



# COMPLESSITÀ E RIDUZIONE

a cura di

Vincenzo Fano  
Enrico Giannetto  
Giulia Giannini  
Pierluigi Graziani



*Isonomia Epistemologica*

Isonomia – Epistemologica

Volume 2

# **COMPLESSITÀ E RIDUZIONISMO**

Volume 1  
*Il Realismo Scientifico di Evandro Agazzi*  
Mario Alai, ed.

Volume 2  
*Complessità e Riduzionismo*  
Vincenzo Fano, Enrico Giannetto, Giulia Giannini, Pierluigi Graziani, eds.

ISONOMIA - Epistemologica Series Editor  
Gino Tarozzi

[gino.tarozzi@uniurb.it](mailto:gino.tarozzi@uniurb.it)

# **COMPLESSITÀ E RIDUZIONE**

*a cura di*

Vincenzo Fano  
Enrico Giannetto  
Giulia Giannini  
Pierluigi Graziani

© ISONOMIA – Epistemologica  
All rights reserved.

ISSN 2037-4348

Scientific Director: Gino Tarozzi  
Managing Director: Pierluigi Graziani  
Department of Foundation of Sciences  
P.za della Repubblica, 13 – 61029 Urbino (PU)

<http://isonomia.uniurb.it/>

Design by [massimosangoi@gmail.com](mailto:massimosangoi@gmail.com)

---

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form, or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without prior permission, in writing, from the publisher.

## Sommario

VINCENZO FANO, ENRICO GIANNETTO, GIULIA GIANNINI, PIERLUIGI GRAZIANI <i>Riflettendo su complessità e riduzionismo</i> .....	1
GIAN-ITALO BISCHI <i>Modelli dinamici per le scienze sociali</i> .....	7
LUCIANO BOI <i>Remarks on the geometry of complex systems and self-organization</i> .....	21
CLAUDIO CALOSI, VINCENZO FANO <i>Coscienza e fisicalismo minimale</i> .....	37
SALVO D'AGOSTINO <i>Newton, Ampère, Maxwell, Einstein: sulla deduzione dei fenomeni</i> .....	47
PIERLUIGI GRAZIANI <i>Elementare ma complessa: la prospettiva della complessità computazionale attraverso il caso studio della geometria di Tarski</i> .....	59
ARCANGELO ROSSI <i>Dai modelli riduzionistici della realtà fisica nella scienza classica alla complessità nella scienza contemporanea</i> .....	75
ROBERTO SERRA <i>Complex Systems Biology</i> .....	93
GIORGIO TURCHETTI <i>Dai modelli fisici ai sistemi complessi</i> .....	101
SERGIO CHIBBARO, LAMBERTO RONDONI, ANGELO VULPIANI <i>Considerazioni sui fondamenti della meccanica statistica</i> .....	123



## Riflettendo su complessità e riduzionismo

Vincenzo Fano  
Università degli Studi di Urbino Carlo Bo  
[vincenzo.fano@uniurb.it](mailto:vincenzo.fano@uniurb.it)

Enrico Giannetto  
Università degli Studi di Bergamo  
[egiannet@unibg.it](mailto:egiannet@unibg.it)

Giulia Giannini  
Centre Alexandre Koyré, Paris  
[giulia.giannini@gmail.com](mailto:giulia.giannini@gmail.com)

Pierluigi Graziani  
Università degli Studi di Urbino Carlo Bo  
[pierluigi.graziani@uniurb.it](mailto:pierluigi.graziani@uniurb.it)

Il volume raccoglie gli atti della XIII Scuola Estiva di Filosofia della Fisica, tenutasi a Cesena dal 13 al 18 settembre 2010. A partire dal 1998, il Centro Interuniversitario di ricerca in Filosofia e Fondamenti della Fisica (Urbino, Bologna, Salento e Insubria) organizza annualmente una scuola estiva in collaborazione con la Società Italiana di Logica e Filosofia delle Scienze (SILFS) e il Comune di Cesena. La scuola, diventata ormai punto di riferimento annuale per studenti, insegnanti e studiosi di varie discipline, affronta ogni anno un tema differente invitando i maggiori esperti italiani sull'argomento. Dedicata a "Complessità e Riduzionismo", l'edizione del 2010 si è avvalsa anche della collaborazione della Scuola di Dottorato in Antropologia ed Epistemologia della Complessità dell'Università degli

© 2012 Vincenzo Fano, Enrico Giannetto, Giulia Giannini, Pierluigi Graziani  
"Riflettendo su complessità e riduzionismo", in *Complessità e riduzionismo*, pp. 1-5  
Published by Isonomia, Rivista online di Filosofia – Epistemologica – ISSN 2037-4348  
Università degli Studi di Urbino Carlo Bo  
<http://isonomia.uniurb.it/epistemologica>

Studi di Bergamo che, dal 2002, promuove in Italia e nel mondo la formazione e il perfezionamento di ricercatori esperti nella complessità storica, filosofica e antropologica delle scienze naturali e umane.

Come mostrano i contributi qui raccolti, durante i lavori della scuola, complessità e riduzionismo sono stati affrontati dai relatori a partire da prospettive diverse e sotto differenti punti di vista.

