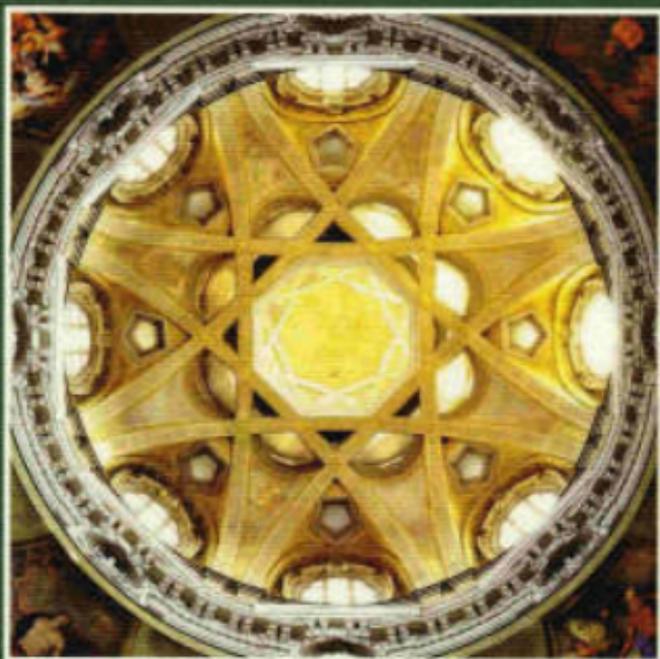


Associazione Subalpina  
Mathesis

Seminario di Storia  
delle matematiche  
"Tullio Viola"

# Conferenze e Seminari

2010-2011



Volume redatto a cura di  
F. Ferrara, L. Giacardi, M. Mosca

# LEONHARD EULER E IL PROBLEMA DELLA GRAVITAZIONE

*Andreas Kleinert*  
Università di Halle

*Sunto.* Nel Settecento, la legge sulla gravitazione universale edita da Newton nel 1687 è accettata senza riserve dalla maggioranza degli scienziati e anche da L. Euler. Però, secondo i fisici che criticavano Newton, un corpo che viene accelerato deve essere tirato o spinto da un altro: bisognava indicare una causa meccanica della gravitazione: qualcosa di concreto, "il meccanismo". Qui vediamo ciò che Euler scrisse sulla gravitazione, un tema che egli riprese più volte nelle sue pubblicazioni e nella sua corrispondenza. La conclusione è che è evidente che la teoria della gravitazione di Euler fu un insuccesso, però, considerato dal punto di vista della fisica classica dell'Ottocento, possiamo dire che era sulla buona strada.

## 1. Leonhard Euler (1707–1783)

I quattro periodi della vita scientifica di Leonhard Euler si sono svolti nelle città di Basilea, San Pietroburgo e Berlino:

1707 – 1727	Basilea
1727 – 1741	San Pietroburgo
1741 – 1766	Berlino
1766 – 1783	San Pietroburgo

A 13 anni si iscrive all'università di Basilea. Secondo la volontà del padre, il giovane Leonhard sarebbe dovuto diventare un teologo, ma fin dall'età di 14 o 15 anni si interessa di più alla matematica, e per fortuna, a Basilea ha la possibilità di frequentare i corsi del più grande matematico vivente all'epoca: Johann Bernoulli (1667–1748).

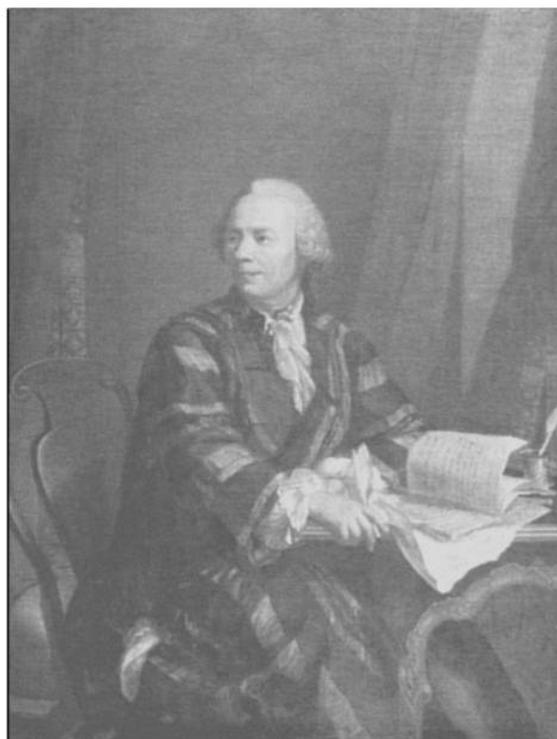


Fig. 1

Bernoulli riconosce il genio matematico del giovane Euler, gli fornisce delle lezioni private, e nel 1727 Euler si presenta come candidato per la cattedra di fisica all'università di Basilea. Probabilmente a causa della sua età, la candidatura non viene presa in considerazione, e allora Euler si decide ad emigrare. Ottiene in Russia un posto di "aggiunto" all'Accademia delle scienze di San Pietroburgo, e tre anni dopo è nominato professore e membro ordinario.

