecolare ed intercristallina.

[18] *Opere*, p. 580.

il fatto che il vuoto, che è successivo ed è effetto della separazione delle lastre, possa, allo stesso tempo, essere causa dell'aderenza delle due piastre: parrebbe di trovarsi di fronte ad un caso in cui l'effetto precede la causa, sia temporalmente che logicamente.

Nella concezione deterministica di Galileo era difficilmente accettabile una spiegazione in cui gli effetti non fossero rigorosamente posteriori alle cause. Inoltre in questo passaggio della discussione [20] sembrerebbe emergere una critica al finalismo del concetto di *horror vacui*: l'avversione della natura al vuoto costituisce una causa "finalistica" di certi fenomeni, mentre nell'idea di scienza di Galileo non sembra esserci spazio se non per gli elementi matematico-quantitativi dei fenomeni. Non sono accettabili principi "essenziali" come l'horror vacui che fanno derivare particolari fenomeni da caratteristiche qualitative, non misurabili, della natura.

E' fondamentale nella nuova concezione della scienza che Galileo sostiene questo cambiamento di prospettiva che considera scientifici solo gli aspetti quantitativi e misurabili delle cose e non considera l'essenza delle cose (quali la "perfezione" del cerchio, l'"imperfezione" delle macchie, etc.) come scientificamente rilevante.

L'opposizione in questo dialogo non è netta, anzi è piuttosto nascosta, probabilmente per motivi di convenienza; Simplicio recita da Aristotele: "vieta la natura il far quello in conseguenza di che necessariamente succederebbe il vacuo"[21]; non viene confutato ma forse ignorato. In questa citazione di Aristotele, successiva ad una messa in discussione di alcune idee del "Filosofo", si può osservare in modo esemplare il ricorso al principio d'autorità nella ricerca scientifica cui tanto fermamente si oppone Galileo.

Il sapere scientifico, per Galileo, non può basarsi su autorità superiori ma solo sull'esperienza e sulle dimostrazioni della ragione (in virtù della sua convinzione della struttura matematico-razionale dell'universo e della perfezione della conoscenza matematica): infatti la discussione procede successivamente proprio attraverso un procedimento dimostrativo.

---

[19] Ovviamente l'adesione è dovuta alla pressione che l'aria esercita sulle facce esterne delle lastre e non è in grado di esercitare sull'interfaccia.
[20] *Opere*, p. 582.
[21] *Opere*, p. 582.

Le forze di coesione: il "glutine"

Per mostrare l'insufficienza dell'effetto del vuoto (o meglio, diremmo oggi, della pressione atmosferica) ad impedire la separazione tra le parti di un corpo separabili e la necessità dell'introduzione di un ulteriore causa non meglio precisata (appunto il *"glutine"*), si procede ad un'analisi più accurata degli effetti del vuoto per poterli scoprire come quantitativamente insufficienti a generare la coesione sperimentalmente riscontrata.

Fondamentale a questo proposito risulta la concezione determinista di Galileo che ad ogni causa collega sempre il medesimo effetto e impone la distinzione netta tra le varie cause ed i rispettivi effetti.

A questo scopo si analizza il comportamento dell'acqua, "le cui parti mancano di ogni altra resistenza alla separazione fuor di quella del vacuo"[22].

Viene anche ideato un apparato sperimentale in grado di misurare la "forza del vuoto" e la successiva verifica in grado di metterne alla prova la sufficienza o meno alla giustificazione della coesione dei materiali sotto studio.

Nell'affrontare alcune obiezioni sul funzionamento dell'apparato si affrontano anche aspetti molto pratici della sua realizzazione. Al solito viene portato da Sagredo anche un caso dall'esperienza tecnico-pratica che trova qui chiarificazione e a sua volta contribuisce a chiarificare la trattazione teorica svolta; si ha inoltre la descrizione, anche se inconsapevole, della misurazione della pressione atmosferica sottoforma di altezza di colonna d'acqua (diciotto braccia che dovrebbe equivalere a circa dieci metri).

