

Sulle categorie interpretative utilizzabili da uno storico della fisica classica

Antonino Drago¹

Riassunto

In un precedente lavoro, dal titolo simile, ho esposto un metodo per classificare le categorie già utilizzate dagli storici sui casi di studio della Fisica classica. Ho notato che le loro categorie possono essere intese come traduzioni, secondo un preciso metodo, in concetti soggettivi (di natura o fisica o storica), delle quattro possibili scelte sui fondamenti della Fisica, da me individuati in lavori precedenti. In questo lavoro riprendo l'argomento al fine di trovare, con il metodo di traduzione suddetto, ma utilizzato all'inverso, tutte le categorie possibili per uno storico che voglia studiare i vari casi storici della Fisica classica. Per tale scopo individuerò tutti i concetti basilari che sono suggeriti dalla conoscenza delle teorie fisiche classiche; il che costituisce un primo risultato. Poi considererò le loro variazioni di significato, che nascono a causa delle diverse scelte fondamentali e le specificità empirica delle varie teorie; con ciò distinguerò nettamente i concetti specifici dai concetti fondamentali. E questo è un ulteriore risultato. Sorprendentemente, i significati specifici sono molto di meno di quanto ci si potrebbe aspettare; e questo è un terzo risultato. In particolare il risultato è utile per studiare con quali concetti basilari, e quindi con quali categorie mentali, i fisici hanno affrontato la crisi del 1900. Tra i significati specifici indicherò quelli che, essendo globalistici, possono aiutare lo storico a descrivere con poche categorie molti aspetti della teoria in questione. Infine verificherò se ciò è avvenuto nel passato visitando le traduzioni in categorie storiche effettuate dagli storici nei casi storici di una teoria fisica o di tutte le teorie classiche. Tutto ciò costituisce l'inizio di una *metateoria della Storia della Fisica*, capace di definire quali siano gli strumenti concettuali a disposizione dello storico della Fisica.

1 - Introduzione

In un precedente lavoro, dal titolo simile,² ho esposto un metodo per classificare le categorie già utilizzate dagli storici su vari casi di studio della Fisica classica; ho notato che le loro categorie possono essere intese come traduzioni delle quattro scelte fondamentali (che ho individuato in lavoro precedenti³) in concetti soggettivi di natura o fisica (come *Spazio*, inteso in senso ampio e *Geometrizzazione*, ecc.) o storica (ad es., "rivoluzione"). Ad es., Koyré ha usato quattro concetti vicini alla teoria fisica: *Spazio*, *Geometrizzazione*, *Infinito*, *Disorganizzazione*.⁴ Kuhn invece ha usato concetti più storici o sociologici: *Scienza normale*, *Comunità degli scienziati*, *Paradigma*, *Anomalia*, *Crisi*, *Rivoluzione*.⁵ Di ognuno di questi concetti ho individuato la scelta sui fondamenti della Fisica (=FdF) che esso traduce. Il metodo di traduzione

¹ Gruppo di Storia della Fisica - Università "Federico II" Napoli

² A. Drago: "Le categorie interpretative utilizzate dagli storici della fisica classica", in E. Schettino (ed.): **Atti XX Congr. Naz. Storia della Fisica e dell'Astronomia**, CUEN, Napoli, 121-140.

³ A. Drago: **Le due opzioni**, La Meridiana, Molfetta BA, 1991.

⁴ A. Koyré: **Dal mondo chiuso all'Universo infinito**, Feltrinelli, Milano, 1970. 69); A. Drago: "La storia del concetto di spazio quale rivelatrice delle scelte fondamentali di una teoria fisica: I. La correlazione tra lo spazio e la organizzazione della teoria", in F. Bevilacqua (ed.): **Atti VII Congr. Naz. Storia Fisica**, Padova (1986), 113-118; "La storia del concetto di spazio quale rivelatrice delle scelte fondamentali di una teoria fisica: II. A. Koyré e la metafisica della scienza moderna", *ibidem*, 119-123.

⁵ T.S. Kuhn: **La struttura delle rivoluzioni scientifiche**, Einaudi, Torino, 1969. P. Cerreta e A. Drago: "La "Weltbild" di Planck reinterpretata col paradigma di Kuhn e col modello di teoria scientifica", in F. Bevilacqua (ed.): **Atti VIII Congr. Naz. St. Fisica**, Napoli, 1987, 63-80.

utilizzato di fatto dagli storici è precisabile in maniera semplice.⁶ Con questo, il tradizionale ambito culturale della storiografia della Fisica (=SGF) viene qualificato come un ambito di concetti intuitivi di tipo soggettivo (non quello effettivo delle scelte fondazionali, né quello oggettivo degli esperimenti e delle formule matematiche). In altri termini la SGF appare come una impresa essenzialmente culturale, benché abbia per oggetto la evoluzione di una teoria scientifica, la Fisica, che si presenta come una attività oggettivata dagli esperimenti e dalle teorie matematizzate.

Ora consideriamo complessivamente lo sforzo intellettuale degli storici che nel passato hanno prodotto una varietà di categorie per la SGF soggettiva. Questo sforzo costituisce una esperienza preziosa, perché fornisce l'inizio di una *Teoria delle categorie interpretative*, da intendere come *la metateoria della SGF*. Come tutte le metateorie, essa è informale (altrimenti, per poterne parlare mediante il linguaggio naturale, che è la premessa di tutti i linguaggi formali, avremmo un regresso all'infinito); quindi, ha un certo grado di intuitività.⁷ Però qui essa sarà vincolata dall'avere, come chiaro punto di riferimento, i fondamenti della Fisica (=FdF); che in precedenza sono stati da me definiti, per la prima volta; e che risultano costituire una struttura intellettuale che è semplice e precisa: due opzioni fondamentali (tipo di infinito e tipo di organizzazione della teoria), ognuna delle quali ha due scelte dicotomiche possibili, che sono in opposizione tra loro (matematica con l'infinito in atto, IA, o matematica con il solo infinito potenziale IP; organizzazione assiomatica, OA, o organizzazione centrata su un problema, OP).

Il passato lavoro degli storici è stato altamente creativo, anche perché essi, interpretando dei casi di studio storici, ricercavano anche i FdF in maniera indiretta, attraverso dei concetti basilari presi dalla Fisica, che venivano posti come categorie storiografiche. Infatti tutti riconoscono che Mach, Koyré e Kuhn sono stati degli storici di alto ingegno; essi per primi hanno formulato l'aspetto "concettuale" con cui lo storico può interpretare la Storia della Fisica (=SdF). Ma, se riteniamo che i FdF siano stati chiariti dalle due opzioni, non c'è più bisogno di questo tipo di creatività, basata sulla intuizione degli storici.

In questo lavoro quindi riprendo l'argomento del precedente lavoro con lo stesso metodo di traduzione, ma procedendo all'inverso (dai concetti della teoria fisica alle categorie storiche); lo scopo è di *precisare la metateoria della SGF*, che finora era stata solamente abbozzata attraverso le invenzioni di alcune categorie interpretative. Andando al di là di quella decina di concetti fisici che gli storici passati hanno già utilizzato per inventare le loro categorie, troveremo tutte le categorie possibili per i vari casi storici che si vogliono studiare della Fisica classica; in modo da qualificare la professionalità degli storici della Fisica secondo dei ben precisi strumenti concettuali.

A prima vista il gran numero dei concetti che si sono accumulati nel corso della SdF classica fa disperare di poter raggiungere un qualche risultato utile. Ma vedremo nel seguito che il loro numero non è così alto come ci si aspetterebbe. Innanzitutto perché nella SdF c'è stato un primo periodo di monopolio teorico da parte della meccanica newtoniana; i concetti allora sono stati assorbiti nei pochi della teoria meccanica. Poi dopo quando alla fine del 1700 questo monopolio finì, è nato un fenomeno culturale che merita attenzione. Le teorie nuove aggiungono non

⁶ A. Drago: "The several categories suggested for the "new historiography of science": An interpretative analysis from a foundational viewpoint", *Epistemologia*, **24** (2001) 48-82.

⁷ Per questo motivo invita a discuterne in termini filosofici; si veda ad esempio A. Rossi: "Registrare o interpretare? Storiografie della scienza a confronto", in E. Schettino (ed.): **Atti del XX Congr. Naz. Storia della Fisica e Astr.**, Cuen, Napoli, 2001, 281-293.

solo concetti nuovi, perché rappresentano campi di fenomeni irriducibili a quelli meccanici (irreversibilità, interazione di dipolo, ecc.), ma anche nuove divisioni teoriche, perché introducono delle incommensurabilità tra le varie teorie;⁸ e per causa di esse nascono delle variazioni radicali di significato (=VRS) su dei concetti che, considerati in generale, restano i medesimi per le varie teorie. Cosicché i nuovi campi di fenomeni danno luogo non tanto all'aumento del numero dei concetti, ma ad un aumento di complessità, per l'aggiunta di un ulteriore livello, quello delle incommensurabilità tra le varie teorie e, di conseguenza, delle VRS su dei concetti che erano già nella teoria precedente e che ora diventano comuni a più teorie.

Nel seguito si proporrà un ordinamento di tutti i significati specifici per le varie teorie della Fisica, secondo i seguenti livelli di analisi: *significato specifico*, intesi come categoria intellettuale di una particolare teoria; essi verranno ordinati secondo i *concetti fondamentali*, ognuno inteso come categoria intellettuale dovuta alla fenomenologia operativa, matematica e teorica della Fisica in generale; la *teoria fisica* alla quale appartengono i significati specifici; la *coppia di scelte* compiute da quella teoria sulle due opzioni; e cioè il *modello di teoria scientifica* (= MTS) che informa la teoria.

Procederò per gradi. Nel paragrafo 2 seguente porrò con precisione il problema di trovare tutti i concetti. Nel par. 3, sulla base delle mie passate esperienze di interpretazioni storiche, andrò prima a caratterizzare tutti i concetti fondamentali delle meccanica newtoniana, e poi, per una prima verifica, cercherò di capire quali di essi sono utilizzabili come categorie storiografiche per la SdF fino al 1700. Poi, per compiere questo stesso lavoro per le teorie nate dopo la fine del 1700, cercherò tutti i concetti basilari che sono stati suggeriti dalle teorie fisiche classiche. Inizierò riproponendo un elenco dei concetti che anni fa ho trovato induttivamente per tre teorie molto importanti della fisica classica (par. 4). Col loro aiuto, nel par. 5, ancora per induzione arriverò ad elencare i concetti di tutte le teorie della Fisica classica; ed infine (par. 6) tutti i loro significati. Il risultato è molto utile per ricostruire il quadro concettuale di tutta la Fisica classica, che invece il famoso libro di Kuhn ha semplificato draconianamente. Il risultato è utile anche per studiare (par. 7) una situazione molto importante su cui la SGF è bloccata da alcuni decenni: con quali concetti basilari, e quindi con quali categorie mentali, i fisici hanno affrontato la crisi del 1900. Poi selezionerò quelli che possono essere meglio tradotti nelle categorie utili per uno storico che voglia interpretare una teoria fisica (par. 8); e infine cercherò i concetti più fondamentali, che cioè rappresentano di più le scelte e i MTS, in definitiva i FdF; e quindi possano rappresentare tutta la SdF classica (parr. 9 e 10). Alla fine, si verificherà che i significati che uno storico della Fisica può utilizzare per formare le sue categorie non sono molti. Infine (par. 11) riassumerò i risultati ottenuti.