Nel 1741, accetta un posto a Berlino, dove diventa presidente della classe di matematica e fisica dell'Accademia Reale delle Scienze di Prussia. Vi rimane per 25 anni, ma in seguito a dei conflitti con il Re Federico II, nel 1766 ritorna in Russia e muore a San Pietroburgo nel 1783.

Euler è generalmente considerato come il principe dei matematici del Settecento. È stato così prolifico che l'edizione completa delle sue opere, le *Opera omnia*, comprende 72 volumi. Euler si è soprattutto distinto come matematico, ma oltre alla matematica, ha anche contribuito alla fisica, alla filosofia e persino alla teologia.

## 2. Euler e la gravitazione

Con il termine gravitazione intendo il fatto che due corpi si attraggono l'un l'altro con una forza che è direttamente proporzionale alle loro masse ed inversamente proporzionale al quadrato delle loro distanze. Nel Settecento, questa legge pubblicata da Newton nel 1687 è accettata senza riserve dalla maggioranza degli scienziati, ed anche da Euler:

È dunque un fatto provato, con le ragioni più solide, che in tutti i corpi celesti regna una gravitazione generale, in virtù della quale essi sono spinti o attratti gli uni verso gli altri, e che questa forza è tanto maggiore, quanto più i corpi sono vicini fra loro. Non è possibile contestare questo fatto.<sup>1</sup>

Quando parla delle terra e dei pianeti, Euler presenta la legge di Newton con queste parole:

Per giudicare quindi la forza con cui un corpo è attratto da un altro, basta osservare che questa forza è proporzionale anzitutto alla massa del corpo esercitante l'attrazione, poi a quella del corpo attratto e in fine inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.<sup>2</sup>

La scoperta di questa legge fu una pietra miliare nella storia della scienza, e un trionfo stupendo della fisica matematica. Con essa si potevano descrivere con grande precisione i movimenti dei corpi celesti, e in particolare Newton aveva dimostrato che le leggi di Kepler per il movimento dei pianeti attorno al Sole sono una logica conseguenza della legge di gravitazione universale.

Quindi è molto sorprendente che nel settecento la teoria di Newton abbia costituito l'oggetto di un dibattito acceso e violento, il quale ha diviso la comunità scientifica Europea. Soprattutto, questo dibattito sulla gravitazione ha creato un contrasto di opinioni profondo tra i fisici e matematici inglesi da una parte e quelli del continente (francesi, italiani, tedeschi) dall'altra.

Benché nessuno abbia contestato l'esistenza di quella forza che muove i corpi l'uno verso l'altro, la teoria della gravitazione di Newton fu considerata come uno scandalo da molti fisici, perché Newton non aveva detto niente sul modo di propagazione della cosiddetta "forza di attrazione". Come fa la luna a sapere che ad una certa distanza c'è una grande massa, la terra, verso la quale deve

<sup>1</sup> L. EULER: *Lettere a una principessa tedesca*, a cura di Gianfranco Cantelli, Torino 2007, p. 183 (lettera 54).

<sup>2</sup> *Ibidem*, p. 192-103 (lettera 57).

muoversi? Oppure come fa una pietra che lascio cadere a sapere che deve andare giù? In altre parole: era inconcepibile che una forza di attrazione si potesse propagare attraverso lo spazio vuoto e potesse mettere in movimento un altro corpo lontano. A proposito di questa difficoltà, Newton aveva pronunciato il suo famoso “Hypotheses non fingo” – non sapendo come funzionava la forza di attrazione, si era rifiutato di fare supposizioni.

Allora molti fisici e filosofi della natura non erano soddisfatti di questo agnosticismo di Newton, e gli rimproverarono di reintrodurre nella fisica le qualità occulte della fisica aristotelica. La fisica Newtoniana, benché dal punto di vista matematico sia corretta, fu considerata all’epoca come una specie di oscurantismo. Secondo i fisici che criticavano Newton, un corpo che viene accelerato deve essere tirato o spinto da un altro; invece non può mai essere accelerato dalla semplice presenza di un altro corpo lontano, senza che i due corpi siano in un qualsiasi contatto fra loro.

Tale insoddisfazione con la teoria delle gravitazioni di Newton è stata espressa da molti autori di trattati di fisica: Ecco un tipico esempio, preso da un testo di fisica francese, molto diffuso all’epoca:

*Mais il faut convenir que la Physique de nos jours, qui se glorifie d’être purgée à jamais de ces qualités occultes qui l’avoient rendue si ridicule, ne doit point voir, sans peine, qu’on fasse rentrer dans la matière une vertue abstraite, un être inconnu, et même inintelligible, et qui ne tient en rien au Mécanisme.<sup>3</sup>*

La parola chiave di questo testo si trova alla fine: “le mécanisme”, il meccanismo. Per i critici di Newton, bisognava indicare una causa meccanica della gravitazione: qualcosa di concreto, di materiale che spinge i corpi l’uno verso l’altro.