Gian-Italo Bischi, dopo aver brevemente delineato la storia della progressiva matematizzazione dell'economia, si è concentrato soprattutto sull'utilizzo di modelli dinamici non lineari. Sviluppati inizialmente in ambito fisico e basati su equazioni di evoluzione, tali modelli deterministici vengono utilizzati per prevedere – ed eventualmente controllare – l'evoluzione temporale di sistemi reali. Secondo Bischi, la scoperta che modelli dinamici non lineari (tipici dei sistemi sociali che presentano continue interazioni e meccanismi di feed-back) possono esibire comportamenti di caos deterministico, caratterizzato dalla proprietà di amplificare in modo difficilmente prevedibile perturbazioni arbitrariamente piccole, ha suscitato un certo imbarazzo e nel contempo creato nuove possibilità. Imbarazzo perché la presenza di caos deterministico rende insostenibile l'ipotesi dell'agente economico razionale, ovvero capace di prevedere correttamente; ma apre anche nuove possibilità, poiché tale scoperta mostra che quei sistemi economici e sociali caratterizzati da fluttuazioni in apparenza casuali potrebbero in realtà essere governati da leggi del moto deterministiche (anche se non lineari).

Se Bischi ha affrontato il tema della complessità in ambito economico, Salvo D'Agostino ha invece introdotto e approfondito il problema dei successi e dei fallimenti dell'assiomatizzazione in campo fisico. Uno degli aspetti più dibattuti della complessità sul versante scientifico e filosofico è infatti quello della supposta rinuncia a una generalizzazione dei procedimenti assiomatico-deduttivi come metodo generale della ricerca scientifica. A partire dalla considerazione che la fisica pre-relativistica è spesso stata considerata fondata prevalentemente sul trionfo di tale metodo, D'Agostino ha evidenziato la presenza di una posizione antagonista presente già in Newton e ripresa successivamente da Ampère e Maxwell. Alternativa al metodo assiomatico-deduttivo, tale prospettiva si fonda sul ricorso alla cosiddetta deduzione dai fenomeni. Una variazione sul tema, è stata individuata da D'Agostino anche nel contributo di Einstein in cui alla celebrazione del metodo assiomatico-deduttivo si contrappone una lode dell'osservazione dei fenomeni e della riflessione sugli esperimenti: è proprio ponendo il problema di una scelta o conciliazione fra le due che

Einstein avrebbe, secondo D'Agostino, il merito di aver aperto la via al pensiero scientifico moderno.

Sempre in ambito fisico, Arcangelo Rossi ha tracciato, da un punto di vista storico, il passaggio dai modelli riduzionistici che hanno caratterizzato lo studio delle realtà fisica nella scienza classica all'emergere della questione della complessità nella scienza contemporanea. In particolare, a partire dall'affermazione di Ernst Cassirer secondo cui la piena transizione da un'accezione sostantiva ed esplicativa dei modelli a una formale e funzionale sarebbe rintracciabile già alle origini della scienza moderna, Rossi ha mostrato come la visione della natura che emerge dalla scienza classica illuminista fosse comunque realista e riduzionista. Benché alcuni aspetti e alcune visioni non propriamente qualificabili come riduzioniste e meccaniciste siano già presenti all'interno della scienza classica, la tematica della complessità comincia a svilupparsi in fisica solo alla fine dell'Ottocento.

Sergio Chibarro, Lamberto Rondoni e Angelo Vulpiani hanno affrontato il ruolo del caos e l'emergenza di proprietà collettive all'interno della meccanica statistica. In particolare, hanno mostrato l'esistenza di due posizioni nettamente diverse: da una parte il punto di vista "tradizionale", risalente a Boltzmann e parzialmente formalizzato da Khinchin, secondo cui la meccanica statistica sarebbe caratterizzata in primo luogo dall'enorme numero di gradi di libertà; dall'altro la scuola "moderna" cresciuta intorno a Prigogine e ai suoi collaboratori, che considera il caos come l'ingrediente fondamentale. Anche attraverso alcune simulazioni numeriche, gli autori hanno mostrato come anche all'interno della meccanica statistica si faccia avanti il problema della complessità e del riduzionismo. Sebbene i risultati di Khinchin non siano in grado di rispondere in modo definitivo a tutti i problemi sollevati dalla relazione fra termodinamica e meccanica statistica, il numero estremamente grande di gradi di libertà che tale approccio prende in considerazione permette *l'emergere*, nei sistemi macroscopici, di proprietà del tutto assenti in sistemi piccoli.

Giorgio Turchetti ha introdotto il problema del passaggio dai modelli fisici ai sistemi complessi mostrando come i limiti che il disegno riduzionista incontra già per i sistemi fisici diventino decisamente più forti nel caso dei sistemi complessi. La grande differenza tra un sistema fisico e un sistema complesso risiederebbe infatti, secondo Turchetti, nel fatto che il primo, fissate le condizioni esterne, ha sempre le medesime proprietà, mentre il secondo cambia con il fluire del tempo, perché la sua organizzazione interna muta non solo al cambiare di fattori ambientali ma anche con il succedersi delle generazioni. È in tale prospettiva che egli

giunge a definire complessi non tanto i sistemi caratterizzati da proprietà emergenti e da interazioni non lineari tra i loro componenti (definibili come sistemi dinamici), ma piuttosto i sistemi viventi o quelli di vita artificiale che ne condividono le proprietà essenziali.