Trovata la "forza del vuoto" nel caso dell'acqua, come equivalente forza necessaria a creare una zona di vuoto all'interfaccia tra acqua e un contenitore o tra due parti d'acqua, quindi a "strappare" l'acqua, si pone l'analogia con quanto avviene per esempio con altri materiali, quale ad esempio il rame, sottoposti a trazione dal loro peso: l'acqua resiste al peso di un cilindro d'acqua lungo diciotto braccia mentre il rame

---

[22] *Opere*, p. 583. Si intuisce qui come Galileo dia per scontato il principio di sovrapposizione degli effetti: analizza in un ambito separato in cui agisca come unica causa l'"effetto", in senso aristotelico, del vuoto, ne valuta quantitativamente l'effetto (in questo caso nel senso moderno del termine) e ritiene quindi di poterlo ritrovare immutato in un differente ambito insieme ad altri effetti di altre cause.

22. Blaise Pascal, *Pensieri, Opuscoli, Lettere*, traduzione di A. Bausola e R. Tapella, Milano, Rusconi, 1978, "Risposta di Blaise Pascal al molto reverendo Padre Noel, rettore della società di Gesù, Parigi", p. 239.

resiste al peso di un cilindro di rame lungo quattromilaottocentouno braccia. Dato il peso specifico nove volte maggiore del rame rispetto all'acqua (quindi due braccia di rame corrispondono alle diciotto d'acqua), viene dimostrata l'assoluta necessità di un ulteriore causa (il *"glutine"*) per giustificare la resistenza alla separazione di certi materiali (appunto per esempio il rame).

Del tutto ignota si presenta la natura di questo *"glutine"*, che presenta, tra le altre, la caratteristica di venire meno al riscaldarsi dei materiali e di ricomporsi al loro successivo raffreddarsi. Si ipotizza che la assai maggiore forza necessaria sia dovuta all'azione di innumerevoli minutissimi *vacui* presenti tra le particelle del materiale: per spiegare il comportamento sotto l'azione del calore si ipotizza la formazione di *ignicoli* (finissime particelle di fuoco) che riuscirebbero a penetrare nei materiali dove nemmeno l'aria riesce; la loro presenza, eliminando i vuoti farebbe cessare le forze di coesione (dovute alla "forza del vuoto") rendendo fluido il materiale (Salviati tornerà a far riferimento a questo fenomeno successivamente).

Per meglio rappresentarsi il fenomeno viene portato un esempio della possibilità di sviluppare forze enormi come risultato della somma di un altissimo numero di forze piccolissime: nel caso di certe funi, innumerevoli atomi d'acqua, insinuandosi tra le fibre e gonfiandole, riescono a sollevare enormi carichi.

Un numero finito, benché altissimo, di vuoti potrebbe quindi giungere a formare elevatissime forze.

Gli indivisibili

Fa capolino in questo passaggio il problema della esistenza o meno di indivisibili in ambito fisico e la differenza di vedute tra Galileo e i peripatetici; mentre Galileo sostiene l'esistenza di indivisibili sia in ambito fisico che matematico, ponendo l'analogia quantitativa tra matematica e fisica che permette le matematiche dimostrazioni, i peripatetici, prediligendo un approccio qualitativo al mondo fisico (rispetto a quello quantitativo di Galileo), differenziano l'ambito matematico (in cui esistono indivisibili, vedi i punti di una retta) e l'ambito fisico (in cui non esistono indivisibili).

Ma se il numero di *vacui* fosse infinito? Potrebbe esserci un numero infinito di *vacui* all'interno di una massa finita di materiale? Questo si chiede Salviati.

Quest'ulteriore dubbio, con le sue potenzialità di paradosso, apre un nuovo orizzonte per il dibattito.

Il problema del vuoto in Pascal

Prima di approfondire quest'ulteriore digressione del dialogo vorrei fare un rapido confronto sul tema del vuoto con un altro filosofo di pochi anni posteriore, anch'egli con notevole propensione alla ricerca scientifica: Blaise Pascal.

Nel 1647, successivamente agli esperimenti di Torricelli che egli riprodusse e studiò anche personalmente, Pascal diede vita ad un acceso dibattito sull'argomento con il gesuita padre Nöel. Anche in Pascal, come in Galileo, è presente il richiamo ai risultati delle esperienze e il rifiuto del principio d'autorità in ambito scientifico: "Tutte le cose di tale natura, infatti, la cui esistenza non si manifesta ad alcun senso, sono difficili da credere, tanto quanto facili da inventare"[23]; "ma in questa materia noi non ci fondiamo sull'autorità: quando citiamo gli autori, citiamo le loro dimostrazioni e non i loro nomi"[24].