2 - Ricerca di tutti i concetti soggettivi utili per formare categorie storiografiche

In generale, il lavoro interpretativo di uno storico della Fisica si può definire in vari modi; ma innanzitutto lo si può fare rispetto al contenuto tecnico (sperimentale, e/o matematico) delle teorie fisiche da lui presentate. Qui ci sono due strade possibili:

1) *Guarnire un libro di testo che illustra una teoria fisica*. Il libro è sempre formulato attraverso uno sviluppo logico-matematico; il quale, di solito, è molto

⁸ Ho definito incommensurabili due teorie quando esse hanno almeno una scelta fondamentale differente: "An effective definition of incommensurability", comm. to **VIII Congress on Logic, Methodology and Phil. Sci.**, Moscow, 4, pt. 1, 159-162, 1987, e in C. Cellucci et alii (eds.): **Temi e prospettive della logica e della filosofia della scienza contemporanea**, CLUEB, 1988, vol. II, 117-120.

rigido perché, se teorico, è di tipo deduttivo, da teoria OA; se sperimentale, è pieno di risultati tecnici e di misure. In questi casi lo storico scrive delle aggiunte in maniera discorsiva: una premessa storica, una ricostruzione storica della fase iniziale della teoria, un accenno al percorso con cui le parti più importanti della teoria sono state ottenute, delle considerazioni finali di tipo conclusivo (e magari anche sulla filosofia sottostante questa storia e considerazioni più o meno approfondite sul contesto sociale). In questo caso il libro, da una parte viene reso piacevole da aspetti non tecnici, che si riferiscono alla sensibilità personale del lettore; ma dall'altra risulta notevolmente appesantito dalla presenza di due livelli quasi indipendenti di discorso.⁹

2) *Sintetizzare i tecnicismi della teoria*, riducendoli o ai punti iniziali e finali dei loro sviluppi, o riducendoli ad uno spunto, o lasciandoli all'orizzonte, fino addirittura a farli scomparire; in tal caso la SGF, senza più vincolarsi allo sviluppo logico-matematico della teoria, ha più agio di seguire un suo filo di discorso concettuale; cioè presenta una fluidità cronistorica basata sulla sola successione dei concetti; come se la teoria fisica si basasse innanzitutto sui concetti, poi sui dati sperimentali ed, infine, sulla coerenza matematica. Qui l'ambito intuitivo-soggettivo prevale su quello oggettivo.

In effetti la costruzione di una teoria evolve con l'accumulo del pensiero spontaneo degli scienziati di quella teoria; il che costituisce in definitiva una "filosofia sperimentale collettiva", che i fisici costruiscono ricavandola direttamente dal campo di fenomeni considerato. Ovviamente è nel descrivere questo secondo tipo di storia (l'evoluzione intellettuale) che lo storico ha più possibilità di esporre una sua concezione della SdF, attraverso una narrazione che ha una sua coerenza ed autonomia intellettuale; fino a farne una storia del pensiero scientifico. Questa è l'avventura più affascinante per lo storico: ricostruire *la SdF oggettiva come storia concettuale della Fisica*; è questo il compito nel quale di solito lo storico si sente più impegnato, perché è il più impegnativo.

D'ora in poi faremo attenzione solo alla seconda strada, cioè alla SGF di tipo concettuale. Ma, per produrre questa SGF concettuale lo storico non può fare a meno di adottare delle categorie interpretative; le quali dovrebbero corrispondere ai concetti fondamentali utilizzati dalle menti dei fisici passati; le quali però non sono esplorabili direttamente, sono solo ricostruibili dai loro prodotti collettivi: i concetti delle teorie prodotte da loro. Allora gli storici ottengono le categorie interpretative traducendo dei concetti oggettivi delle teorie; o in concetti fisici generalizzati (ad es. lo *Spazio*, ma inteso in maniera ampia), o in metafore di tipo storico (ad es. *Rivoluzione*, come metafora di una forza che fa cambiare la situazione tradizionale).¹⁰

Allora, c'è da chiedersi: *quanti concetti della Fisica lo storico può utilizzare per proporre sue categorie?* Per rispondere occorre elencare tutti i concetti della Fisica con i quali i fisici possono aver inteso i *FdF classica*, per poi esaminare quali di essi siano utilizzabili come categorie storiche. Il compito non appare facile, dato che: 1) nell'introduzione elencavo già una diecina di concetti utilizzati da Koyré e Kuhn; gli storici passati hanno già utilizzato molti altri concetti fisici (ad es. il *Lavoro* in Mach¹¹) e in più ci sono molti altri concetti soggettivi che per i fisici del passato hanno avuto carattere fondazionale; ad es., le *Equazioni differenziali*, che sono state

⁹ Questo è il caso di E. Witthaker: **A History of the Theories of Aether and Electricity**, Harper, 1960, o di G. Pulci Doria: **Il corso di idraulica a partire dallo sviluppo storico-sociale della disciplina**, CUEN, Napoli, 1988.

¹⁰ Ne ho trattato diffusamente in A. Drago: "Caratterizzazione strutturale delle storiografie della scienza di Koyré, Kuhn e seguenti", in A. Rossi (ed.): **Atti XIV e XV Congr. Naz. St. Fisica**, Conte, Lecce, 1996, 159-167.

¹¹ E. Mach: **La meccanica nel suo sviluppo storico-critico**, Boringhieri, Torino, 1964.

utilizzate solo recentemente come categorie (da Truesdell); 2) le teorie fisiche classiche importanti sono almeno una quindicina, e, in ognuna di esse, ci sono più di una diecina di concetti basilari; il che indica circa 150 concetti; 3) ogni concetto può avere una varietà di significati diversi nelle varie teorie (ad es., lo spazio: o relativo o assoluto); il che fa immaginare una situazione, chiaramente impraticabile, di alcune centinaia di significati specifici.

La difficoltà principale viene dall'idea (di tipo positivista) che il maggior numero di campi fenomenologici, considerati dalle varie teorie fisiche faccia aumentare sempre di più il numero dei concetti fondamentali. Notiamo invece che *nel corso della SdF i concetti fondamentali sono rimasti confinati in un numero non grande*. Si consideri un primo esempio l'ottica cartesiana e la meccanica newtoniana. I loro concetti fisici appaiono tutti diversi, mentre in comune c'è solo una piccola parte della matematica (la geometria analitica). Invece successivamente, confrontando la meccanica newtoniana con le nuove teorie (ad es., la meccanica di Lagrange), notiamo che ci sono molti concetti fisici in comune (*Forza, Equazione differenziale, ecc.*).

Inoltre, notiamo che un dato concetto può prendere significati specifici radicalmente differenti (ad es., *Spazio* assoluto o relativo). Quindi possiamo considerare come basilari i concetti fondamentali e poi considerare i loro significati specifici, che dipendono dalle scelte fondamentali e quindi dai MTS (che, si noti, sono solamente quattro). Divideremo così l'universo secondo due livelli, uno più teorico, quello dei significati; l'altro più empirico, quello dei concetti. In questo senso si dimostrerà praticabile il progetto di mettere ordine in tutti i concetti fondamentali con le loro variazioni, poi tutte le teorie fisiche; e poi individuarne un numero ristretto come i più importanti per lo studio della SGF.

Allora dapprima dovremo trovare quei *concetti fondamentali* che sono da considerare fondamentali per tutte le teorie. Poi dopo dovremo aggiungere le loro VRS, dovute soprattutto ai vari MTS.

3 - I concetti fisici utili fino alla fine del secolo XVIII; il monopolio teorico newtoniano

In questo periodo l'ottica cartesiana non sembra avere importanza perché la meccanica newtoniana la include attraverso la concezione dei raggi luminosi come traiettorie di particelle massive. Per cui non c'è stato un reale periodo di confronto-scontro tra le due teorie. Anche poi dopo, nella sola meccanica, le riformulazioni di Maupertuis e di d'Alembert (oltre tutto, incomplete e mal definite) non rappresentarono una reale alternativa a quella newtoniana. Quindi per il periodo di un secolo, possiamo considerare i concetti newtoniani come gli unici ad essere fondamentali per la Fisica del tempo e quindi utili per una SGF di quel periodo. Questi sono facilmente ricavabili da una riflessione su un patrimonio ben noto: *Spazio, Tempo, Velocità, Accelerazione, Analisi matematica, Corpo, Massa, Inerzia, Forza, Principi, Problema centrale, Equazione differenziale, Funzione soluzione, Applicazione*.¹² Sono 14 concetti fondamentali.

Il passaggio da questi concetti a categorie storiche per la SdF di questo periodo è facilmente descritto: qui ci sono quegli storici che la interpretano con il concetto di

¹² Esce sicuramente da questo schema la SGF di Mach, basata su un concetto, il *Lavoro*, che, è bene sottolineare, non era tipico della meccanica newtoniana; esso è venuto dalla formulazione alternativa della meccanica di Huygens, Leibniz, Lazare Carnot; e poi soprattutto, da quella termodinamica che Mach considera teoria più fondazionale della meccanica. Pertanto la immagine tradizionale della meccanica newtoniana viene trasfigurata dalla descrizione storica di Mach.

Spazio (ad es. Jammer¹³), che vede, alla maniera cartesiana, la Fisica come semplice continuazione della geometria; oppure con il concetto di *Forza(-causa)* (ad es., lo stesso Jammer e Maltese¹⁴), o con quello di *Equazione differenziale*, corrispondente al secondo principio $f=ma$ (Lagrange come storico¹⁵) o alle equazioni cardinali (ad es. Truesdell¹⁶).

