

STORIOGRAFIA DELLA FISICA CLASSICA E TEORIA DEL CAOS: PRIGOGINE E CINI

ANTONINO DRAGO

Dip. Scienze Fisiche, Università Federico II, Napoli

Email: adrago@na.infn.it

1. Premessa problematica

Negli ultimi decenni la teoria della caos ha sollevato molte speranze e acceso aspri dibattiti. Da una parte essa è stata proposta come teoria rivoluzionaria, con un capacità di cambiare sia il concetto di scienza (apertura alla complessità e alla vita), sia i rapporti della scienza con la cultura in generale. Dall'altra è stata osteggiata fino a negarne la validità, benché essa abbia un preciso nucleo matematico innovativo. Quindi il primo problema da chiarire è quello dei contenuti effettivi della teoria del caos. Inoltre c'è il problema di chiarire quali siano i suoi reali fondamenti e se la sua nascita faccia compiere un passo avanti nella conoscenza dei fondamenti della scienza tutta. Infine, c'è il problema di comprendere quale sia la validità di quel ripensamento della storia della fisica del passato che alcuni libri di teoria del caos offrono: nuova storiografia o solamente epifenomeno dei risultati di ricerca già ottenuti, o addirittura progettati? Per noi storici della fisica questo problema costituisce una sfida; che è più difficile del normale, perché in questo caso il problema storiografico non è isolabile dai suddetti problemi.

In più ho il problema personale di completare la classificazione, esposta in una recente pubblicazione,¹ di tutte le storiografie, esaminate secondo le due opzioni: sul tipo di infinito (o infinito in atto **IA** o infinito potenziale **IP**; e quindi di matematica o classica o costruttiva) e sul tipo di logica (o quella logica classica o quella non classica; e quindi la organizzazione deduttiva da principi assiomi **OA**, o rivolta a risolvere un problema **OP**).² In questa classificazione ho caratterizzato la storiografia (se essa lo è) della teoria della caos in una maniera approssimativa, che non è adeguata alla sua importanza nel dibattito odierno sulla scienza: essa rappresenta una uscita da OA, ma

¹ A. Drago, "The several categories suggested for the 'new historiography of science': An interpretative analysis from a foundational viewpoint", *Epistemologia* **24** (2001), 48-82.

² A. Drago, *Le due opzioni*, La Meridiana, Molfetta BA 1991.

con un OP incerto; ed è incosciente della scelta sulla matematica, che sembra IP. Perciò in questo lavoro voglio precisare dettagliatamente la capacità delle due opzioni di caratterizzare questo caso di storiografia; e in particolare esaminare le note storiche che ha esposto in Italia un autorevole fisico teorico italiano, M. Cini. Ma per questo scopo, prima cercherò di fare maggiore chiarezza sui contenuti e sui fondamenti della teoria del caos; il che preparerà la successiva valutazione della concezione di Prigogine e infine la valutazione della sua storiografia e di quella di Cini.

2. Presentazione della teoria della complessità e del caos

E' difficile riassumere la letteratura contemporanea sul caos;³ essa si appoggia su risultati molto precisi di ricerca scientifica; epperò è molto vasta e nello stesso tempo spazia nella reinterpretazione dei fondamenti e della storia di tutta la scienza, fino a dilatarsi a visioni filosofiche anche generalissime.

Figura centrale di questa letteratura è I. Prigogine,⁴ russo naturalizzato belga, chimico-fisico premio Nobel per i suoi studi sulla termodinamica dei processi irreversibili (quella parte dei fenomeni termodinamici che, stranamente trascurata per oltre un secolo, è stata riproposta con forza dagli anni '30).

I risultati della ricerca scientifica di Prigogine sono plurimi e, nel corso degli ultimi 50 anni, sono stati da lui enfatizzati in maniere diverse, mettendo in risalto, come passi decisivi, anche promesse di risultati. Per questa enfasi molti vedono con sospetto un programma sia pur attraente.

Il programma di Prigogine può essere riassunto col titolo del suo famoso libro: *La nuova alleanza*. La meccanica ha concepito tutto il cosmo deterministicamente, come se fosse un orologio (Cartesio), fino al sogno di Laplace; il quale, sulla base delle equazioni reversibili della meccanica, pretendeva di poter prevedere tutto il futuro dell'universo, come pure

³ Nella ampia letteratura sull'argomento i testi che preferisco sono G. Gallavotti, "Caos", in *Encicl. Sci. Fisiche*, vol. I, Ist. Enc. Italiana, Roma 1992, 493-500; A. Vulpiani, *Determinismo e Caos*, Nuova Italia, Firenze 1994; D. Ruelle, *Chance and Chaos*, Princeton Univ. Press, Princeton 1991. Dà un'ampia bibliografia E. Giannetto, "Max Born e la nascita della nuova teoria del caos", in A. Rossi (a cura di), *Atti del XIII Congr. Naz. Storia Fisica*, Conte, Lecce 1995, 189-214.

⁴ I. Prigogine e I. Stengers, *La Nuova Alleanza. Metamorfosi della scienza*, Einaudi, Torino 1981 (nel seguito NA); vedansi inoltre: *Tra il tempo e l'eternità*, Bollati Boringhieri, Torino 1989; *La fine delle certezze*, Bollati Boringhieri, Torino 1997 (nel seguito FC).

ricostruire tutto il suo passato, purché gli fossero note le condizioni del sistema ad un certo istante e le forze alle quali il sistema è soggetto. Questa impostazione ha così tanto dominato la fisica teorica tutta e la stessa scienza che ha portato la meccanica a pretendere di spiegare tutto il mondo e quindi di ridurre ogni altra teoria scientifica al suo schema teorico; anche la biologia doveva essere ridotta al meccanicismo. Per tre secoli l'uomo ha interagito con la natura sulla base del paradigma meccanicistico che l'ha forzata al suo "progresso"; ma oggi i controeffetti di questa alleanza oppressiva si manifestano con poderose crisi ecologiche.

In realtà nella fisica c'è un'altra teoria che permette di concepire i fenomeni naturali in maniera più adeguata, la termodinamica; infatti mentre nella meccanica il tempo è reversibile e quindi è inadeguato a dare conto di qualsiasi fenomeno vitale, in termodinamica, dove i fenomeni irreversibili fanno parte costitutiva della teoria, il tempo ha un verso. Inoltre si possono considerare non solo gli stati di equilibrio dei sistemi termodinamici, così come si è fatto per un secolo, ma anche gli stati di non equilibrio, perché questi potrebbero generare nuovi fenomeni. Tanto più se si considerano non i sistemi chiusi della termodinamica classica, ma i sistemi aperti, quelli che possono rappresentare gli organismi viventi in natura: questi hanno il metabolismo come caratteristica essenziale, cioè scambiano materia ed energia con l'esterno. Inoltre la proposta di Prigogine ha sempre sottolineato la complessità dei fenomeni vitali rispetto alla semplicità schematica dei fenomeni inorganici, tanto più quelli solo meccanici. Perciò lo studio dei sistemi aperti ha portato Prigogine ed altri a studiare intensamente la chimica-fisica dei processi irreversibili dei fenomeni dissipativi in situazioni di non equilibrio. Solo con questi si può progettare di arrivare a conoscere i fenomeni vitali. Questa linea di sviluppo permetterà di stabilire una nuova alleanza, che si basi sulla comprensione reciproca tra l'uomo e la natura.