Numerosi erano i tentativi di porre rimedio a questo difetto della teoria newtoniana. Alcuni fisici hanno inventato delle teorie della gravitazione nelle quali un fluido oppure un’altra sostanza invisibile spingeva i corpi l’uno contro l’altro, in modo che per l’intensità della forza di attrazione risultava la legge di Newton. Non voglio parlare di tutte queste teorie – ciò che avevano in comune era la spiegazione meccanica della gravitazione, cioè la spiegazione con l’ipotesi di una sostanza che spinge i corpi. Un modello di queste teorie fu la teoria dei vortici di Descartes: per lui, il cosmo consisteva di un sistema di vortici, ognuno dei quali ha una stella (ad esempio, il Sole) al suo centro. Quando la materia sottile dei vortici agisce sui corpi gravi, questi vengono spinti verso il centro, come in un bicchiere di thè le foglie si muovono verso il centro quando il liquido viene girato.

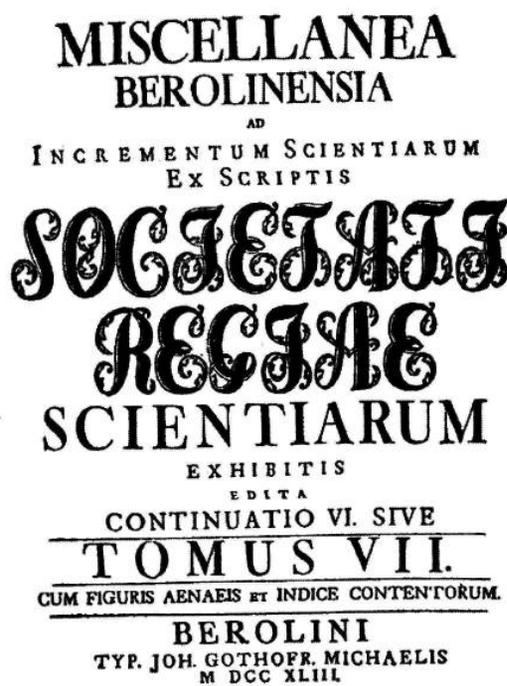
Seguendo l’esempio di Descartes, molti illustri scienziati si sono sforzati di modificare la teoria dei vortici in modo che fosse compatibile con la legge matematica di Newton e con le leggi di Kepler. Questo è il contesto storico dei contributi di Euler alla spiegazione della gravitazione.

---

<sup>3</sup> J.-A. NOLLET: *Leçons de physique expérimentale*, t. VI, Paris 1764, p. 156.

Nel dibattito tra Cartesiani e Newtoniani, Euler era fra i sostenitori di Descartes. Questo non vuol dire che abbia approvato senza riserve la materia sottile e i vortici del filosofo francese, e come ho già detto, era completamente d'accordo con la legge matematica della gravitazione trovata da Newton. Ma era cartesiano nella misura in cui si rifiutava di accettare una forza di attrazione a distanza. Come Descartes, anche Euler ha riempito lo spazio vuoto con una materia sottile che chiamava etere, e con questo etere ha spiegato un gran numero di fenomeni non meccanici, come l'elettricità, il magnetismo, la propagazione della luce, i colori ed anche la forza di gravità.

Ora vediamo che cosa Euler ha scritto sulla gravitazione. Ecco la prima pagina del suo primo articolo su questo tema:<sup>4</sup>



第 360 卷

NUM. IX.

N. N.

De causa gravitatis.

Gravitatio corporum in se mutua tam latissime patet, ut plurimi philosophi non dubitaverint eam ad primas materiae proprietates, cujusmodi sunt extensio & inertia, referre, mutuaque corporum sese attrahentium actionem à viribus insitis deducere. Cum enim corporibus extensio & inertia ideo tribuantur, quod omnibus constanter & perpetuo inesse deprehendantur, similis fere ratio gravitatis videbatur, propterea quod vix ullum adhuc sit observatum corpus, quod gravitatione penitus careret. Non solum enim omnia corpora circa terram posita deorsum nituntur, sed etiam terram ipsam cum reliquis planetis solem versus urgeri, observationes astronomicae ad leges Mechanicae examinatae luculenter docuerunt; quin in minimis etiam corporibus, quae quidem experimentis subijci possunt, similis quaedam vis sive magnetica sive electrica quotidie magis magisque evincitur. Sane in Astronomia attractionis hypothesis utiliter adhibetur in explicandis gravitatis phaenomenis. Planetarum enim & Cometarum perinde moveri observantur, acsi cum à sole tum à se mutuo

attra-

Fig. 2

Come si vede, si tratta di una pubblicazione anonima. E non è neppure l'unica pubblicazione anonima di Euler. Anche nella prima edizione delle sue *Lettere ad una principessa tedesca* – il più grande successo letterario di Euler – manca il nome dell'autore; però tutti sapevano che era stata scritta da Euler. Invece in questo caso il nome dell'autore è rimasto nascosto. Quindi l'articolo non compare nel elenco delle opere di Euler fatto dal matematico svedese Gustav Eneström all'inizio del Novecento.<sup>5</sup> Però è assolutamente certo che l'articolo è stato redatto da Euler e vi spiegherò subito come l'ho trovato circa 15 anni fa.

