

Massimo Balena – Domenico Priori

*Quidquid de hoc dixerit Philolosophus et Commentator*

**Introduzione**

Il nostro lavoro si propone «di guardare l'immagine multicolore della storia attraverso un paio di lenti colorate, che non lascino filtrare che un tono solo, sperando di guadagnare in chiarezza ciò che si perde in ricchezza». Ecco il nostro metodo (che abbiamo definito con le parole del grande Max Born, premio Nobel per la Fisica nel 1954): partendo dalla prima metà del XIV secolo ci sposteremo nel tempo con disinvoltura cercando di cogliere le difficoltà che si sono presentate ai filosofi della natura e le scelte che hanno operato.

Le nostre considerazioni intendono evidenziare l'importanza di alcuni concetti, presenti nel bagaglio del filosofo della natura, che a volte hanno rappresentato ostacoli alla comprensione della Natura e altre volte scelte valide ancora oggi. Volevamo capire come facevano Scienza, o meglio come studiavano la Natura (tralasciamo così le definizioni di Scienza che intralcerrebbero la nostra ricerca), nel Trecento e fare dei confronti con la storia precedente e quella seguente.

La via della ricerca è spesso tortuosa, i suoi non facili percorsi conducono a vedute parziali, a modificare prospettive, ora dimostrando errato quello che sembrava certo, ora recuperando in nuovi contesti quello che prima era stato respinto. La storia della Scienza è una storia di scelte provvisorie e di continue correzioni. E sarà sempre così.

Noi siamo convinti che la storia della Scienza abbia un ruolo importante per capire meglio la Scienza attuale nei suoi contenuti e nei suoi metodi.

L'ambiente asettico della teoria fisica, nella sua espressione più ambita e più apprezzata di struttura logicamente coerente e autonoma, non evidenzia il lavoro intellettuale che è servito per costruirla.

Al momento della costruzione di una teoria e a quello del suo utilizzo fanno riscontro i due modi tipici di procedere del pensiero: quello creativo e quello deduttivo.

A tal proposito ci è particolarmente gradito ricordare le parole del prof. Carlo Cattaneo (1911-1979):

Come nasce e come si modifica una teoria fisica? Se è ben probabile che la sua prima origine stia nell'osservazione della natura è tuttavia certo che gli assiomi fisici non sono mai imposti in modo immediato e definitivo dalla osservazione stessa. In verità il mondo fisico non si lascia interrogare e i fenomeni non si lasciano descrivere se non al lume di una teoria di tentativo già costituitasi, magari inconsapevolmente, nella mente di chi osserva. Questa teoria, nata da un atto di intuizione, e le sue conseguenze logiche osservabili vengono a mano a mano sottoposte al controllo sperimentale. Se a un certo momento l'esperienza rivela un disaccordo colle deduzioni teoriche, un ulteriore atto di intuizione suggerisce modificazioni agli assiomi precedenti, la teoria modificata viene sottoposta a ulteriori controlli e così via. Questo continuo alternarsi di atteggiamenti mentali diversi, osservazione e intuizione, deduzione logica e controllo sperimentale, spiega perché matematica e fisica hanno sempre avuto tanta reciproca influenza.<sup>1</sup>

Oggi si è portati, forse giustamente, a guardare al prodotto finito cioè l'assetto definitivo di una teoria, e si tende invece a lasciare in ombra il momento precedente.

La prospettiva storica ha un ruolo importante perché valorizza quel momento e familiarizza, per quanto è possibile, con il processo creativo, evidenziando, tra l'altro, quanto hanno in comune e di diverso la Scienza e l'Arte. Entrambe sono frutto di quella peculiare caratteristica dell'intelletto

---

<sup>1</sup> CARLO CATTANEO, *Appunti di Meccanica relativistica*, La Goliardica, 1972, p. 6.

umano che è la creatività, distinguendosi solo per l'oggetto: il vero per la prima e il bello per la seconda.

Dalla ricognizione storica vedremo inoltre, non senza sorpresa, che l'attuale livello di conoscenza, per non poche persone, non è tanto diverso da quello che possedevano gli studiosi del Medioevo.

Lo sfondo che abbiamo scelto è l'Europa della prima metà del XIV secolo che vedeva tra i protagonisti, nel campo religioso, politico e scientifico, un frate partito da Appignano alla volta di Parigi, Avignone, Monaco: Francesco d'Appignano.

#### Quidquid de hoc dixerit Philolosophus et Commentator

La frase di Francesco scelta come titolo introduce nell'ambiente culturale in cui vengono svolte le successive riflessioni: «Quidquid de hoc dixerit Philolosophus et Commentator (Quale che sia in proposito l'opinione del Filosofo e del Commentatore)»<sup>2</sup>.

Questa affermazione evidenzia bene il clima di libertà intellettuale nei confronti di un personaggio autorevole sì, ma non tale da paralizzare ogni nuova indagine speculativa. Francesco, confortato da valide ragioni, si pone in evidente opposizione all'insegnamento di Aristotele confutando la tesi alquanto diffusa che la Scienza del Medioevo è solo commento all'opera del Filosofo.

L'atteggiamento di Francesco è comune anche ad altri; Buridano, ad esempio, afferma: «Se voi trovate un modo diverso che salvi insieme le convinzioni di Aristotele e le apparenze, io volentieri lo farò mio»<sup>3</sup>. D'altra parte sembra che Aristotele abbia fatto propria la nota frase: «Amicus Plato, magis amica veritas».

#### Melius et facilius salvantur omnia apparentia

##### Il ruolo dell'esperienza

Introduciamo ora il tema centrale con un'altra frase di Francesco: «melius et facilius salvantur omnia apparentia (meglio e più facilmente si salvano tutte le apparenze)»<sup>4</sup>.

Si suole, a ragione, collocare nel periodo galileiano la nascita del metodo sperimentale, intendendo con ciò quel mutuo rapporto tra l'attività intuitiva e di astrazione da una parte, e quella di controllo sperimentale dall'altra. In corrispondenza di questa fondamentale tappa metodologica, si pone anche la data di nascita della Scienza moderna.

Questo, però, non significa che prima di quella data non fosse riconosciuta, almeno formalmente, l'importanza dell'esperienza.

Leggiamo, per esempio, alcune frasi dal *Dialogo sopra i due massimi sistemi*.