Negli ultimi tre decenni questo programma si è associato alla revisione della meccanica teorica, causata dalla (ri)scoperta della teoria del caos. Questa teoria sottolinea che solo in condizioni particolari dei loro parametri le equazioni differenziali della meccanica danno le soluzioni classiche, quelle che fanno pensare di aver compreso la natura stessa dei fenomeni; mentre invece, in generale, esse danno un insieme caotico di soluzioni, specie se le equazioni sono non lineari. Inoltre in natura esistono molti fenomeni essenzialmente nonlineari (come la goccia che fa traboccare il vaso, o il sassolino che crea la valanga); per cui "Lo sbattere delle ali di una farfalla a Rio de Janeiro può creare un tornado a Miami"; cioè un fenomeno di piccolissima entità può determinare una catastrofe. Allora, guardando complessivamente le soluzioni di una equazione differenziale (specie se non

lineare), esse, invece di variare con continuità, cambiano tra di loro andando a divergere, dopo un certo tempo, di quanto si vuole (esponenzialmente); inoltre, improvvisamente da un tipo di soluzione si passa ad un altro di forma totalmente differente, tanto da ottenere anche soluzioni che sono dei frattali (curve, diciamo grossolanamente, zigurate, che si ripetono simili a sé stesse ad ogni dimensione di scala). Questo tipo di curve era stato già notato da Poincaré un secolo fa, ma poi fu trascurato; è tornato in voga perché con i moderni computer è molto facile generarle. Il tutto accade benché la singola soluzione continui ad essere concepita come perfettamente determinata; per questo si dice che il caos è deterministico.

In particolare, in alcune circostanze le fluttuazioni di sistemi non lineari possono trovare dei punti di biforcazione per le soluzioni, tali da produrre una configurazione stabile e autosostenuta; la quale allora genera un fenomeno nuovo senza che si sia compiuto uno specifico lavoro di organizzazione dall'esterno (strutture dissipative eccezionali). Ad esempio, le celle di Bénard sono un fenomeno di autorganizzazione di un liquido speciale, che, entro certi limiti di temperatura, organizza i moti convettivi in strutture stabili. E' questo un ordine che si crea dal disordine. Con fenomeni di questo tipo si può sperare di dare conto dell'evoluzione della materia dall'inorganico all'organico e così capire la nascita e lo sviluppo della vita.

Tutto ciò si appoggia su almeno due filoni di ricerca scientifica attuale, quello della chimica-fisica e quello del caos deterministico ed ha sicuramente aperto un nuovo campo di indagine scientifica e filosofica; che si proietta nel futuro proponendo un cambiamento radicale della scienza e della concezione di essa; si studiano i sistemi invece delle particelle, la globalità dei fenomeni invece della analiticità enfatizzata dalla meccanica (per la quale le proprietà globali sono univocamente determinate dalle interazioni tra i singoli componenti; quindi la fisica macroscopica è interamente deducibile dalla fisica delle interazioni delle particelle elementari); inoltre si sottolinea la visione darwiniana della evoluzione della scienza (della vita) invece che la ripetitività dei fenomeni meccanici astratti.

Tab. 1 – Progressione dal determinismo meccanicistico a quello caotico.

Equazioni Fondament.	Fondatori	Teoria Fondante	Caratt.che Filosofiche
<u><i>Determinismo</i></u> $\dot{x}_i = f_i(x_j)$	<i>Newton, Laplace</i>	<i>Meccanica di Newton</i>	determinismo reversibilità riduzionismo decidibilità

<p><u>Caos stocastico</u></p> $x = f_i(x_j)$ $\langle \xi_i(t) \rangle = 0$ $\langle \xi_i(t) \xi_j(t') \rangle = \delta_{ij} \delta(t-t')$	<p><i>Boltzmann</i> <i>(Langevin)</i></p>	<p><i>Meccanica Hamiltoniana Meccanica statistica</i></p>	<p>non determinismo non reversibilità riduzionismo decidibilità</p>
<p><u>Caos deterministico</u></p> $\left. \begin{array}{l} \dot{x}_i = f_i(x_j) \\ \Delta c \neq 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{frattali}$	<p><i>Poincaré,</i> <i>Lorenz</i></p>	<p><i>Meccanica di Newton Meccanica statistica</i></p>	<p>determinismo non riduzionismo decidibilità</p>

Una tabella può aiutare a comprendere che tipo di evoluzione filosofica si è avuto nella concezione della fisica teorica a causa della teoria del caos.⁵

La tabella indica una progressione nella perdita di quella descrizione ideale che la meccanica classica (razionale) aveva suggerito come capace di comprendere appieno la natura. La progressione sembra portare, così come molti teorici del caos intendono, ad una sempre maggiore chiarificazione del tipo di risultati realmente possibili.

Ma è difficile valutare la portata di questo programma, perché il suo contenuto scientifico essenziale non è stato mai chiarito. Inoltre anche la novità della teoria del caos è stata divulgata da molta letteratura, ma ha ricevuto poca riflessione critica (e non sempre centrata). Così questa teoria si propone in maniera ambigua: è essa una variante, un'aggiunta, o un'alternativa alla teoria tradizionale? Senza fornire una risposta, essa fa solo respirare aria di rivoluzione (come quella della relatività ristretta, un'altra teoria che criticò un assoluto, lo spazio). Per questo motivo occorre innanzitutto chiarire la portata di questa teoria, la teoria più innovativa coinvolta da Prigogine.

