

## LA MECCANICA DI LEIBNIZ RICOTRUITA COME COERENTE ALTERNATIVA ALLA MECCANICA DI NEWTON

### 1.Introduzione

E' rimasto a lungo un grande problema il precisare quale sia la portata del pensiero di Leibniz (=L.) (1646-1716) sul tema della dinamica. Il problema è cruciale per chiarire il suo contributo scientifico, andando oltre la sua invenzione della tecnica matematica dell'analisi infinitesimale (della quale L. è stato - forse l'unico - inventore); e più in generale per valutare appieno la nascita della scienza moderna.

Il problema nasce da diversi fatti. L. ha avuto una produzione vulcanica. Quindi il materiale da prendere in considerazione è molto ampio, con inediti tuttora da pubblicare.[506] Inoltre L. ha avuto una evidente evoluzione su questo argomento; prima è stato molto cartesiano, poi seguace di Huygens e infine il suo pensiero ha avuto una ulteriore modifica.[507] Ancora, la sua dinamica, confrontata con la contemporanea dinamica di Newton del 1687, è chiaramente incompleta e diversa; cosicché richiede una specifica analisi. E d'altronde tutto il programma di L. sulla scienza è rimasto incompleto, perché, secondo lui, anche l'analisi infinitesimale era solo una parte di quella maniera automatica di ragionare che lui aveva progettato[508].

Aggiungiamo infine il fatto che L. è stato visto dalla maggior parte dei commentatori come il grande metafisico (di lui è usuale ricordare che tutto è concepibile con le monadi e infine con Dio, stando ne "il migliore dei mondi possibili", ecc.); per cui non c'è stato un grande interesse per cercare nei suoi testi una coerenza di pensiero scientifico.

Però più volte dopo la morte di L. si è compiuto un lavoro storico-critico per rivalutarlo; alla fine dell'800 lo si rivalutò per la sua anticipazione della logica matematica; oggi per la sua anticipazione misconosciuta di molte idee scientifiche (ad es. le simmetrie).[509]

Sono state tradotte in italiano e commentate le tre opere brevi di L. sulla dinamica, scritte dopo il 1989.[510] <sup>Carriedo</sup> Da esse si ricava che, per quanto in abbozzo, il suo discorso teorico ha una grande rilevanza per la fisica teorica. Perciò non si può accettare il giudizio di Russell che storicamente pesa di più sulla dinamica di L.: "un cumulo di confusione". O, per meglio citare: "Esistono tre grandi tipi di teorie dinamiche. C'è... la teoria dell'urto. C'è la teoria... di un fluido.... C'è infine la teoria dei centri di forza inestesi.... La incapacità di L. di scegliere con chiarezza tra queste alternative fece della dinamica di L. un cumulo di confusione. La vera dinamica leibniziana non si trova in L., ma in Boscovich."[511] Questa pretesa confusione viene giustificata da Russell anche con "un motivo personale", l'astio di L. verso Newton (p.134), e un "volgare pregiudizio contro l'azione a distanza" (p. 136).

Che qui ci sia un pregiudizio è chiaro, ma da parte di Russell nei confronti del L. teorico della meccanica. Infatti Russell ha dimenticato che tra le varie dinamiche esiste anche quella della termodinamica, una teoria fisica decisiva per la storia della fisica. Questa ulteriore dinamica non appartiene a nessuna delle tre da lui indicate. La mancanza è grave, perché rivela in Russell una mentalità preconstituita, che nelle opere di L. non può che ritrovare lo schema newtoniano o sue varianti. Quindi è chiaro che la meccanica di L. non seguiva un pregiudizio, ma uno schema teorico molto diverso, che in particolare manteneva una impostazione diversa da quella di Newton e precedente ad essa, quella che era stata di Huygens.

Come dice bene Duchesneau nell'introduzione al suo libro sulla dinamica di Leibniz,[512] solo

quando il paradigma newtoniano si è indebolito si è tornati ad apprezzare il L. scienziato. Già la critica relativistica dello spazio e tempo assoluto di Newton ha riportato in auge la concezione Leibniziana dello spazio e del tempo relativi. Negli ultimi anni si è anche andati oltre. Nella fisica teorica da almeno il 1960 la tecnica matematica delle simmetrie, ha preso una rilevanza enorme, almeno tanta quanta ne hanno le equazioni differenziali. Di essa si è trovato il preconizzatore in L.,<sup>4</sup> il quale ha studiato le funzioni simmetriche, ha usato la simmetria nella sua arte combinatoria e col principio di ragione sufficiente ha posto le basi filosofiche per studiare le simmetrie. Con ciò si è usciti da quel (pre-)giudizio schiacciante, per cui L. poteva al più aver contribuito alla metafisica della scienza, ma mai alla fisica, che invece nella teoria newtoniana aveva l'unico modello sicuro e comprovato.

Se allora guardiamo al L. scienziato in confronto non solamente con gli scienziati contemporanei (Cartesio, Huygens, Newton, Wallis), ma anche con quelli successivi, la domanda di fondo diventa la seguente: veramente i suggerimenti di L. non hanno avuto nessuno sviluppo tecnico nella storia della fisica successiva? O possiamo trovare una successiva teoria meccanica "ad quem" riferire la ricerca teorica di Leibniz?

Quando, contro il pregiudizio di Russell, si tiene presente la teoria termodinamica, si nota che i suoi teorici l'hanno basata sul principio di impossibilità del moto perpetuo. Inoltre recentemente si è sottolineato che la termodinamica non è l'opera improvvisa del genio S. Carnot, ma ha una precisa origine concettuale e fondazionale da una formulazione della meccanica che è differente dalle solite formulazioni e che ingiustamente è stata trascurata nel passato: quella del padre di Sadi Carnot, Lazare. Infatti anche quella formulazione della meccanica è fondata sulla impossibilità del moto perpetuo.[\[513\]](#)

Anche essa per 200 anni è stata ampiamente ignorata dalla fisica teorica (benché sia stata riconosciuta unanimemente come atto di nascita della fisica tecnica). E il suo autore, in geometria e nell'analisi, tre volte si dichiara leibniziano.[\[514\]](#) In meccanica egli non ha di queste dichiarazioni ma sarà la struttura stessa della sua teoria a indicare la sua continuità con Leibniz. Quindi in questo scritto esploreremo la possibilità che questa teoria abbia proseguito quella di L..