Da questo primo elenco ricaviamo che non tutti i concetti fondamentali si prestano ad essere tradotti in categorie storiografiche; non tanto perché siano astratti (vedi *Equazioni differenziali*, che pure sono traducibili), quanto perché alcuni concetti colgono *aspetti di maggiore importanza* per i fondamenti della teoria (ad es., *Forza-causa*) ed altri di minore importanza (ad es., *Applicazioni*). Inoltre, se vogliamo che uno o più concetti abbiano, dopo la traduzione in categorie, la capacità di interpretare tutta la (storia della) teoria, allora essi debbono corrispondere ad *un aspetto globalistico della teoria*; quindi o debbono esprimere direttamente la organizzazione della teoria (o OA, o OP) o li si deve poter ricondurre facilmente ad essa (ad es. il concetto di *Equazione differenziale* può, attraverso tutte le sue soluzioni matematiche, essere considerata come un concetto globalistico, sintetizzante tutti i risultati possibili).

Queste due restrizioni riducono i 14 concetti fondamentali a pochi di essi, come di fatto si nota facilmente che è avvenuto nella pratica storiografica: *Spazio*, *Tempo*, *Forza*, *Concetto base*, *Principi*, *Problema centrale*, *Equazione differenziale*. Essi sono 7, la metà dei precedenti.

La SGF che usa una categoria che traduce un solo concetto fondamentale, sicuramente coglie un aspetto costitutivo della teoria, il quale da solo, per essere globalistico, esprime molto della teoria; perciò la narrazione discorsiva di questa SdF riesce ad assorbire, in un modo o nell'altro, tanti altri aspetti nella categoria scelta. Però questo tipo di SdF anche al suo minimo livello interpretativo manifesta il suo essere *una ideologizzazione* di quella teoria, perché, pur restando abbastanza adeguata alla vera storia di quella teoria fisica, ne considera la storia secondo un'impresa creativa dello storico. Essa poi dal lettore è facilmente individuata; ed essendo spesso suggestiva, non viene affatto respinta, ma piuttosto ammirata come suggestione di una comprensione più profonda della Fisica. Anche perciò questi storici di solito dichiarano le loro categorie.

Possiamo sviluppare analoghe considerazioni su uno storico che formi le sue categorie traducendo più di un concetto specifico della teoria; questa pluralità di concetti fa guadagnare maggiore adeguazione della sua storia ai vari aspetti di quella teoria. Tanto più se introduce una conflittualità, in corrispondenza a scelte fondamentali differenti.

Notiamo la SGF di Koyré: egli ha scelto, come concetti delle sue frasi caratteristiche contrapposte, solo il concetto fisico di *Spazio* e quello, attraverso la *Geometrizzazione*, di *Teoria matematica di riferimento*; ambedue appartengono all'elenco dei concetti indicati sopra; uno per l'opzione sull'organizzazione OA e l'altro per l'opzione sull'infinito IA. In effetti Koyré è riuscito a produrre una appropriata storiografia per tutta la Fisica newtoniana e il suo MTS perché ha ignorato l'altra teoria, l'ottica, e il suo MTS D, che d'altronde sembrava scomparso con l'ottica meccanicistica. Purtroppo ha saputo introdurre una chiara conflittualità nei fondamenti della Fisica nascente e nelle sue stesse categorie: le due "frasi caratteristiche" sono giustamente contrapposte tra loro, per poter

¹³ D. Jammer: **Concept of Space**, Harper, New York, 1960.

¹⁴ D. Jammer: **Concepts of Forces**, Harvard, 1957 ; G. Maltese: **Storia di $F=ma$** , Olschki, Firenze, 1992.

¹⁵ J.L. Lagrange: **Mécanique Analytique**, Paris, 1788.

¹⁶ C. Truesdell: **Essays in the History of Mechanics**, Springer, New York, 1968.

rappresentare la incommensurabilità tra le scelte della vecchia e quelle della nuova fisica; il che dà conto della intrinseca complessità di questa SGF koyreiana.

4 - Teorie in contrasto: un caso storico esemplare dei vari concetti in gioco

Passiamo ora allo storico che vuole illustrare la storia di più teorie sotto delle categorie che da lui sono ottenute traducendo *uno, o magari un gruppo di concetti*. Consideriamo ad esempio la storia del concetto di spazio di Jammer, o il caso che si diceva prima dell'ottica geometrica, o della meccanica di Maupertuis. Questo tipo di storia non fa problema, perché se si riferisce a quelle teorie così tanto dominate dalla meccanica newtoniana, che il loro apparato concettuale è subito riferito dal lettore a quello di quest'ultima teoria; allora le incommensurabilità (che pure ci sono¹⁷) tra i diversi MTS delle teorie non sono percepite dal lettore come tali e la esposizione storica non ha grosse difficoltà.

Ma se lo storico volesse trasferire questa facile esposizione alle teorie che sono nate alla fine del 1700 e oltre, dovrebbe tenere conto che queste teorie possono appartenere a MTS chiaramente differenti; e che perciò, essendo incommensurabili, generano VRS. Questo è quanto non ha fatto Kuhn; egli ha voluto estendere il "paradiso storiografico newtoniano" a tutta la fisica classica. Ma allora le incommensurabilità gli hanno giocato un brutto scherzo. Di fatto la esposizione di Kuhn ha dovuto dedicare un'attenzione esagerata alle teorie nuove di quel periodo, al fine di dimostrare che esse non fuoriescono dallo schema interpretativo newtoniano che lui ha suggerito. Tra le nuove teorie, Kuhn, per facilitarli la vita, ha scelto una sola teoria, quella che i fisici conoscono meno e che più si presta ad una interpretazione libera da vincoli di formalismi matematici: la chimica classica. Anche così, il caso storico gli è rimasto delicato; perché la nascita di proprio questa teoria è nota a tutti come una "rivoluzione"; Kuhn allora deve dimostrare che questa rivoluzione restò tutta interna al paradigma newtoniano (altrimenti dovrebbe fermarsi alla prima metà del 1700, oppure dovrebbe riformulare radicalmente le sue categorie). In altri termini, Kuhn ha esteso arbitrariamente fino al 1900 la storiografia adatta alla SdF di prima della rivoluzione francese, forzando la chimica a rientrarci e poi semplicemente tralasciando di trattare le nascite e gli sviluppi della termodinamica e dell'elettromagnetismo. Qui si vede che la storiografia di Kuhn, pur affascinante, è essenzialmente scorretta. Essa è stata famosa soprattutto perché la stragrande maggioranza dei lettori scientifici ha una radicata fedeltà intellettuale alla preconcezione newtoniana della Fisica e conosce molto poco della SdF del 1800.

Allora dobbiamo affrontare la situazione storica creatasi in Fisica con la rottura del monopolio teorico newtoniano, cioè dal periodo delle teorie di Lazare Carnot (OP e IP) e Lagrange (Op e IA) in poi;¹⁸ è allora che sono comparsi in maniera netta più MTS e quindi sono state avvertite delle incommensurabilità di fatto tra teorie e di conseguenze sono state influenti alcune VRS nei concetti (ad es. *Spazio* assoluto

¹⁷ A. Drago e V. Guerriera; "Il primo caso di incommensurabilità delle teorie fisiche: ottica cartesiana vs. ottica newtoniana", in F. Bevilacqua (ed.): **Atti VII Congr. Naz. Storia Fisica**, Padova (1986), 131-136 e *Atti Fond. Ronchi*, **42** (1987), 355-359.

¹⁸ Usualmente si considera, alla Kuhn, che il meccanicismo non ha avuto alternative sino al 1900. Invece una analisi storica sulla rilevanza teorica del Principio dei lavori virtuali porta ad anticipare questa alternativa alla fine del 1700. Vedasi il mio "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.

della meccanica newtoniana o relativo della chimica; *Matematica* continua o discreta).

Procediamo per induzione. Consideriamo i concetti fondamentali che sono risultati utili *nel caso di studio del primo contrasto tra teorie*, quello tra la meccanica newtoniana e la meccanica di L. Carnot; e che è rappresentativo dell'incommensurabilità più eclatante, quella tra il MTS newtoniano, che era un paradigma (con scelte: organizzazione aristotelica deduttiva e infinito in atto; OA+IA)¹⁹ e il MTS alternativo (con scelte: organizzazione centrata su un problema universale e infinito solo potenziale; OP+IP),²⁰ cioè il loro contrasto tra i due MTS principali, quelli attorno ai quali la Fisica classica si è sviluppata; e quindi quelli che, più di altri MTS, hanno marcato nella mente dei fisici i loro particolari concetti, che così possono essere stati intesi come indicatori soggettivi dei FdF.

Nel passato, sono riuscito a formulare, per altri scopi, la Tabella 1 seguente; essa elenca (prima colonna) tutti i concetti basilari che ho ricavato induttivamente dal confronto delle due teorie di Newton e di L. Carnot.²¹ Per primi sono elencati i concetti più "soggettivi" (secondo la tradizionale maniera di considerare i FdF, la quale di fatto privilegia la meccanica newtoniana, perché pone per primi i suoi concetti più importanti); seguono poi i concetti del formalismo matematico, che è oggettivo; come ultimi concetti vengono posti le due opzioni, perché, all'interno di una teoria fisica, esse hanno la massima generalità.

Questa tabella elenca *i 16 concetti fondamentali* (intendendo questa parola in senso lato: concetti di cose oggettive, concetti astratti, principi, problemi, tecniche, opzioni).²²

¹⁹ A. Drago: "A Characterization of Newtonian Paradigm", in P.B. Scheurer, G. Debrock (eds.): **Newton's Scientific and Philosophical Legacy**, Kluwer Acad. P., 1988, 239-252.

²⁰ A. Drago e S.D. Manno: "Le ipotesi fondamentali della meccanica secondo Lazare Carnot", *Epistemologia*, **12** (1989), 305-330.

²¹ A. Drago: "La tesi di Mach: la riformulazione della meccanica attraverso la termodinamica", in F. Bevilacqua (ed.): **Atti del X Congr. Naz. Storia Fisica**, Cagliari, 1989, 153-162, p. 157.

²² Rispetto a quelli newtoniani dell'elenco precedente, ci sono due concetti nuovi, gli ultimi della Tabella, necessari per caratterizzare il MTS al quale appartiene la teoria. Inoltre gran parte dei concetti (11) ripetono (7) o generalizzano i precedenti. Gli altri tre (i newtoniani: *Accelerazione*, *Massa*, *Analisi Matematica*; i nuovi: *Concetto base*, *Capacità delle macchine*, *Fenomeno base*) sono differenti. Forse i due elenchi, ottenuti indipendentemente, potrebbero essere accordati di più; ma non mi sembra improprio che la novità delle nuove teorie cambi qualche concetto fondamentale della teoria newtoniana (oltre che l'ordine dell'elenco). Comunque ammetto che qui c'è un certo grado di arbitrarietà; che potrà venire ridotta da storici che conoscano la SdF meglio di me. Ma lo sviluppo successivo farà vedere che l'arbitrarietà non ci deve preoccupare, perché, ai fini del risultato, non è grande.

Tabella 1 - Meccanica di Newton, meccanica di L.Carnot e termodinamica di S.Carnot: significati specifici dei loro concetti fondamentali.