SALVIATI: Il medesimo [Aristotele] non afferm'egli che quello che l'esperienza e il senso ci dimostra, si deve anteporre ad ogni discorso, ancorché ne paresse assai ben fondato? E questo non lo dic'egli risolutamente e senza punto titubare?

SIMPLICIO: Dicelo.<sup>5</sup>

---

<sup>2</sup> MARSHALL CLAGETT, *La scienza della meccanica nel medioevo*, Feltrinelli. Milano, 1972. «Melius tamen videtur quod huiusmodi virtus sit in corpore moto quam in medio, quidquid de hoc dixerit Philolosophus et Commentator». *Reportacio dal IV libro Sulle Sentenze di Pietro Lombardo*.

<sup>3</sup> BURIDANO, *Il Cielo e il Mondo* commento al trattato *Del Cielo* di Aristotele, Rusconi 1983, p.420

<sup>4</sup> «Pare tuttavia preferibile collocare siffatta virtù nel corpo mosso piuttosto che nel mezzo, quale che sia in proposito l'opinione del Filosofo e del Commentatore. Sia perché invano si fa col più ciò che si può fare col meno (frustra fit per plura quod fieri potest per pauciora): e invero non si vede alcuna necessità di porre qualcosa di diverso dal corpo mosso ovvero dalla virtù in esso accolta e dal motore originario come causa effettiva del moto, e quindi neppure il mezzo. Sia, in secondo luogo, perché in tal modo si salvano meglio tutte le apparenze». Traduzione in MARSHALL CLAGETT, *La scienza meccanica nel medioevo*, p.556, Feltrinelli.

«Sic in proposito: huiusmodi uirtus permanent ad tempus aliquod secundum propocionem uirtutis a qua derelicta est. Melius tamen uidetur quod huiusmodi uirtus sit in corpore moto quam in medio, quidquid de hoc dixerit philosophus et Commentator, tum quia frustra fit per plura quod potest fieri per pauciora; nunc autem nulla apparent necessitas ponere aliquid, aliud a corpore moto siue uirtute in eo recepta et a principali mouente, esse causam effectuum motus, ergo nec medium, tum, 2°, quia, hoc posito, melius et facilius saluantur omnia apparentia et concessa communiter de usto motu quam ponendo uirtutem huiusmodi esse in medio». *La questio dal libro IV del Commentarius in librum Sententiarum*, in *Sententia et compilatio* 253-263, p. 74 di NAZZARENO MARIANI, *Spicilegium Bonaventurianum* XXX.

Ruggero Bacone, un frate francescano come Francesco d'Appignano, nella seconda metà del XIII secolo scriveva: «non si può conoscere nulla in maniera soddisfacente se prima non se ne è fatta l'esperienza. Infatti, i modi di conoscere sono due, cioè si conosce o per mezzo del ragionamento o per mezzo dell'esperienza»<sup>6</sup>.

Però, nonostante che Aristotele e gli aristotelici fossero convinti dell'importanza primaria della sperimentazione, è ragionevole pensare che non abbiano sperimentato un gran che.

Entriamo un po' nel dettaglio per renderci conto di quanto abbiamo detto. Aristotele nel *De caelo* afferma: «Se un certo peso si muove per una certa distanza per un certo tempo, un peso uguale, più altro peso aggiunto, si muoverà per la stessa distanza in meno tempo, e l'un tempo avrà all'altro un rapporto inverso a quello dei pesi»<sup>7</sup>.

Nella *Fisica*, libro IV, il Filosofo conferma ancora lo stesso concetto: «Osserviamo che cose che hanno maggior inclinazione di gravità o di leggerezza, se le condizioni sono per gli altri rispetti le stesse, si muovono più velocemente per una distanza uguale, e ciò nel rapporto che le grandezze hanno tra loro»<sup>8</sup>.

Aristotele afferma con estrema chiarezza che la velocità di caduta degli oggetti è direttamente proporzionale al loro peso. Nella seconda frase riportata, egli usa addirittura il verbo osserviamo.

Ora un'esperienza del genere non fornisce i risultati detti. Certo, lasciando cadere un sasso e una piuma, i tempi impiegati o le velocità non sono le stesse, ma sarebbe bastato eseguire l'esperienza con due sassi di peso molto diverso per constatare che i tempi impiegati sono pressoché gli stessi, ben diversi dal rapporto dei pesi.

Quindi qual è la spiegazione? Quella più probabile appare essere un'osservazione limitata seguita da un'estrapolazione indebita.

Oggi, riguardo a questo fenomeno, ci si esprime così: tutti i gravi, indipendentemente dal loro peso, cadono con la stessa velocità, quando si possa trascurare la resistenza dell'aria. Se l'esperienza viene eseguita con un sasso e una piuma, le velocità saranno evidentemente diverse, perché l'aria si oppone alla caduta della piuma in misura assai maggiore di quanto non lo faccia con la pietra.

Nei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, Sagredo, da buon sperimentatore, risponde così a Simplicio:

«Ma io, Sig. Simplicio, che n'ho fatto la prova, vi assicuro che una palla d'artiglieria, che pesi cento, dugento e anco più libbre, non anticiperà d'un palmo solamente l'arrivo in terra della palla di un moschetto, che ne pesi mezza, venendo anco dall'altezza di dugento braccia»<sup>9</sup>.

Galileo, come si desume dalle parole di Sagredo, pare che l'esperienza l'abbia fatta veramente e in un contesto più significativo.

Ma la cosa curiosa è questa: l'affermazione aristotelica, esperienza a parte, è contraddittoria, come viene mostrato nel seguito dei *Discorsi*, che per comodità sintetizziamo.

Consideriamo due corpi di peso differente che, per quanto affermato, cadono con velocità differenti. Se li leghiamo assieme e li lasciamo cadere, accade che il più veloce viene rallentato e il più lento viene accelerato. La velocità di caduta dell'insieme sarà dunque intermedia a quelle che i due corpi avrebbero se non fossero legati. Ma i due corpi legati costituiscono un corpo di peso maggiore sia del primo sia del secondo quindi, in forza dell'assunto, dovrebbero cadere con velocità superiore a quella del più veloce dei due. Siamo in piena contraddizione.

Afferma, in un interessante articolo, Silvio Bergia: «E' singolare che sia per questa via che il padre riconosciuto del metodo sperimentale disintegri, alla lettera, la concezione scolastica del moto dei gravi»<sup>10</sup>.