Occorrerebbe esaminare dettagliatamente il libro inedito *Dynamica de Potentia*. Il che è un lavoro lungo e complesso. Ma sin da ora possiamo tentare una prima ricostruzione, sulla base delle più note affermazioni teoriche di L., che verranno confrontate con quelle della meccanica non di Newton, ma di L. Carnot, colui che ha suggerito una formulazione che appare essere la più consonante alla meccanica di L..[\[515\]](#)

## **2. Il programma di una alternativa alla meccanica di Newton**

La difficoltà fondamentale nella comprensione della teoria di L. sta nel cogliere il legame, per lui essenziale e indiscutibile, che egli stabilisce tra filosofia e fisica (giusto ciò che Newton, almeno a parole, si nega; e ciò che tutta la fisica dal 1800 in poi ha escluso). Questo è il primo prezzo da pagare per un fisico o un tradizionale storico della scienza di formazione scientifica: impegnarsi anche sul piano filosofico su cui L. costringe a lavorare.

Comunque non ci impegneremo su questo piano, se non per prendere in esame la sua opposizione alla (malcelata) filosofia di Newton.

L. è stato ben chiaro su questo punto: egli è stato sempre contrario alla meccanica newtoniana; e non solo al concetto di attrazione a distanza (una "qualità occulta") ma a tutto l'impianto logico della teoria. Già rispetto a Cartesio egli aveva lanciato il programma di una "riforma della meccanica"; ancor più ha perseguito questo programma di fronte ai *Principia* di Newton, che lui non ha mai

accettato. Così scrive L. a Honoratius Fabri: "Si doveva cercare se i fenomeni naturali complessi non si potessero derivare da altri fenomeni noti e studiati. E' infatti inutile assumere cause possibili al posto di cause vere, quando le cause vere e certe ci stanno davanti agli occhi. Così io credo che col mio esempio si potrebbero proporre alla ricerca cose più intelligenti; di trattare in futuro la filosofia naturale senza ipotesi immaginarie e presupponendo cause tali la cui realtà effettuale è ben accertata nella natura. Nessuno infatti, per quel ch'io sappia, ha cercato fin qui di spiegare i fenomeni a partire dai fenomeni, di spiegare la congerie delle particolarità movendo da pochi fenomeni generali, nel che peraltro consiste il vero procedimento dimostrativo della fisica".[\[516\]](#) Come si vede, la filosofia di L. lo invita a perseguire un intero programma alternativo, ben interno alle tematiche specifiche della fisica teorica.

### **3. Quale architettura della teoria fisica?**

In particolare ricordiamo che ormai da qualche decennio l'analisi critica ha scoperto che occorre interpretare L. sulla base di una idea che L. stesso suggerì ma che tuttora non è stata ben definita:[\[517\]](#) quella del carattere "architettonico" dei suoi principi, che quindi non corrispondono a quelli di una teoria aristotelicamente apodittica, o organizzata "more geometrico".

Allora esaminiamo l'opera di L. Carnot dal punto di vista più generale della sua impostazione, al fine di trovarci utili confronti con il pensiero di Leibniz. Le ultime pagine della prima edizione del libro di meccanica di L. Carnot[\[518\]](#) e le prime pagine della seconda edizione,[\[519\]](#) dicono con grande chiarezza che ci sono due maniere di organizzare una teoria fisica: quella "razionale" che cerca il minimo di principi-assiomi; e quella "empirica", nella quale tutto proviene dalle esperienze, anche i concetti matematici: e non ci si cura di precisare le definizioni, perché ci si basa sulla conoscenza comune in materia.

Si può illustrare questa organizzazione in maniera più precisa e dettagliata.[\[520\]](#) Soprattutto essa è legata alla ricerca di un nuovo metodo scientifico rivolto a risolvere un problema universale, tanto generale da apparire a prima vista metaempirico; ad esempio: "Esistono quantità fisiche conservate (durante l'urto)?". Allora i principi non sono più delle affermazioni certe dalle quali si procede mediante deduzioni di un metodo rigido e aprioristico, così come è quello deduttivo secondo la logica classica. I principi piuttosto sono principi metodologici che indirizzano la ricerca euristica per trovare il nuovo metodo, all'interno di un quadro dove non esistono certezze assolute, ma piuttosto delle negatività; ad es., in L. Carnot e in Leibniz l'impossibilità del moto perpetuo.

Allora questa chiarificazione ci dice che L. veramente seguirà una strada alternativa a quella di Newton, la quale era sì filosofica, ma anche scientifica. Essa era alternativa non tanto per qualche singolo concetto, sia pur fondante, come spazio e tempo; ma per l'intera "architettonica" della singola teoria scientifica; era una nuova architettonica, che ha saputo anticipare concetti (ad es. spazio relativo) e tecniche (simmetrie) che con gran fatica sono state riscoperte dopo secoli di scienza fisica fiorente e progressiva.

Con ciò ci siamo liberati definitivamente dalla preconcezione newtoniana della meccanica di L. e siamo liberi di scoprire una via leibniziana allo sviluppo della fisica teorica.