La trattazione da parte di Pascal relativa al vuoto in particolare e lo scambio di opinioni tra Pascal e padre Nöel è assai più ampia che in Galileo[25] ed inoltre deve la sua importanza soprattutto alle dichiarazioni di metodo e di principio che Pascal produce. Più che sugli effetti tecnico-pratici dell'*horror vacui* la disputa di Pascal verte sull'intera concezione del vuoto della filosofia scolastica arrivando a disquisizioni sulla natura dei corpi, dello spazio e del nulla. Inoltre, come ho già detto, Pascal si inserisce a pieno titolo nella discussione tra la nascente concezione moderna della scienza e la concezione scolastica, basata sull'*ipse dixit*, forte della consacrazione e dell'adesione dei dottori della chiesa; dibattito tra la ragione scientifico-sperimentale e la fede nell'autorità superiore, con le sue problematiche legate ai rispettivi ambiti di validità.

Questa tensione (anche come tensione interna) doveva essere forse assai maggiore in Pascal, profondamente religioso e in tal senso filosoficamente molto impegnato, che in Galileo: rimane tuttora aperto il dibattito sul rapporto tra ragione e fede nella filosofia pascaliana (non solo per quel che riguarda l'ambito scientifico).

---

23 Blaise Pascal, *op. cit.,* p. 240.
24 Sempre nel 1647, precedentemente agli scambi epistolari con il padre gesuita, Pascal aveva scritto un trattato sul vuoto, assai critico nei confronti della dottrina dell'*horror vacui*.
25 Blaise Pascal, *op. cit.,* "Prefazione al trattato sul vuoto", p. 277.

Più critico appare comunque l'atteggiamento verso il valore conoscitivo dell'esperienza da parte del filosofo francese:

> Infatti, in tutte le discipline in cui la prova consiste in esperienze e non in dimostrazioni, non si può fare alcuna asserzione universale se non per mezzo dell'enumerazione generale di tutte le parti o di tutti i casi differenti. E' così che, quando diciamo che il diamante è il più duro di tutti i corpi, intendiamo di tutti i corpi che conosciamo; […] Analogamente, quando gli antichi assicuravano che la natura non soffriva il vuoto, hanno inteso che essa non ne soffriva in tutte le esperienze che essi avevano visto, ed essi non avrebbero potuto senza temerarietà comprendervi quelle che non erano a loro conoscenza. […] e' così che senza contraddirli, noi possiamo affermare il contrario di ciò che essi dicevano.

Resta comunque il fatto che "la verità deve sempre avere il vantaggio, anche se scoperta di recente, poiché essa è sempre più antica di tutte le opinioni che se ne sono avute"[25].

Gli indivisibili e il problema della ruota di Aristotele

Ritorniamo al paradosso evocato da Salviati: è possibile avere un numero infinito di vuoti in un estensione di materiale finita?

Questo problema viene affrontato facendo riferimento a quello cosiddetto della "ruota" presente nel *Mechanica* di Aristotele: due cerchi concentrici compiono la medesima rotazione se uniti e rotazioni diverse se separati.

Galileo parte analizzando il caso di due poligoni regolari concentrici di differenti dimensioni ma simili che rivoluzionano in modo solidale su due diverse linee; il poligono maggiore utilizza i propri angoli come punti di rotazione (anche in questo caso è fondamentale la rappresentazione grafica come ausilio alla soluzione o quantomeno allo studio del problema): lo spazio rettilineo "passato" dalla rivoluzione dei due poligoni è all'incirca uguale (differisce di poco), nonostante la grande differenza di perimetro, poiché nella rivoluzione del poligono di dimensioni inferiori alle zone di ricoprimento si alternano archi in cui non c'è ricoprimento, così da formare una linea con tratti pieni intervallati a tratti vuoti. E' invece continua la linea di ricoprimento dovuta alla rivoluzione del poligono maggiore. All'aumentare del numero di lati dei poligoni regolari diminuisce sempre più la differenza tra le lunghezze delle linee "passate" dai due poligoni.

Analizzando il caso di due cerchi concentrici si nota come le linee "passate" dal cerchio maggiore e minore sono assolutamente identiche. I due cerchi sembrano percorrere linee uguali allo stesso modo, ma come è questo possibile se la circonferenza del cerchio minore è inferiore e se ogni punto di ogni circonferenza tocca una sola volta, in un sol punto, le linee?