Il problema di complessità e riduzionismo in campo biologico è stato poi affrontato in maniera diretta da Luciano Boi e da Roberto Serra. Il primo ha mostrato come lo studio del comportamento dinamico delle strutture cellulari non possa essere descritto con sufficiente accuratezza né dalla convenzionale dinamica dell'equilibrio né da modelli statici e richieda quindi nuovi strumenti. In particolare, egli ha affrontato la necessità – per una comprensione del comportamento dei sistemi (dinamici) complessi – di un'adeguata conoscenza delle caratteristiche cinetiche e topologiche delle loro componenti. A differenza dello studio dei meccanismi molecolari, l'analisi del comportamento dinamico delle strutture cellulari non necessita tanto di una profonda e dettagliata conoscenza del comportamento di ogni singola molecola, ma piuttosto delle regole che governano il comportamento globale e collettivo dei sistemi.

In consonanza con il contributo di Boi, Serra ha spiegato come la scienza dei sistemi complessi abbia mostrato l'esistenza di "leggi" in gran parte indipendenti dalle specifiche caratteristiche delle entità microscopiche che tuttavia ne descrivono il comportamento e l'interazione. Se la ricerca di proprietà generali ha ormai assunto una grande rilevanza in ambito fisico, nelle scienze biologiche si trova ancora nei suoi primi stadi di vita. Attraverso una serie di esempi, Serra ha mostrato come tale approccio, da considerarsi non in opposizione alla biologia molecolare classica ma a essa complementare, sembra però portare anche in ambito biologico a importanti e promettenti risultati. Emblematico in questo senso è per Serra il lavoro di Kauffman che rivela come un sistema dinamico di geni che interagiscono fra loro mostri delle proprietà di auto-organizzazione che spiegano alcuni aspetti della vita, fra cui l'esistenza di un numero limitato di tipi cellulari in ogni organismo multicellulare.

Pierluigi Graziani ha affrontato invece il problema della complessità computazionale in riferimento alla decidibilità della geometria elementare di Tarski. A partire soprattutto dai lavori di Fisher, Rabin e Meyers e in confronto con il lavoro di Tarski, Graziani ha analizzato come il problema della decisione si trasformi nella determinazione di quanto tempo e spazio di memoria impieghi un algoritmo di decisione per una teoria a determinare se un enunciato della teoria ne sia o meno un teorema. In teoria della complessità computazionale, infatti, si assume che siano computazionalmente intrattabili quei compiti che richiedono risorse di

tempo e spazio di memoria (le cosiddette risorse computazionali) che crescono esponenzialmente con la lunghezza dell'input; e che siano computazionalmente trattabili quelli che richiedono risorse che crescono al più in modo polinomiale con la lunghezza dell'input. In tale prospettiva, la complessità computazionale non concerne dunque quante risorse richiede lo svolgere un determinato compito, bensì quanto aumentano le risorse richieste al crescere delle dimensioni dei dati.

Claudio Calosi e Vincenzo Fano hanno mostrato come il problema della complessità e del riduzionismo riguardi anche il rapporto fra psicologia e fisica. In particolare, hanno proposto qui un nuovo esperimento mentale che hanno chiamato Shem-Shaun – dal nome dei due gemelli protagonisti del *Finnegan's Wake* di Joyce – e che solleva un problema per il Fisicalismo minimale in filosofia della mente. Il fisicalismo minimale viene infatti caratterizzato come quella tesi secondo cui le proprietà mentali sopravvengono nomologicamente sulla proprietà fisiche, una forma di riduzionismo per cui, stabilite le proprietà fisiche del mondo, quelle mentali sarebbero necessariamente determinate. Gli autori sostengono che, o il Fisicalismo minimale è incapace di dare un resoconto adeguato dell'esperimento Shem-Shaun o ne deve dare un resoconto che è in forte tensione con la nostra attuale immagine scientifica del mondo.

Nel loro insieme, i lavori presentati testimoniano da un lato la vivacità degli studi epistemologici sulla complessità e dall'altro l'importanza del concetto di complessità per la filosofia della scienza e, in particolare, della fisica.

# Newton, Ampère, Maxwell, Einstein: sulla deduzione dei fenomeni

Salvo D'Agostino  
Università di Roma "La Sapienza"  
[saldagostino1921@tiscali.it](mailto:saldagostino1921@tiscali.it)