### **4. Due grandi principi**

L. ha sempre affermato che due sono i principi generali della conoscenza umana, il primo è il principio di non contraddizione (è assurdo che siano A e non A contemporaneamente); il secondo è il principio di ragion sufficiente, che egli enuncia così: "... niente è senza ragione, ovvero ogni verità si dimostra a priori, dedotta dai concetti dei suoi termini, ancorché non sia sempre in nostro potere di arrivare a questa analisi".[\[521\]](#)

Si noti che L. spiega bene che noi siamo costretti ad enunciare questo principio con due negazioni, perché non sempre è possibile stabilire con certezza la causa che cerchiamo. Quindi questo principio ci introduce ad una logica che non ha delle certezze assolute (o A o non A) ma ad una logica induttiva, euristica, che non ha tagliato i ponti con la creatività e la filosofia.[\[522\]](#) In altre parole, cioè nelle parole tipiche del linguaggio di L., tutta la scienza sperimentale non è una scienza composta di verità necessarie (che sono necessarie alla nostra mente, in quanto questa è una diretta creazione divina), quali sono le verità geometriche (che, secondo la tradizione di quel tempo, sono l'espressione della Verità stessa); la scienza sperimentale è invece composta da verità contingenti, che cioè dipendono dalla realtà esterna imperfetta; o, come dice con precisione L., ognuna di esse è tale che la sua affermazione contraria non implica contraddizione (si noti ancora una volta la doppia negazione, che non è sostituibile con l'affermazione positiva corrispondente; perché quest'ultima promuoverebbe le verità contingenti a verità a priori, cioè necessarie). Noi oggi esprimiamo questo concetto dicendo che ogni legge fisica è valida entro certi limiti (di errori sperimentali e teorici); per cui la legge è contingente; e la sua contraria, andando a mischiare il falso con il possibile (ma non ancora sperimentato) non è assurda.

Quanto sopra taglia sin dall'origine il cordone ombelicale che la fisica teorica tradizionale ha stretto idealisticamente con il principio del terzo escluso e quindi con la logica classica. In particolare, la fisica non può pretendere di basarsi su uguaglianze perfette, identità assolute. Vale casomai la ricerca dell'"indiscernibile" (altra doppia negazione, quando si noti che "discernere" significa distinguere, dichiarare "non uguali").

Anche nella meccanica di L. Carnot troviamo due frasi doppiamente negate in luoghi cruciali. La prima è il problema generale sul quale è basata la sua teoria; dice che "ci sono delle quantità inalterate nell'urto";[\[523\]](#) il che non vuole dire "costanti", un aggettivo che non avrebbe verifica sperimentale. Inoltre nella seconda edizione del suo libro egli enuncia le sue versioni degli usuali principi della meccanica. Il principio d'inerzia per lui è il seguente: "Una volta che un corpo sia in quiete, da solo non può muoversi...[\[524\]](#) dove il "da solo" è da leggere come "se non interagendo con altri corpi".

## **5. Un principio fisico generale**

Ma questi aspetti della teoria meccanica, che appartengono alla fisica teorica, coinvolgono la filosofia. Se tra gli scritti di L. cerchiamo un principio che sia a carattere solo fisico e che si ricolleggi a queste idee, troviamo quel principio generalissimo, l'impossibilità del moto perpetuo,[\[525\]](#) che già Stevino ed Huygens avevano enunciato ed applicato fruttuosamente per stabilire leggi in fisica;[\[526\]](#) e che è alla base della meccanica di L. Carnot.[\[527\]](#)

Due secoli più tardi, Mach promuoverà, per la sola fisica teorica, quel principio a principio di importanza maggiore di quello di causalità, poiché quest'ultimo principio, dice Mach, è una conseguenza del primo.[\[528\]](#)

Notiamo che l'enunciato di questo principio è ancora una doppia negazione, in quanto "perpetuo" significa "senza fine", così come scriveva giustamente Stevino). Pertanto questo principio si collega perfettamente col principio filosofico di ragione sufficiente, perché ambedue seguono la stessa logica; inoltre costituisce una giunzione tra quel principio e il metodo essenzialmente euristico della successiva teoria fisica. Infatti l'impossibilità del moto perpetuo non può avere il ruolo di una affermazione a priori, né è evidente alla ragione; ma proviene dalla esperienza diffusa, ed è comprovato sì da un ragionamento, ma per assurdo ("Se fosse possibile, allora tutto il mondo andrebbe diversamente da come va; ad es. si otterrebbe lavoro senza fatica").

## **6. La interazione: "Causa aequat effectum"**

Questa linea teorica quindi fa a meno del concetto di causa come concetto metafisico. Infatti il concetto di forza in Newton è metafisicizzato come la causa del moto, ancorché Newton abbia presentato la causa come un concetto fisico pienamente legittimo e come tale esso successivamente si sia imposto; e viene universalizzato nella forza gravitazionale, che sarebbe l'unica forza originaria.

Anche in L. c'è la forza; ma solo nel periodo giovanile, fino all'Essay. Poi, come tutti fino alla prima metà del XIX secolo, egli parla ancora di "forze"; ma il suo è un abuso di linguaggio, perché si tratta dell'energia cinetica, anzi di vari tipi di energia.

Inoltre lui ci vede una contingenza, e quindi una imprecisione (e una irreversibilità in tutti i fenomeni); cosicché non tutto può essere ridotto a forze-causa. Allora per lui è utile quel concetto di forza che abbia una importante specificazione: il passaggio da forza ad effetti non deve essere teoricamente irreversibile, non deve essere riduttivo; così come invece fa il concetto newtoniano che cela l'intervento di Dio sul mondo. Per L. deve essere reversibile, a due direzioni: "Causa aequat effectum" [\[529\]](#) Dagli effetti deve essere possibile ricostruire completamente la causa. Allora questo concetto leibniziano di forza, che emerge da un mondo essenzialmente irreversibile e impreciso, non può proprio fondare tutta la fisica teorica mediante l'uguaglianza perfetta con un altro concetto fisico, così come è in  $f = ma$ .

D'altra parte tutta la meccanica di L. Carnot fa a meno del concetto di forza-causa; anzi in L. Carnot c'è la migliore critica di quel concetto. [\[530\]](#) Egli gli preferisce il concetto di variazione di quantità di moto; il che sposta l'attenzione dallo spazio delle coordinate allo spazio delle quantità di moto; come pure, lo vedremo nel seguito, dalla matematica dei differenziali alla matematica delle differenze finite.