Si tratta di un saggio di 11 pagine. La prima parte (oltre 5 pagine) è una violenta polemica contro i sostenitori dell'attrazione (in latino "*attractionis patroni*"). Questi sono i fisici che consideravano il problema della gravitazione

<sup>4</sup> L. EULER: *De causa gravitatis*, in: *Miscellanea Berolinensea*, 7 (1743), p. 360–370.

<sup>5</sup> G. ENESTRÖM: *Verzeichnis der Schriften Leonhard Eulers*. Leipzig 1910–1913 (Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, Ergänzungsband 4).

come risolto con l'ipotesi di una forza di attrazione a distanza che segue la legge di Newton, senza chiedere quale sia l'origine di questa forza, e come essa possa propagarsi nello spazio. Euler non fa nomi, né citazioni di opere, ma in una delle *Lettere* alla principessa, dove ritorna sull'argomento della gravitazione, dice "nei nostri giorni, tutti gli Inglesi sono attrazionisti". Parla dunque dei Newtoniani che si trovavano soprattutto in Inghilterra, ma anche in Francia. Anche Euler è dunque convinto che la teoria Newtoniana, benché sia molto utile per fare i calcoli di meccanica e di astronomia, non basta per spiegare il fenomeno dell'attrazione dei gravi.

Nella parte polemica del trattato, troviamo un argomento tipico dei critici di Newton: "Quelli che sostengono che l'attrazione reciproca dei corpi sia l'origine della gravitazione non riconoscono la differenza tra causa ed effetto" dice Euler, "abbandono così i fondamenti di una filosofia sana e ragionevole." E poi, sotto la protezione dell'anonimato, si fa beffe dei suoi avversari scientifici con toni piuttosto bruschi e polemici. Con grande fantasia, immagina degli esempi per mostrare l'assurdità di una teoria che ammette delle forze a distanza. Ecco uno di questi esempi:

*Se esistono delle forze a distanza, che agiscono senza contatto diretto* [Questa è la premessa] le erbe che crescono sul pianeta Saturno dovrebbero provocare nel mio corpo un conato di vomito e dei movimenti intestinali violenti, benché io non abbia mai mangiato o annusato queste erbe.<sup>6</sup>

Poi viene la sua spiegazione della gravitazione. Come Descartes e i suoi seguaci, Euler impone l'esistenza di una sostanza particolare per trasmettere la forza dell'attrazione, cioè postula l'esistenza di un fluido coerente che riempie lo spazio. Questo fluido deve essere così sottile da non impedire il movimento dei pianeti.

Per quanto riguarda la gravitazione, Euler la spiega con la variazione della pressione di questo fluido etereo: l'etere è in un movimento perpetuo intorno alla terra, e da quel movimento risulta una differenza di pressione che dipende dalla distanza del centro della terra. La pressione dell'etere, dice Euler, è inversamente proporzionale alla distanza del corpo dal centro della terra:

$$P = P_{\infty} - \frac{\text{const } P_{\infty}}{X}$$

$P$  = Pressione dell'etere

$X$  = Distanza dal centro della terra

$P_{\infty}$  = Pressione dell'etere all'infinito.

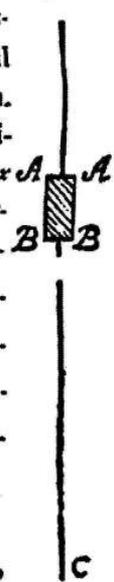
Senza entrare nei particolari, basta dire che con questa premessa Euler arriva al risultato cercato. Da un calcolo abbastanza semplice risulta che la forza con la quale il corpo viene spinto giù è inversamente proporzionale al quadrato della distanza, come richiede la legge di Newton. Ecco, qui sotto, la pagina del saggio di Euler con il testo originale di questo calcolo, dove si notano le

---

<sup>6</sup>L. EULER: *De causa gravitatis* (n. 4), p. 363.

espressioni per la pressione dell'etere ( $c - \frac{cg}{x}$ ) in funzione della distanza dal centro della terra:  $\frac{1}{AC^2}$ .

ri debeat. Quo autem gravitas ad terram appropinquando crescat in ratione duplicata viciniae a centro, quam legem phaenomena indicant, neesse est, ut diminutiones compressionis aetheris in ratione distantiarum simplici decrescant, quae ratio cum sit omnium simplicissima, simul veritatem hujus explicationis non mediocriter confirmat. Sit compressio aetheris absoluta seu non diminuta =  $c$ , erit ea in distantia a centro terrae  $x$  aequalis  $c$  minus quantitate ipsi  $x$  reciproce proportionali; ponatur ergo compressio aetheris in distantia  $x$  a centro terrae  $C = c - \frac{cg}{x}$ . Hinc si corpus AABBB circa terram versetur, ejus superficies superior AA deorsum premetur vi =  $c - \frac{cg}{CA}$ , inferior autem superficies BB sursum premetur vi =  $c - \frac{cg}{CB}$ , quae vis cum minor sit quam prior, corpus deorsum premetur vi =  $cg \left( \frac{1}{CA} - \frac{1}{CB} \right) = \frac{cg \cdot AB}{AC \cdot BC}$ .



Cum igitur magnitudo corporis AB sit incomparabiliter minor quam distantia CB, erit  $AC = BC$ , hinc ejusdem corporis gravitas in distantia a centro quacunque erit ut  $\frac{1}{AC^2}$  hoc est reciproce ut quadratum distantiae a centro.