## 1. Introduzione

Il tema della complessità della scienza è stato da qualche decennio oggetto di una vasta letteratura sia sul versante più strettamente scientifico, sia sul piano filosofico. Un argomento emerso con notevole interesse ha riguardato un aspetto della complessità inteso come rinuncia a una generalizzazione dei procedimenti assiomatico-deduttivi come metodo generale della ricerca scientifica. È stata espressa la convinzione che la fisica pre-relativistica sia stata fondata prevalentemente sul trionfo di questo metodo, sulla scia, fra l'altro, della gloriosa tradizione dei Principia newtoniani. Pur riconoscendo la sua imponenza storica e concettuale, che ha condotto spesso a una sua identificazione con la stessa tradizione della scienza occidentale, la mia ricerca storica ha evidenziato una posizione antagonista presente nelle idee di Newton, e ripresa da due grandi fisici ottocenteschi, Ampère e Maxwell, posizione consistente in un ricorso alla cosiddetta deduzione dai fenomeni, un metodo di ricerca che rappresenta un'importante alternativa rispetto al metodo assiomatico-deduttivo. Nei primi decenni del nuovo secolo, si impongono poi progressivamente le idee di Einstein, che sul problema del metodo presentano un'irrisolta problematica. La celebrazione del metodo assiomatico-deduttivo si contrappone ad una lode dell'osservazione dei fenomeni e della riflessione sugli esperimenti, una variazione sul tema della deduzione dai fenomeni. Seppure i contributi del grande scienziato alle teorie derivate dagli assiomi del campo generalizzato non portarono a teorie

© 2012 Salvo D'Agostino

Newton, Ampère, Maxwell, Einstein: sulla deduzione dei fenomeni", in *Complessità e riduzionismo*, pp. 47-56

Published by Isonomia, Rivista online di Filosofia – Epistemologica – ISSN 2037-4348

Università degli Studi di Urbino Carlo Bo

<http://isonomia.uniurb.it/epistemologica>

conclusive, le sue idee in merito contribuirono enormemente alla moderna riflessione storico-epistemologica sulla scienza.

## **2. Newton: la deduzione dai fenomeni si accorda con la proibizione delle ipotesi**

Un'attenta lettura della grande opera di Newton, *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*<sup>1</sup>, il primo caso storico nella scienza moderna di una parziale assiomatizzazione della meccanica celeste, mostra che ai capitoli di una scienza dei principi si alternano procedimenti indicati da Newton come deduzione dai fenomeni. È notevole, ma, a mia conoscenza ignorato dalla storiografia, che la tematica della deduzione dai fenomeni si accordi in Newton con la sua ben nota proibizione delle ipotesi. Una sua chiara affermazione figura in un passo del Libro Terzo dell'opera, Il Sistema del Mondo:

Ma sino ad ora non sono stato capace di scoprire attraverso i fenomeni la causa di quelle proprietà della gravità e non escogito [«I frame not»] ipotesi; perché qualsiasi cosa che non è dedotta dai fenomeni, deve chiamarsi un'ipotesi, e le ipotesi, sia metafisiche sia fisiche sia delle qualità occulte sia meccaniche, non devono figurare nelle filosofia sperimentale.<sup>2</sup>

Si noti che nel passo citato Newton fa coincidere il metodo della deduzione dai fenomeni con quello della proibizione delle ipotesi. Secondo la logica newtoniana, infatti, è il metodo di deduzione dai fenomeni che evita ricerca e introduzione di ipotesi. Il metodo di deduzione dai fenomeni è quindi il metodo della filosofia naturale perché esente da ipotesi. Il metodo della induzione dai fenomeni è viceversa affermato nella IV Regola del Filosofare, una delle regole del metodo scientifico, premessa allo stesso Terzo Libro:

Nella filosofia sperimentale dobbiamo riguardare le proposizioni inferite attraverso la induzione generale dai fenomeni come vere con precisione o con approssimazione, nonostante ogni ipotesi contraria che possa essere immaginata, sino a quando non si presentino altri fenomeni con i quali essi [le proposizioni] possono essere o rese più accurate o difettose. Dobbiamo

---

<sup>1</sup> Newton (1729).

<sup>2</sup> Newton (1729, 371)

seguire questa regola affinché il metodo [«the argument»] dell'induzione non possa essere aggirato con delle ipotesi [corsivo nel testo].<sup>3</sup>

I due metodi, che indicherò qui per brevità come deduttivo e induttivo, possono presentarsi a una prima lettura come antitetici, ma si deve tener presente che Newton li considera complementari, nel senso che per vie diverse giungono allo stesso risultato, la scoperta delle leggi dei fenomeni. Infatti, tutti e due sono presentati come due diversi procedimenti nell'applicazione delle leggi del moto. Ma un privilegio per la deduzione da principi matematici, il tema evidenziato anche nel titolo del grande libro, sembra potersi evidenziare dal passo seguente:

Presento questo libro come i principi matematici della filosofia perché tutto il compito della filosofia sembra consistere in questo - dai fenomeni del moto investigare le forze della natura e poi da queste forze dimostrare gli altri fenomeni; a questo scopo sono rivolte le proposizioni generali del primo e secondo libro. Nel terzo libro presento un esempio della spiegazione del Sistema del Mondo, perché dalle proposizioni dimostrate matematicamente nei libri precedenti, nel Terzo derivò dai fenomeni celesti le forze della gravità ... e poi da queste forze deduco il moto dei pianeti.<sup>4</sup>