CONCETTI	NEWTON	L. CARNOT	S. CARNOT
Spazio	Infinito e assoluto	Delimitato e relazionale	Spazio degli stati termodinamici
Tempo	Assoluto	Variazione finita	Variazione finita
Corpi	Come insieme di punti materiali senza estensione	Corpi estesi, macchine	Corpi estesi, macchine
Movimento	Concetto del corpo	Comunicazione del moto	Comunicazione del moto
Macchina	Applicazione particolare della teoria	Soggetto universale della teoria	Soggetto universale della teoria
Capacità delle macchine	Possibilità di una potenza infinita	Contro la chimera della potenza infinita: le macchine come generatrici di una serie di opzioni razionali	Contro la chimera della potenza infinita: le macchine come generatrici di una serie di opzioni razionali
Fenomeno base	Moto continuo	Urto	Trasformazioni di calore in lavoro.
Concetto base	Accelerazione	Quantità di moto scambiata	Stato di un sistema
Espressione dell'interazione	Forza, come concetto idealizzato e sintetizzante tutta l'influenza dell'ambiente esterno	Lavoro	Lavoro
Inerzia	Come moto perpetuo	Impossibilità di creare il moto perpetuo	Impossibilità di creare il moto perpetuo
Principi	I tre principi della dinamica classica	Impossibilità del moto perpetuo	Impossibilità del moto perpetuo
Problema fisico-matematico	$f = ma$	Leggi di conservazione nell'urto	Massimizzazione Del rendimento di una macchina termica
Tecnica matematica	Infinitesimi Equazioni differenziali	Moti geometrici Invarianze (simmetrie) Algebra elementare	Algebra elementare (Ciclo come strumento di ragionamento)
Soluzioni	Tutti i moti possibili da meno a più infinito	Quantità conservate	Ciclo di Carnot
Opzione sulla matematica	IA	IP	IP
Opzione sulla organizzazione	OA	OP	OP

Le precedenti due teorie meccaniche che convissero dalla fine del 1700 sono incommensurabili (su ambedue le opzioni). Questa opposizione può giungere ad una intraducibilità e incomunicabilità; in effetti questi fenomeni teorici hanno causato

storicamente quasi 200 anni di oscuramento della teoria di L. Carnot.²³ La incommensurabilità tra le due teorie inoltre causa molte VRS, che ho cercato di specificare in ciascuna delle due teorie (colonne seconda e terza), sulla base della conoscenza che ho di esse. La tabella fa vedere che in queste due formulazioni della meccanica i significati specifici di ogni concetto fondazionale sono molto differenti.

La tabella aggiunge un'ulteriore colonna che riporta i corrispondenti significati specifici di una terza teoria, la termodinamica di S. Carnot. Questa è un'ulteriore teoria con scelte OP + IP; pertanto ci offre una esemplificazione ulteriore delle VRS tra i concetti del MTS di Newton e quelli del MTS carnottiano.

La tabella precedente allora indica che:

1) *in contrasto con l'atteggiamento positivistico dominante in Fisica da un secolo e mezzo, sorprendentemente i significati specifici di quasi tutti i concetti delle teorie dei due Carnot sono molto simili, benché le loro teorie riguardino due campi di fenomeni molto diversi; mentre invece nel campo dei fenomeni della meccanica i significati newtoniani e carnottiani di un concetto sono molto distanti.*

2) *Ne segue che i significati specifici che uno stesso concetto fondamentale prende nelle varie teorie sono foggiate dalle scelte fondazionali compiute da quelle teorie altrettanto efficacemente, se non di più, di quanto sono foggiate dalle caratteristiche empiriche del campo di studio delle teorie.*

Allora partiamo da una valutazione globale: a priori il numero dei significati specifici per la SGF è dato dal numero delle teorie (circa 15) moltiplicato circa 10 significati ciascuna (circa 150 significati). Ma le considerazioni precedenti ci invitano ad ordinarli distinguendo due livelli; il livello dei concetti, determinati dalla struttura della singola teoria fisica, e il livello dei significati di quei concetti, determinati dalle scelte dei 4 MTS, oltre che dai singoli campi di fenomeni (meccanici, termici, elettromagnetici, statistici) dalle singole teorie. Perciò è ipotizzabile che tutte le teorie fisiche classiche, anche se molto differenti, possano presentare lo stesso numero di concetti (16) e in più un numero non alto di VRS di questi concetti, intorno alle 4 VRS per ogni concetto fondamentale; quindi intorno alle 64.

Notiamo in ultimo che lo studio che stiamo compiendo sulle VRS è importante, oltre che per uno storico, anche per uno studente di Fisica. Questi è vincolato allo studio della fisica oggettiva, quella che di una teoria fisica va a determinare come i concetti sono formati sulla base degli esperimenti; ma poi il confronto tra più teorie fisiche comporta delle VRS, che dipendono invece dalle scelte diverse compiute dalle teorie e sulle quali nulla dice lo studio della Fisica oggettiva, la quale fa comprendere le diverse teorie all'interno di compartimenti stagni, divisi dalle differenze insormontabili tra i diversi significati specifici dei vari concetti. Il lavoro dello storico della Fisica fornisce ad uno studente un'importante aggiunta di comprensione, quando con le sue categorie, che si basano sui significati specifici, fa comprendere che ci sono le VRS.

5 - Passaggio ai concetti di tutte le teorie fisiche classiche

La Tabella 1, che riguarda solo tre delle principali teorie classiche, dà una base per individuare induttivamente i concetti fondamentali di tutte le teorie fisiche classiche, così come probabilmente questi concetti sono stati visti dai maggiori fisici del passato.

Propongo allora una Tabella 2, simile alla precedente, ma che riguarda *tutte* le teorie classiche (comunemente note). Occorre tenere presente che mentre la Tabella 1 divideva le teorie secondo due soli MTS (newtoniano e carnottiano), la Tabella 2

²³ E' noto che questa meccanica del 1783 è stata riscoperta da C.C. Gillispie: **Lazare Carnot Savant**, Princeton U.P., Princeton, 1971.

deve dividere le teorie secondo 4 MTS, che sono indicati da quattro colonne. All'inizio di ogni colonna indicativa di un dato MTS, ho elencate tutte le teorie fisiche che appartengono ad esso e le ho numerate progressivamente, secondo l'ordine storico.

In totale, ho considerato *14 teorie di Fisica classica* come le più suggestive per la mente collettiva dei fisici. Ho escluso le teorie incomplete; ma nella colonna del MTS carnotiano ho inserito la termodinamica di S. Carnot; pur non essendo una teoria completa, essa ha rappresentato (di più di altre teorie altrettanto incomplete, per esempio l'elettromagnetismo di Faraday) una forte caratterizzazione del (periodo della costruzione intellettuale del) suo MTS. Ho escluso una teoria (l'ottica fisica) perché, dopo un breve periodo, essa è stata inclusa dall'elettromagnetismo, e quindi è stata poco suggestiva.²⁴ Infine ho escluso l'elettrodinamica di Lorentz, in quanto questa teoria, nata poco prima della relatività ristretta, può essere stata vista dai fisici come una teoria di confine tra la fisica classica e quella relativistica; quindi soggettivamente non ha avuto influenza.

Inoltre, per adeguarmi alla maggiore complessità della nuova situazione (quella della totalità delle 14 teorie fisiche sviluppate fino al '900), i concetti fondamentali della nuova Tabella 2 sono stati leggermente modificati, sia in numero che in definizione, rispetto a quelli della Tabella 1. Ne ho scartati 3. Mi sono sembrati ormai datati (e dunque sono stati eliminati dalla Tabella 2) i concetti fondamentali *Macchina* e *Capacità delle macchine*. Ho escluso pure il concetto *Soluzioni*, perché ora la varietà delle teorie non permette di darne quattro significati specifici precisi. Invece, ho sdoppiato in due il precedente concetto *Principi: Legge fondamentale e Tipo di principi*. Inoltre ho aggiunto i concetti *Teoria matematica di riferimento* e *Costruzione della teoria sulla base di*, i quali mi sono sembrati molto rilevanti per tutte le teorie dei quattro MTS. In conclusione, sono stati tolti tre concetti e sono stati aggiunti tre nuovi concetti; quindi ancora una volta *sono 16 i concetti fondamentali di tutte le teorie della fisica classica*. Essi sono elencati nella prima colonna della Tabella 2 seguente.

E' vero che l'aver mantenuto un numero ridotto di concetti è stato ottenuto anche generalizzando i concetti newtoniani a concetti molto ampi; ma ciò era inevitabile, anche per un semplice confronto tra teorie dello stesso MTS; ad es. nel MTS D, il significato di *Spazio* in ottica geometrica è molto differente da quello della chimica fisica. L'importante è che giungiamo a concetti che si adattino ad ogni teoria fisica (classica). D'altronde, se il mantenimento di pochi concetti fosse un artificio, poi dovremmo trovare un gran numero di significati; il che invece non avverrà.

6 - Tutte le variazioni radicali di significato dei concetti fondamentali

Ora dobbiamo tenere conto che ognuno dei concetti suddetti varia di significato nelle diverse teorie (ad es. lo spazio e il tempo sono stati concepiti in maniera differente in meccanica e in termodinamica). All'interno di ogni colonna, sulla base di quella che mi appare essere la conoscenza storica comune, ho cercato di precisare quella concezione dei concetti soggettivi fondamentali che corrisponde al comune

²⁴ Questa scelta è discutibile. Se si includesse questa teoria, essa entrerebbe nel MTS Lagrangiano, e ne ripeterebbe i significati specifici, salvo quelli del *Problema fisico-matematico* e della *Tecnica matematica*, che per le onde sono simili ma differenti da quelli lagrangiani. Si potrebbero escludere anche le teorie prima della fine del 1700, perché si può sostenere che esse sono state poco influenti sui concetti soggettivi con i quali i fisici hanno cercato di comprendere i FdF delle teorie del dopo 1800. Inoltre ho escluso altre teorie: quelle di Jacobi, Hertz, Gibbs; che però, secondo me, hanno avuto poca influenza concettuale.

sentire di quei fisici del passato, che li hanno costruiti intuitivamente. Nelle quattro colonne ho specificato ognuno di questi significati, relativamente alla teoria fisica.²⁵

Ad ogni significato specifico ho posto ad apice il numero d'ordine della teoria alla quale esso appartiene. Così la tabella elenca i significati specifici di tutti i possibili concetti fondamentali, rispetto sia a tutte le teorie della Fisica classica, sia ai loro MTS.²⁶