Ecco lo stesso testo in traduzione inglese:

“Let the absolute compression of the ether (when it is not lessened) be denoted  $c$ . And let the distance from the center of the Earth be equal to  $c$  minus a quantity reciprocally proportional to  $x$ . And so let a compression of the ether in distance  $x$  from the center of the Earth  $C$  be =  $\frac{c - cg/x}{x}$ . From this, if body AABBB is in position around the Earth, the surface of it above AA will be pressed downwards by force =  $c - cg/CA$ , moreover the surface below BB will be pressed upwards by a force  $c - cg/CB$ , which force, since it is less than before, the body will be pressed downwards by force =  $cg(1/CA - 1/CB) = cg \cdot AB/(ACBC)$ .

And so if the magnitude of body AB is incomprehensibly less than distance CB, we will have  $AC = BC$ , from this the gravity of such a body in whatever distance from the center will be as  $1/AC^2$ ; this is reciprocally as a square of the distance from the center.” (translation by DeSchmidt and Klyve [Euler 1743])

Sono assolutamente d'accordo con il commento dell'editore di questa traduzione:

*This is, frankly, rather bizarre. Euler here suggests that the thing that holds us to the ground is a pushing force from the (comparatively) dense ether above us.*<sup>7</sup>

Alla fine dell'articolo, Euler sostiene che anche il sole è circondato da una tale atmosfera eterea; quindi anche il movimento dei pianeti è conforme alla teoria di Newton e alle leggi di Kepler. Poi dice che lo stesso fluido che è la causa della gravitazione rende possibile la spiegazione dell'elettricità, del magnetismo e della propagazione della luce. Infatti Euler sosteneva la teoria ondulatoria della luce di Huygens, e non quella corpuscolare di Newton.

Circa dieci anni dopo, Euler riprende il tema della gravitazione nel 19<sup>esimo</sup> capitolo di un trattato di fisica con il titolo *Einleitung zur Naturlehre* ("Introduzione alla fisica").<sup>8</sup> Questo capitolo è intitolato *Von der Schwere und den Kräften, so auf die himmlischen Körper wirken* ("Della gravità e delle forze che agiscono sui corpi celesti"). In gran parte questo capitolo è una semplice traduzione dell'articolo del 1743.

Però Euler aggiunge qui la risposta a un'obiezione che un lettore attento avrebbe potuto forse sollevare. Secondo la formula esposta nel saggio del 1743, il peso di un corpo dovrebbe anche dipendere dal suo volume, e non solo dalla sua massa. Per confutare questa obiezione, Euler fa una distinzione tra il volume apparente e il volume reale dei corpi. Dice che i corpi sono composti di materia e di pori, cioè in un qualsiasi corpo c'è anche del vuoto che forse contiene etere, ma non materia. Il volume apparente di un corpo è quello che si vede, mentre invece per ottenere il volume reale bisogna fare astrazione dei pori, "come se tutta la materia del corpo fosse compressa". Ecco un'immagine moderna che illustra le idee di Euler sulla struttura della materia:

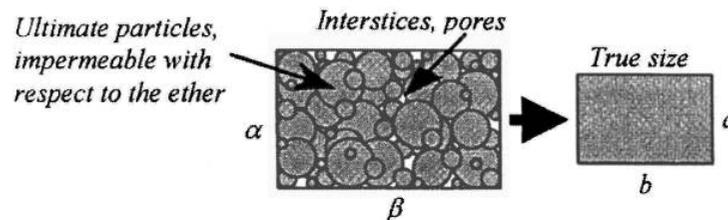


Fig. 2: Euler's explanation of the relation between volume and mass of a body. A body with base area  $\alpha\alpha$  and length  $\beta$  consists of ultimate particles of homogeneous matter which are impermeable with respect to the ether, and of the interstices or pores between these particles. The true size of the body corresponds to the volume  $ab$  it would have if no pores were present.

Fig. 3<sup>9</sup>

<sup>7</sup> D. KLYVE: *Euler and Gravity* ([www.maa.org/editorial/euler/Dec2009.pdf](http://www.maa.org/editorial/euler/Dec2009.pdf), p. 2).

<sup>8</sup> L. EULER: *Anleitung zur Naturlehre*, in: *Leonhardi Euleri opera omnia*, sér. III, vol. I, Leipzig 1926, p. 16-178 (Prima pubblicazione in: L. Euler: *Opera postuma mathematica et physica*, vol. II, San Pietroburgo 1862, p. 449-560).

<sup>9</sup> A. VERDUN: *Euler's Ether Pressure Model of Gravitation*, in: *Scientific Models: Their Historical and Philosophical Relevance*, edited by E. Neuenschwander. XIIIth

La *Anleitung zur Naturlehre* fu scritta verso il 1755, ma è rimasta inedita durante la vita di Euler. E fu infine pubblicata nel 1862, quando il pronipote di Euler, Paul-Heinrich Fuss, la scoprì tra gli manoscritti inediti di suo bisnonno.

Fino a questo punto abbiamo parlato di due testi di Euler sulla gravitazione, il saggio anonimo del 17432 e il manoscritto inedito del 1755.