---

<sup>5</sup> GALILEO GALILEI, *Dialoghi sopra i due massimi sistemi*, edizione elettronica Manuzio di Liber Liber, anno 2000, p. 31 (<http://www.liberliber.it/>).

<sup>6</sup> RUGGERO BACONE, *La scienza sperimentale*, Rusconi Editore, 1990, p. 132.

<sup>7</sup> ARISTOTELE, *De caelo*, I, 6, 273b 30 – 274a 2 (edizione a cura di D. J. Allan, Oxford 1936). Traduzione di T. L. HEATH, *Mathematics in Aristotle*, Oxford 1949, pp. 165-166.

<sup>8</sup> *Ibid.*, IV, 8, 216° 11-16. Traduzione di HEATH, *Mathematics in Aristotle*, p. 119.

<sup>9</sup> GALILEO GALILEI, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, edizione elettronica Manuzio di Liber Liber, anno 1998, p. 26 (<http://www.liberliber.it/>).

Per chiarire ancora meglio il rapporto dei filosofi della natura con l'esperienza, si consideri, nel passo che segue, cosa dice Buridano:

alcuni dicono che la freccia lanciata dall'arco sarebbe più perforante dopo venti piedi di tragitto che dopo due, perciò dopo l'espulsione dall'arco la massima velocità non sarebbe ancora all'inizio. Io non ho sperimentato questo dato, perciò non so se sia vero, alcuni dicono che quello slancio (*impetus?*) non viene generato subito col moto, ma in modo continuo come conseguenza del moto. Perciò non è prodotto in modo compiuto all'espulsione dall'arco, ma si completa dopo qualche tempo come dal riscaldamento seguono la rarefazione e l'evaporazione, ma non subito in modo perfetto. Anzi, cessando il riscaldamento, per esempio, se si toglie l'acqua dal fuoco, ancora per qualche tempo si vedono proseguire la rarefazione e l'evaporazione.<sup>11</sup>

Nonostante la semplicità dell'esperimento, Buridano non si preoccupa di verificarla ma riporta un'osservazione fatta da altri, gli è sufficiente una spiegazione per analogia a un fenomeno, secondo lui, simile.

Sarebbero per lui di monito le parole di Plauto: «Qui audiunt audita dicunt, qui vident plane sciunt (Quelli che ascoltano dicono le cose ascoltate, quelli che vedono conoscono con chiarezza)».

Il tentativo di mettere in luce il rapporto della Fisica pregalileiana con l'esperienza conduce a rilevare da una parte la convinzione dichiarata degli antichi dell'importanza dell'esperienza, dall'altra una modesta capacità sperimentale che si risolveva soprattutto nell'osservazione dei fenomeni. I termini osservazione ed esperienza, che nella moderna metodologia scientifica vengono sempre associati, quasi fusi, nella Fisica pregalileiana devono essere tenuti rigorosamente separati.

Se l'osservazione può essere ascritta agli antichi, l'esperienza, intesa come progettualità e controllo, non è certamente loro propria.

L'analisi del problema però non termina qui. C'è da chiedersi perché accanto alla convinta necessità di guardare alla natura non si sono affiancati progettualità e controllo?

### **Le definizioni operative**

A noi sembra che la difficoltà di progettare esperienze e controllare ipotesi non derivi tanto dalle ridotte capacità sperimentali ma dall'incertezza o dall'arbitrarietà delle definizioni delle grandezze fisiche in gioco.

Nel *De caelo* di Aristotele si legge: «se una certa forza muove [un corpo], un corpo minore e più leggero sarà mosso per una distanza maggiore [nello stesso tempo] dalla stessa forza»<sup>12</sup> e «la velocità che avrà il corpo minore starà a quella del maggiore come il corpo maggiore sta al minore»<sup>13</sup>.

Osserva opportunamente Clagett: «Benché queste varie formulazioni rappresentino gli inizi di una dinamica quantificata, è evidente che non implicano precise asserzioni metriche, particolarmente per quanto concerne la misura delle forze»<sup>14</sup>.

A proposito della legge del moto di Bradwardine del 1300, che tanta risonanza ebbe, ancora Clagett scrive: «E' chiaro che la formula di Bradwardine non fu sottoposta ad alcuna verifica sperimentale cruciale, e che le prove empiriche addotte in suo favore non erano affatto decisive»<sup>15</sup>.

Sembra che la forza manchi di una determinazione quantitativa fino a tutto il Medioevo; anche il termine velocità segue all'incirca la stessa sorte.

Si capisce allora come, anche quando vengono ipotizzate precise relazioni matematiche, risulti difficile verificarne la correttezza.

---

<sup>10</sup> SILVIO BERGIA, *La nascita della fisica moderna da Galileo a Newton*, in *La fisica nella scuola*, Quaderno 14, anno XXXV n.4 supplemento ottobre-dicembre 2002.

<sup>11</sup> BURIDANO, *Il Cielo e il Mondo* commento al trattato *Del Cielo* di Aristotele, Rusconi 1983, p. 332.

<sup>12</sup> ARISTOTELE, *De caelo*, III, 2, 301b 4-5, 11-13 (edizione a cura di D. J. Allan, Oxford 1936). Traduzione di T. L. HEATH, *Mathematics in Aristotle*, Oxford 1949, pp. 143-144.

<sup>13</sup> *Ibid.*

<sup>14</sup> MARSHALL CLAGETT, *La scienza della meccanica nel medioevo*, Feltrinelli, Milano, 1972, p. 453.

<sup>15</sup> *Ibid.*, pp. 464, 465.

L'influenza della Filosofia è evidente: si definisce la grandezza fisica in senso ontologico, ci si preoccupa cioè di dire ciò che essa è. Solo in un secondo momento si tenta di affiancare a questa definizione di grandezza fisica la procedura per misurarla.

Così facendo, però, si presentano seri problemi epistemologici:

- definire ciò che una grandezza è (cosa tutt'altro che facile, si pensi di dover definire il tempo, lo spazio, ecc.);
- essere sicuri che ciò che si è misurato (processo operativo), secondo le regole stabilite, corrisponda effettivamente a ciò che è stato definito (in senso ontologico).

Il problema in modo radicale è stato risolto solo in tempi relativamente recenti, dopo che l'ambiguità del processo di definizione o, per dirla in altri termini, la tacita ammissione di ciò che sembrava ovvio aveva generato crisi mai vissute prima nella storia della Scienza.