²⁵ I significati specifici dei concetti appartenenti ad una data teoria sono stati individuati mediante una riflessione intuitiva sostanzialmente agevole. In particolare, consideriamo il MTS lagrangiano; i concetti delle sue tre teorie fisiche hanno una sostanziale uniformità di significato. (Non c'è da meravigliarsi di ciò: le teorie fisiche di tale MTS sono fortemente dipendenti da una particolare matematica, allora ritenuta "sublime" o superiore, che evidentemente ha fortemente foggato tutti i significati dei concetti delle teorie in questione, per di più poco dissimili. Ma occorre anche notare che una precisione così alta dei significati su cui sono costruite le teorie, indica che i loro campi fenomenologici non hanno avuto quasi influenza sulla loro struttura concettuale; così come avviene, al massimo grado, nella formulazione di Lagrange). Però in tutti gli altri MTS il metodo ha una certa imprecisione. Anzi, il MTS cartesiano presenta alcune difficoltà; le teorie appartenenti a questo MTS non sempre presentano significati comuni nei concetti fondamentali (ciò vale sia per i concetti più "soggettivi" che per quelli più "oggettivi"). Queste difficoltà sono giustificabili storicamente: 1) nella fisica classica il MTS dominante, e quindi il MTS più elaborato e più precisato dai fisici teorici, è stato quello newtoniano; negli altri MTS la elaborazione ha avuto minor durata, minor influenza culturale e minor attenzione da parte dei fisici; in particolare, il MTS Decartesiano è stato sicuramente il meno elaborato di tutti i MTS. 2) Il MTS cartesiano si estende di più nel tempo (1630-1900), con teorie che sono nate in tempi distanti tra loro (per esempio: l'ottica geometrica rispetto alla chimica-fisica e alla meccanica statistica); 3) esso accumula 5 teorie, più di ogni altro MTS. 4) Queste teorie sono molto diverse tra loro. 5) Esso può essere considerato anche come il MTS "residuale", valido per le teorie fuori del comune; o perché tecnicamente molto semplici (ad es., l'ottica geometrica); o perché di passaggio ad un'altra teoria (meccanica statistica); o perché di compromesso (la meccanica di L. Carnot, presentata nei *Principes* nel 1803; e la termodinamica classica, formulata da Clausius e Kelvin nel 1850; esse sono strutturate in forma solo deduttiva, ma erano nate come teorie OP, cioè con principi di tipo metodologico; non si sa bene fino a che punto questa traduzione da OP a OA sia stata completata o, invece, abbia lasciato ambiguità nelle scelte effettive di tali teorie e nei significati specifici). Quindi ci si può ben aspettare che in questo MTS che ha raccolto le teorie più disparate l'elaborazione soggettiva per costruire concetti intuitivi adeguati al MTS risulti la minima. Si noti infine che può essere discutibile la mia scelta di inserire la meccanica di L. Carnot (versione 1803) in questo MTS, avendo già contato questa teoria meccanica, nella versione 1783, tra quelle carnottiane. La sua eliminazione potrebbe eliminare alcune incoerenze del MTS D. Ma soprattutto questo MTS avrebbe molta più coerenza se si eliminasse l'ottica geometrica; il che può essere suggerito dai seguenti fatti: 1) questa teoria appartiene al periodo pre-newtoniano; 2) ha avuto influenza per un tempo breve, prima di essere inclusa nell'ottica meccanicista; 3) successivamente è stata inclusa anche dall'ottica fisica e dall'elettromagnetismo. Una volta che si eliminasse questa teoria, scomparirebbero sei significati "devianti" dei concetti fondamentali del MTS Decartesiano.

²⁶ Vari studiosi (v. ad es. il recente articolo di A. Bartels: "Chains of Concepts", *Synthese*, **195** (1996) 347-370) sostengono che i concetti fisici di teorie successive possono ritornare dalla seconda teoria alla prima mediante un passaggio al limite. Questo è semplicemente un tentativo per superare le VRS, e quindi di svalutare le

Tabella 2: I concetti fondamentali delle teorie e i loro significati specifici secondo i quattro mts

	MTS NEWTONIANO	MTS LAGRANGIANO	MTS DECARTESIANO	MTS CARNOTTIANO
TEORIE CLASSICHE PRINCIPALI CHE RAPPRESENTANO I 4 MTS DI RIFERIMENTO	1) Meccanica newtoniana (1687) 2) Ottica meccanicistica (1700) 3) Elettromagnetismo di Maxwell (1865)	1) Meccanica di Maupertuis e formulazioni variazionali in genere (1744) 2) Meccanica lagrangiana (1788) 3) Meccanica hamiltoniana (1835)	1) Ottica geometrica (1630) 2) Meccanica di L. Carnot (Principes, 1803) 3) Termodinamica classica (Clausius e Kelvin, 1851) 4) Chimica-fisica (1878) 5) Meccanica statistica (1900)	1) Meccanica di L. Carnot (Essai, 1783) 2) Termodinamica di S. Carnot (1824) 3) Chimica classica (1866)
SPAZIO	Assoluto, Contenitore astratto ^(1,2,3)	Contenitore astratto ^(1,2,3)	Relazionale ^(1,2,3,4) Contenitore astratto ⁽⁵⁾	Relazionale ^(1,2,3)
TEMPO	Assoluto, Continuo ^(1,2,3)	Continuo ^(1,2,3)	Variazione finita ^(2,3,4,5)	Variazione finita ^(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)
MOVIMENTO	Concetto del corpo o dell'onda elettromagnetica ^(1,2,3)	Moto del sistema in uno spazio astratto senza vincoli ^(1,2,3) Elemento dello spazio delle soluzioni ^(2,3)	Moto di gruppo ^(1,2,3,4,5) Comunicazione del moto ⁽²⁾	Comunicazione del moto ⁽¹⁾ Trasformazione ^(1,2,3)
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 ^(1,2,3)
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)
INERZIA	Come moto perpetuo ^(1,2,3)	Come geodetica ^(1,2,3)	Impossibilità del moto perpetuo ^(2,3,4) Irreversibilità ^(2,3,4,5)	Impossibilità del moto perpetuo ^(1,2,3) Irreversibilità ^(1,2,3)
ESPRESSIONE DELL'INTERAZIONE	Forza ⁽¹⁾ Campo di forze ⁽³⁾	Forza e lavoro generalizzati ^(2,3)	Deviazione ⁽¹⁾ Lavoro ed energia ^(2,3,4,5) Entropia ^(3,4,5)	Lavoro ^(1,2) Valenza ⁽³⁾

incommensurabilità, mediante operazioni tecniche che fidano sulla capacità che avrebbe una particolare matematica di superare tutte le difficoltà concettuali e teoriche della Fisica. La tabella 2 mostra che nessuna applicazione dell'operazione limite potrà mai giustificare la varietà dei significati specifici con una matematica (per di più particolare, quella classica).

LEGGE FONDAMENTALE	$f = m \frac{d^2x}{dt^2}$ <small>(1,2)</small> $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ <small>(3)</small>	Equazione differenziale data a priori <small>(1,2,3)</small>	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))
TIPO DI PRINCIPI	Principi assiomatici ^(1,2,3)	Principi di minimo formalizzati in matematica ^(1,2,3)	Leggi empiriche elevate a principi ideali ^(1,2,3,4)	Principi metodologici ^(1,2,3)
PROBLEMA FISICO-MATEMATICO FONDAMENTALE	Funzione forza ^(1,3) Espressione matematica del campo elettromagnetico ⁽³⁾	Capacità di risoluzione automatica e universale dei problemi ^(1,2,3)	Descrizione in termini di trasformazioni tra raggi ⁽¹⁾ o stati ^(2,3,4,5)	Invarianti a trasformazioni ^(1,2,3)
TECNICA MATEMATICA	Equazioni differenziali con infinitesimi ^(1,2,3)	Calcolo variazionale ^(1,2,3)	Algebra elementare ^(1,2,3,4,5)	Algebra elementare ^(1,2,3) Simmetrie ⁽¹⁾ o ciclo ^(2,3)
TEORIA MATEMATICA DI RIFERIMENTO	Analisi matematica classica ^(1,2,3) Calcolo differenziale vettoriale ⁽³⁾	Analisi matematica classica ^(1,2,3)	Geometria analitica ⁽¹⁾ Algebra elementare e trigonometria ^(1,2,3,4) Calcolo delle probabilità ⁽⁵⁾	Geometria assoluta ⁽¹⁾ Algebra elementare e trigonometria ^(2,3)
CONSTRUZIONE 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)
OPZIONE SULLA MATEMATICA	IA	IA	IP	IP
OPZIONE SULLA ORGANIZZAZIONE	OA	OP	OA	OP

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.

In totale, il numero di tutti i significati specifici risulta essere molto minore di (14 teorie per 16 concetti fondamentali =) 196. Se poi si ritenesse che le vere VRS sono quelle determinate solamente dai differenti campi dei fenomeni delle 7 teorie e non anche dalle 7 diverse riformulazioni delle teorie, allora dovremmo avere la metà delle teorie di prima e perciò anche la metà dei precedenti significati caratteristici: $7 \times 16 = 98$. Ma di fatto i significati elencati in tabella, sono 95 (23 nel MTS N, 18 nel MTS L, 29 nel MTS D e 25 nel MTS C), se contiamo anche i significati ripetuti nelle varie colonne; senza le ripetizioni sono solamente 71; e sono 67 senza le 4 scelte sulle due opzioni, che non possono essere considerate propriamente alla stregua dei significati dei concetti intuitivi.²⁷ Questa limitazione del loro numero avviene per lo stesso fenomeno della Tabella 1: le VRS sono molto di meno e meno forti tra le teorie

²⁷ Per non tediare il lettore con un lungo elenco, indico solamente la sequenza dei totali, riga per riga della Tab. 2, dei significati: con ripetizioni 5, 4, 8, 7, 6, 8, 6, 8, 7, 4, 5, 5, 8, 6, 4, 4; senza ripetizioni: 2, 2, 7, 6, 5, 6, 4, 6, 6, 4, 5, 3, 5, 4, 2, 2;

di uno stesso MTS (anche se le teorie riguardano campi di fenomeni molto diversi), che non tra le teorie di MTS differenti.

Quindi le 14 teorie di *Fisica classica* presentano 67 significati per tutti i 14 concetti fondamentali (qui e d'ora in avanti i concetti verranno contati senza le due opzioni); il numero è di poco superiore a quello di solo 4 differenti significati specifici, corrispondenti ai 4 MTS, moltiplicati o per le 14 teorie o per i 14 concetti fondamentali; il che dà sempre $4 \times 14 = 56$ significati.²⁸ Concludiamo che tutto ciò conferma che: *in una teoria fisica i significati dei concetti fondamentali sono molto condizionati dalle scelte fondamentali di quella teoria e lo sono di meno dal campo dei fenomeni sul quale essa insiste*. Di converso, ciò conferma che *i quattro MTS rappresentano una divisione radicale tra le varie teorie fisiche, più forte delle divisioni tra i campi di fenomeni sui quali le teorie insistono*.