Nel procedimento newtoniano per la ricerca delle forze gravitazionali attraverso la loro deduzione dai fenomeni celesti, la deduzione si presenta quindi con un ruolo privilegiato rispetto alla induzione, ma un ruolo speciale sembra essere attribuito a una speciale deduzione, la deduzione dai fenomeni. Considero una conferma indiretta di questa tesi il fatto che il metodo è applicato da Newton nelle argomentazioni sul celebre esperimento del secchio, nel senso che esse si ricollegano al precedente metodo della deduzione dai fenomeni. L'esperimento è collocato all'inizio dei *Principia*, nello *Scholium* che segue le definizioni, nella parte cioè destinata a costituire l'ossatura concettualmente portante dell'opera, con lo scopo di distinguere il moto assoluto dal relativo, problema che è di immediato impatto sulla teoria newtoniana eliocentrica<sup>5</sup>. Anche il rapido esame, in questa sede, dell'esperimento ci porta a concludere che esso presenta una situazione nella quale la rotazione relativa dell'acqua rispetto al secchio non è simmetrica, a parità di moto relativo, rispetto alla rotazione del secchio

---

<sup>3</sup> Newton (1729, 271).

<sup>4</sup> Newton (1687), Prefazione alla prima edizione.

<sup>5</sup> Newton (1687, 11). Mediante l'esperimento Newton vuole mostrare che distinguere le forze impresse o forze vere o assolute dalle forze insite o forze relative, non è poi «una cosa del tutto disperata». L'effetto della rotazione assoluta è la forza insita che produce la curvatura dell'acqua. Per maggiori dettagli, cfr. D'Agostino (1978, 275-290).

rispetto all'osservatore. Da questo esperimento, che Newton afferma di aver effettivamente eseguito, egli vuol dedurre che l'acqua si muove di moto assoluto. Lasciando aperto il problema del carattere pensato o effettivamente eseguito dell'esperimento, un'attenta lettura di quello che si può considerare come uno delle più interessanti pagine dell'opera, porta a concludere che nell'argomentazione della deduzione del moto assoluto Newton ricorre soltanto a considerazioni di logica relazionale, nel senso che il suo argomento si fonda sulla mancanza di simmetria nei due moti relativi. Effettivamente, egli si limita a postulare che l'asimmetria dei risultati richiede una spiegazione, che nel contesto dei Principia, egli attribuisce agli effetti del moto assoluto. Non una dimostrazione quindi del moto assoluto ma una sua "postulazione". L'argomento è esente da quelle ipotesi che invece si richiederebbero in un possibile, ma alternativo, metodo induttivo o deduttivo dalle ipotesi. In termini moderni, si direbbe che l'argomento newtoniano procede in conseguenza di una rottura di simmetrie. L'asimmetria rilevata da Newton lo convince a postulare il moto circolare assoluto dell'acqua<sup>6</sup>. Queste pagine dei Principia hanno costituito per due secoli oggetto di controversie riguardanti o l'accusa di inconsistenza della dimostrazione newtoniana,<sup>7</sup> oppure le sue difese<sup>8</sup>. Dirò in breve, che le accuse rivolte a Newton riguardavano la sua pretesa di aver dimostrato il moto assoluto, accuse che cadono se si accetta la tesi che il procedimento newtoniano non è una dimostrazione del moto assoluto ma una sua "postulazione".

### 3. Ampère e Maxwell sulla deduzione dai fenomeni

Nell'ambito delle considerazioni di questo articolo è interessante rilevare che il metodo Newtoniano della deduzione dai fenomeni viene privilegiato a

---

<sup>6</sup> La spiegazione dell'asimmetria fra moti inerziali e moti accelerati è ancora oggetto del Principio di Mach e della teoria della Relatività Generale.

<sup>7</sup> La critica di Berkeley a Newton è principalmente nel saggio: *The Principles of human knowledge* in Berkeley (1948-1957). Per quanto riguarda l'esperimento del secchio, secondo Berkeley: «A riguardo di ciò che si dice (nei Principia) della forza centrifuga, cioè che essa non appartiene affatto al moto relativo circolare, io non capisco ' come ciò possa seguire dall'esperimento che si porta avanti per provare ciò ... (è citato l'esp. del secchio). Perché proprio al tempo in cui si dice che l'acqua del secchio ha il suo maggiore moto circolare relativo proprio allora io credo che non si muova affatto».

<sup>8</sup> Secondo Sciamia, la dimostrazione newtoniana non è una spiegazione fisica del ruolo privilegiato dei riferimenti inerziali ma un'affermazione della loro esistenza. Cfr. Sciamia (1972, 23-24).

distanza di più di cento anni da Ampère e da Maxwell. Ampère apre la sua *Théorie des phénomènes électrodynamiques, uniquement déduite de l'expérience*<sup>9</sup>, con un'apologia di Newton. Il tempo di Newton rappresenta nella storia della scienza quello in cui ebbe luogo la più importante delle scoperte fatte dall'uomo sulla causa dei grandi fenomeni dalla natura, ed anche l'epoca in cui allo spirito umano si è aperto un nuovo metodo nelle scienze che hanno per oggetto lo studio di questi fenomeni. Segue la considerazione il metodo di Newton, la deduzione dagli esperimenti, lo ha guidato nella scoperta della legge elementare dell' elettrodinamica. Nella sua ricerca di esperimenti da cui dedurre la legge – si noti la variazione rispetto ai fenomeni newtoniani – Ampère inventa forme di circuiti mobili che siano in equilibrio sotto l'azione di altri circuiti, le cosiddette “bilance di Ampère”. Con una sorprendente ripresa del celebre tema newtoniano, afferma che il metodo ha il merito di escludere per sempre le ipotesi: «[...] il principale vantaggio delle formule che così si raggiungono [...] è di restare indipendente sia dalle ipotesi che possono essere servite ai loro autori durante la ricerca, sia di quelle altre che, nel seguito, vi si sono sostituite»<sup>10</sup>.