La soluzione del problema è stata semplice e geniale: si definiscono le grandezze primitive unicamente mediante il loro processo di misura. Svuotate dunque da ogni pretesa ontologica, la loro essenza è la loro stessa misura.

Oggi, in ambito scientifico, a domande del tipo: Che cos'è il tempo? Che cos'è lo spazio? ecc. si risponde così: Il tempo è quella grandezza che ottiene eseguendo le seguenti operazioni ..... Lo spazio è quella grandezza che ottiene eseguendo le seguenti operazioni ..... ecc.

Ciò consente di rimuovere ogni ambiguità e soggettivismo dovuti a tacite e apparentemente ovvie ammissioni.

Si pensi solo alla concezione assoluta del tempo e dello spazio, tanto scontata quanto sbagliata, che solo la critica einsteiniana ha avuto il coraggio e la capacità di rimuovere.

Questo importante risultato epistemologico, acquisito definitivamente nel XX secolo, ha dissipato molte inquietudini in coloro che hanno a cuore i fondamenti della Scienza.

### La teoria globale

Ma c'è un'altra difficoltà indotta dal condizionamento da parte della Filosofia sulla Scienza.

Il fatto che i fenomeni del moto nell'antichità e nel Medioevo trovassero il fondamento nella metafisica ha causato un notevole intralcio allo sviluppo della Meccanica: la necessità di cercare una spiegazione di tutti i fenomeni, una teoria globale di cui il moto costituiva solo una parte. Aristotele, in particolare, insegnava che il moto non è altro che uno dei processi di cambiamento mediante i quali si realizza il passaggio dalla potenza all'atto.

Come dice Enrico Bellone, Galileo opererà «una scelta certamente modesta, se confrontata con le pretese esplicative difese da coloro i quali cercavano invece una spiegazione unica per l'invecchiamento degli uomini, i fenomeni meteorologici, la crescita dei fiori e la caduta delle pietre»<sup>16</sup> ma decisiva, estrarre «dal mare dei cambiamenti, una porzione ristretta di eventi che aveva a che fare solamente con i moti locali, passibili di sperimentazione»<sup>17</sup>.

Dunque una scelta modesta ma un programma realizzabile.

La studiosa tedesca Annelise Maier, a proposito della differenza tra la Scienza medioevale e quella moderna, si esprime così:

Forse non c'è mai stata, né prima né dopo, un'epoca che abbia professato un ideale quantitativo con la stessa convinzione della Scolastica. *Omnia in mensura et numero et pondere disposuisti*: con queste parole del libro della *Sapienza*, citate infinite volte, viene infatti data una legittimazione allo sviluppo sempre maggiore di quelle ricerche dette *calculations*. Si era profondamente convinti che nel mondo non solo tutto fosse misurabile ma avesse anche una misura.<sup>18</sup>

Poi aggiunge:

quest'ultima [la fisica moderna] persegue una considerazione esclusivamente quantitativa della natura, astraendo sistematicamente da ogni altra prospettiva, mentre la Scolastica si

<sup>16</sup> ENRICO BELLONE, *Spazio e tempo nella nuova scienza*, La Nuova Italia Scientifica 1994, p. 34.

<sup>17</sup> *Ibid.*, p. 34.

<sup>18</sup> ANNELISE MAIER, *Scienza e Filosofia nel Medioevo. Saggi sui secoli XIII e XIV*, Jaca Book 1984, p. 6.

pone come fine in primo luogo una spiegazione metafisico-ontologica e solo nell'ambito di questa anche una comprensione quantitativa dei fenomeni.<sup>19</sup>

### **Frustra fit per plura quod fieri potest per pauciora**

Accanto a posizioni che, nell'antichità e nel Medioevo, hanno costituito intralcio allo sviluppo della Scienza si evidenziano punti concettuali che conservano intatto il loro valore epistemologico.

E' doveroso ricordare uno di questi punti, quello espresso dalla frase citata da Francesco: «frustra fit per plura quod fieri potest per pauciora (invano si fa col più ciò che si può fare col meno)»<sup>20</sup>, già discussa in un precedente intervento<sup>21</sup>. Qui aggiungeremo solo alcune riflessioni.

Francesco la cita quando tratta il moto violento mostrando che la sua spiegazione oltre al resto (salvare le apparenze) riduce il numero delle ammissioni da fare. E' il principio di economia concettuale la cui portata è del tutto generale.

Esso è confermato, tra gli altri, da Ockham: «non sunt multiplicanda entia sine necessitate»; da Buridano: «Potremmo pertanto dire che è meglio salvare le apparenze ricorrendo a poche cose, piuttosto che ricorrendo a più cose, se ciò può essere fatto con gli stessi risultati: infatti si fa inutilmente con più cose ciò che può essere fatto con meno cose»<sup>22</sup>; da Keplero che scrive: «L'assioma più largamente accettato nelle scienze naturali è quello secondo il quale la Natura fa uso del minor numero possibili di mezzi»<sup>23</sup>; da Newton: «Delle cose naturali non devono essere ammesse cause più numerose di quelle che sono vere e bastano a spiegare i fenomeni»<sup>24</sup>.

Aggiungiamo infine le parole di Galileo: «un verissimo assioma d'Aristotile che c'insegna che *frustra fit per plura quod potest fieri per pauciora*»<sup>25</sup>.

Oggi la formulazione di questo principio si può esprimere così: l'assetto logico da preferire di una teoria è quello che si basa sul minimo numero di assiomi. Infatti se il primo requisito di una teoria fisica è quello di interpretare la realtà, il secondo è, senza dubbio, quello di fare uso del minor numero possibile di leggi di provenienza sperimentale, gli assiomi appunto, conformemente all'idea di ridurre il complesso al semplice. Da questi, poi, ogni altra legge sarà deducibile unicamente per via logica e pertanto avrà la qualifica di teorema.

Questo atteggiamento dei filosofi della Natura, di unificare il complesso, non meraviglia, anzi risulta pienamente giustificato dal fatto che la Scienza veniva inquadrata nel più vasto discorso filosofico che prevedeva, per programma, di ricondurre tutta la realtà alle cause prime.