Con ciò giustifichiamo perché nel passato gli storici hanno sintetizzato le teorie fisiche in maniera concettuale: queste teorie, che si presentano oggettivamente, dipendono fortemente dal loro livello concettuale, composto dai 14 concetti fondamentali e da 67 significati specifici.

7 - Con quali e quanti concetti si arriva alla crisi del 1900

Con il quadro precedente possiamo valutare la dinamica storica della crisi più grande che la Fisica abbia avuto, incredibilmente nella sua età matura. In breve, da quanto detto in precedenza si può affermare che i fisici sono arrivati all'anno 1900 con queste caratteristiche culturali:

1) Non avendo cognizione né dei MTS né delle VRS, essi hanno dovuto fronteggiare una pletora indifferenziata di concetti fondamentali (almeno 14) e di loro significati (67); ai quali si sono aggiunti quelli della teoria di Lorentz e del suo gruppo (un concetto matematico sconvolgente!).

2) Essi non sono stati capaci di distinguere i concetti più fondamentali degli altri, se non per partito preso. Sotto questa luce la lotta degli energetisti è ora da vedere come un goffo tentativo di ricominciare daccapo una concezione dei FdF usando pochi significati specifici con i quali si potessero vedere in maniera unificante tutti gli altri (*l'Energia* si prestava bene). In realtà l'unificazione non c'è stata perché questi significati sono rimasti giustamente in contrapposizione con quelli meccanicisti. Questa contrapposizione può allora essere vista come una prima maniera di definire i due MTS principali, quello N e quello C; ma purtroppo nessuno ha ricondotto il meccanicismo alle sue due scelte fondamentali; e d'altra parte nessun energetista ebbe un'idea delle scelte alternative (salvo in parte Mach).

3) Meno che mai gli energetisti sono stati capaci di distinguere le VRS (anzi, gli energetisti, salvo Planck, non davano importanza neanche al concetto fondamentale della termodinamica, l'entropia, oscurato da quello di *Energia*). Per cui ogni teorico si muoveva con un suo bagaglio di concetti fondazionali, di cui non conosceva la validità teorica né filosofica (Poincaré sembra l'unica eccezione parziale). La maggioranza dei fisici credette di salvarsi da questa situazione difficile rifacendosi alle apparenti certezze della fisica matematica, la perpetratrice del meccanicismo newtoniano; proprio ciò che invece verrà sconfessato dalla crisi del 1900.

²⁸ In effetti le teorie del MTS Newtoniano danno 7 significati in più del numero dei 14 concetti fondamentali; quelle del MTS Lagrangiano ne danno solo 14+2, quelle del MTS Decartesiano ne danno ben 14+13 (quasi il doppio dei 14), mentre quelle del MTS carnotiano ne danno 14+9 (un numero così alto per un MTS sostanzialmente coerente si spiega col fatto che i campi di fenomeni delle sue teorie sono veramente i più disparati: meccanica, termodinamica, chimica); per un totale, per tutti i MTS, di 29 in più delle 56 caselle per i significati specifici.

4) Lo stato confusionale sui concetti fondamentali alla fine del 1900 è confermato dalla comune accettazione della usuale versione deviante che viene data della storia dell'elettromagnetismo, considerato terminato con Maxwell, quando invece le sue equazioni mancavano del termine di Hertz; e soprattutto mancavano del suo gruppo di invarianza, che poi fu decisivo per far nascere la relatività.²⁹

Non sorprende allora che alla fine del 1800 i fisici teorici si siano fatti abbacinare dal significato di *Etere* per il concetto di *Spazio*. Evidentemente non controllavano più la situazione concettuale, diventata troppo complessa e contrastante.

I fatti successivi sono ben noti. Ora possono essere visti sotto una nuova luce. La nascita dei quanti contraddisse la scelta matematica IA compiuta da ben due MTS, quello N e quello L; in particolare negava la tradizione del cuore duro della fisica teorica dominante, la fisica matematica, e in definitiva distruggeva tutti i significati usuali della Fisica soggettiva; lasciando i fisici al buio, perché privi di quei significati che essi comunemente intendevano come i FdF (per di più ora l'onda si confonde con il corpuscolo e nascono concetti nuovi, come lo spin).

Inoltre l'analisi precedente ci fa rimarcare che la relatività ristretta è nata dal conflitto di due MTS incommensurabili, il MTS N della meccanica e il MTS L dell'elettromagnetismo di Lorentz (centrato sul problema dell'elettrodinamica); i quali si sono presentati attraverso due teorie rappresentative (meccanica newtoniana ed elettromagnetismo di Maxwell più gruppo di Lorentz), riducibili a due loro principi cruciali (quello di invarianza e quello di insuperabilità della velocità della luce), riconducibili a loro volta a due significati specifici del concetto fondamentale *Principio*. In definitiva, il problema era una VRS di uno stesso concetto. Di fatto la teoria è nata conciliando il primo significato specifico con il secondo; ma con la conseguenza di una VRS sconvolgente: il concetto più tradizionale e più usuale di tutte le interpretazioni soggettive dei FdF, lo *Spazio*, ha subito una VRS, passando allo spazio-tempo; e in più il significato di *Massa* si è fuso con il significato di *Energia*.

La successiva nascita della meccanica quantistica (25 anni dopo i quanti) fu anche un poderoso sforzo per ritrovare alcuni significati specifici basilari (complementarietà, ampiezza di probabilità, spazio di Hilbert); i quali però erano nuovi e del tutto astratti; né portarono a chiarire le scelte fondamentali (che pure si erano palesate con la contrapposizione tra la formulazione di Heisenberg e quella di Schroedinger) e tanto meno i MTS possibili.

Il successivo lavoro degli storici della Fisica, di solito fisici anch'essi, è stato motivato anche dal cercare di recuperare una maggiore coscienza della SdF di quella ottenuta dal superamento tecnico della crisi del 1900. Rispetto ai fisici dei primi anni del 1900 gli storici successivi hanno elaborato di più i FdF, non solo perché hanno avuto il vantaggio di aver conosciuto le soluzioni delle teorie del 1900, ma anche perché hanno posto la ricerca dei FdF come una questione qualificante il loro metodo di studio; che, in ultima analisi, è stato sempre, un tentativo di definire i FdF, attraverso la presentazione delle VRS dei concetti, come gli aspetti teorici che sono più importanti, anche delle differenze tecniche e sperimentali tra le diverse teorie. Ma gli storici del passato, non hanno riconosciuto l'origine delle distinzioni insormontabili tra significati diversi. Sotto questo aspetto lo storico più incosciente è stato Kuhn, il quale ha ignorato ogni VRS, pur trattando tutte le teorie della SdF classica e pur introducendo lui stesso il concetto di VRS. Mentre invece, il più cosciente è stato Koyré, il quale ha distinto bene almeno i due concetti di infinito.

²⁹ A. Drago: "A. Volta and the strange history of electromagnetism", in E. Giannetto (ed.): **Proc. Bicentennial of A. Volta**, Pavia, 2000, 121-140.

8 - Concetti fondamentali e significati utili per lo storico di una o più teorie della Fisica classica dopo la fine del 1700

Torniamo alla SGF. Esaminiamo quali tipi di SGF si possono presentare. Consideriamo prima uno storico della Fisica classica che voglia *interpretare la particolare situazione fisica di un certo tempo, attraverso gli "occhi mentali" dei fisici di quel tempo*. Egli potrebbe tradurre in categoria storiografica ognuno dei 67 significati che sono specifici per le varie teorie della Fisica classica.

Ma questa è solo una potenzialità per una SGF di un caso storico generico. Qualifichiamo meglio il problema. *Consideriamo lo storico che interpreta una particolare teoria fisica del dopo fine 1700*. Consideriamo quanti sono i significati specifici di cui può disporre. Escludiamo ovviamente le due opzioni di questa teoria (che darebbero luogo alla storia effettiva, non a quella soggettiva). Restano 14 concetti fondamentali con i loro 14 significati specifici circa. Ma abbiamo già visto nel par. 3 (per il periodo del monopolio newtoniano) che non tutti i significati possono essere tradotti in categorie; tra loro c'è una gerarchia di importanza, data dal loro ruolo più o meno importante per la teoria stessa; la quale gerarchia indica allo storico i significati più importanti da tradurre in categorie interpretative. Inoltre non tutti sono adatti ad essere tradotti in categorie storiche, perché mancano di quell'aspetto globale, che è essenziale allo storico per poter abbracciare molti altri concetti della teoria. Quindi tra i vari significati di una medesima teoria si debbono scegliere i significati specifici 1) più importanti e 2) traducibili in concetti a carattere globalistico.

Ad es., qui c'è la storia della Chimica di Leicester,³⁰ basata sui significati specifici di *Materia*, *Valenza*, ecc.; il primo è il significato globalistico di *Corpi* e il secondo è il significato dell'*Espressione dell'interazione*; certamente questi due concetti fondamentali sono molto importanti per la Chimica. Oppure c'è la storia della termodinamica di Mach,³¹ basata sui significati specifici di *Lavoro* ed *Energia*, tipici significati globalistici, di un concetto fondamentale molto importante di quella teoria.

Questo schema interpretativo vale molto bene se lo storico si limita ad una sola teoria; ma deve stare attento se passa a trattare più teorie. Perché nel periodo storico dopo la fine del 1700 sono comparsi i MTS alternativi; dopo, anche una singola teoria, in particolare anche la meccanica, ha varie formulazioni, corrispondenti a MTS diversi. Allora, essendo le formulazioni incommensurabili tra loro, esse generano VRS. Se lo storico non le considera, il suo tipo di storiografia è ambigua.

Di fatto, vari storici sono tentati a risolvere le ambiguità ignorando o svalutando formulazioni diverse da quella che loro considerano come più importante, che viene dilatata a valere anche sulle altre teorie. Ad es., dal 1960 ci sono vari storici (ad es., Truesdell³²) che hanno provato a interpretare la storia della meccanica attraverso il solo significato di *Matematica* dell'analisi; in realtà la loro storia riguarda solamente la meccanica newtoniana e la sua influenza (matematica). Questa è una tentazione facile per gli storici meccanicisti; è difficile per gli storici delle teorie del MTS C, come quelli appena considerati, perché la influenza del loro MTS è stata molto ridotta.³³

³⁰ H.M. Leicester: **Storia della Chimica**, ISEDI, Milano, 1978.

³¹ E. Mach: **Principles of the Theory of Heat**, Reidel (1896), 1986.

³² C. Truesdell: **Essays on History of Mechanics**, Springer, 1978.