In analogia a quanto visto con i poligoni (considerando gli infiniti punti di cui sono composte le circonferenze come infiniti lati) questa uguaglianza viene spiegata interponendo agli infiniti punti pieni infiniti punti vuoti.

Si ripresenta il problema degli indivisibili e il dibattito legato alle teorie di origine democritea in opposizione a quelle aristoteliche. Quanto detto per una linea, cioè che, considerandola composta di infiniti indivisibili (punti), possiamo concepirla allungata a piacere con l'interposizione di infiniti punti vuoti ("non quanti" verrà poi precisato) alternati ai primi punti, vale anche per le superfici e i corpi solidi.

C'è anche spazio per una piccola polemica riguardo alla pericolosità di certe tesi per l'ortodossia cristiana; anzi più che aprire una polemica Galileo sembra volersi salvaguardare dall'accusa di ateismo che spesso era collegata alle dottrine di Democrito ("che'l mondo a caso pone", come aveva detto Dante[26]).

Paradossi dell'infinito

Simplicio mette in evidenza la situazione apparentemente paradossale dell'infinito contenuto nel finito, del punto centrale dei cerchi o poligoni che percorre un eguale linea (come un punto possa essere uguale ad una linea?), e di nuovo dell'esistenza del vuoto.

Galileo-Salviati si mostra cosciente delle grosse difficoltà che il nostro intelletto finito incontra nell'analizzare le problematiche legate all'infinito, ma comunque non rinuncia ad affrontare l'argomento. Galileo è cosciente dei limiti delle proprie possibilità, ma l'ardente desiderio di capire e conoscere lo spinge avanti nella ricerca.

Come primo passo, per capire come un solo punto possa essere uguale ad una linea, Galileo, mediante una prova puramente geometrica, mette in rilievo un altro caso

[26] Dante, *Divina Commedia,* Inferno, canto IV, v. 136. Democrito era accusato, ovviamente non soltanto da Dante che si limitava a recepire l'interpretazione all'epoca dominante del filosofo greco, di negare la provvidenza divina.

altrettanto "meraviglioso" in cui una superficie o un solido sono "uguali" ad un sol punto ("una maraviglia si attutisce con un miracolo"[27]).

In una elaborata costruzione geometrica, tramite la diminuzione progressiva di uguali volumi e superfici di alcuni solidi di rotazione, Galileo sembra dimostrare la paradossale equivalenza di un punto ed una circonferenza (ciò è noto come teorema della "scodella"), come degenerazione dei predetti uguali volumi e superfici.

In realtà sta anche mettendo in evidenza le difficoltà legate a questo tipo di prove condotte mediante la matematica pura (ritorna il bisogno di procedere di pari passo sul piano matematico speculativo e su quello fisico pratico).

Per quel che riguarda il problema della conciliabilità della presenza di un infinito di indivisibili in un finito divisibile viene innanzitutto messa in luce la doppia difficoltà inerente alla compresenza di due concetti ostici per l'intelletto umano: infinito e indivisibile.

Viene dimostrata la necessità di un numero infinito e non di un numero finito di indivisibili per costituire un finito divisibile (altrimenti non potrebbe essere divisibile a piacere senza correre il rischio di dividere un indivisibile: se il numero di indivisibili fosse finito dispari sarebbe impossibile dividere in due parti uguali senza dividere un indivisibile, se il numero di indivisibili fosse pari sarebbe impossibile dividere in un numero primo, non sottomultiplo, di parti uguali).

A questo punto, per bocca di Simplicio, viene palesato il problema che soggiace a tutti questi discorsi e che, in effetti, troverà una soluzione definitiva solo con Georg Cantor[28] alla fine del secolo XIX grazie alla sua teoria dei numeri transfiniti e degli insiemi. Come è possibile che due segmenti di lunghezza diversa contengano entrambi un numero infinito di punti indivisibili? Esiste qualcosa di più numeroso dell'infinito? Esistono infiniti maggiori ed infiniti minori?

La discussione sul concetto di infinito era ben viva fin dall'antichità ma con Aristotele e la filosofia peripatetica aveva cercato di ovviare ad alcune delle problematiche ad esso legate con la distinzione tra infinito potenziale (infinito come possibilità per esempio di avere sempre un numero maggiore o successivo) ed infinito attuale (come esistente in modo compiuto).