### **Principium motus, vis derelicta, impetus**

<sup>19</sup> *Ibid.*

<sup>20</sup> «Pare tuttavia preferibile collocare siffatta virtù nel corpo mosso piuttosto che nel mezzo, quale che sia in proposito l'opinione del Filosofo e del Commentatore. Sia perché invano si fa col più ciò che si può fare col meno (frustra fit per plura quod fieri potest per pauciora): e invero non si vede alcuna necessità di porre qualcosa di diverso dal corpo mosso ovvero dalla virtù in esso accolta e dal motore originario come causa effettiva del moto, e quindi neppure il mezzo. Sia, in secondo luogo, perché in tal modo si salvano meglio tutte le apparenze». Traduzione in MARSHALL CLAGETT, *La scienza meccanica nel medioevo*, Feltrinelli, 1972, p.556.

«Sic in proposito: huiusmodi uirtus permanent ad tempus aliquod secundum propocionem uirtutis a qua derelicta est. Melius tamen uidetur quod huiusmodi uirtus sit in corpore moto quam in medio, quidquid de hoc dixerit philosophus et Commentator, tum quia frusta fit per plura quod potest fieri per pauciora; nunc autem nulla apparent necessitas ponere aliquid, aliud a corpore moto siue uirtute in eo recepta et a principali mouente, esse causam effectium motus, ergo nec medium, tum, 2°, quia, hoc posito, melius et facilius saluantur omnia apparencia et concessa communiter de usto motu quam ponendo uirtutem huiusmodi esse in medio». I *questio* dal libro IV del *Commentarius in librum Sententiarum*, in *Sententia et compilatio* 253-263, p. 74 di NAZZARENO MARIANI, *Spicilegium Bonaventurianum*.

<sup>21</sup> DOMENICO PRIORI, *Atti del I Convegno Internazionale su Francesco d'Appignano*, Edizione Centro Studi Francesco d'Appignano - Appignano del Tronto.

<sup>22</sup> BURIDANO, *Il Cielo e il Mondo* commento al trattato *Del Cielo* di Aristotele, Rusconi 1983, p. 383.

<sup>23</sup> In *Astronomia nova* stampato a Praga nel 1609 Giovanni.

<sup>24</sup> ISAAC NEWTON, *Philosophie naturalis principia mathematica*, libro terzo, pubblicato a Londra nel 1687.

<sup>25</sup> GALILEO GALILEI, *Dialoghi sopra i due massimi sistemi*, edizione elettronica Manuzio di Liber Liber, anno 2000, p. 67.

Una posizione di particolare rilievo, nelle riflessioni che intendiamo svolgere, ci sembra che debba occupare la nota frase di Aristotele: «Omne quod movetur, necesse est ab aliquo moveri. Si quidem igitur in seipso non habet principium motus, manifestum est quod ab altero movetur, aliud enim erit movens»<sup>26</sup>.

Essa, con la sua enorme influenza, è sicuramente la ragione principale della gestazione tanto lunga del Primo Principio della Dinamica.

In essa il Filosofo stabilisce la necessità e l'evidenza di una causa che determina il moto non solo al suo inizio ma in ogni istante della sua esistenza. Questa necessità ed evidenza non si sono mostrate le indicazioni migliori per sviluppare lo studio del moto. E' vero che ci sono situazioni che suggeriscono questa affermazione ma è altrettanto vero che già egli stesso si trovò nella difficile condizione di giustificare il moto dei proiettili, ad esempio quello di un sasso lanciato dalla mano dall'istante in cui cessa il contatto tra questi.

Francesco, sempre fedele al principio che il moto deve avere una causa non solo per iniziare ma anche per continuare, ipotizzò che il motore abbandonasse nel corpo

una tale virtù che determina la continuazione del moto una volta che sia stato avviato dev'esser posta necessariamente o nel mezzo o, cosa verso cui propendo maggiormente, nel corpo mosso. Bisogna sapere in proposito che la virtù che muove un grave verso l'alto è duplice: una è quella che comincia il moto, ovvero determina un grave a un certo moto, e questa virtù è la virtù della mano; l'altra virtù è quella che prosegue e continua il moto cominciato, ed è causata o abbandonata (*derelicta*) mediante il moto dalla prima. Se, infatti, non si pone una virtù altra dalla prima è impossibile addurre una causa per il moto che segue.... E questa virtù, in qualsiasi soggetto venga posta, continua e prosegue il moto secondo la proporzione e il modo con cui fu determinato dalla prima, e questa è una virtù neutra, senza contrario, proseguendo il moto secondo ogni differenza di posizione. E se qualcuno chiedesse di che tipo sia questa virtù, si potrebbe rispondere che non è né semplicemente permanente, né semplicemente fluente, ma quasi intermedia, permanendo per qualche tempo, come il calore generato nell'acqua dal fuoco, che non ha un essere semplicemente permanente come nel fuoco, né semplicemente fluente, come l'azione del riscaldarsi, ma ha un essere permanente a tempo determinato.<sup>27</sup>

Francesco non rinuncia completamente all'idea aristotelica; la *vis derelicta* è anche nel mezzo:

...quando un sasso o qualche grave o anche qualche corpo leggero si muovono nel mezzo, concorrono ivi due moti, ossia il moto del sasso stesso, che deriva immediatamente dalla virtù abbandonata nel sasso, e anche il moto dell'aria, che contribuisce anch'esso, sia pure in modo non immediato, al moto del sasso; infatti, sia l'aria mossa sia tale virtù del sasso, causata in esso dal proiciente, trasportano il sasso ...<sup>28</sup>

---

<sup>26</sup> ARISTOTELE, *Fisica*, VII, 1, 241b 34-36 (edizione a cura di W. D. Ross, Oxford 1936; linee 24-26 nelle edizioni precedenti).

<sup>27</sup> «Set quid sit de subiecyo istius uirtutis, saltem necessario, huiusmodi uirtus motum inchoatum continuans, est ponenda uel in medio uel, quod magis credo, in corpore moto. Vnde est sciendum quod est duplex uirtus mouens aliquod graue sursum: quedam motum inchoans, siue graue ad motum aliquem determinans, et ista uirtus est uirtus manus; alia uirtus est motum exequens inchoatum et ipsum continuans, et ista est causata siue derelicta per motum a pria. Nisi enim ponatur aliqua alia uirtus a prima, impossibile est dare causam motus sequentis, ut superius est deductum; et ista uirtus in quocunque subiecto ponatur, continuat, exequitur motum in proportione et modo quo determinata est a prima, et ista est uirtus neutra, non habens contrarium cum exequatur motum secundum omnem differentiam positionis. Et si queras qualis sit huiusmodi uirtus, potest dici quod nec est forma simpliciter permanens, nec simpliciter fluens, set quasi media, quia per aliquod tempus permanens, sicut caliditas ab igne genita in aqua, non habet esse permanens simpliciter sicut in igne, nec simpliciter fluens ut calefactio ipsa, set habet esse permanens ad determinatum tempus». I *questio* dal libro IV del *Commentarius in librum Sententiarum*, in *Sententia et compilatio* 232-251, pp.72-73 di NAZZARENO MARIANI *Spicilegium Bonaventurianum*, XXX.