## 7. Fondamenti della dinamica

Tanto meno L. può legare questo suo concetto di forza alla matematica dell'analisi differenziale, perché dell'infinitesimo L. sospetta l'artificialità ("esseri di ragione") e comunque di idealità; [\[531\]](#) il che non si accorda con il carattere contingente-sperimentale della fisica. Piuttosto lui utilizza estensivamente la combinatoria, l'algebra, l'idea ancora non formalizzata di quantità vettoriale (qui è la sua polemica con Cartesio, che vedeva conservato il modulo della quantità di moto,  $m|v|$ , mentre invece L. sottolinea che la vera grandezza è  $m\dot{v}$ ).

La sua concezione contingentista, basata sull'imprecisione, non pone in primo piano la fisica newtoniana del corpo isolato, soggetto a forze astratte, che sintetizzano tutta l'influenza (indistinta) dell'ambiente sul corpo stesso; ma pone in primo piano le interazioni dei corpi tra loro ("ogni cosa è connessa" [\[532\]](#)); e con esse, il principio di azione e reazione. Quindi il metodo scientifico di L. non è analitico, ma globalistico; tale cioè da considerare più corpi assieme; e le loro interazioni come oggettivamente date dai loro urti reciproci. [\[533\]](#)

Nella meccanica di L. Carnot è dal principio di azione e reazione che in effetti dipende il principio d'inerzia. [\[534\]](#) Essendo la sua teoria basata sull'urto, tutto è concepito come interazione.

## 8. Relatività di moto, spazio e tempo

In questa prospettiva è naturale che il principio di inerzia in L., sia pur controverso, sia differente da quello di Newton; perché viene enunciato (giusto il principio di ragione sufficiente) come "indifferenza dei corpi alla quiete o al moto" [\[535\]](#) Il che, almeno secondo Koyré, [\[536\]](#) è il vero contenuto teorico di questo principio (e non l'animistico "perseverare" di Newton, verbo rafforzato dall'universalizzare enfaticamente la validità del principio a "Ogni corpo..." [\[537\]](#)).

Questo atteggiamento, non ancorato a verità assolute ed essenzialmente euristico, fa a meno anche di

tutte le altre certezze newtoniane, anzi le contrasta: lo spazio e il tempo non sono assoluti. E' famosa la polemica di L. con Clarke (interposta persona per Newton) su questi concetti. Lo spazio per L. non è il "sensorio [orecchio] di Dio", non è a priori; ma è un concetto relativo, è l'ordine delle relazioni tra le cose ed esiste in quanto esistono le cose. Così è relativo pure il tempo.

Allora, diventa naturale trattare la composizione e decomposizione dei movimenti come il fatto teorico basilare. A L. è chiaro che un movimento semplice ha le stesse proprietà di un movimento composto; per lui, come già si diceva, è chiara la natura vettoriale della velocità; quindi è chiaro il principio di composizione detto del parallelogramma. Inoltre è chiara la composizione dei movimenti quando un osservatore è in moto rispetto ad un altro. Qui c'è il classico esempio del battello in moto uniforme, sulla cui tolda i movimenti avvengono come sulla terraferma e dalla terraferma sono visti sommando loro il moto del battello.

Tutto ciò è riscontrabile nella meccanica di L. Carnot. Qui il principio di inerzia inizia con il concetto contingente: "Una volta che un corpo è in quiete..."; e continua con due affermazioni in parallelo per la quiete e per il moto uniforme.[\[538\]](#) Lo spazio è quello delle interazioni, quindi è finito e relativo; tanto che sono utilizzate le trasformazioni del sistema di riferimento; il tempo è solo il concetto di "prima" e "dopo" l'urto, cioè è relativo all'evento reale.

## 9. Teoria dell'urto dei corpi

In particolare il campo di fenomeni che al tempo di L. era il più attraente e più sfidante è quello dei fenomeni dell'urto. Questo è un fenomeno terrestre, cioè al di fuori dell'astrattismo dell'astronomia, completamente sperimentabile. Inoltre l'urto non è comprensibile da parte dello schema newtoniano; sia perché  $f=ma$  non è applicabile (poiché in questo caso le forze sono istantanee e infinite, cioè rappresentano dei casi singolari delle equazioni differenziali), sia perché Newton ne aveva suggerito una schematizzazione che L. non condivideva. Secondo Newton, Dio ha creato il mondo mediante i corpi perfettamente duri, tali cioè che erano invariabili di forma anche sotto shock.[\[539\]](#) Però i corpi duri, mantenendo la forma, non permettono un'energia di deformazione (e quindi non rimbalzano e rendevano impossibile la conservazione dell'energia. E' il corpo duro che fino al 1850 ha ostacolato l'accettazione del principio di conservazione dell'energia (e di tutta la teoria cinetica dei gas, iniziata correttamente da J. Bernoulli).[\[540\]](#) L., al contrario, non accettava quel tipo di corpo ideale; piuttosto egli enfatizzava il ruolo dei corpi elastici; e in effetti questi, modificando la forma sotto l'urto, conservano l'energia.

Si noti che per L. il caso delle forze continue può essere ottenuto passando al limite di una serie di forze impulsive, cioè di urti; quindi, in linea di principio, tutta la fisica solitamente trattata da Newton rientra nella impostazione della teoria meccanica basata sull'urto.

Tutto ciò può essere esattamente ripetuto per la meccanica di D'Alembert[\[541\]](#) prima e poi per quella di L. Carnot; il quale ultimo completa la teoria di L. sull'urto, perché la estende a tutti i corpi possibili, dando un indice (da 1 a 2; modernamente, da 0 a 1) di elasticità col quale schematizzare ogni corpo rispetto all'urto.

## 10. Le conservazioni

L. aggiunge che "la nostra intelligenza crea delle conservazioni";[\[542\]](#) (in questo seguiva l'idea di Cartesio, che la giustificava con la conservazione del movimento impresso da Dio all'inizio della Creazione del mondo). In altri termini, le tante possibilità teoriche di comprensione della realtà spingono la nostra mente a cercare qualcosa di stabile, di invariante.