3. La teoria della caos e la scelta del tipo di matematica

Si può andare più a fondo delle valutazioni correnti sulla teoria del caos, facendo riferimento ad una concezione dei fondamenti di una teoria scientifica, come quella delle due opzioni. Esaminiamo la teoria del caos prima con l'opzione sul tipo di infinito; allora studiamola con la matematica IP, contrapposta a quella dominante OA; ma con l'IP inteso modernamente (così come è necessario per una teoria matematica sofisticata): la matematica

⁵ La tabella è una variazione di quella data in T. Arecchi, "Caos e ordine", *Il Nuovo Saggiatore* 1, n. 5 (1985) 35-51.

costruttiva.⁶ Focalizziamo l'attenzione su un punto centrale della teoria: le definizioni matematiche di caos. Esse utilizzano (anche mischiandoli tra loro) i concetti di: predicibilità, ergodicità e densità dei punti periodici; o anche, di informazione, entropia e casualità. Finora sono state suggerite decine di definizioni. La più usuale è quella di Devaney. Ma alcuni matematici l'hanno giustamente criticata, perché si basa su tre proprietà che non sono indipendenti.⁷ Schurz ha insistito su questo problema trovando difficoltà in qualsiasi definizione.⁸ Batterman è andato più a fondo, sostenendo che la definizione di caos dipende dai parametri usati e dal metodo seguito.⁹ In effetti, la scelta del metodo deve includere, secondo studi recenti che hanno applicato la matematica costruttiva al caos,¹⁰ la

⁶ In appendice a "Il problema dei due corpi: sintesi storica ed esame delle soluzioni con la matematica costruttiva", in P. Calceda ed E. Proverbio (a cura di), *Atti del Convegno di Storia dell'Astronomia*, CUEC, Cagliari, 2000, 265-283, ho presentato una tabella riassuntiva dei quattro tipi di matematica che ci sono sempre stati, dall'antichità ai giorni nostri; e che, purtroppo per un secolo e mezzo, erano stati oscurati dalla matematica rigorosa, che tuttora viene insegnata come l'unica. Sul rapporto tra fisica e tipi di matematiche si vedano anche i miei: "Storia delle formulazioni delle teorie fisiche intese come estensioni del campo dei numeri razionali", in F. Bevilacqua (a cura di): *Atti del X Congr. Naz. Storia Fisica*, Cagliari 1989, 129-137 e "Which kind of mathematics for Quantum Mechanics? A survey, a new interpretation and a program of research", in V. Fano, G. Tarozzi e M. Stanzione (a cura di), *Prospettive della logica e della filosofia della scienza*, Rubettino, 2001, 161-180.

⁷ J. Banks et al., "On Devaney's Definition of Chaos", *Am. Math. Monthly* **99** (1992), 332-334; D. Assaf, S. Gadbois, "Definition of Chaos", *Am. Math. Monthly* **99** (1992), 865; M. Vellekop, R. Berglund, "On Interval, Transitivity = Chaos", *Am. Math. Monthly* **101** (1994), 353-355; P. Toubey, "Yet another definition of Chaos", *Am. Math. Monthly* **104** (1997), 411-414.

⁸ G. Schurz, "Kinds of unpredictability in deterministic systems" in G. Schurz and P. Weingartner (eds.), *Law and Prediction in the Light of Chaos Research*, LNP no. 273, Springer, Berlin 1996, 123-141.

⁹ R.W. Batterman, "Defining chaos", *Phil. Sci.* **60** (1993), 43-66; "Chaos: Algorithmic complexity vs. Dynamical instability", in G. Schurz and P. Weingartner, *Law cit.*, 211-235. Considerazioni dello stesso tipo avevo proposto con tre brevi articoli su *Il Manifesto*: "Pensare in grande" 4/1/90, "La Cosa è complessa", 5/7/90 e "La ricchezza di Carnot e la miseria della complessità" 21/4/92.

¹⁰ C. Moore, "Unpredictability and Undecidability in Dynamical Systems", *Phys. Rev.* **64** (1990), 2354-2357; C. Agnes and M. Rasetti, "Undecidability of the word problem and chaos in symbolic dynamics", *N. Cim.* **106B** (1991), 879-907; N.C.A.

scelta del tipo di matematica. Leiber ne tiene conto e compie un'ottima sintesi filosofica, che si accorda con quanto ricaverò intuitivamente.¹¹

Sotto questa luce la precedente Tab. 1 ha un difetto: essa dipende dalla preconcuzione che il caos sia rappresentabile all'interno di un solo tipo di matematica. Se invece, come sostengono i teorici del caos, si abbandona veramente la pretesa di una precisione assoluta sulle condizioni iniziali, che è tipica della meccanica newtoniana e che è da IA, la matematica adatta è quella che si limita a descrivere solo intervalli restringibili, cioè la matematica costruttiva (IP). Allora con questa matematica anche le traiettorie non sono più precise e le equazioni differenziali (anche lineari) danno luogo, quando i parametri sono discontinui e quando mancano le condizioni più facili, a problemi indecidibili. E' da rimarcare che le indecidibilità riguardano tutti i concetti fondamentali e tutte le tecniche usuali. Una indecidibilità significa che non esiste un unico algoritmo di risoluzione generale; per cui i problemi devono essere affrontati caso per caso. Ciò sembra corrispondere bene alla attuale situazione della teoria del caos, la quale non è riuscita mai a dare tecniche universali (definizione del caos, definizione di esponente di Liapunov, ecc.); di fatto, essa viene sviluppata secondo vari atteggiamenti restrittivi, i quali risultano più o meno produttivi.

Sotto questa luce possiamo dire che la maniera corrente di considerare la imprevedibilità, cioè la caratteristica più appariscente della teoria del caos, dovuta alla imprecisione delle condizioni iniziali (per cui si lascia slittare la traiettoria "lateralmente"), è solo un inizio di accettazione di una indecidibilità su tutta la traiettoria, quindi di IP. Ma nella misura in cui i teorici del caos si ostinano a considerare ogni traiettoria soluzione come assolutamente esatta, essi mantengono un residuo di preconcuzione a favore della sola matematica classica (IA, quella dominante da un secolo); la quale promette sempre qualche nuova tecnica; con la quale i teorici del caos possono sperare all'infinito di trovare una trattazione generale, valida per ogni aspetto della teoria.

Quindi la attuale teoria del caos appare attestata su una tappa intermedia (nel senso che non rinuncia a tutto quanto la matematica classica ha

da Costa and F.A. Doria, "Undecidability and Incompleteness in Classical Mechanics", *Int. J. Theor. Phys.* **30** (1991), 1041-1073.

¹¹ T. Leiber, "On the impact of deterministic chaos on modern science and philosophy of science: Implications for the philosophy of technology?", *Phil. and Techn.* **4:2** (1998), 23-50; "On the actual impact of deterministic chaos", *Synthèse* **113** (1998), 357-379.

suggerito) nel passaggio dalla matematica classica (IA) alla matematica costruttiva (IP). Da ciò la caratteristica di questa teoria, dare drastiche limitazioni alla concezione classica, ma nello stesso tempo generare grandi speranze.

4. La teoria della caos e l'organizzazione della teoria

Consideriamo ora anche la seconda opzione sul tipo di organizzazione della teoria e quindi sul tipo di logica (o classica, o non classica con farsi doppiamente negate che non sono equivalenti alle affermative).

La meccanica newtoniana e il paradigma che ne è seguito storicamente sono caratterizzati anche da una organizzazione del tutto deduttiva, a partire da dei principi posti a priori (OA). Chiaramente, la teoria del caos non accetta più una OA; perché la forte dipendenza dalle condizioni iniziali rende impossibile quella precisione assoluta che è necessaria per dedurre dalla matematica la realtà fisica; inoltre il caos esprime una chiara impossibilità di organizzare, a partire da pochi principi assiomi, tutto l'insieme delle soluzioni matematiche in maniera sistematica.