<sup>28</sup> «Ex quo sequitur quod, quando lapis uel aliquod graue mouetur in medio, siue etiam leue, quod concurrunt ibi duo motus, uidelicet motus ipsius lapidis, qui est immediate a uirtute derelicta in lapide et etiam motus aeris qui etiam facit, licet non immediate, ad motum lapidis; tam enim aer motus quam uirtus lapidis causata in ipso ab inpellente, deferunt

Ora si può tentare di stabilire i punti di vicinanza delle teorie richiamate con la Meccanica classica. La legge fondamentale della Dinamica classica (II Principio della Dinamica), nella sua forma più comune, si scrive:

$$\vec{F} = m\vec{a},$$

dove  $\vec{F}$  è la forza agente su un corpo,  $m$  la massa del corpo e  $\vec{a}$  l'accelerazione di questo. Tale legge, tenendo conto della definizione di accelerazione, può essere scritta nel modo seguente

$$\int_{t_i}^{t_f} \vec{F} dt = \vec{q}_f - \vec{q}_i,$$

dove  $t_i$  e  $t_f$  sono rispettivamente l'istante iniziale e l'istante finale dell'intervallo di tempo durante il quale agisce la forza e  $\vec{q}_i$  e  $\vec{q}_f$  sono rispettivamente la quantità di moto iniziale e finale del corpo.

Tenendo conto che la quantità di moto è il prodotto della massa per la velocità, si osserva che nel secondo membro figurano esclusivamente grandezze che dipendono dagli stati iniziale e finale del corpo (la velocità iniziale  $\vec{v}_i$  e quella finale  $\vec{v}_f$ ) e da una caratteristica di questo (la massa  $m$ ).

Nel primo membro, invece, figura l'impulso  $\int_{t_i}^{t_f} \vec{F} dt$ , una grandezza che tiene conto, istante per istante, dell'azione che è stata svolta durante l'intervallo sul corpo per cambiarne la velocità.

A parole l'ultima equazione si esprime così:

*la variazione della quantità di moto di un corpo relativamente a un intervallo di tempo è uguale all'impulso della forza durante lo stesso intervallo.*

Questa forma del II Principio della Dinamica si presta meglio al nostro scopo cioè al tentativo di rilevare analogie tra alcune teorie sul moto, sviluppate nel secolo XIV da studiosi che hanno preso una certa distanza da Aristotele, e la Meccanica classica.

Il problema più importante era quello di spiegare la continuazione del moto violento dopo che era cessata la spinta che lo aveva originato.

Secondo Francesco d'Appignano la *virtù della mano* pone in movimento il corpo, un'altra *virtù*, abbandonata nel corpo dalla prima (*vis derelicta*), è la causa della continuazione del moto.

E' naturale interpretare la virtù della mano come l'impulso della forza agente sul corpo e la *vis derelicta* come la variazione della quantità di moto (o, se il corpo è inizialmente fermo, la quantità di moto stessa) che uguaglia, per quanto visto prima, l'impulso. Tale uguaglianza, assente nelle considerazioni di Francesco, rafforzerebbe l'idea della virtù abbandonata che appare, nella stessa misura, quando la virtù della mano scompare.

Rimane comunque una differenza sostanziale: la *vis derelicta*, conseguenza dell'azione del motore, è la causa del moto, una volta che sia cessata l'azione del motore, mentre la quantità di moto, anch'essa conseguenza dell'azione del motore, non è la causa del moto dal momento che questo, se rettilineo e uniforme, non ha bisogno di alcuna causa.

Buridano, con la teoria dell'*impetus*, propose sostanzialmente la stessa soluzione con l'importante variante che l'*impetus*, a differenza della *vis derelicta*, non era destinato a corrompersi per il solo trascorrere del tempo.

Siccome queste ed altre apparenze non si spiegano in base a quell'opinione, io preferisco ritenere che il motore imprime nel mosso non solo il moto, ma in genere anche uno slancio (*impetus*), o una forza, o una qualità — non importa come la si voglia chiamare —, e questo slancio ha la forza di muovere ciò in cui viene impresso... E quanto più veloce è il moto, tanto più intenso diventa anche quello slancio; e quello slancio nel proiettile o nella freccia diminuisce continuamente per opera di una resistenza contraria, sino a quando non può più muovere.<sup>29</sup>

---

lapidem». I *questio* dal libro IV del *Commentarius in librum Sententiarum*, in *Sententia et compilatio* 307-312, p.74 di NAZZARENO MARIANI *Spicilegium Bonaventurianum*, XXX.

<sup>29</sup> BURIDANO, *Il Cielo e il Mondo* commento al trattato *Del Cielo* di Aristotele, Rusconi 1983. p. 420.



Nella teoria di Buridano l'interpretazione discussa acquista ancora più forza perché l'*impetus* viene posto dall'autore stesso in relazione sia con la velocità impartita al corpo sia con quantità di materia di questo. E' evidente il collegamento con la quantità di moto anche se manca la definizione matematica. In aggiunta l'*impetus* è incorruttibile e ciò può essere visto come un'anticipazione del Principio d'inerzia (I Principio della Dinamica).

In conclusione, pur ravvisandosi delle analogie abbastanza significative con la Meccanica classica, si deve riconoscere che la prospettiva è ancora completamente diversa. L'ostacolo maggiore è rappresentato dalla necessità di dover ammettere una causa tutte le volte che si è in presenza di un moto.

Come è stato osservato non ha molto senso voler cercare ad ogni costo, nei personaggi oggetto dei nostri studi, anticipazioni di sviluppi successivi allo scopo di accreditare loro ulteriori meriti; è di gran lunga più interessante rendersi conto degli schemi interpretativi e delle metodologie dell'epoca e degli errori storici dai quali è stato particolarmente faticoso liberarsi.