---

[27] *Opere*, p. 597.

[28] Si veda (per esempio) Georg Cantor, *La formazione della teoria degli Insiemi*, a cura di Gianni Rigamonti, Firenze, Sansoni editore, 1992. In quest'opera viene illustrata tutta la teoria dei diversi tipi o ordini di infinito.

Galileo non sembra accettare il concetto di infinito potenziale e cerca di meglio comprendere il concetto di infinito come attuale (così farà lo stesso Cantor).

Galileo intuisce comunque che

> queste son di quelle difficoltà che derivano dal discorrere che noi facciamo col nostro intelletto finito intorno a gl'infiniti, dandogli quelli attributi che noi diamo alle cose finite e determinate; il che penso che sia inconveniente, perché stimo che questi attributi di maggioranza, minorità ed ugualità non convenghino a gl'infiniti, de i quali non si può dire, uno esser maggiore o minore o eguale dell'altro[29].

E' con Galileo quindi che abbiamo i primi segnali dell'atteggiamento moderno verso l'infinito attuale in matematica e fisica: i numeri infiniti obbediscono a regole diverse da quelle dei numeri finiti; se le nozioni di uguaglianza, minoranza e maggioranza non sono applicabili senza contraddizioni ai numeri infiniti allo stesso modo che ai numeri finiti significa che queste nozioni vanno per i numeri infiniti modificate, non che i numeri infiniti non esistano o siano contraddittori.

Galileo porta un ulteriore esempio (oggi noto come paradosso di Galileo) dello "strano" comportamento dei numeri infiniti: i numeri naturali ed i loro quadrati. Ad ogni numero corrisponde un quadrato, ma non tutti i numeri naturali sono quadrati: da un lato i numeri quadrati sembrano essere in numero inferiore a tutti i numeri naturali, ma d'altra parte se ad ogni numero naturale corrisponde il suo quadrato sembrerebbero essere in ugual numero; sia gli uni che gli altri sono infiniti. Come sciogliere questa ambiguità?

> Io non veggo che ad altra decisione si possa venire, che a dire, infiniti essere tutti i numeri , infiniti i quadrati,…, né la moltitudine dè quadrati esser minore di quella di tutti i numeri, né questa maggior di quella, ed in ultima conclusione, gli attributi di maggiore e minore non aver luogo né gli infiniti, ma solo nelle quantità terminate[30].

Si aggiunge e dimostra che ogni linea o continuo debbono essere composti di infiniti indivisibili "*non quanti*" (per "*quanto*" ritengo si possa intendere, all'incirca, "di dimensioni finite non infinitesime") per il fatto di essere divisibili in sempre divisibili. Nella discussione di questo ulteriore aspetto Simplicio introduce la nozione, tipicamente aristotelica, di infinito potenziale; essa permette di affermare che le parti ("*quante*") di

[29] *Opere*, p. 603.

[30] *Opere*, p. 604. Cantor parlerà, ad esempio per questo caso, di infiniti di ugual classe numerica o potenza.

un continuo sono infinite in potenza (come possibilità di suddivisione senza termine) e finite in atto (come effettivamente suddivise).

Ma Salviati, dimostrando come, sia in atto che in potenza, un numero infinito di parti "*quante*" potrebbe esistere solo in una grandezza infinita, sostiene che le parti "*quante*" nel finito non siano né finite né infinite. Esisterebbe, quindi, un terzo termine tra finito ed infinito, "che è il rispondere ad ogni segnato numero"[31]. Il numero di parti "*quante*" in una quantità discreta non è né finita né infinita, ma tale che corrisponde ad ogni qualsivoglia numero assegnato: in questo modo le parti "*quante*" non sono né finite, perché in questo caso sarebbero limitate e non potrebbero corrispondere a numeri maggiori, né infinite perché nessun numero assegnato è infinito.

Aspetto matematico e aspetto fisico dell'infinito

A questo punto Simplicio evidenzia la difficoltà di passaggio tra la suddivisione in un numero assegnato di parti quante e la suddivisione infinita in indivisibili: si ripropone la difficoltà di conciliazione tra l'aspetto matematico, che può procedere con suddivisioni all'infinito, e l'aspetto fisico del problema, che sempre si ferma ad un numero assegnato di parti di dimensioni finite.