Qui la polemica con Cartesio lo porta a non considerare come invariante la vis ( $|mv|$ ) ma piuttosto la

vis viva,  $mv^2$ , cioè la nostra energia cinetica  $1/2 mv^2$ . Questo contributo tecnico gli viene riconosciuto da tutti: è lui che ha valorizzato la energia meccanica, ben al di là di quello che aveva già fatto Huygens, suo maestro.

Per molti (v. i positivisti) questa idea ha introdotto nella fisica una manifesta metafisica (in effetti questi critici avevano dimenticato la ben diversa metafisica introdotta da Newton, quella dello spazio e tempo assoluti, forza-causa. (E' chiaro che su ciò non dobbiamo dare un giudizio sulla base di concezioni aprioristiche (v. positivismo) di che cosa è la fisica o la filosofia; ma dobbiamo valutare le teorie fisiche, sperimentalmente verificate, che vengono prodotte. Allora dobbiamo dire che questa idea è l'inizio di una nuova fisica teorica che propone un diverso rapporto con la filosofia.

Per cui L. può scrivere le sue leggi fondamentali della teoria dell'urto:

1) principio di relatività del moto:  $x-y = -(x'-y)'$

2) conservazione della quantità di moto:  $mx+My = mx' + My'$

3) conservazione dell'energia cinetica:  $mx^2+My^2 = mx'^2 + My'^2$

Ma manca la trattazione dell'urto dei corpi plastici. Perciò L. né ha ottenuto tutte le leggi necessarie per formare una teoria completa della meccanica, né ha ricavato tutta la teoria dell'urto dei corpi.

La teoria di L. Carnot è basata sulla conservazione dell'energia, così come lui stesso dice.[\[543\]](#) Inoltre egli è il primo a definire matematicamente (oltre che la "forza passiva") il "lavoro" (come forza per spostamento per il coseno dell'angolo compreso). In più L. Carnot è colui che per primo porta a compimento la teoria dell'urto: egli considera con le stesse equazioni l'urto dei corpi elastici e di quelli plastici, distinguendo i corpi mediante un indice di elasticità. Egli ricava le leggi dell'urto di L. come applicazione di una sua equazione generale. Inoltre, siccome le leggi di conservazione di ogni grandezza considerano la rispettiva quantità perduta, allora quelle leggi di conservazioni tengono conto anche ad es. dell'energia dissipata. Cioè la sua meccanica tratta anche i fenomeni irreversibili. Infine egli generalizza le sue equazioni anche al caso continuo. Egli così completa tutto il progetto di una meccanica nuova, perseguito da L. e da D'Alembert.

Ma soprattutto è colui che introduce una tecnica matematica (simmetrie) per ricavare matematicamente quelle conservazioni che L. aveva suggerito come leggi fondamentali. Egli considera il sistema fisico come il caso particolare di tutti i sistemi ottenibili aggiungendo un moto particolare a quello iniziale di ogni suo elemento; il moto aggiunto però deve potersi compiere anche all'inverso. Dipendendo questo moto dalla configurazione geometrica del sistema, esso viene da lui chiamato "geometrico". Introducendo questo tipo di moto nella sua equazione generale, L. Carnot ottiene le conservazioni delle grandezze fisiche: quantità di moto  $m\dot{w}$  e del momento della quantità di moto  $mv r \text{ sen } [\theta]$ .

Si noti inoltre che, poiché il fenomeno dell'urto non riguarda i punti dello spazio, ma le velocità dei corpi, le equazioni dell'urto vanno risolte solo nelle velocità. Allora le conservazioni precedenti risultano semplicemente delle equazioni algebriche nelle velocità incognite. Il che giustifica il rifiuto da parte di L. dell'analisi infinitesimale nei fondamenti della fisica e sostanzia il tipo di rapporto di matematica elementare che L. aveva dichiarato all'inizio del libro.[\[544\]](#)

## 11. Teoria dei corpi pesanti

Nel campo dei fenomeni meccanici non astronomici è di particolare importanza anche lo studio dei corpi pesanti. Per comodità di ragionamento L. si riduce al caso esemplare (da lui usato molte volte), della caduta di un solo corpo, che scende o sale di una certa altezza. E' qui che L. perfeziona quello

che aveva già specificato nella polemica con Cartesio, la definizione grossolana di lavoro, cioè la forza per lo spazio percorso; o, come lui dice, la potenza per la velocità (che però non sa tener conto dell'angolo formato tra le due grandezze). Inoltre, L. studia la interazione tra corpi col principio di azione e reazione e anche col principio di Torricelli ("Il baricentro di un sistema di corpi non può salire sotto l'azione della gravità").

Oggi noi sappiamo bene che il principio di Torricelli è una forma ridotta (anche se più accurata di varie altre usate sin dall'antichità) del principio dei lavori virtuali, il cui enunciato matematico fu dato per la prima volta da un seguace di L. (J. Bernoulli), giusto un anno dopo la di lui morte (1617). Con esso L. avrebbe avuto un principio fisico più specifico e formale dell'impossibilità del moto perpetuo. C'è da pensare che questo sarebbe stato decisivo per suggerire a L. come riformulare completamente la sua teoria, che è stata sempre in continua evoluzione.

Si noti che per secoli questo principio è stato forzato a rientrare nello schema teorico newtoniano, benché ne sia indipendente;[\[545\]](#) e quindi possa fondare tutta una teoria alternativa a quella newtoniana (così come fece anche Lagrange.[\[546\]](#)) Di fatto la equazione fondamentale dalla quale L. Carnot ha ricavato gli invarianti è una generalizzazione, come lui stesso dichiara,[\[547\]](#) del principio dei lavori virtuali.