Infatti le caratteristiche centrali della teoria del caos sono non solo: 1) la perdita della pretesa ontologica della meccanica classica, e 2) la perdita della predicibilità; e, per quanto abbiamo visto nel precedente paragrafo, 3) la perdita della precisione sulla traiettoria; ma anche, rispetto alla organizzazione della teoria, la perdita di: 4) le definizioni esatte ed universali dei concetti principali, 5) dei principi-assiomi, 6) della controllabilità dell'insieme delle soluzioni delle equazioni differenziali, 7) della pretesa di universalità.

In totale, possiamo concludere che il caos non è una novità assoluta; lo è solo relativamente alle tradizionali pretese della meccanica newtoniana e delle equazioni differenziali della fisica matematica. Ma storicamente è stata molto sorprendente per la gran parte dei matematici, specie quelli analitici, che vedevano le equazioni differenziali come il massimo avanzamento della matematica nella precisione e nella capacità di concepire i fenomeni della natura.

Superata la sorpresa, possiamo chiederci come la teoria del caos debba allora essere intesa. Se la analizziamo attentamente, vediamo che essa è caratterizzata da: 1) *un problema universale*, quello di trovare e descrivere, nonostante i fenomeni tipici del caos (non linearità, forte dipendenza dalle condizioni iniziali, biforcazioni, attrattori, ecc.), tutte le soluzioni di tutte le equazioni differenziali, 2) un *principio metodologico* ("E' impossibile che il caos sia solo disordine"), 3) la ricerca implicita di *un metodo* che sia capace di

risolvere questo problema (Poincaré ha iniziato a proporre questo nuovo metodo con la sua analisi "qualitativa" delle soluzioni delle equazioni differenziali), 4) l'uso di *frasi doppiamente negate*, del tipo "Non è vero che non ci sia regolarità", 5) un *ciclo di argomentazione* che, con un'aggiunta al sistema dato, produce un invariante; è di questo tipo il cosiddetto principio di Hadamard: se l'aggiunta di una perturbazione alle condizioni iniziali, lascia sostanzialmente invariante una soluzione; allora questa è caratterizzata come realistica.

Ma allora la teoria del caos compie di fatto la scelta della organizzazione alternativa a quella della teoria newtoniana, una OP invece di una OA. E storicamente la nascita della teoria del caos ha fatto scoprire che esiste almeno *una teoria che, se anche interamente matematica, non è OA*. Questo fatto è altamente sorprendente per la tradizione epistemologica della scienza moderna (la chimica classica e la termodinamica di S. Carnot erano pure fuori della OA, ma non avevano una matematica avanzata; quindi potevano essere considerate come teorie non ancora sviluppate completamente). Quindi la nascita della teoria del caos costituisce un passo molto importante in quel processo, finora molto lento, di accettazione della alternativa OP; essa era rimasta sempre oscurata (nonostante che nella matematica il teorema di Goedel abbia indicato come impossibile il solo ideale di una teoria deduttiva, OA). Allora, se la teoria del caos è un balzo in avanti (enfaticamente come rivoluzionario) rispetto alle teorie fisiche precedenti, lo è soprattutto per il tentativo implicito di superare il gap epistemologico (ignoranza di OP) che si è manifestato da quando sono comparse teorie alternative: quindi non solo dal 1900 (Poincaré), ma addirittura dalla nascita della chimica (OP) alla fine del 1700.

Ciò suggerisce di fare attenzione a quel periodo storico. In effetti, se la teoria del caos viene intesa come teoria dei sistemi complessi, allora essa è nata proprio alla fine del 1700; quando furono teorizzati matematicamente i sistemi soggetti ad un numero qualsiasi di vincoli, cioè sistemi meccanici chiaramente molto complessi, quali sono le macchine di tutti i tipi. Le loro teorie dicono che i problemi della complessità possono essere risolti da opportune teorizzazioni. Perciò per la sua definizione sono di cruciale importanza i problemi di metodo; in particolare, il problema della scelta della matematica adatta, che viene ridotta o riformulata rispetto a quella newtoniana. Infatti in quel tempo sono nate delle nuove formulazioni che hanno fatto uscire dal paradigma newtoniano: 1) la formulazione del

principio dei lavori virtuali¹² e le seguenti sue due generalizzazioni; 2) la teoria di Lagrange, che usa quel principio e introduce nella meccanica dei corpi vincolati la tecnica dei moltiplicatori di Lagrange per rendere le variabili indipendenti dai vincoli; 3) la teoria di L. Carnot, che passa dal calcolo idealistico dei dx , al calcolo che aggiunge una variabile ausiliaria, un moto geometrico, per studiare il sistema al di là delle limitazioni date dai molteplici vincoli. In particolare dalla meccanica di L. Carnot poi discese la termodinamica di S. Carnot, la quale seppe trattare con leggi molto semplici (ad es., $PV=nRT$) per sistemi molto complessi di milioni di miliardi di miliardi di molecole (quante sono le molecole di un gas in un contenitore usuale), tutte urtanti tra loro in modo caotico.

Con queste precisazioni allora alla Tab. 1 aggiungiamo un'altra riga, che esprime come il caos può essere visto dalla matematica costruttiva, IP.

<u>Matematica costruttiva e teoria del caos</u>				reversibilità riduzionismo non determinismo decidibilità
1)	$\dot{x}_i = f_i(x_j)$	<i>Newton, Laplace</i>	Meccanica di Newton	
2)	$\sum m_i u_i U_i = 0$ $PV=at, L/Q=f(t)$	<i>L. Carnot S. Carnot</i>	Meccanica di L. Carnot Termodin. di S. Carnot	irreversibilità non riduzionismo non determinismo indecidibilità

Tab. 2 – Matematica costruttiva e la fisica teorica del caos.

Adesso la Tab. 1, completata dalla Tab. 2, rappresenta il passaggio graduale della fisica teorica dalla matematica dell'IA a quella dell'IP.

5. La caratterizzazione della teoria di Prigogine: MTS, teorie e concetti basilari

Ora la caratterizzazione della iniziale teoria di Prigogine è abbastanza rapida: egli si basava sulla termodinamica e sulla chimica-fisica. La

¹² Che la meccanica di questo principio si alternativa a quella newtoniana l'ho dimostrato con M. Capriglione in: "Lo stato logico del principio dei lavori virtuali", in C. Cellucci et al. (a cura di), *Logica e Filosofia della Scienza. Problemi e Prospettive*, ETS, Pisa 1994, 331-348.

matematica di ambedue queste teorie è IP (perché nella termodinamica è elementare; e nella chimica-fisica poteva essere intesa dagli autori del tempo a livello elementare, perché non supera quella delle equazioni alle differenze finite). Ma Prigogine non considera mai questa scelta sulla matematica.