Queste difficoltà sono fondamentali per Galileo, in quanto i suoi studi sulla cinematica e dinamica dei corpi lo portano ad affrontare concetti in cui l'incapacità di conciliare i due approcci provoca grave impasse: è per lui fondamentale considerare spazio e tempo come grandezze variabili in modo continuo perché i concetti di velocità ed accelerazione, se considerati in intervalli di tempo sempre più piccoli, portano alla ricerca dei loro valori istantanei.

Questi valori istantanei però non possono essere calcolati allo stesso modo dei valori per un qualsiasi intervallo comunque piccolo perché si passa da parti "*quante*" a parti indivisibili, "*non quante*", puntuali, infinitesime. La soluzione arriverà col calcolo infinitesimale di Newton-Leibniz: per adesso torniamo a vedere come Galileo affronta queste problematiche.

[31] *Opere*, p. 607.

Il salto tra finito e infinito

Salviati afferma in modo volutamente paradossale, ritornando sull'esempio del precedente paradosso di Galileo dei numeri naturali e dei loro quadrati, che non ci sia altro numero infinito che l'unità: quanto più grandi sono i numeri tanto più radi sono i quadrati (e ancor più per le potenze di grado superiore al secondo), quindi tanto più ci si allontana dall'infinito; l'uno contiene in sé tutte le proprietà delle varie potenze: l'uno sembrerebbe essere il termine della successione delle varie potenze!

Per meglio mostrare la difficoltà del passaggio concettuale tra infinito e finito, propone l'esempio di una costruzione geometrica in cui una successione di cerchi di diametro sempre più grande degenera in un cerchio infinito, che però non è altro che una retta infinita: nel passaggio da finito ad infinito è avvenuto un salto, una metamorfosi dell'essere (da cerchio a retta) che non si spiega con il graduale mutare da finito a finito. Questo è analogo alla degenerazione dell'infinito, della molteplicità nell'unità!

Ad ulteriore esempio dello scarto nel passaggio, nel cambio sostanziale tra una quantità discreta divisa in "quanti" e una quantità discreta divisa in infiniti indivisibili viene dato il diverso comportamento tra un solido sminuzzato in parti piccolissime, minime e lo stesso solido liquefatto. Il comportamento nelle due condizioni è completamente diverso e Salviati (dopo aver descritto in dettaglio i diversi comportamenti, riprendendo la teoria degli "ignicoli", già introdotta in precedenza, ma sulla quale non voglio soffermarmi) da ciò deduce la diversità sostanziale tra i minimi del liquido, dotati di continuità, e le polveri sminuzzate del solido.

Si inserisce a questo punto una digressione riguardante la finitezza o meno della velocità della luce: l'apparente (ai sensi) istantaneità della velocità di propagazione della luce non deve ingannare sul suo valore infinito. Viene infatti proposto un esperimento (quello celebre delle lanterne) per provarne la finitezza ed alcune esperienze della vita quotidiana che porterebbero a supporne la finitezza. Questo vuole essere un esempio della eclatticità della ricerca di Galileo, oltre ad agganciarsi al discorso che si sta svolgendo sull'infinito e al successivo discorso sul moto (tra cui la discussione sulla possibilità di moto a velocità infinita nel vuoto).

Segue la dimostrazione rigorosa di quanto precedentemente affermato tramite la costruzione geometrica della successione di cerchi degenerante in una retta.

L'infinito attuale

Precedentemente Salviati si era impegnato a dimostrare a Simplicio come non fosse affatto più difficile mostrare una linea suddivisa nelle sue infinite parti indivisibili che in numero finito di parti "*quante*".

Così come inflettere una linea ad angoli formando un quadrato, un esagono, un ottagono e così via è un esempio di suddivisione della linea in un numero finito di parti "*quante*", inflettere la stessa linea in una circonferenza è un esempio di suddivisione in un numero infinito di indivisibili, tanti quanti sono i punti della linea, che costituiscono infiniti lati. In entrambi i casi dall'esistenza in potenza della suddivisione si passa all'atto. I punti, infiniti lati, della circonferenza sono distinti gli uni dagli altri così come lo sono i lati dei poligoni, come si può rilevare nella rotazione di una circonferenza sopra una linea, dove il punto di contatto è sempre uno solo e sempre diverso.