## 12.Valutazioni della meccanica di Leibniz alla luce della meccanica di L. Carnot

Se ora guardiamo questa teoria meccanica leibniziana all'interno della storia della meccanica, notiamo che, essendo essa alternativa alla meccanica newtoniana e differente da quella cartesiana (sia per il suo primo concetto che per la sua prima legge fisica), essa rappresenta una linea di sviluppo che è stata iniziata da Huygens e che avanzava nella prospettiva di raggiungere i seguenti tre punti teorici:

1) il principio dei lavori virtuali, che fu enunciato matematicamente un anno dopo la morte di L.. Questo principio gli avrebbe dato l'avanzamento decisivo per due ragioni. Primo perché esso è una forma matematica di quella impossibilità del moto perpetuo su cui lui basava la sua meccanica (infatti  $\sum f_i^{(s)} |\delta s_i| \geq 0$  discende da  $\sum R_i |\delta s_i| \leq 0$ ; il quale dice che le reazioni vincolari non possono fare lavoro, altrimenti ci sarebbe il moto perpetuo); e quindi discende direttamente dal principio di ragion sufficiente (tant'è vero che si può enunciare con una frase doppiamente negata: è impossibile che i vincoli compiano lavoro positivo). Secondo, perché esso è capace di rifondare tutta la meccanica essendo dallo schema newtoniano (così come L. cercava di fare e come annunciò per primo Lagrange nel 1770);[\[548\]](#) si può pensare che con esso egli avrebbe ottenuto quella intera teoria fisica alternativa che aveva sempre cercato attraverso il suo progetto di riforma della dinamica.

2) le leggi sull'urto di L. sono sufficienti per i fenomeni di urto tra corpi perfettamente elastici. Mancava la teoria dell'urto dei corpi plastici e dei corpi intermedi. Questa teoria completa dell'urto fu ottenuta nel 1782 da Lazare Carnot. Questi ottiene la sua teoria mediante una equazione che è la generalizzazione al caso dell'urto proprio del principio dei lavori virtuali (quindi in piena coerenza di sviluppo con le idee precedenti).

3) L. imposta la ricerca degli invarianti del moto, non tanto tecnicamente (pur trattando di funzioni simmetriche e di simmetrie spaziali) quanto metodologicamente (il principio di ragion sufficiente come sua base filosofica e la indicazione che "la nostra mente cerca gli invarianti"). Allora la tecnica matematica delle simmetrie per ottenere le quantità conservate è solamente accennata da L.; la meccanica di Lazare Carnot la introduce (con sole operazioni algebriche) mediante una sua equazione fondamentale che discende dal principio dei lavori virtuali. (Oggi invece la ricerca degli invarianti è ottenuta con una tecnica matematica che è stata trovata da E. Noether nel 1918 - cioè molto tempo dopo L. Carnot -, mediante la formulazione lagrangiana del principio dei lavori virtuali



- cioè con una tecnica che è anche più complicata delle equazioni differenziali di Newton e che Lagrange non aveva nemmeno immaginato).

Quindi concludiamo che a L. è venuto a mancare un anello essenziale della catena dello sviluppo concettuale e tecnico che ha portato proprio a quel risultato teorico di grande rilevanza, una meccanica alternativa a quella newtoniana, che lui aveva saputo impostare e aveva iniziato a sviluppare. La sua meccanica prende luce piena quando viene messa in corrispondenza con la successiva meccanica di L. Carnot, il quale ha completato la teoria iniziale di L..[\[549\]](#)

Tabella. *La faticosa costruzione di una meccanica alternativa a quella di Newton*

SCIENZIATI PRECEDENTI	LEIBNIZ	D'ALEMBERT	LAZARE CARNOT
	<u>principio di ragion sufficiente</u>		(principio di ragion sufficiente)
(Galilei)	organizzazione sia aristotelica che problematica	(organizzazione problematica)	<u>organizzazione problematica</u>
(Galilei)	(- - A != A)		<u>- - A != A</u>
Stevino	impossibilità moto perpetuo		impossibilità moto perpetuo
Cartesio	(inerzia come proprietà immanente nei corpi)	inerzia immanente e non	<u>inerzia immanente</u>
	<u>analisi infinitesimale esclusa dai fondamenti della fisica</u>	analisi infinitesimale esclusa dai fondamenti della fisica	analisi infinitesimale esclusa dai fondamenti della fisica
	<u>spazio relazionale, tempo relazionale</u>	spazio relazionale, tempo relazionale	spazio relazionale, tempo relazionale
Newton	azione-reazione	azione-reazione	azione-reazione
(antichità)	moti virtuali	moti virtuali	<u>moti geometrici</u>
	principio di Torricelli		<u>generalizzazione del principio dei lavori virtuali</u>
	(simmetrie)		<u>simmetrie</u>
Cartesio	invarianti		invarianti
Wallis (urto elastico)	urto elastico	principio di D'Alembert	<u>urto elastico e non</u>
Huygens	(lavoro-energia)		<u>lavoro-energia</u>

*Nota:* Un concetto (o il corrispondente autore) è sottolineato quando esso nella storia della fisica teorica compare ben definito per la prima volta.

### 13. Un programma di lavoro

Tutto ciò qualifica L. come l'iniziatore filosofico e scientifico di una teoria meccanica che però L. ha saputo formulare solo in un caso ristretto (urto dei corpi elastici) e che solo dopo un secolo è stata completata. Ne è risultata una teoria così originale, che per altri due secoli essa è stata ignorata; di fatto essa ha seguito il suo indirizzo programmatico, quello di essere completamente alternativa a

quella di Newton. La quale, nella storia, si è imposta come unica, riuscendo ad annullare ogni altra possibilità (nonostante fosse noto, almeno agli storici, che c'era stata la teoria meccanica basata sul principio dei lavori virtuali e in particolare c'erano le sue generalizzazioni, quella da parte di Lazare Carnot e quella di Lagrange; e qualcuno abbia notato anche che L. ha dato inizio ad una particolare "scuola" differente a quella di Newton[550]). E unica è stata considerata questa teoria fino alla grande crisi dei primi del '900, cioè solamente quando i suoi concetti basilari hanno contraddetto la realtà; solo allora essa ha perso definitivamente il monopolio teorico e anche la validità generale per tutta la fisica. E' questa persistenza culturale di privilegiare questa particolare formulazione della meccanica che ha determinato la sfortuna storica della meccanica di L.. Il quale invece sin dal 1692 aveva iniziato quel pluralismo nella fisica teorica che nel 1900 si è stati costretti ad accogliere, al costo di gravi crisi esistenziali. Quindi se Newton è stato grande nel produrre una teoria meccanica completa ed efficiente, L. è stato grande nello sviluppare sin dall'inizio quella pluralità di formulazioni di una teoria fisica che poi doveva diventare la regola.