Inoltre l'organizzazione di ambedue è OA (nella prima teoria valgono i classici tre principi-assiomi; che hanno ancor più questo ruolo nella chimica-fisica). Ma questa caratterizzazione della termodinamica è quanto meno dubbia, come noi storici sappiamo bene: il primo principio della termodinamica è nato dopo il secondo principio e la teoria originaria di S. Carnot (di cui sono rimaste molte cose) era OP. Se la teoria moderna venisse considerata come OP, sarebbe allora ben più alternativa al paradigma newtoniano (OA e IA), di quanto Prigogine sia riuscito ad essere. Ma lui non sa riconoscere questa scelta, perché dedica pochissimo spazio a S. Carnot; gli preferisce Fourier (NA, p. 10) con la sua equazione differenziale del trasporto, la quale lo fa tendere alla scelta IA. Inoltre sorprendentemente Prigogine e i teorici della complessità accettano (loro che sono antiriduzionisti!) la tradizionale pretesa della meccanica di aver ridotto la termodinamica alla meccanica statistica. E Boltzmann diventa l'eroe finale di questa prima teoria alternativa al meccanicismo (FC, p. 25) Il che conferma che Prigogine considera la termodinamica secondo la scelta OA. Tutto sommato, l'alternativa alla meccanica newtoniana c'è in Prigogine come semplice distanza, non per precise scelte alternative.

In seguito Prigogine ha creduto di ampliare e rafforzare la sua alternativa al paradigma meccanicistico appoggiandosi alla teoria del caos, vista come ulteriore teoria antinewtoniana. Ma, avendolo fatto acriticamente, si è alleato ad una teoria che, non avendo preso coscienza della sua scelta OP e la cui scelta matematica non è chiarita (IP?), è più arretrata della chiara scelta IP, di fatto, delle teorie originarie di Prigogine. Con questa mossa la base teorica di Prigogine si è allargata, ma è diventata ancor meno precisa. In definitiva, Prigogine non ha una chiara base strutturale, né nei rapporti tra le sue teorie di base, né nei fondamenti della sua teoria, vista secondo le due scelte fondamentali. Egli non si interessa di approfondire questi aspetti e va piuttosto a lavorare su singoli concetti usuali della fisica (irreversibilità, tempo, ecc.), cioè sulla fisica intesa soggettivamente.

Il che ha spinto Prigogine a presentare le sue novità legandole a delle variazioni (piuttosto che di fondamenti e di rapporti tra teorie) di concetti: tempo, irreversibilità, instabilità, imprevedibilità, caos, ciclo, evoluzione, ecc.. (Si noti che, di fatto, il tempo irreversibile è di solito collegato all'IP, mentre il tempo reversibile lo è all'IA; e lo spazio che egli sceglie, quello probabilistico, può ben surrogare la scelta OP, invece dell'OA dello spazio

euclideo della meccanica classica). Ma Prigogine non è cosciente della funzione surrogatoria di quei concetti rispetto alle scelte fondamentali. Da qui una indefinizione programmatica, con pochi punti fissi. Allora non c'è da meravigliarsi se egli non ha mai precisato se questo programma pretende di sostituire nel futuro il paradigma meccanicistico, o se già da adesso vuole proporsi in parallelo ad esso, o crearne una variante, o dichiararsi incommensurabile con esso. Egli stesso ammette che il suo è solo un programma che non ha una definizione precisa di ciò che sta facendo e di ciò che si propone: "... siamo solo all'inizio.... scienza in divenire..." (FC, p. 16)

Per affinare l'indagine, esaminiamo allora i suoi concetti basilari. In una precedente pubblicazione ho individuato tutti i concetti fondamentali delle teorie fisiche classiche.¹³ Rispetto alla tabella là data, che li classifica tutti, ripeterò solo quelle caselle dove ce ne sono in comune con la teoria di Prigogine, sottolineandoli.

Dall'insieme dei concetti caratteristici di Prigogine si ricava che: 1) sicuramente la sua teoria fuoriesce dal MTS newtoniano, perché non ne ripete un concetto; 2) essa ha alla base i concetti delle teorie: Termodinamica, Meccanica statistica e Chimica-fisica, tutte OA e IP; quindi egli ha iniziato la sua riflessione con le tre teorie del MTS decartesiano; delle quali però non ha saputo decidere la *ambiguità della riduzione della termodinamica alla meccanica statistica*, che avrebbe rivalutato molto di più la termodinamica (e alla fine il MTS carnotiano, OP e IP?); 3) poi ha aggiunto il caos credendo che gli desse man forte per *contrapporsi definitivamente* al paradigma newtoniano; ma, nella misura in cui ha accettato la versione corrente della teoria del caos, ha incluso anche la meccanica Hamiltoniana, IA e OP, che gli sembrava naturale via la meccanica statistica; 4) il che lo ha fatto *regredire (rispetto al MTS carnotiano) al MTS Lagrangiano*, nel tentativo di ripensare matematicamente tutto la teoria newtoniana (e poi la meccanica quantistica, pensata come una sua estensione probabilistica).

In definitiva, con l'esame dei suoi concetti fondamentali abbiamo confermato che la teoria di Prigogine, maggiorata dalla teoria del caos (per come questa è intesa correntemente), non ha innovato radicalmente la conoscenza dei fondamenti della teoria fisica accumulata in trecento anni:

¹³ A. Drago, "Sulle categorie interpretative utilizzabili da uno storico della fisica classica", in P. Tucci (a cura di), *Atti del XXII Congr. Naz. Storia Fisica e Astr.*, Cosenza 2001, in stampa.

essa si colloca sostanzialmente fuori dal paradigma dominante, ma senza una chiara alternative.