Dimostrata quindi la necessità dell'infinito attuale come concetto da cogliere con immediatezza, in modo istantaneo, come un tutt'uno continuo di atomi indivisibili (vedi l'unità) e non come un qualcosa "raggiungibile" (ma irraggiungibile) mediante un numero sempre maggiore di suddivisioni infinite,

Salviati annuncia di voler approfondire il discorso mostrandone la validità nel sciogliere il problema della rarefazione e condensazione. Contemporaneamente si promette uno stretto confronto con le considerazioni dei peripatetici a riguardo.

Rarefazione e condensazione

Riprendendo la costruzione geometrica dei poligoni concentrici si mostra come, facendo rotolare il poligono minore, i (finiti) lati del poligono maggiore vadano a ricoprire una linea di poco più lunga di quella ricoperta dai lati del poligono inferiore, per il fatto che i suddetti lati del poligono maggiore avanzano, ma allo stesso tempo, compiono delle regressioni pari all'eccesso rispetto ai lati minori, così da sovrapporsi in parte al ricoprimento del lato precedente.

Analogamente nel caso di due cerchi: in questo caso però il numero dei lati è infinito ed essi sono "*non quanti*". Negli infiniti indivisibili istanti di tempo si avranno perciò degli infiniti indivisibili progressi degli infiniti indivisibili lati (cioè i punti) della circonferenza maggiore uniti a regressi pari all'eccesso rispetto ai punti della circonferenza minore (ma si tratta allora davvero di indivisibili?). In questo modo si avranno infinite sovrapposizioni "*non quante*", che formano delle condensazioni (di punti) ma non causano penetrazioni di parti "quante" (come invece si aveva nel caso dei poligoni con numero di lati finito).

Salviati conclude quindi dicendo che questo è tutto quanto possa dire riguardo alla condensazione dei corpi (appena illustrata), che non implica la penetrazione dei corpi, e alla rarefazione dei corpi (illustrata nella precedente versione di questa costruzione in cui a rotolare erano il poligono e la circonferenza maggiori), che non implica l'introduzione di spazi vuoti "*quanti*" ma di vuoti indivisibili ("*non quanti*"). In questo modo si evitano appunto la penetrazione dei corpi e il vuoto, non accettabili per i seguaci della filosofia Aristotelica.

Riguardo al fenomeno della condensazione e rarefazione (degli indivisibili o punti di una linea) può risultare illuminante anche un altro esempio paradossale già utilizzato da Duns Scoto. Dati due segmenti di lunghezza diversi, mentre sovrapponendoli si evidenzia una parte del segmento più lungo a cui non corrisponde alcun punto del segmento più corto, ponendoli in modo da formare un angolo e tracciando le infinite parallele che intersecano i due segmenti partendo dalla retta passante per i loro estremi si evidenzia una corrispondenza biunivoca tra i punti dei due segmenti. Questa corrispondenza ovviamente rimane anche al variare a piacere della lunghezza di uno dei due segmenti, per cui si ha un variare della rarefazione e della condensazione: in questo modo si può ancor meglio capire cosa Galileo intenda con questi due termini.

La rarefazione e la condensazione, unite alle problematiche dei rapporti tra "diversi" infiniti, in realtà non tanto diversi, saranno centrali nello sviluppo, storicamente successivo, dell'analisi matematica e della fisica (basta pensare al calcolo infinitesimale, alle funzioni studiate matematicamente, alle derivate, e agli integrali, essenziali nell'una e indispensabili per l'altra).

Simplicio replica mostrando gli effetti paradossali di una simile spiegazione: "un'oncia d'oro si potrebbe rarefare e distrarre in una mole maggiore di tutta la terra e tutta la terra condensare e ridurre in minor mole di una noce"[32]. Inoltre ripropone la separazione qualitativa dei peripatetici tra matematica e fisica, dichiarando come simili discorsi possono funzionare in ambito matematico e astratto ma non essere applicati all'ambito fisico e pratico.

Ritorna direttamente in gioco la tensione tra mondo teorico matematico e mondo fisico pratico, fino ad allora separati, e il tentativo di Galileo di amalgamarli e dimostrarli come regolati allo stesso modo in quanto entrambi corrispondenti all'ordine naturale.