Allora è possibile ricostruire una teoria meccanica in L. secondo una concezione coerente, che poi va a definirsi anche formalmente nell'opera dei suoi seguaci. Per cui cento anni prima di L. Carnot, L. ben poteva anticipare una meccanica (e una fisica) non newtoniana; solo che Russell non lo poteva riconoscere sulla base del suo pregiudizio su che cosa sia la dinamica.

La ingiustizia compiuta finora nei riguardi di L. ci dovrebbe spingere allora a recuperare il disegno dettagliato della sua dinamica dell'età matura. A questo scopo occorrerà esaminare scrupolosamente il libro inedito *Dynamica de Potentia*. Il che è un lavoro lungo e complesso. Questo lavoro di ricostruzione, quando sarà dettagliato sui testi, risulterà sicuramente nuovo, perché finora gli studiosi precedenti hanno trascurato: 1) il tipo di organizzazione della sua teoria, che non è deduttiva, ma basata su un problema generale (impossibilità del moto perpetuo, urto dei corpi); 2) la presenza delle frasi doppiamente negate, e cioè della logica non classica; 3) la motivata esclusione dell'analisi infinitesimale dai principi della meccanica; 4) la teoreticità del principio di Torricelli quale anticipatore del principio dei lavori virtuali; 5) gli scritti di meccanica di L. che, relativamente agli altri scritti, sono stati poco studiati.

Tutto ciò rende concreta la speranza di rendere giustizia a quel gigante nella storia della scienza che fu L., troppo a lungo svalutato come speculatore metafisico inconclusivo. Egli potrebbe risultare uno scienziato completo; di sicuro ha inventato l'analisi infinitesimale e ha anticipato la logica matematica; qui abbiamo visto che ha iniziato una teoria meccanica coerente (oltre ad aver prodotto teoria nelle scienze naturali). Così egli sarebbe l'ultimo filosofo con una ben adeguata cognizione di causa su tutti gli sviluppi della scienza del suo tempo.

---

[\*] Gruppo di Storia della Fisica-Dip. Scienze Fisiche-Università "Federico II", Napoli

[506] Ad es. solo da poco è stato pubblicato il testo di Newton annotato da G.W. Leibniz: *Marginalia Newtoni Principia Mathematica*, Vrin, 1973.

[507] M. Guérout: *Leibniz. Dynamique et Métaphysique*, Aubier-Montaigne, Paris, 1967.  
Recentemente sulla dinamica di L. è uscito un ponderoso studio epistemologico di F. Duchesneau: *La dynamique de Leibniz*, Vrin, Paigi, 1994.

[508] L. Brunschvig: *Les étapes de la philosophie mathématique*, Gauthier-Villars, 1913, p. 143.

[509] D.G. Birkhoff: "The principle of sufficient reason", *Rice Inst. Pamphlets*, 28, n. 1 (1941). H. Breger: "Symmetry in Leibnizian Physics", in *The Leibniz Renaissance*, Olschki, Firenze, 1989, 23-42.

[510] G.W. Leibniz: *Essay de Dynamique* (1696), in P. Costabel (ed.): *Leibniz et la dynamique*, Hermann, 1960, 97-106. (Si segnala anche la recente versione spagnola, inserita (pp. 31-54) in una raccolta di scritti di L. sulla meccanica: G.W. Leibniz: *Escritos de dinámica*, Tecnos, Madrid, 1991, a cura di J. Arana -Argüelles), trad. it di A. Drago, G. A. La Sala; G.W. Leibniz: *Specimen Dynamicum* (1695), trad. it. F. Piro; G.W. Leibniz: *Essay des lois de Dynamique*, (1698), trad. it. di A. Drago, G.A. La Sala. .

[511] B. Russell: *La filosofia di Leibniz*, Newton Compton, Milano, 1972, p. 133-134.

[512] F. Duchesneau: op. cit., p. 7.

[513] C.C. Gillispie: *Lazare Carnot Savant*, Princeton U. P., Princeton, 1971. E' questo libro che per primo ha rivalutato L. Carnot, dopo 200 anni!

[514] L. Carnot: *Géométrie de Position*, Deterville, Paris, 1803, p. 1; *Réflexions sur la métaphysique du calcul infinitésimal*, Courcier, Parigi, 1813, 35-39; "Réflexions sur les principes généraux de l'analyse fini", in J.-P. Charnay (ed.): *Lazare Carnot. Mathématiques et Révolution*, La Herne, 1984, 35-39, p.39.

[515] L. Carnot: *Essai sur la machines en général*, Defay, Dijon, 1782 (trad. it. ed edizione critica a cura di A. Drago, S.D. Manno, CUEN, Napoli, 1994). Per una ricostruzione dell'evoluzione della meccanica secondo più linee di sviluppo, è utile tener presente il grafico di pag. XI, riportato anche in A. Drago, S.D. Manno: "La meccanica nel settecento", *Giornale di Fisica*, 27 (1986) 291-307.

[516] G.W. Leibniz: *Philosophical Papers and Letters* (L. E. Loenker ed.) Reidel, Dordrecht, 1969, p. 349 (sott. agg.).

[517] LE. Loemker: *Leibniz, Philosophical Papers and Letters*, Chicago, 1956, p. 780, 787. F. Duchesneau: "Hypothèses et finalité dans la science Leibnizienne", *St. Leibn.*, 12/1 (1980) 161-178; si veda anche la ricca voce "principe architectonique" nell'indice per soggetti in F. Duchesneau: op. cit.,.