	<i>MTS</i> <i>NEWTONIANO</i>	<i>MTS</i> <i>LAGRANGIANO</i>	<i>MTS</i> <i>DECARTESIANO</i>	<i>MTS</i> <i>CARNOTTIANO</i>
TEORIE CLASSICHE PRINCIPALI CHE RAPPRESENTANO I 4 MTS	1) <i>Meccanica newtoniana (1687)</i> 2) <i>Ottica meccanicistica (1700)</i> 3) <i>Elettromagnetismo di Maxwell (1865)</i>	1) <i>Meccanica di Maupertuis e formulazioni variazionali in genere (1744)</i> 2) <i>Meccanica Lagrangiana (1788)</i> 3) <i>Meccanica Hamiltoniana (1835)</i>	1) <i>Ottica geometrica (1630)</i> 2) <i>Meccanica di L. Carnot (Principes, 1803)</i> 3) <i>Termodinamica Classica (1851)</i> 4) <i>Chimica-Fisica (1878)</i> 5) <i>Meccanica Statistica (1900)</i>	1) <i>Meccanica di L. Carnot (Essai, 1783)</i> 2) <i>Termodinamica di S. Carnot (1824)</i> 3) <i>Chimica classica (1866)</i>
SPAZIO	Assoluto, Contenitore astratto ^(1,2,3)	Contenitore astratto ^(1,2,3)	Relazionale Contenitore astratto ^(1,2,3,4) ⁽⁵⁾	Relazionale ^(1,2,3)
CORPI	Punto massa ^(1,2) Vortice ⁽³⁾	Sistema astratto ^(1,2,3) Vincoli ^(1,2,3)	Insieme di punti massa ^(1,2,5) Corpi materiali estesi ^(2,3,4)	Corpi materiali estesi ^(1,2,3) Macchine ^(1,2)
FENOMENO BASE	Moto continuo ^(1,2,3)	Moto continuo in uno spazio astratto ^(1,2,3)	Moto istantaneo ⁽¹⁾ Passaggio tra due stati ^(2,3,4,5)	Urto ⁽¹⁾ Passaggio tra due stati ^(2,3)
CONCETTO TEORICO BASILARE	Spazio ^(1,2) Onda elettromagnetica ⁽³⁾	Coordinate generalizzate in uno spazio astratto ^(1,2,3)	Raggio luminoso ⁽¹⁾ Velocità ^(2,4,5) Stato del sistema ^(2,3,4,5)	Velocità ⁽¹⁾ Stato del sistema ^(1,2,3)
LEGGE FONDAMENTALE	$f = m \frac{d^2 x}{dt^2}$ ^(1,2) $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ ⁽³⁾	Equazione differenziale data a priori ^(1,2,3)	Conservazioni sulle deviazioni angolari ⁽¹⁾ Conservazione dell'energia ^(2,3,4,5)	Rendimento di una trasformazione ^(1,2,3) Leggi di conservazione (della massa ⁽³⁾ , della quantità di moto ⁽¹⁾ e dell'energia ^(1,2))
COSTRUZIONE DELLA TEORIA SULLA BASE DI:	Cinematica ^(1,2) Cinematica delle onde ⁽³⁾	Cinematica nello spazio delle soluzioni ^(1,2,3)	Dinamica ^(2,3,4) Cinematica dello spazio degli stati ⁽⁵⁾	Dinamica ^(1,2,3)

Legenda: MTS = Modello di teoria scientifica; IA = matematica con Infinito in Atto; IP = matematica con il solo Infinito Potenziale; OA = Organizzazione della teoria per principi-Assiomi; OP = Organizzazione della teoria basata su un Problema.

Tab. 3 – I concetti fondamentali caratterizzanti la teoria di Prigogine.

6. La storiografia di Prigogine

Nel seguito mi riferirò ancora al solo Prigogine, perché tra gli storiografi seguaci della teoria del caos è certamente il più innovativo.

La nuova alleanza compie una ricostruzione storica di tutta la evoluzione della fisica, ovviamente antimeccanicista. In questo senso essa, quando collocata nel panorama delle storiografie, ha dei meriti: 1) pone la termodinamica come teoria basilare (ma questa è la teoria di Clausius e Kelvin, non di S. Carnot); 2) non è energetista, ma giustamente entropista (ma attraverso la meccanica statistica); 3) pone l'irreversibilità come primo concetto e ne ricava un concetto di tempo più adeguato; 4) introduce un pluralismo fondazionale (ma questo pluralismo è solo tra le sue teorie fondanti il suo programma; non in tutta la scienza con i MTS, tra i quali sceglierne uno); 5) introduce il non riduzionismo della teoria del caos; 6) introduce il conflitto tra teorie (ma in maniera debole, solo verso il passato deterministico assoluto).

Si noti però che essa non è il risultato di un nuovo studio analitico dei testi classici, ma, alla maniera di Kuhn, è una reinterpretazione, ancor più sommaria, della storia passata. Per di più essa è fortemente basata su pochi concetti, i quali sintetizzerebbero a grandissime linee la evoluzione delle teorie. Per cui questa storiografia, incapace di trattare a fondo le teorie e basata su concetti dilatabili, va poi a dipendere da una ideologia, quella che prepara concettualmente il futuro sperato.

Però il suo resoconto appare "strano" perché 1) attribuisce tutta la Fisica classica al paradigma dominante, quello newtoniano; 2) quindi schiaccia la fisica del sec. XVII sul determinismo del sec. XVIII, tanto da includervi Galilei e tralasciare la prima teoria fisica matematizzata, l'ottica cartesiana, che non è certo deterministica; 3) include a priori la chimica tra le teorie fisiche (benché non qualifichi questa sua scelta), mentre invece Kuhn (anche se ne discute molto) la mantiene in una posizione laterale rispetto alla teoria fisica; 4) il suo secolo XIX è un secolo breve, come in Kuhn; non ci vede una rivoluzione paradigmatica (benché egli sia un chimico!), ma solo una lentissima nascita (attraverso la termodinamica e poi la meccanica statistica) dell'alternativa alla visione deterministica assoluta del meccanicismo; 5) quindi vede la teoria del caos senza anticipazioni storiche (né in meccanica delle macchine, né in termodinamica); 6) anzi, riduce la termodinamica, che pure ha portato delle novità nella impostazione e nel concetto di irreversibilità, alla meccanica statistica di Boltzmann (cosa che non tutti gli storici sono disposti a concedere); 7) nel sec. XX l'inizio del nuovo, dopo

Poincaré, non parte dalla relatività, e neanche dalla meccanica quantistica, ma ancora dopo (la teoria dei processi irreversibili); 8) propone il caos come una rivoluzione rispetto alla fisica teorica anche moderna. Secondo me questa visione è una deformazione storica che tende ad esaltare la scoperta del caos come primo passo di una riforma teorica globale a venire.

7. Alla ricerca di categorie secondo Kuhn

Per meglio capire il punto di vista di Prigogine, il suo resoconto può essere facilmente accostato all'unico storico che finora ha studiato l'intero periodo della fisica classica, Kuhn, secondo la seguente tabella. Con essa vediamo che la periodizzazione della storia della fisica classica di Prigogine non si discosta granché da quella di Kuhn.

<i>T.S. KUHN</i>			
<i>(Koyré?)</i>	<i>Un paradigma: il newtoniano</i>		<i>una rivoluzione; ma quale?</i>
1600	1700	1800	1900
<i>Trionfo fisica deterministica</i>		<i>Primi cedimenti</i>	<i>Inizio del nuovo (caos,...)</i>
<i>I. PRIGOGINE</i>			

Tab. 4 – Confronto tra la storiografia di Prigogine e quella di Kuhn.

Con Cerreta ho caratterizzato il metodo di Kuhn di costruire le sue categorie storiografiche (che descrivono la dinamica delle teorie fisiche) come una traduzione, in concetti storici, dei concetti basilari che descrivono la dinamica dei fenomeni meccanici della meccanica newtoniana.¹⁴ Anche il resoconto di Prigogine potrebbe ripetere le categorie "paradigma" e "rivoluzione"; ma Prigogine non può adottarle, perché vuole uscire dal

¹⁴ P. Cerreta e A. Drago, "La Weltbild di Planck reinterpretata col paradigma di Kuhn e col modello di teoria scientifica", in F. Bevilacqua (a cura di), *Atti VIII Congr. Storia della Fisica* (Napoli), La Goliardica, Pavia 1988, 63-70; A. Drago, "The several", cit.