Il Primo Principio della Dinamica (Principio d'Inerzia)

A proposito del Primo Principio della Dinamica, spostandoci indietro di parecchi secoli, poniamo attenzione alla citazione che segue.

Ma nel vuoto non esiste nulla di questo genere, e nulla può essere spostato, a meno che non lo sia mediante un veicolo. Inoltre, non si potrebbe dire per quale motivo un corpo, una volta mosso, si fermerà da qualche parte. Perché in effetti qui piuttosto che là? Sicché, o sarà in riposo, oppure necessariamente deve essere mosso all'infinito, a meno che esso non sia fermato da qualcosa di più potente.<sup>30</sup>

Queste parole indicano chiaramente che, se esistesse il vuoto, un corpo o sarà in riposo oppure necessariamente deve essere mosso all'infinito, a meno che esso non sia fermato da qualcosa di più potente.

E' il Principio di Inerzia enunciato da Aristotele. Sì, proprio Aristotele. Espresso meno chiaramente, troviamo questo principio nelle pagine di Galileo.

Perché avendo noi inteso come, se tale piano inclinasse solamente quanto è un capello, la detta palla vi si moverebbe spontaneamente verso la parte declive, e, per l'opposto, avrebbe resistenza, né si potria muovere senza qualche violenza, verso la parte acclive o ascendente; resta per necessità cosa chiara, che nella superficie esattamente equilibrata detta palla resti come indifferente e dubbia tra il moto e la quiete, si che ogni minima forza sia bastante a muoverla, siccome, all'incontro, ogni pochissima resistenza, e quale è quella sola dell'aria che la circonda, potente a tenerla ferma<sup>31</sup>.

Con la stessa chiarezza si esprime Descartes (1596-1650):

---

<sup>30</sup> ARISTOTELE, *Fisica*, IV, 8 214a, Rusconi Editore a cura di Luigi Ruggiu.

<sup>31</sup> GALILEO GALILEI, *Le meccaniche*, edizione elettronica Manuzio di Liber Liber, anno 1998, p. 17 (<http://www.liberliber.it/>).

Cfr. GALILEO GALILEI, *Dialoghi sui massimi sistemi*, p.189-190:

«SAL. Hora ditemi quel che accaderebbe del medesimo mobile sopra una superficie che non fusse né acclive né declive.

SIMP. Qui bisogna ch'io pensi un poco alla risposta. Non vi essendo declività, non vi può essere inclinazione naturale al moto, e non vi essendo acclività, non vi può esser resistenza all'esser mosso, talché verrebbe ad essere indifferente tra la propensione e la resistenza al moto: parmi dunque che e' dovrebbe restarvi naturalmente fermo. (...)

SALV. Così credo, quando altri ve lo posasse fermo; ma se gli fusse dato impeto verso qualche parte, che seguirebbe?

SIMP. Seguirebbe il muoversi verso quella parte.

SALV. Ma di che sorte di movimento? di continuamente accelerato, come ne' piani declivi, o di successivamente ritardato, come negli acclivi?

SIMP. Io non ci so scorgere causa di accelerazione né di ritardamento, non vi essendo né declività né acclività.

SALV. Sì. Ma se non vi fusse causa di ritardamento, molto meno vi dovrebbe esser di quiete: quanto dunque vorreste voi che il mobile durasse a muoversi?

SIMP. Tanto quanto durasse la lunghezza di quella superficie né erta né china.

SALV. Adunque se tale spazio fusse interminato, il moto in esso sarebbe parimente senza termine, cioè perpetuo?

SIMP. Parmi di sì, quando il mobile fusse di materia da durare».

La prima legge della natura: ogni cosa per quanto è in sé, rimane sempre nello stesso stato; sicché una cosa mossa, una volta mossa, continua sempre a muoversi<sup>32</sup>

e poi, poco dopo, chiarisce:

Se è in quiete, non pensiamo che inizierà mai a muoversi, a meno che non sia spinta a farlo per qualche causa. Se poi è in moto, non v'è nessuna più forte ragione che ci porti a pensare che interromperà mai spontaneamente, senz'essere impedita da alcun'altra cosa, quel suo moto.<sup>33</sup>

Newton, infine, gli dà la forma a noi nota:

Ciascun corpo persevera nel proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, eccetto che sia costretto a mutare quello stato da forze impresse.<sup>34</sup>

Chiariamo bene. Aristotele non accetta questa conclusione perché parte dal rifiuto del vuoto, cioè lui dice che se ci fosse il vuoto allora sarebbe vero questo principio, ma il vuoto non esiste, perciò questo principio non è necessariamente valido.

Però il vuoto esiste ed è vero, come diceva Aristotele, che una sasso o sarà in riposo, oppure necessariamente deve essere mosso all'infinito.<sup>35</sup>

Infine citiamo Francesco d'Appignano quando applica la *vis derelicta* ai moti celesti:

...quando l'intelligenza cessasse di muovere il cielo, questo continuerebbe ancora per qualche tempo a muoversi ovvero a ruotare grazie a tale virtù che prosegue e continua il moto circolare, come risulta chiaro nel tornio del vasaio, che continua a girare per qualche tempo dopo che il primo movente ha cessato di muoverlo.<sup>36</sup>

Newton illustra Principio di Inerzia con tre esempi: il moto del proiettile, il moto delle trottole e il moto di rotazione sull'asse dei pianeti<sup>37</sup>.

Il primo esempio è un classico, il secondo e il terzo sono simili a quelli di Francesco: il movimento dei cieli e il tornio del vasaio.

Gli esempi sono corretti in quanto i corpi rigidi, nelle condizioni dette, conservano la velocità di rotazione ma sono citati fuori luogo. Cioè Newton sceglie degli stessi esempi di Francesco d'Appignano (dopo più di tre secoli e mezzo), che non hanno a che fare con la legge d'inerzia ma con la conservazione del momento angolare.

### **Fisica intuitiva**

Lo studio delle teorie prenewtoniane del moto conduce ad una riflessione interessante ma, tutto sommato, abbastanza ovvia: le idee in esse contenute sono, in gran parte, molto vicine a quelle possedute da chi non ha ricevuto una specifica istruzione in Fisica.

Evidenziamone alcune.