Si noti che il carattere formale della legge é collegato al modo della sua deduzione, ed è questa che gli attribuisce requisiti di perenne validità, prescindendo dalle particolari ipotesi fisiche esplicative, il cui carattere aleatorio contrasterebbe la generalità: «Qualunque sia la causa fisica alla quale si vogliono riportare i fenomeni prodotti da questa azione, la formula che io ho ottenuto resterà sempre l'espressione dei fatti». Insistendo su questa interessante identificazione del formale e del fattuale puro, aggiunge: «Qualsiasi ricerca sulle cause non cambierà per niente i risultati del mio lavoro, perché, per accordarsi con i fatti, l'ipotesi adottata deve sempre accordarsi con le formule che così completamente le rappresentano»<sup>11</sup>.

Senza nulla togliere ai grandi contributi di Ampère all' elettrodinamica, lodati dallo stesso Maxwell, lo storico deve constatare che la stessa scelta a favore del formalismo matematico che lo aveva guidato ai grandi successi, rappresentò per lo scienziato francese un impedimento per la scoperta della propagazione delle forze elettriche, teoria che pure egli riteneva del più grande interesse per il progresso della scienza. Così infatti egli deplora la matematica troppo vaga dell'etere: «[...] in assenza di una conoscenza matematica degli effetti dei movimenti dei fluidi, [...] le considerazioni

---

<sup>9</sup> Ampère (1826).

<sup>10</sup> Ampère (1826, 10).

<sup>11</sup> Ampère (1826, 8).

sull'etere [...] sono troppo vaghe per servire di base ad una legge la cui esattezza possa essere provata con delle esperienze dirette e precise»<sup>12</sup>.

Sappiamo che ci sarebbe voluto un Faraday, qualche tempo dopo e in una differente cultura, quella dell' Inghilterra di metà ottocento, per proporre una ardua concezione del mezzo, anche se la matematica non riusciva, per il momento, a trovarvi posto. In seguito le idee di Faraday sarebbero riuscite a provocare i grandi matematici suoi contemporanei William Thomson e James Clerk Maxwell, che nella matematica dei mezzi continui trovarono il modo di esprimere la concezione fisica della priorità delle forze nel mezzo attorno al filo conduttore e della loro diffusione nello spazio. Ma con un'originale sintesi fra empirismo e deduttivismo anche Maxwell elogia il metodo della deduzione dai fenomeni:

[...] il vero metodo del ragionamento fisico è quello di iniziare con i fenomeni e attraverso un'applicazione diretta delle equazioni del moto dedurre le forze [...] il calcolo del moto quando sono note le forze, oltre che essere più difficile, non è così importante né così facile per essere applicato ai metodi analitici della scienza fisica.<sup>13</sup>

Nessun miglior commento a questa fondamentale posizione maxwelliana che la considerazione del procedimento mediante il quale lo scienziato scozzese capovolge il metodo seguito da Hermann Helmholtz e da William Thomson per derivare la legge dell'induzione elettromagnetica scoperta da Faraday. Helmholtz nel 1847, e un anno dopo Thomson, avevano dedotto la legge dalle "azioni meccaniche esercitate dai circuiti", ma Maxwell segue la strada inversa, deducendo l'azione meccanica dal fenomeno d'induzione<sup>14</sup>. Secondo lo scienziato scozzese, infatti, i procedimenti di Thomson ed Helmholtz, ipotizzando che tutta l'energia in gioco fosse quella meccanica dei circuiti elettrici (forza x spostamento), introducevano in partenza ipotesi meccaniche troppo restrittive, inficiando così la stessa generalità del metodo deduttivo. Oggi comprendiamo che il potere euristico del metodo di Maxwell è legato al procedimento di correlare l'energia del sistema elettromagnetico non più al lavoro meccanico esterno, ma al lavoro delle forze interne di campo, rappresentate dal potenziale vettore, rifacendosi quindi a un'espressione di una energia più generale di quella meccanica, l'energia elettromagnetica, un concetto fondamentale della maxwelliana teoria di campo.

---

<sup>12</sup> Blondel (1989, 133).

<sup>13</sup> Maxwell (1876, 208-209).

<sup>14</sup> Maxwell (1996, 9-10).