Soltanto nel 1768 è uscita una pubblicazione di Euler nella quale per la prima volta la sua teoria della gravitazione era associata al suo nome. Si tratta di un libro di divulgazione della fisica che ottenne un enorme successo fra i lettori del suo tempo: *Le Lettere a una principessa tedesca su diversi argomenti di fisica e di filosofia*. Quando era a Berlino, Euler aveva dato alcune lezioni private di fisica e di matematica a una ragazza di 16 anni, la figlia del duca di Brandenburg-Schwedt. Poi aveva proseguito questo insegnamento tramite la corrispondenza per alcuni anni.

Quando torna a San Pietroburgo nel 1766, Euler decide di pubblicare le lettere sotto forma di libro. Era un'abitudine sociale tipica e diffusa all'epoca presso la nobiltà tedesca del Settecento quella di dialogare preferibilmente in francese, piuttosto che in tedesco. Per questo motivo le lettere dello svizzero-tedesco Euler alla principessa tedesca sono scritte in francese, e questa è anche la lingua dell'edizione originale del 1768. Poi sono uscite traduzioni in quasi tutte le lingue europee: tedesco, inglese, italiano, e anche in olandese e svedese.

Nelle *Lettere alla Principessa* Euler riprende la polemica contro gli attrazionisti. Ammette che la gravitazione sia un fatto incontestabile, ma aggiunge che gli scienziati si dibattono sulla questione se si tratta di un fenomeno di attrazione o di impulsione. Agli astronomi non importa di sapere se i corpi celesti sono spinti l'uno verso l'altro oppure se si attraggono mutuamente, perché non influenza i loro calcoli. Ma per Euler, questo è un punto di vista troppo superficiale. Secondo lui, il vero fisico deve penetrare più in profondità:

Ma se si vuole penetrare i misteri della natura, è di estrema importanza sapere se è per impulso o per attrazione che i corpi celesti agiscono gli uni sugli altri; se è una materia sottile e invisibile ad agire sui corpi e a spingerli gli uni verso gli altri, o se invece sono i corpi stessi a essere dotati di una qualità nascosta e occulta per la quale si attirano reciprocamente. I filosofi sono estremamente divisi a questo proposito: quelli che sono per l'impulso si chiamano impulsionisti, mentre i partigiani dell'attrazione si chiamano attrazionisti. Newton inclinava molto per l'attrazione e oggi tutti gli inglesi sono accaniti attrazionisti. Ammettono che la terra non attira i corpi né con corde né con nessun'altra di quelle macchine che servono di solito a tirare, e ancor meno

scoprono qualche cosa che, posta fra il sole e la terra, possa essere ritenuta il mezzo di cui si serve questo astro per attirare la terra.<sup>10</sup>

E per ridicolizzare ancora di più gli attrazionisti, Euler immagina una situazione assurda e assai curiosa che dovrebbe avvenire se avessero ragione gli attrazionisti. Questa situazione fittizia ci fa pensare alla storia delle erbe che crescono sul pianeta Saturno:

Se si vedesse che un carro segue i cavalli senza essere in nessun modo ad essi attaccato e senza vedere né corda né altre cose capaci di mantenere qualche comunicazione fra il carro e i cavalli, non si direbbe affatto che il carro è attratto dai cavalli, ma si sarebbe piuttosto portati a credere, a meno che non si tratti dell'effetto di un incantesimo (*le jeu de quelque sorcière*), che il carro è spinto da una forza, quantunque non sia possibile scorgere nulla. Tuttavia i signori inglesi non abbandonano affatto la loro opinione, anzi sostengono che è una qualità caratteristica di tutti i corpi di attirarsi reciprocamente e che questa qualità è loro altrettanto naturale dell'estensione: basta che il Creatore abbia voluto che tutti i corpi si attirassero vicendevolmente, e con questo è risolta tutta la questione.<sup>11</sup>

O per dirlo in altre parole: La scienza di questi inglesi, discepoli di Newton, è un misto di scienza e di stregoneria, dunque una cosa inammissibile.

Dopo questo violento attacco contro i Newtoniani, ci aspettiamo che Euler presenti alla principessa ed ai lettori del suo libro la sua propria teoria della gravitazione. Ma questo non lo fa. Invece ammette che non è capace di indicare la causa della gravitazione:

Si tratta ora di approfondire la vera origine di simili forze attrattive, ma è una questione che appartiene più alla metafisica che alla matematica, e non mi illudo di riuscirvi altrettanto felicemente.<sup>12</sup>

Euler si limita alla constatazione che invece di spiegare la gravitazione con una qualità occulta chiamata attrazione, bisogna spiegarla con una specie di azione per contatto, cioè con un'azione dell'etere, anche se non si sa ancora di preciso in che modo avviene questa azione:

In che modo, essendo lontani, avrebbero potuto accorgersi [i corpi] l'uno dell'altro? Come avrebbero potuto desiderare di avvicinarsi? Sono idee che ripugnano, al nostro intelletto, ma se si suppone che lo spazio fra i corpi è riempito da una materia sottile, si comprende subito che, se tale materia può agire su di essi, spingendoli, l'effetto sarebbe lo stesso, come se si attirassero reciprocamente. E poiché noi sappiamo che tutto lo spazio fra i corpi celesti è riempito da una materia sottile, chiamata etere, sembra più ragionevole attribuire la reciproca attrazione dei corpi a una azione che l'etere esercita su di essi, quantunque ce ne resti ignoto il modo, piuttosto di ricorrere a una

<sup>10</sup> L. EULER: *Lettere a una principessa tedesca* (n. 1), p. 183 (lettera 54).