1. Un corpo si muove perché c'è una forza che lo spinge, se questa cessa il corpo si ferma.
2. Una forza è esercitata attraverso un contatto fisico.
3. Se un oggetto, che si muove parallelamente al suolo, viene lasciato cadere, cade lungo una traiettoria rettilinea perpendicolare al suolo.
4. La traiettoria di un corpo lanciato è dello stesso tipo di quella posseduta prima del lancio, cioè se un sasso viene spinto lungo una retta, cessata la spinta, continuerà il moto lungo quella

---

<sup>32</sup> RENÉ DESCARTES, *Opere filosofiche*, vol. II, UTET, Torino, p. 125-126.

<sup>33</sup> *Ibid.*

<sup>34</sup> ISAAC NEWTON: «Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare». *Philosophie Naturalis Principia Mathematica*, London, 1687, p. 12.

<sup>35</sup> ARISTOTELE, *Fisica*, IV, 8 214a, Rusconi Editore a cura di Luigi Ruggiu.

<sup>36</sup> «Ex hoc sequitur ulterius quod intelligentia cessante movere caelum quod adhuc caelum movetur sive revolveretur ad tempus per huiusmodi virtutem circularem motum exequentem et continuatam, sicut patet de rota figuli, quae revolvitur ad tempus cessante primo motore movere». I *questio* dal libro IV del *Commentarius in librum Sententiarum* in *La scienza della meccanica nel medioevo* di MARSHALL CLAGETT, Feltrinelli. Milano, 1972.

<sup>37</sup> NICCOLÒ GUICCIARDINI, *Newton, i Grandi della Scienza*. Le Scienze, anno 1, n.2, aprile 1998.

retta, se viene fatto roteare legato ad uno spago, lasciato lo spago, continuerà a muoversi ancora per un po' lungo una traiettoria curvilinea.

5. La velocità di caduta di un corpo dipende dal suo peso.

6. Un corpo lanciato verso l'alto rallenta, si ferma e poi cade perché la forza impressagli diminuisce e quindi ad un certo punto prevale la forza di gravità.

Ciò, tuttavia, non deve meravigliare più di tanto se si ammette che la fatica dell'umanità, nel percorrere la strada della conoscenza riflette, in qualche modo, la fatica che ogni individuo fa nel conquistare le proprie personali conoscenze.

Meraviglia, invece, un po' di più il fatto che talvolta alcune di queste idee sopravvivano anche dopo aver portato a termine un corso di Fisica di scuola superiore o addirittura universitario.

Non raramente accade che i concetti preesistenti, acquisiti dall'esperienza diretta e ben radicati, non vengono saldati con i nuovi ma convivono con questi, che sono utilizzati solo per scopi scolastici. Ciò significa che non viene svolto quel processo, ben teorizzato da Piaget, consistente nell'inserire, in modo logicamente coerente, i nuovi concetti nella rete concettuale esistente, apportando in questa faticose modifiche di accomodamento.

Ogni docente sa che la mente dell'allievo non è una *tabula rasa* ma in essa esistono strutture già formate anche se rudimentali ed erronee, anche nel caso in cui si insegna una nuova disciplina. Se si vuole che il nuovo si raccordi con il vecchio in modo coerente, è indispensabile che esse vengano preliminarmente individuate e rimosse.

Dopo circa quattro secoli, i principi della Meccanica classica e le loro conseguenze non solo non sono ancora abito mentale di tutti, ma sono estranei a una fascia di persone di cultura media o medio alta.

C'è da chiedersi quanto tempo dovrà ancora trascorrere perché, ad esempio, la Relatività, con il suo enorme apporto concettuale e culturale, venga acquisita dal senso comune, se si tiene conto che questa teoria si accinge a celebrare il suo primo secolo di vita.

Conclusione

Vale forse la pena, in conclusione, ricapitolare i punti più significativi emersi dalla discussione.

- L'importanza della dimensione storica anche in uno studio puramente scientifico.
- La debolezza della tesi di chi afferma che la Scienza del Medioevo è solo commento all'opera di Aristotele.
- La convinzione diffusa, nei filosofi della natura, dell'importanza dell'esperienza, posizione apparentemente antitetica con la nascita del metodo sperimentale.
- Il condizionamento dovuto alle definizioni ontologiche delle grandezze fisiche.
- L'intento, eccessivamente ambizioso, di voler spiegare tutti i fenomeni anche i più disparati.
- Il riconoscimento dell'importanza del principio di economia concettuale, posizione del resto familiare alla mentalità di estrazione filosofica.
- La sofferta genesi del Principio d'Inerzia, generata da un malinteso principio di causalità.
- La somiglianza, alquanto ovvia, della Fisica pregalileiana alla Fisica intuitiva e la constatazione, meno ovvia e un po' disincantata, che a dominare nel bagaglio culturale di un'ampia categoria di persone sarà sempre questa Fisica.

Volendo infine, per amore di sintesi, individuare ciò che più accomuna i punti elencati, si può dire senza incertezza che, a giocare a sfavore della nascita della Scienza moderna, è stato il legame della Scienza antica con la Filosofia, legame bene espresso dalla locuzione Filosofia della Natura.

Consumato il divorzio con la Filosofia e conquistata la propria autonomia, la Scienza moderna ha sbrigliato nuove forze, quelle che, nel volgere di pochi secoli, hanno condotto a concezioni totalmente nuove sia nell'ambito propriamente fisico sia in quello epistemologico ad esso necessariamente collegato.

Nel primo ambito, quello più propriamente fisico, gli assiomi più radicati nel senso comune, da sempre tacitamente assunti, sono stati sostituiti da altri ben più lontani dall'immediatezza dell'osservazione.

Nel secondo ambito, quello più propriamente epistemologico, la Scienza non si presenta più come un sistema di proposizioni vere ma come un sistema di proposizioni ipotetiche, provvisorie, modificabili. Per dirla in altri termini la Scienza è passata da *epistème* a *dòxa*. Questo limite, ritenuto invalicabile, richiede una revisione del concetto stesso di conoscenza.

Come per ironia della sorte, si assiste a una sorta di inversione dei ruoli, la Filosofia non appare più come la disciplina fondante ogni altra branca del sapere, ma come quella che deve tener conto dei nuovi paradigmi conoscitivi proposti o imposti dalla Scienza.

Desideriamo ringraziare, per il materiale che ci hanno fornito, i professori: Russel L. Friedman, Christopher Schabel, Notcker Schneider e Fabio Zanin.