Esempi pratici e divagazioni geometriche

Per mostrare l'applicabilità delle conclusioni a cui è giunto per via geometrica, Galileo-Salviati porta l'esempio pratico della doratura, mediante foglie d'oro, di cilindri d'argento: questi, una volta ricoperti di alcuni strati di foglie, vengono tirati fino a ridurli a fili molto sottili e fatti passare attraverso fori sempre più piccoli, aumentando così enormemente la superficie esterna e quindi ancor più assottigliando il già piccolissimo spessore della doratura esterna. Questo dovrebbe essere un esempio della rarefazione delle parti e mostrare la possibilità di tendere, anche nei materiali fisici, alla composizione di infiniti indivisibili.

Segue un ulteriore dimostrazione geometrica del differente variare del volume di solidi a parità di superficie esterna, sempre utilizzando l'esempio di due cilindri ma portando anche esempi dal mondo della pratica quotidiana. Lo stesso Sagredo estende il discorso alla variazione della superficie a parità di perimetro delle figure piane, partendo da problematiche legate alla cartografia, evidenziando come all'aumentare del numero di lati aumenti l'area contenuta e portando Salviati a concludere che il cerchio debba essere la figura piana maggiormente "capace" a parità di lunghezza del contorno.

Dopo queste divagazioni geometriche il discorso è riportato sulle difficoltà nella comprensione, soprattutto nell'ambito fisico, dei fenomeni di condensazione e rarefazione sollevate sia da Simplicio che da Sagredo. Salviati trova con facilità esempi pratici di rarefazione (la diffusione della luce dal fuoco, la diffusione del fuoco da un pezzo di legna, la diffusione degli odori da un frutto) mentre trova piuttosto difficile fare esempi del contrario, cioè della condensazione, la cui realtà però, sia per il discorso da lui prima fatto, sia come fenomeno opposto alla rarefazione, non gli pare possa essere negata.

[32] *Opere*, p. 624.

Confronto diretto con Aristotele

D'altra parte le spiegazioni portate da Salviati sono condizionate, a suo dire, dal tentativo di rispettare i vincoli imposti dalla filosofia peripatetica (nei confronti della quale in questo frangente non si può non notare un certo sarcasmo e sfida) riguardo alla impossibilità della penetrazione dei corpi e alla impossibilità del vuoto. A questo punto sia Salviati che Sagredo esprimono il desiderio di conoscere, al riguardo, le argomentazioni dimostrative di Aristotele.

L'illustrazione delle teorie di Aristotele, condotta ovviamente da Simplicio, si concentra intorno al vuoto ma introduce il discorso del moto dei corpi, fondamentale per la meccanica galileiana (anzi direi moderna) e per la prosecuzione di questo dialogo, trattandosi essenzialmente della seconda delle due nuove scienze. Aristotele, nella *Fisica*, confuta i sostenitori del vuoto che lo introducevano come necessario per il moto argomentando come in realtà sia esattamente l'opposto, cioè il verificarsi del moto esclude il vuoto[33]. In realtà con la sua argomentazione, efficace esclusivamente contro chi sostenesse la precisa tesi innanzi detta, Aristotele, o meglio Simplicio, dimostra solo che nel vuoto non può esserci moto (ovviamente sulla base anche di altri assunti aristotelici).

Da qui in avanti procede la discussione sul moto dei corpi con la confutazione delle credenze di derivazione aristotelica e, nelle Giornate successive, la fondazione della seconda "nuova scienza" di Galileo[34].

Riferimenti

Il testo utilizzato è Galileo Galilei, *Opere*, a cura di Franz Brunetti, volume secondo, *Discorsi intorno a due nuove scienze*, Torino, Utet, 1964, nella parte compresa tra le pagine 569 e 634. In seguito sarà indicato con *Opere*, per brevità.

[33] Si noti che nell'argomentazione di derivazione aristotelica viene utilizzato il concetto di infinito, tra l'altro sostenendo il radicale cambio di essenza e la differenza infinita nel passaggio da una quantità piccola a piacere al vuoto (a proposito della densità dei mezzi); si tratta di procedere verso l'infinitamente piccolo fino all'annullamento con un salto finale che senz'altro richiama i precedenti discorsi di Salviati.

[34] Subito il contrasto ruota attorno alle modalità con cui raggiungere certe conoscenze: l'*ipse dixit* riferito ad Aristotele per Simplicio e l'esperienza diretta per Sagredo, a cui va aggiunta la prova logico matematica di Salviati. Si veda *Opere*, pp. 634-635.