<sup>11</sup> *Ibidem*, p. 184.

<sup>12</sup> *Ibidem*, p. 224 (lettera 68).

qualità inintelligibile. Gli antichi filosofi si sono contentati di spiegarci i fenomeni del mondo con questo genere di qualità, che essi chiamavano occulte, dicendo, per esempio, che l'oppio fa dormire per una sua qualità occulta che lo rende adatto a procurare il sonno. [...] Così si dovrebbe considerare l'attrazione come una qualità occulta [...] ; ma poiché oggi ci si sforza di bandire dalla filosofia tutte le qualità occulte, anche l'attrazione [...] dovrebbe esserne bandita.<sup>13</sup>

Euler non menziona più la differenza di pressione nell'etere che spinge i corpi gravi verso il centro della terra, e non fa alcun'allusione al calcolo con il quale nel 1743 aveva dedotto la formula di Newton dalla premessa di un etere che gira intorno alla terra, ai pianeti e al sole.

Questa modestia di Euler è molto sorprendente. Ne troviamo la spiegazione nella sua corrispondenza, e questo è un bell'esempio per segnalare le numerose informazioni che si ottengono dalla lettura di lettere non destinate alla pubblicazione, e che non si trovano nelle opere stampate.

Per capire il silenzio di Euler sulla sua teoria della gravitazione nelle *Lettere alla Principessa*, bisogna studiare la sua corrispondenza con il fisico Georges-Louis Lesage, di Ginevra. Si tratta di nove lettere scritte tra 1761 e 1776: sei lettere di Euler e tre lettere di Lesage.

Lesage era uno di quelli inventori di teorie meccaniche della gravitazione nelle quali una sostanza invisibile spinge i corpi l'uno contro l'altro, in modo che per l'intensità della forza di attrazione si verifica la legge di Newton. Però la sua teoria non era basata sull'ipotesi di un fluido simile all'etere di Euler.

Secondo Lesage, lo spazio vuoto è continuamente attraversato da piccole particelle o corpuscoli che si muovono in tutte le direzioni con una velocità più grande di quella della luce. Se un corpo isolato si trova in questo spazio, viene spinto da tutte le parti da quelli "corpuscules ultramondains" (corpuscoli oltremondani), quindi si trova in equilibrio. Invece se ci sono due corpi vicini, si proteggono reciprocamente contro i corpuscoli, e quindi vengono spinti più spesso da un lato che dall'altro. Per conseguenza, i corpi vengono accelerati l'uno contro l'altro, e come noi non vediamo i corpuscoli che sono la vera causa di quel movimento, parliamo di attrazione.

Lesage aveva attribuito ai suoi corpuscoli delle velocità, delle masse e delle dimensioni tali che ne risultava esattamente la legge della gravitazione di Newton. Quindi considerava la sua ipotesi come un'estensione delle teorie di Newton, e come i corpuscoli che attraversano lo spazio avevano già una funzione – benché diversa – nella teoria della materia di Lucrezio, Lesage dava alla pubblicazione della sua teoria il titolo *Lucrezio Newtoniano*.<sup>14</sup> Ma questa

<sup>13</sup> *Ibidem*, p. 226 (lettera 68)

<sup>14</sup> G.-L. LESAGE: *Lucrece Newtonien*. In: *Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres*, année 1782, Berlin 1784, p. 404–432.

pubblicazione è uscita soltanto otto anni dopo la fine della corrispondenza con Euler; dunque non ha nessun'importanza per noi.

Invece di pubblicare le sue elucubrazioni su un giornale o un libro, Lesage preferiva un altro metodo per propagare le sue idee: cercava di convincere i suoi contemporanei per corrispondenza. Con lo zelo di un missionario, scriveva centinaia di lettere a tutti i scienziati d'Europa per convincere queste persone della sua teoria, e una delle sue vittime fu proprio Leonhard Euler. Per fortuna, Lesage conservava sempre una copia delle lettere che mandava via, e tutte queste copie, con le risposte che ha ricevuto, si trovano nel suo carteggio nella biblioteca universitaria di Ginevra.

Ora vediamo quale era la strategia di Lesage. Per iniziare una corrispondenza, bisognava avere un motivo convincente, e per trovare tali motivi, Lesage studiava tutte le pubblicazioni sulla gravitazione, disponibili sul mercato. Poi, si rivolgeva agli autori per iniziare una discussione, sottoponendo loro le sue idee. Una delle pubblicazioni sulla gravitazione che Lesage aveva letto era quella anonima del 1743, in realtà dovuta a Euler.