³³ Più complessa ma pur sempre ambigua è la SGF di Mach per la meccanica.³³ Egli ha utilizzato la categoria della "economia di pensiero", che traduce il significato specifico *Lavoro* (del concetto fisico *Espressione dell'interazione*), che è a comune tra teoria termodinamica e teoria meccanica. Inoltre egli con la parola "economia"

Invece è adeguata la storiografia dello storico che vuole interpretare *la storia di due o più teorie che appartengano ad uno stesso MTS, usando come categorie un loro significato comune*. Esaminiamo questo secondo caso, a seconda del MTS al quale lo storico si riferisce.

Consideriamo dapprima il MTS Lagrangiano. Abbiamo già visto che ha una proprietà molto interessante: ha poco più di 14 significati per i 14 concetti fondamentali; cioè, tutte le sue teorie possono essere intese *unitariamente* attraverso i significati scelti. Ciò facilita molto lo storico di (una teoria di) quel MTS. Un esempio è la SGF di Blay, che reinterpretava la storia della meccanica fino al 1800 in funzione della successiva formulazione lagrangiana, cioè alla luce soprattutto dello strumento matematico.³⁴

Meno facile è la scelta per lo storico che persegue questo obiettivo dentro ognuno dei MTS Decartesiano e Carnottiano: siccome in ognuno di questi MTS i significati caratteristici sono molti (fino a quasi il doppio dei 14 concetti), è più difficile trovare dei significati unificanti per tutte le teorie di quel MTS.³⁵ Ma ce ne sono anche in questo MTS. Perciò Hiebert³⁶ ha potuto scegliere come sue categorie *Energia* e *Lavoro*, e coerentemente ha tagliato trasversalmente due teorie, meccanica e termodinamica, ma considerandone quelle formulazioni che appartengono al MTS C.

Analoghe considerazioni possono essere sviluppate su uno storico che formi le sue categorie traducendo più significati specifici della teoria; che così fanno guadagnare maggiore adeguazione della sua esposizione ai vari aspetti di quella teoria.

Ancor più adeguata è la storia di una teoria che venga posta in contrasto con un'altra teoria di un altro MTS. Così ha fatto Thackray, che ha descritto la storia della Chimica classica mettendola in contrasto con l'atteggiamento newtoniano dominante. Questo contrasto è espresso correttamente dal titolo del suo libro direttamente mediante i due significati rappresentativi delle due teorie.³⁷

9 - Concetti fondamentali e significati utili per lo storico di tutta la Fisica classica

La *storia di tutta la Fisica classica* deve fra fronte al grande numero di significati (67) che hanno tra loro conflittualità, a causa delle tante VRS che in definitiva danno

traduce una minimizzazione (*Principi di minimo*), che però è un significato specifico del MTS Lagrangiano. Quindi utilizza due significati specifici molto importanti (tra l'altro, uno surrogatorio dell'opzione sull'organizzazione e una dell'opzione sull'infinito); i quali vogliono unire il MTS C da una parte e dall'altra non tanto il MTS dominante N, ma quello L, dovuto soprattutto a quel Lagrange che per Mach rappresenta l'apice dello sviluppo della meccanica. Qui si vede la debolezza fondamentale della SGF di Mach: questa è sempre attuale, perché valorizza il *Lavoro*, concetto tipico del MTS C minoritario, di solito ignorato; ma è rimasta sempre ambigua nelle sue scelte fondamentali; tanto che suscitò le reazioni negative degli stessi Einstein e Planck, che ne erano stati gli studenti ideali.

³⁴ M. Blay: **La naissance de la mécanique analytique**, PUF, 1992.

³⁵ Casomai, siccome la esposizione deve sintetizzare le teorie, allora essa può rappresentare in maniera solo parziale la Fisica da illustrare, dichiarando "deviante" per quel MTS le teorie "difficili" (l'ottica geometrica nel MTS cartesiano; la chimica-fisica nel MTS carnottiano) e facendo storia delle sole teorie restanti, che sono più unitarie. Così hanno fatto gli energetisti, improvvisatisi storici, che, vedendo la SdF attraverso il concetto di *Energia* della termodinamica, hanno escluso la cristallografia, l'elettromagnetismo di Faraday e la chimica.

³⁶ N. Hiebert: **The Historical Roots of the Principle of Conservation of Energy**, Univ. Wisconsin P., Madison, 1962.

³⁷ A. Thackray: **Atomi e Forze**, Il Mulino, Bologna, 1980.

luogo alle incommensurabilità tra le teorie dei diversi MTS. Si vede a prima vista che non si può trovare intuitivamente un'unità concettuale tra così tanti significati caratteristici dei concetti basilari; a meno di travisare la SdF fino a volgarizzarla. Qui verificiamo nei fatti che, *il gran numero di significati specifici (67), rende chiaramente impossibile il produrre una vera Storia di tutta la Fisica classica mediante una categoria intuitiva, o un piccolo numero di esse che traducano dei concetti fondamentali.*

Ma vale quanto detto in precedenza; si può ridurre drasticamente questo numero, perché sicuramente alcuni significati specifici non hanno avuto una funzione surrogatoria per i FdF in generale (ad es., non l'ha avuto il significato *Moto di gruppo*, appartenente al MTS cartesiano) e quindi sono poco utili ad una SGF di tipo concettuale. Perciò la Tabella 2 dà un universo di riferimento che è molto più ampio di quanto sia utile ad uno storico di tutte le teorie della Fisica classica. Allora, *si possono considerare solo quei significati che sono "più importanti", nel senso questa volta che essi sono stati surrogatori dei FdF per tutte le teorie aventi lo stesso MTS o la stessa scelta*; in tal caso essi sono stati chiaramente espressivi di una precisa visione dei FdF. In tal caso lo storico, non solo produce una storia concettuale, che cioè sostituisce alle formule matematiche i loro concetti sintetici; ma produce una storia che oltre ad essere una sequenza ragionata dei fatti storici è anche una visione sintetica delle teorie secondo i loro fondamenti.

Si possono suggerire più metodi per stabilire i significati più importanti; espongo quello che mi sembra il più semplice.³⁸ Notiamo che dei 67 significati della Tabella 2, alcuni sono di una o di poche teorie, rispetto a tutte le teorie di un dato MTS; chiaramente questi significati non si prestano ad essere tradotti in metafore che facciano da categorie per le altre teorie dello stesso MTS. Quindi vanno scartati tutti i significati minoritari all'interno di una casella della Tabella 2. Resta un solo significato per ognuna delle $14 \times 4 = 56$ caselle (ricordo che abbiamo escluso le due scelte fondamentali). Tra questi significati è bene privilegiare quello che si ripete nelle caselle di due MTS contigui, perché esso può rappresentare la scelta fondamentale che è in comune a questi due MTS. Risultano 18 significati ripetuti (poco più dei 14 concetti fondamentali; il che depone bene per la sinteticità che stiamo cercando): *Spazio contenitore astratto, Spazio relazionale, Tempo continuo, Tempo relazionale, Corpi materiali estesi,* Comunicazione del moto,* Moto continuo, Passaggio tra due stati, Stato del sistema,* Impossibilità del moto perpetuo,* Forza, Lavoro, Equazioni differenziali, Conservazione dell'energia, Analisi infinitesimale, Algebra elementare, Cinematica, Dinamica.*

Di essi, 7 significati sono a comune dei MTS N ed L; ed essi corrispondono a 7 concetti fondamentali: *Spazio (org.), Tempo (inf.), Fenomeno base (org.), Espressione dell'interazione (inf.), Legge fondamentale (org.), Teoria matematica di riferimento (inf.), Costruzione della teoria sulla base di (org.)* (tra parentesi la opzione surrogata: organizzazione o infinito; quindi 4 surrogano la scelta dell'organizzazione e 3 quella dell'infinito; un buon equilibrio, con la giusta prevalenza della opzione sull'organizzazione). Inoltre 11 significati sono in comune ai MTS D e C; tra essi, 7 significati corrispondono agli stessi 7 concetti di prima. Cioè, ognuno di questi 7 concetti fondamentali ha le seguenti caratteristiche: 1) ognuno dei suoi significati

³⁸ Nella tesi di F. Scarpa: **La Meccanica tra L. Carnot e la relatività**, Tesi di laurea in Fisica, Università di Napoli, a.a. 1999-2000, 63-67, viene esposto dettagliatamente ancora un altro metodo, nel quale per ogni significato si studia quali scelte esso surroga, si confrontano tutte le scelte, coinvolte dai vari significati di uno stesso concetto e si nota se esso surroga una sola opzione o no; nel primo caso quel concetto viene considerato sostitutivo della opzione e quindi adatto ad essere eletto a categoria storica. Risultano sempre 8 concetti fondamentali di questo tipo; è notevole che essi siano quasi gli stessi di quelli elencati sopra.

specifici surroga una delle scelte effettive, sia nei MTS N ed L, sia nei MTS D e C; 2) il complesso dei suoi significati sui quattro MTS corrisponde alle due possibili scelte su una sola opzione. Quindi ognuno di questi 7 concetti traduce al meglio, con opportune VRS, le scelte che fanno le differenze nei FdF.

In più per i MTS D e C ci sono 4 significati (sono stati segnalati con un *) che corrispondono ai concetti fondamentali: *Corpi*, *Movimento*, *Concetto teorico fondamentale*, *Inerzia*.

Inoltre si può notare che il significato utilizzato dallo storico come categoria deve poter sintetizzare (sia pur intuitivamente) una miriade di aspetti di una teoria; il che impone che almeno alcuni significati da scegliere devono riferirsi alla totalità della teoria e quindi alla sua organizzazione. Con questa restrizione, a surrogare l'organizzazione restano solamente 4 dei 7 concetti fondamentali precedenti: *Spazio*, *Fenomeno base*, *Legge fondamentale*, *Costruzione della teoria sulla base di*. E per i MTS C e D solo altri due sui quattro indicati: *Corpi* e *Concetto teorico fondamentale*. Con ciò abbiamo ristretto moltissimo le scelte possibili che lo storico può fare sui concetti fondamentali della Fisica per ricavarne le sue strategie interpretative.

10 - Valutazione delle esperienze di storiografie per tutta la Fisica classica

Consideriamo allora il compito più impegnativo e più ambizioso affrontato dagli storici: *interpretare la SdF di tutte le teorie classiche*.³⁹ Verificheremo se e come gli storici hanno usato (o tradotto) i significati dei pochi concetti più importanti, prima individuati.