(determinismo del)la teoria newtoniana. Infatti egli critica con forza la storiografia di Kuhn; questa è qualificata come una "analisi psico-sociale", (NA, p. 263) che rappresenterebbe il vissuto di uno scienziato "sonnambulo kuhniano", il quale sarebbe guidato da un paradigma a lui ignoto. (p. 265) Mentre invece lui rivendica (p. 264-265) di sviluppare una storia che rappresenta un'alternativa culturale alla tradizione dei fisici, attraverso una linea di sviluppo che, se anche è stata minoritaria, non è meno importante della dominante. Questa è una sua maniera di porsi in alternativa teorica, senza dichiararlo. Piuttosto, egli tenta di tracciare una storia della fisica ponendo alla base le sue *tre-quattro teorie*: termodinamica, chimica-fisica, meccanica statistica e caos (quantistico?). Ma da questo gruppo di teorie non può ricavare una dinamica fisica comune, i cui concetti fondamentali, opportunamente tradotti, gli suggeriscano nuove categorie storiografiche. Quindi ricade sui singoli concetti che possano dare almeno un'idea di una dinamica diversa da quella newtoniana. Più di tutti, il concetto di *irreversibilità* può farlo; ed egli lo sfrutta ampiamente come categoria, in contrapposizione al tradizionale meccanicismo. Inoltre cerca di aggiungerci altri concetti soggettivi, anche della teoria del caos: *evoluzione, ciclo, complessità*. Ma in totale, non riesce a ricostruire una intera dinamica fisica in termini di concatenamento di più concetti, da trasferire poi in categorie storiografiche. In definitiva, la ricerca di Prigogine per nuove categorie storiografiche resta inconclusa.¹⁵ Dovremo aspettarci quindi che la sua storiografia sia solo tentativa.

¹⁵ In effetti, Prigogine poteva ispirarsi a Kuhn, ma non alla sua opera più famosa, ma a quella che ha visto Kuhn sconfitto, sul corpo nero (T.S. Kuhn, *Alle origini della meccanica quantistica. La teoria del corpo nero*, Il Mulino, Bologna 1980). Come ha messo in luce Cerreta ("Kuhn's analysis of the history of the black body: from the 'paradigm' to the 'group of concepts'", in C. Cellucci et al. (a cura di), *Logica e filosofia della scienza: Problemi e prospettive*, ETS, Pisa 1994, 293-298), lì Kuhn, rinunciando del tutto alle sue categorie precedenti, implicitamente propone nuove categorie; le quali nascono dalla dinamica tipica della termodinamica e della chimica fisica, qual è la teoria alla base del corpo nero. Prigogine poteva allora utilizzare i concetti chiave di Kuhn (punto di svolta, antagonismo tra discreto e continuo, ecc.) e sviluppare sulla base di una dinamica diversa da quella newtoniana, un modello descrittivo della evoluzione delle teorie fisiche. In tal caso la meccanica dei corpi vincolati, cioè delle macchine, sarebbe apparsa come un'altra teoria della complessità (una macchina non ha limiti nelle sue complicazioni); la quale è stata risolta con un metodo globalistico, così come è quello del principio dell'impossibilità del moto perpetuo e del Principio dei lavori virtuali. E infine

8. Alla ricerca di categorie secondo Koyré

Studiamo ora la storiografia di Prigogine con un ulteriore confronto: la tradizione di Koyré. Nei precedenti lavori sulla storiografia ho indicato quali scelte sottostanno alle due frasi caratteristiche di Koyré; sono quelle del paradigma Newtoniano, IA e OA. Avendo compreso il tipo di traduzione che Koyré ha implicitamente compiuto (dalle scelte fondamentali ai concetti delle sue frasi), si può ripetere lo stesso tipo di traduzione per quelle scelte alternative IP e OP, che sono a fondamento delle teorie alternative del 1800.¹⁶ Si ottiene: "*Evanescenza della forza-causa e discretizzazione della materia*". Ora Prigogine si basa su teorie del 1800 che hanno scelte diverse da quelle newtoniane: chimica, termodinamica, chimica-fisica; quindi le frasi precedenti dovrebbero essere adatte, grosso modo, anche al suo programma di ricerca. In effetti lo sono, perché nella sua teoria sicuramente non ci sono più forze-causa e si concepiscono i fenomeni in termini molecolari. Ciò fa ritenere che le sue categorie fondamentali dovrebbero essere quelle del MTS carnottiano, che però lui ha ignorato, assieme alla valenza alternativa della termodinamica.

Ma notiamo che ancora di più sarebbero appropriate al suo progetto di storiografia le due frasi seguenti, che, pur surrogando le stesse scelte (- IA e - OA, IP e OP) sono delle semplici varianti delle precedenti, giustificate dal voler prolungare le categorie alla Koyré un secolo dopo la loro nascita: "*Evanescenza del determinismo ed autorganizzazione delle molecole*." Quindi riconosciamo che il MTS carnottiano suggerisce delle categorie con le quali Prigogine avrebbe potuto sviluppare molto meglio una sua storiografia; ma siccome egli non l'ha conosciuto, se ne è allontanato (con l'accettazione acritica della teoria del caos, che lo coinvolge nel MTS lagrangiano), perdendo le occasioni per precisare la sua storiografia.

9. Analisi della storiografia di M. Cini

Ora rivediamo criticamente il racconto storico di un fisico italiano seguace della teoria del caos, noto fisico teorico e cultore dei problemi di storia e

Galilei non apparterebbe né alla tradizione newtoniana né a quella alternativa; egli infatti è rimasto bloccato dai problemi di metodo.

¹⁶ A. Drago, "Interpretazione delle frasi caratteristiche di Koyré e loro estensione alla storia della fisica dell'ottocento", in C. Vinti (a cura di), *Alexandre Koyré. L'avventura intellettuale*, ESI, Napoli 1994, 657-691.

fondamenti della fisica, Marcello Cini.¹⁷ Il suo libro, di presentazione e riflessione sulla teoria della complessità, include un abbozzo storiografico; che nel seguito prenderò ad esempio della storiografia alla Prigogine, per mettere in evidenza alcune espressioni che appaiono giudizi storici “forzati” e interpretazioni “strane”.¹⁸

A) *Schiacciamento del 1600 sul determinismo del 1700*. 1) In riferimento a Galilei: “La conoscenza della totalità dell’universo in tutta la sua armonia diventa prerogativa esclusiva della divinità, ed è preclusa all’uomo, che deve accontentarsi, con la matematica, di sondarne ogni volta separatamente un aspetto particolare”. (p. 19) Invece, è stato proprio Galilei che ha indicato che tale natura deve essere conosciuta mediante la geometria quale unico linguaggio matematico, e che questo linguaggio è a comune con Dio. Non di separazioni si tratta, ma di rapporto tra finito e infinito. Il che non riguarda con “la nascita delle scienze moderne come discipline settoriali.”