[518] L. Carnot: *Essay...*, op. cit, p. 101-103

[519] L. Carnot: *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement*, Crapelet, Paris, 1803, XII-XIX.

[520] La chimica classica come esempio di teoria organizzata su un problema centrale, F. Calascibetta, E. Torracca (eds.), *Atti II Congr. Naz. St. e Fond. della Chimica, Acc. Naz. Sci. XL, V, 12*, Roma, 1987, 315-326.

[521] G. W: Leibniz: Lettera a Arnauld, 14-7-1686, Gerh. II, Q., Opusc. 402, 513.

[522] Si noti che da alcuni decenni la legge della doppia negazione é stata posta a discriminante (traduzione di Goedel-Glivenko) tra la logica classica e quella intuizionistica (e in generale si può dire: quella non classica). Si veda anche D. Prawitz: "Meaning and Proof", *Theoria*, 43 (1977) 6-39. A. Drago: "Incommensurable theories: The rejection of the double negation logical law", in D. Constantini e M.G. Galavotti (eds.): *Nuovi problemi della logica e della filosofia della scienza*, CLUEB, Bologna, 1991, vol. I, 195-202. Le frasi doppiamente negate sono molto indicative di dove ci sono i punti critici di una teoria; si veda ad es., A. Drago: "L'analisi infinitesimale in L. Carnot", in L. Curcio, G. Merolla (eds.): *Per una storia dell'analisi*, Quad. Pristem n. 3, Milano, 1994, 75-83.

[523] L. Carnot: *Essai...*, op. cit., p. 44.

- [524] L. Carnot: Principes..., op. cit., p. 49.
- [525] A. Drago, F. Piro: "Perché Leibniz non credeva nel moto perpetuo meccanico", in C. Cellucci et al. (eds.): Atti Conf. SILFS, Roma, 1996 (in stampa).
- [526] R. Dugas: Histoire de la mécanique, Griffon, Neuch, tel, 1959, pp. 309-317.
- [527] L. Carnot: Essay..., op. cit., p. 4, 82; Principes..., op. cit., p. XXI; il primo studioso della meccanica di L. Carnot, C.C. Gillispie, op. cit., p. 99, ha notato che questo principio ha ivi una funzione "dimostrativa e tutelare"
- [528] E. Mach: La Meccanica nel suo sviluppo storico-critico (1887), Boringhieri, Torino, 1965, p. 58ss.
- [529] G. W. Leibniz: De corporum Concurso, f. 21r, transc. 76
- [530] L. Carnot: Principes..., op. cit., pp. XII-XVII. L. Brunschvig: L'expérience humaine et la causalité physique, PUF, Parigi, 1949, p. 251.
- [531] G. W. Leibniz: Lettera a Hermann del 9-9-1712, GM IV, p. 378.
- [532] L.E. Loemker: op. cit., p. 794.
- [533] G.W. Leibniz; Specimen Dynamicum, I parte.
- [534] L. Carnot: Essai..., op. cit., p. 15.
- [535] G.W. Leibniz: Leibniz Math. Schr. Gerhardt, 1848-63 3, Hildesheim, Olms, 1971.
- [536] A.Koyré: Newtonian Studies, Chapman, London, 1950, p. 10.
- [537] I. Newton: Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, Londra, 1687, p. 3.
- [538] L. Carnot: Principes..., op.cit., 50.
- [539] I. Newton: Optiks, (London, 1706), Dover, New York, 1953, 398 and 400.
- [540] W.L. Scott: The conflict between Atomism and the Conservation Laws. 1644-1860, Elsevier, 1971; A. Drago, P. Saiello: "La teoria cinetica dei gas: una sconfitta del meccanismo newtoniano, in A. Rossi (ed.): Atti XIII Congr. Naz. St. Fisica, Conte, Lecce, 1995, 295-308
- [541] J. D'Alembert: Traité de Mécanique, Paris, 1754. T. L. Hankins: Jean D'Alembert. Science and Enlightenment, Claredon, 1970.
- [542] G.W. Leibniz: New Essays concerning Human Understanding (1705), in New Essays, La Salle, 1949, p.657.
- [543] L. Carnot: Essai..., op. cit., Introduction, VI.
- [544] L. Carnot: Principes..., op. cit., p. 3.
- [545] M. Capriglione, A. Drago: "Lo status logico del principio dei lavori virtuali", in C. Cellucci et al. (eds.): Logica e filosofia della scienza. Temi e prospettive, ETS, Pisa, 1994, 331-348; A. Drago: "The principle of virtual works as a source of two traditions in 18th Century mechanics", in F. Bevilacqua (ed.): History of Physics in Europe in 19th and 20th Centuries, SIF, Bologna, 1993,

69-80.

[546] J. L. Lagrange: *Mécanique analytique*, Paris, 17-23, 225-230.

[547] L. Carnot: *Principes...*, op cit., p. X.

[548] J.-L. Lagrange: "Recherches sure la libration de la Lune", in *Oeuvres*, Paris, 1867-1892, VI, 5-61.

[549] Una chiarificazione ulteriore della filosofia della scienza di L. può ottenersi da A.Drago: "Leibniz's Scientia Generalis reinterpreted and accomplished by means of modern theories", in C. Cellucci et al. (ed.): *Logica e filosofia della scienza. Problemi e prospettive*, ETS, Pisa, 1994, 35-54; "The modern fulfillment of Leibniz's program for a Scientia Generalis", in H. Breger (ed.): *VI Int. Kongress. Leibniz und Europa*, Hannover, 1994, 185-195. Sarebbe da spiegare perché non in meccanica, ma in geometria, L. Carnot si dichiara seguace di L.. Forse perché L. Carnot non lo poteva seguire sulla vecchia polemica della vis viva, né c'erano altri punti di collegamento tra loro due che allora apparissero indiscutibilmente importanti.

[550] R. Dugas: *La mécanique au XVII siècle*, Griffon, Neuchatel, 1954, p. 519.