Confrontandola con alcuni lavori di Euler sul magnetismo e sulla luce, Lesage concludeva che Euler ne doveva essere l'autore. Poi aveva scoperto delle contraddizioni tra il trattato anonimo e due altri scritti di Euler: un trattato sulla teoria della luce pubblicato nel 1746<sup>15</sup>, e una pubblicazione sul movimento dei pianeti.<sup>16</sup> Anzitutto ha trovato che se l'etere fosse la causa della gravitazione, dovrebbe frenare in modo sensibile il movimento dei pianeti. Tutto questo, Lesage lo scrive a Euler in una lettera lunghissima (12 pagine) e piena di calcoli complicati nell'agosto del 1765, e in questa lettera si riferisce al trattato anonimo pubblicato nelle *Miscellanea Berolinensia* del 1743.

Euler risponde subito, e con franchezza ammette di essere lui l'autore del trattato anonimo, e ammette pure di essersi sbagliato: "*Je reconnais que vous avez solidement réfuté l'explication de la gravité, que j'avais hazardée autrefois*" (Ammetto che avete rifiutato con argomenti solidi la spiegazione della gravitazione che io avevo azzardato molto tempo fa). Abbiamo dunque una prova inconfutabile che Euler fu l'autore del saggio anonimo del 1743.

Se Euler ammette il suo errore, questo non vuol dire che sia d'accordo con la teoria di Lesage. Invece di convertirsi ai corpuscoli oltremondani del fisico ginevrino, preferisce introdurre un altro fluido, ancora più sottile e più elastico che l'etere, per spiegare la gravitazione, e per chiudere definitivamente il dibattito, conclude la sua lettera con una dichiarazione che non manca di chiarezza:

---

<sup>15</sup> L. EULER: *Nova theoria lucis et colorum*. In: L. Euler: *Opera Omnia*: Series 3, Vol. 5, p. 1-45 (L. Euler: *Opuscula varii argumenti*, vol. 1, Berlin 1746, pp. 168-244).

<sup>16</sup> L. EULER: *De relaxatione motus planetarum*. In: L. Euler: *Opera Omnia*: Series 2, Vol. 31, p. 195-220 (L. Euler: *Opuscula varii argumenti*, vol. 1, Berlin 1746, pp. 245-276).

*Vous m'excuseres, Monsieur, que je sens encore une très grande repugnance pour Vos corpuscules ultramondains et j'aimerois toujours mieux d'avouer mon ignorance sur la cause de la gravité que de recourir à des hypotheses si étranges. Mais j'accorde très volontiers cette liberté à d'autres.*<sup>17</sup>

Vengo alla conclusione: è evidente che la teoria della gravitazione di Euler fu un insuccesso; lui stesso ha preso le distanze dal suo errore del 1743 nella sua corrispondenza con Lesage. Già quando la pubblicò allora, sembra che non fosse veramente convinto della sua propria teoria e probabilmente questo fu il suo motivo per nascondersi sotto l'anonimato.

Però, considerato dal punto di vista della fisica classica dell'Ottocento, possiamo dire che era sulla buona strada. Dal tempo di Galileo che aveva constatato che il libro della natura è scritto in lingua matematica, i fisici si erano proposti di leggere questo linguaggio, cioè di descrivere i fenomeni della natura con espressioni matematiche. La parte della fisica dove questo obiettivo fu realizzato all'epoca di Euler era incontestabilmente la meccanica (quella dei fluidi e dei solidi). Le meccanica della fine del settecento si distingue poco da quella che viene insegnata in un manuale moderno di meccanica classica.

Quindi la maggior parte dei fisici riteneva che per arrivare ad una matematizzazione delle altre parti della loro scienza (elettricità, calore, luce, magnetismo ecc.) bisognava ridurre tutti questi fenomeni a modelli meccanici. Fino all'inizio del novecento la meccanica fu considerata come base di tutte le altre parti della fisica; era una specie di "Leitwissenschaft" (scienza-guida), secondo la convinzione che se riusciamo a trovare un modello meccanico per un qualsiasi fenomeno, sarà possibile descriverlo con espressioni matematiche, anzitutto con delle equazioni differenziali. In questa prospettiva, l'ipotesi dell'etere si è dimostrata molto fruttuosa. Ancora nei trattati di fisica dell'inizio del secolo scorso, l'etere era ben presente.<sup>18</sup> L'ottica ondulatoria e l'elettromagnetismo furono considerate come una meccanica dell'etere. Euler ha dunque indicato la buona via da seguire, e le sue idee hanno aperto il cammino verso la fisica classica del secolo successivo.

Se Euler non è riuscito a risolvere il problema della gravitazione, possiamo però dire che è almeno in buona compagnia: da Faraday fino a Einstein i fisici hanno invano cercato di trovare un legame tra la gravitazione e le forze elettromagnetiche (la fisica del etere dell'ottocento). Questo è un problema che attende ancora la sua soluzione.

Torino, 21 ottobre 2010

<sup>17</sup> Euler a Lesage, 15 gennaio 1768. Biblioteca di Ginevra, Ms. suppl. 512, f° 314.

<sup>18</sup> Vedi, per esempio, O. D. CHWOLSON: *Lehrbuch der Physik*, vol.1, Braunschweig 1902, p. 8-10.