2) “... la riduzione del complesso al semplice... spezzettamento della realtà e della conoscenza stessa, ...isolare ogni fenomeno dal contesto...”. (p. 20) La valutazione appare esagerata. Invece Galilei non aveva un approccio differenziato alla natura, ma unitario; ad es., anche Cini ricorda che Galilei ha unificato il mondo lunare e sublunare.

3) Queste “forzature” si hanno perché la concezione galileiana viene sovrapposta a quella deterministica newtoniana (pag. 24). Infatti Newton, mediante le sue leggi, riesce a prevedere il moto di qualsiasi corpo ad ogni istante, nel passato e nel futuro, con un determinismo per cui la natura è sottomessa alle sue leggi e gli effetti del caso sono del tutto trascurabili e insignificanti; invece in Galilei vi è soltanto l’osservazione della natura e la sua descrizione matematica con la sola geometria e le semplici proporzioni. Quindi lo “...interpretar[e il fenomeno] mediante una catena lineare di cause ed effetti, descritta dall’algoritmo matematico...” (p. 20) non appartiene a Galilei, che non scrisse mai di cause; anzi ne rifuggiva, in quanto le giudicava concetti aristotelici.

4) Né è accettabile la seguente attribuzione a Galilei: “Per secoli l’ideale conoscitivo della scienza si è dunque identificato con la possibilità di prevedere l’evoluzione futura di ogni fenomeno a partire dalla conoscenza della legge che lo regola.” Casomai si può attribuire ciò a Newton, che invece viene appena nominato; e di cui Cini non ricorda che questi espresse

¹⁷ M. Cini, *Un Paradiso Perduto*, Feltrinelli, Milano 1994.

¹⁸ Lascio da parte le considerazioni sul metodo scientifico delle pagg. 20-23, dove Cini sembra sposare un relativismo che non è più capace di caratterizzare il metodo della scienza moderna rispetto all’antica.

tutti i problemi ancora da risolvere con le 31 Queries della sua *Ottica*, in un grandioso sogno di onniscienza meccanicistica; di cui la forza gravitazionale, come forza universale, era il concetto unificante.

B) *Il secolo breve*. 1) “fino agli inizi degli anni venti del Novecento la realtà è ritenuta intrinsecamente deterministica.”(p. 30) Ma la termodinamica, che nasce un secolo prima, non è affatto deterministica, perché è basata sul tempo irreversibile, concepito in maniera discreta come prima-dopo; e in definitiva è caratterizzata da un’OP.

2) A pag. 31 Cini caratterizza la novità dell’ “eretico” Sadi Carnot: “Si tratta dunque di scoprire i divieti che la natura pone all’utilizzazione delle sue forze, di determinare i vincoli che limitano le loro reciproche trasformazioni, piuttosto che di prevedere in dettaglio tutto ciò che deve necessariamente accadere”. Ma tutto ciò era stato anticipato nella meccanica dei vincoli, regolata dall’impossibilità del moto perpetuo e dal Principio dei lavori virtuali; il quale aveva una sua lunga tradizione sin dall’antichità; e che, vari decenni prima di Sadi Carnot, era stato posto in auge da Bernoulli, Lagrange, L. Carnot, Fourier, Poinsot, Poisson, Navier ecc.

3) A pag. 32 Cini coglie una contrapposizione tra S. Carnot “e la concezione della tradizione galileiana, che considera la complessità del mondo reale come una pura apparenza e immagina che esso possa essere ricostruito a partire da alcune leggi elementari fondamentali...”. Il che è una attribuzione a Galilei fuori luogo; perché questi non ha mai deciso se la materia sia costituita da quanti o da parti infinitesime, né ha dato delle leggi principi-assiomi.

4) A pag. 32 si riassume la nascita della termodinamica tra 1824 e 1851 in maniera molto approssimativa e non appoggiata a dati di fatto. S. Carnot, che ha costruito quasi interamente la teoria, viene fortemente penalizzato.

5) A pag. 33 si ignora, come nel punto 2, che il concetto di efficienza è da attribuire ai teorici del principio dei lavori virtuali (come dice il ben noto scritto di Kuhn, che Cini cita) e propriamente al padre di Sadi, Lazare; quindi almeno cinquant’anni prima dei termodinamici.

6) Nelle pagg. 36-37 Cini pone come differenza cruciale fra termodinamica e meccanica il concetto di irreversibilità; ma questo concetto da solo non può esprimere una differenza tra intere teorie, la quale è anche di tipo matematico, metodologico e fondazionale.

C) *Il nuovo*. 1) Secondo Cini (pag. 54) l’instabilità dinamica, scoperta da Poincaré per i sistemi non lineari, è ciò che fa cadere il determinismo della dinamica newtoniana, bandendo per sempre dalla Fisica la certezza nella capacità previsionale di una legge matematica, che regoli il moto di una

massa materiale. Ciò dimentica l'anticipazione della termodinamica; e poi, dopo Poincaré, il rinnovato determinismo da parte della relatività.

2) Infine Cini non tratta la chimica e l'ottica, due teorie importanti dal punto di vista metodologico ed epistemologico; in particolare la chimica è nata dopo la meccanica di Newton, e si è subito posta come alternativa a tutte quelle teorie scientifiche caratterizzate dalla matematica del determinismo e dall'OA.

La visione storica è distorta, perché: il punto C2 confonde tutta la storia della Fisica con la storia della sola meccanica. I punti A1, A2, A3, A4 e B3 schiacciano Galilei su una concezione newtoniana della meccanica, che invece Galilei non ha mai avuto; servono a unificare tutta la storia di questa teoria in una visione unitaria, che però può essere di comodo. Infatti poi i punti B1, B2, B3 e B6 fanno a meno di trattare la tradizione leibniziana e più in generale quella del principio dei lavori virtuali.

Cosicché poi non viene colta, dai punti B1 e B2, la nascita della evidente eccezione, la termodinamica; inoltre la nascita viene deformata (punto B4) e la sua distanza teorica dalla meccanica viene fortemente ridotta (punto B6) ad un solo concetto, l'irreversibilità; così da evitare una contrapposizione forte, per piuttosto vederci solo una evoluzione migliorativa della meccanica.

Infine, i punti A4 e C1 propongono la teoria del caos come una totale novità (sia pure riconosciuta con ritardo) rispetto a tutta la Fisica precedente; ma non la caratterizzano con precisione.

Complessivamente, tutti questi punti costituiscono una preconcezione storica a favore dell'importanza del caos; concezione che però non è basata sull'analisi dei testi e che non può essere condivisibile da molti storici.