#### **4. Einstein: la fisica dei principi contrapposta alla deduzione dai fenomeni**

In un passaggio della *Spenser Lecture*, Albert Einstein esprime la convinzione che il pensiero puro ha la potenza di dominare la realtà:

Ora, stabilito che il fondamento assiomatico della fisica teorica non è deducibile dall'esperienza, ma è viceversa creato liberamente dall'intelletto, sussiste la speranza di trovare la strada giusta ? ... La mia risposta è che, a mio avviso, la strada giusta esiste e che è possibile trovarla ... io sono convinto che per mezzo di costruzioni puramente matematiche è possibile scoprire quei concetti che ci danno la chiave ... è nella matematica che risiede il principio creatore. Io sono portato a credere nella capacità, in certo senso, del pensiero puro a dominare la realtà, proprio come pensavano gli antichi.<sup>15</sup>

In altre parti dei suoi scritti epistemologici notiamo che Einstein elogia i metodi empirici. Valga in questa sede, fra i tanti possibili riferimenti, una lettera all'amico Besso, nel quale il grande fisico teorico rivaluta i fondamenti empirici delle geometria di Riemann:

Le tue osservazioni al riguardo del ruolo dell'esperienza e della speculazione mi sono molto piaciute. Vorrei soltanto aggiungere che non è ammissibile considerare i risultati di Riemann come pure speculazioni. Il contributo di Gauss è di aver formulato le leggi dello spostamento di piccole sbarrette rigide su una data superficie, i suoi ds sono la piccola sbarretta, senza questa rappresentazione concreta tutta il ragionamento sarebbe rimasto impossibile. La generalizzazione a uno spazio a n dimensioni fatta da Riemann è, senza dubbio, un fatto puramente speculativo, ma riposa anch'essa sulla concezione gaussiana della sbarretta "etalon". Dimenticando l'origine terrestre del ds<sup>2</sup> i successori non hanno certamente compiuto un progresso. Nel suo bel libro Weyl chiama a ragione la teoria di Riemann la geodesia delle costruzioni pluridimensionali.<sup>16</sup>

Si noti il sorpreso commento di Pais che aveva sopravvalutato l'atteggiamento empirico di Einstein: «non riesco a credere che questo fosse lo stesso Einstein che nel 1917 aveva messo in guardia Felix Klein dal sopravvalutare la portata dei punti di vista formali, che falliscono quasi sempre come strumenti euristici»<sup>17</sup>. Si deve così riconoscere che la filosofia di Einstein, specie negli scritti della maturità, si muove attorno a una irrisolta problematica: l'esigenza che una base empirico-strumentale debba

---

<sup>15</sup> Einstein (1933).

<sup>16</sup> Einstein A., Besso M., (1972, 138).

<sup>17</sup> Pais (1986, 372).

porsi a fondamento delle teorie si contrappone alla convinzione della potenza del pensiero puro di dominare la realtà. Egli stesso riconobbe il problema in risposta a una provocazione di Margenau: «Margenau: La posizione di Einstein ... contiene caratteristiche di razionalismo e di estremo empirismo ». Risposta di Einstein:

Questo è corretto. Ma da dove deriva questa fluttuazione? (Da una parte) la fisica come sistema logico-concettuale trova un pericoloso ostacolo nell'arbitrarietà di questa scelta. Quindi il fisico cerca di connettere il più possibile i suoi concetti con il mondo empirico. Qualche volta ci riesce, ma è sempre esposto al dubbio che questa connessione dipenda a sua volta dall'intero sistema. [...] Quindi egli diventa ancor più razionalista riconoscendo l'indipendenza logica del sistema, ma così rischia di perdere contatto con il mondo empirico. Un ondeggiare fra questi due estremi mi sembra inevitabile<sup>18</sup>.

## **5. Conclusioni**

In questo lavoro ho messo in evidenza che nelle riflessioni metodologiche di grandi scienziati si nota una differenza, se non una contraddizione, fra due metodi di ricerca caratterizzati come scienza dei principi e deduzione dai fenomeni. È noto che la scienza dei principi ha avuto una millenaria storia nel pensiero occidentale, a cominciare dalla geometria di Euclide, con il seguito dei Principia newtoniani e delle generalizzazioni non-euclidee della geometria. Non è stato facile resistere alla sua estremizzazione, come al fascino delle capacità del pensiero puro di afferrare la realtà, a cui lo stesso Einstein non si era sottratto. Ma si farebbe un torto alla realtà storica della scienza ignorando o sottovalutando l'altra esigenza, da me qui sottolineata, di un rifugio nella realtà fenomenica, lodato per la sua pregevoli caratteristica di evitare ipotesi non giustificate (Newton), di risalire alla forma matematica delle leggi (Ampère), di mantenere un giusto equilibrio fra concezioni fisiche -i modelli con i quali Maxwell aveva costruito le sue equazioni –e le teorie matematiche. Ho notato che il metodo si sviluppa con l'elaborazione di proprietà di simmetria dei fenomeni, come nel caso di Newton e di Ampère. Da notare che il metodo delle simmetrie é aleatorio, nel senso che ogni simmetria si riferisce a casi particolari, o, ugualmente , ogni modello ha una valenza limitata spazialmente e temporalmente. Il metodo é quindi difficilmente riconducibile a processi assiomatico-deduttivi, per cui era giustificata la sorpresa di Poincaré nel trovare

---

<sup>18</sup> Einstein (1949, 679-680).

nell'opera di Maxwell più che un trattato di fisica un elenco di macchine e strumenti di officina. In quest'ultimo caso, si tratta di accettare la coesistenza, in un complesso rapporto interno, di ambiti riduzionistici limitati che si può intendere come aprire una via ai problemi della complessità. L'ondeggiare fra le due vedute del metodo della scienza, evidenziato da Einstein, se pure tollerato pragmaticamente nell'avanzamento della ricerca, si riflette però sul livello della filosofia ponendo un drammatico dilemma: si può dire che nel sostenere la tesi dello "a-priori puro", Einstein rischiava di mettere in dubbio la sua adesione a Kant, decisamente affermata, fra l'altro, in un passaggio di *Reply to Criticism*. È notevole che il dibattito sui due metodi non sia oggi concluso, e che il premio Nobel P. W. Anderson l'abbia rivitalizzato con la sua ammissione di due vie per la ricerca, da lui titolate "Bottom-up" e "Upper-down". La sua manifesta preferenza per la prima alternativa, un risalire dai fenomeni è anche un dedurre da essi le leggi. La problematicità della scelta è però un aspetto delle idee e teorie della complessità che oggi hanno fatto ingresso nelle idee di molti fisici. Ma ciò non implica che l'esigenza di una scienza deduttiva, una scienza dei principia, che caratterizza secondo Einstein la sua teoria, sia da considerare contraddittoria alla sua antagonista, una scienza fenomenologica, su modelli matematici non necessariamente generalizzabili, ma accettabili, come nella tesi di Poincaré<sup>19</sup>, pur nella loro limitata generalizzabilità. Ponendo il problema di una scelta fra le due le oscillazioni, Einstein ha avuto anche il grande merito di aver aperto la via al pensiero scientifico moderno.

## Riferimenti

- Ampère A. M., 1826, *Théorie des phénomènes électrodynamique uniquement déduite de l'expérience*, Paris.
- Berkeley, G., 1948-1957, *The Works of George Berkeley*, Edinburgh.
- Blondel, C., 1989, «Vision physique 'éthérien' et mathématisation 'laplacienne': l'électrodynamique d'Ampère», *Rev. Hist. Sc.*, XLII/ 1-2.
- D'Agostino S., (1978), «Il problema del moto assoluto e della distinzione fra forze impresse e forze insite (inerziali) nei Mathematical Principles of Natural Philosophy di Isaac Newton», *Giornale di Astronomia*, pp. 275-290.

---

<sup>19</sup> Poincaré (1900).

- D'Agostino, S., 1991, «Einstein e Kant: la teoria fisica contro il logico ma vuoto schema dei concetti» in: Petruccioli S, (a cura di) *Immagini, Linguaggi, Concetti*, Theoria Roma, pp. 197-220.
- D'Agostino, S., 1990, «Matematica ed Elettrodinamica nell'opera di Ampère Lo sviluppo delle teorie dell'elettromagnetismo», *Cultura e Scuola*, n.116, Ott-Dic. pp. 261-271.
- D'Agostino, S., 1989, «Fisica e Filosofia in James Clerk Maxwell», *Nuova Civiltà delle Macchine*, vol 26 N.2, pp. 83-91.
- D'Agostino, S., 1995, «Einstein's Life-Long Doubts in the Physical Foundations of the General Relativity and Unified Field Theories» in: Garola C, and Rossi A. (Eds), *The Foundations of Quantum Mechanics-Historical Analysis and Open Questions*, Kluwer Academic Publishers 1995, pp.167-178.
- Einstein, A., 1933, *On the Method of Theoretical Physics*, The Herbert Spencer Lecture delivered at Oxford, June 10, 1933, Oxford Clarendon Press 15 1933; ristampa in *Philosoph. of Science*, vol.1, 1934, pp. 162-169.
- Einstein, A., 1949, «Reply to Criticism» in: *Albert Einstein Philosopher Scientist*, Harpers and Brothers Pbl, N.Y., Vol. 2, pp. 665-688.
- Einstein A., Besso M., 1972, *Correspondence 1903-1955*, trad. di Pierre Speziali con note e introduzione, Hermann Paris.
- Maxwell J. C., 1876, *On the Proof of the Equations of Motion of a connected System*», in *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, Edited by W. B. Niven, Dover publications, N.Y.
- Maxwell, J.C., 1996, *Una teoria dinamica del campo elettromagnetico*, traduzione italiana dall'originale: Maxwell J.C, *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*, a cura di D'Agostino S., Edizioni Teknos, pp. 1-107.
- Pais, H., 1986, *Sottile è il Signore. La Scienza e la Vita di Albert Einstein*, Boringhieri, Torino.
- Poincaré, H., 1900, *Electricité et Optique*, Carré et Noud, Paris.
- Rossi A., 2006, «Mathematical Models and Physical Reality from Classical to Quantum Physics», in: Garola G., .Rossi A., Sozzo S. (Eds) *The Foundations of Quantum Mechanics-Historical Analysis and Open Questions*, Cesena 2004, World Scientific, London-Singapore 2006, pp. 293-300.
- Sciama, T. W, 1972, *La relatività generale*, Bologna, Zanichelli.
- Vizgin V., 1986, «Einstein, Hilbert, and Weyl: the Genesis of the General Relativity» in Howard D., Stachel .J. (Edits) *Einstein and the History*

*D'Agostino: Newton, Ampère, Maxwell, Einstein: sulla deduzione dei fenomeni*

*of General Relativity*, Einstein Studies, Vol. 1, Birkhäuser 1986, pp. 300-314.