Uno storico può sperare di aver colto i FdF in un significato specifico, corrispondente ad un concetto fondamentale; e allora può tradurre questo concetto (di per sé quadrivalente) in categoria storiografica, con la quale cercare di coprire ambigualmente più teorie, più scelte e più MTS. Allora a causa della omogeneizzazione forzata dei significati differenti che hanno tra loro delle VRS, la sua storia può anche essere piacevole, perché è unitaria, ma di fatto costituisce un letto di Procuste, affatto fedele alla realtà: già la storia di una teoria intera si lascia difficilmente interpretare con un singolo significato fondamentale, anche se tradotto come metafora; tanto peggio è per la storia di più teorie; ed è disastroso per tutte le teorie della Fisica.

Sulla scia di Cartesio, che si era avventato a concepire tutta la Fisica mediante il solo significato di Spazio contenitore, questa è la storia di Jammer, che vede il concetto di *Spazio* (o di *Massa*, o di *Forza*) cambiare come un camaleonte nelle epoche diverse. I meccanicisti (del MTS N) hanno interpretato la SdF con il concetto di *Forza-causa*; poi gli energetisti (dell'altro MTS, quello C) lo hanno fatto con il significato di *Energia*. Infine i sostenitori del significato *Campo di forze* (nel MTS ancora una volta N) hanno azzardato tutta la storia delle teorie fisiche mediante il loro significato specifico.⁴⁰

³⁹ Con i precedenti 11 concetti fondamentali si può costruire una nuova Tabella, che evidenzia la sequenza temporale dei significati che, nel corso della SdF tra il 1600 e il 1900, hanno surrogato le scelte effettive. Essi possono essere suddivisi su quattro righe, a seconda della scelta effettiva che ognuno di essi ha surrogato; e possono essere ordinati secondo l'asse orizzontale del tempo, per segnare i diversi tempi nei quali essi sono comparsi e scomparsi. Il periodo di validità di ogni significato può essere indicato con un segmento di lunghezza proporzionale al periodo di esistenza delle teorie fisiche alle quali appartiene quel significato. Con essa si ha una rapida visione della importanza storica dei principali significati specifici. Ma non riporto questa Tabella perché richiederebbe molto spazio per spiegarla.

⁴⁰ Ad es. W. Berkson: **Fields of Forces**, Routledge and Kegan, London, 1974.

Inoltre, lo storico può forzare la SdF classica in una sintesi unitaria migliore riferendo i FdF ad un livello culturalmente più alto, quello di un intero MTS che ha esercitato una grande influenza (ideologica) su tutti gli altri MTS, cioè un MTS che è stato un "paradigma". Questo può valere per il MTS Newtoniano e un po' per i MTS Lagrangiano e Carnottiano; non certo per il MTS Decartesiano. Allora egli, pur di tradurre i significati di quel MTS con opportune metafore storiche, può trattare tutta la SdF; ma certamente la sua ideologia aprioristica è di tipo culturale filosofico, perché allusivo, ma non caratterizzante i FdF di cui sta trattando.

Chiaramente uno storico di questo tipo è Kuhn. Infatti notiamo che Kuhn, volendo descrivere tutta la SdF classica, sfrutta la enorme influenza culturale che ha avuto il MTS newtoniano sulla SdF e sulla cultura, per cercare di coprire la storia di tutte le teorie fisiche. Egli utilizza tutti i concetti che rappresentano la famosissima dinamica newtoniana, traducendoli in categorie che vengono applicate ad interpretare la dinamica di tutta la SdF. Come già esaminato,⁴¹ egli considera quattro significati specifici: *Moto perpetuo* (del concetto *Inerzia*), *Forza* (del concetto *Espressione interazione*), *Cinematica* (del concetto *Costruzione della teoria sulla base di*) e *Analisi Matematica* (del concetto *Teoria matematica di riferimento*); e li traduce in categorie storiche soggettive (quelle già ricordate all'inizio). Ma di fatto egli è riuscito a trattare la storia solo di un MTS, quello N, perché il lettore attento si accorge che egli quasi non descrive la termodinamica, l'elettromagnetismo e la meccanica statistica. Nel suo libro egli poi considera e discute i concetti di VRS e incommensurabilità tra teorie; ma considerandoli solo nel rapporto tra la Fisica classica e la Fisica moderna, quindi senza darne esempi concreti nella sua SGF.⁴²

Anche la storia degli strutturalisti (Stegmueller, Sneed, Balzer e Moulines) sembra non rientrare nello schema qui indicato, anche se è di una sofisticazione estrema. Essa volutamente si riferisce ai soli concetti matematici di una teoria fisica (*Problema di fisica matematica*, e *Tecnica matematica*), traducendoli per di più nella teoria matematica più raffinata, la teoria degli insiemi, anche se questa teoria non ha mai avuto seguito in Fisica.⁴³ In effetti questa teoria ha per scelte fondamentali IA e OA, le stesse del MTS newtoniano; quindi gli strutturalisti interpretano la SdF tutta sulla base di una loro scelta sui FdF, quella, come in Kuhn, per il MTS dominante, ma ora considerato solo per il suo formalismo matematico. Il legame con la Fisica resta solo in due punti; i rari termini teorici, quelli che sono irriducibili all'assiomatica che essi vanno a costruire; e il predicato che afferma che (i modelli di) quella assiomatica si applica a (i modelli del) le applicazioni della teoria. Quindi essi distruggono quasi ogni significato fisico intuitivo della storiografia; per questo motivo essi si autodefiniscono strutturalisti, benché dovrebbero chiamarsi solo formalisti matematicisti. Con questi esili legami con Fisica essi riescono a ricostruire i rapporti storici tra le strutture matematiche delle teorie della Fisica classica; ma vi trovano sei strutture assiomatiche fondamentali, le quali seguono storie evolutive differenti. Essi si sforzano di negare la incommensurabilità tra teorie, in nome della

⁴¹ A. Drago e P. Cerreta: "La "Weltbild" di Planck reinterpretata col paradigma di Kuhn e col modello di teoria scientifica", in F. Bevilacqua (ed.): **Atti VIII Congr. Naz. St. Fisica**, Napoli, 1987, 63-80.

⁴² E' chiaro che questo schema di traduzione non ha nessuna validità oltre il 1900, come dimostra lo stesso libro sui quanti.T.S. Kuhn: **Black-Body Theory and Quantum Discontinuity, 1984-1912**, Clarendon, Oxford, 1978 (Tr. It.: Il Mulino, Bologna, 1980).

⁴³ W. Balzer, C.U. Moulines, D. Sneed: **An Architectonics for Science**, Reidel, 1986.

capacità della matematica di compiere passaggi al limite; ma a me sembra che le sei strutture fondamentali la vanno piuttosto a confermare.⁴⁴

Comunque tutte queste SGF, viste alla luce dei FdF, usano categorie improprie per il compito che si danno, volendo esse trascendere le VRS e le incommensurabilità che sono generate dalle teorie prese in considerazione attraverso una concezione inadeguata dei FdF. Esse appaiono accettabili solo in quanto sono vere e proprie filosofie della Fisica camuffate da SGF.

Piuttosto si noti la storiografia di Koyré. Essa poteva proseguire fino a tutto il 1700, pur di tagliare via le teorie devianti (ottica geometrica), o quelle poco sviluppate (d'Alembert). Ma non poteva più farlo quando sono nate teorie alternative al MTS newtoniano; le quali di fatto gli avrebbero posto come ineludibile il problema delle VRS dei vari concetti fondamentali (allora le metafore di Koyré per i concetti fondamentali sarebbero diventate essenzialmente ambigue rispetto ai significati diversi che ora questi concetti assumono), come pure il problema della incommensurabilità dei MTS delle teorie che sono compresenti da quel tempo. Quindi questa storiografia vale fino alla fine del 1700, quando nascono le meccaniche di L. Carnot e di Lagrange.

Alcuni anni fa ho suggerito una riformulazione delle categorie di Koyré per descrivere questa situazione più complessa, che include un essenziale conflitto tra i MTS N e C e quindi delle incommensurabilità.⁴⁵ Le categorie risultanti per il MTS C sono ancora una volta composte da due frasi caratteristiche ("Evanescenza della forza-causa e discretizzazione della materia") contrapposte a coppie, composte da quattro idee; esse sono basate su tre significati fisici diversi dai suoi (*Forza-causa*, *Discreto*, *Materia*); il primo significato appartiene al concetto *Espressione dell'interazione*; il secondo a quello della *Teoria matematica fondamentale* e il terzo al *Concetto di corpo*; i primi due appartengono ai 7 concetti suddetti (il primo surroga l'opzione sull'organizzazione e il secondo quella sull'infinito) e il terzo ai quattro concetti aggiuntivi, tipici del MTS C e D.

Quindi sia le categorie di Koyré, sia la mia riformulazione delle sue categorie verificano positivamente la selezione dei concetti e dei significati che abbiamo ottenuto nei paragrafi precedenti. In effetti esse indicano una innovazione molto importante: non basta introdurre molte categorie interpretative, occorre che esse esprimano anche delle contrapposizioni, perché queste manifestano le incommensurabilità e le VRS, che fanno parte costitutiva dei FdF; pochi storici della Fisica hanno compreso ciò.

Dal 1865 circa (nascita dell'elettromagnetismo di Maxwell e della meccanica statistica) la SGF diventa ancor più complessa, perché ora le incommensurabilità sono evidenti su tutti i quattro MTS, le quali, per essere incluse dalla narrazione storica, necessitano di molti concetti surrogatori. Pertanto la SGF di dopo quella data appare raggiungibile mediante poche categorie ottenute da alcuni significati specifici solo se queste vanno a coincidere con i FdF del tempo, e cioè se includono almeno i sette concetti prima elencati. Il che dà una situazione complessa che a mia conoscenza nessuno storico ha affrontato.

⁴⁴ Ne ho trattato in: "Il programma strutturalista esaminato mediante il caso di studio della termodinamica", in P. Tucci (ed.): **Atti XVI Conv. Naz. Storia Fisica e dell'Astronomia**, Univ. Milano, Dip. Fisica Gen. Appl., Milano (1997), 361-382.

⁴⁵ A. Drago: "Interpretazione delle frasi caratteristiche di Koyré e loro estensione alla storia della fisica dell'Ottocento", in C. Vinti (ed.): **Alexandre Koyré. L'avventura intellettuale**, ESI, Napoli, 1994, 657-691.

11 - Conclusioni

In questo lavoro e nel precedente, più volte citato, ho lavorato con le seguenti 10 categorie; *Significati, VRS, Concetti, Nuovi concetti, Teoria, Formulazioni di una stessa teoria, Scelte, Opzioni, Incommensurabilità, MTS*. Ammetto che ho messo in gioco un apparato concettuale un po' macchinoso. Ma non sembra riducibile. Se questo tipo di teorizzazione non è stata proposto nel passato è anche perché è essenzialmente complesso; esso non poteva essere facilmente intuito, nemmeno da chi ha proposto le VRS e le incommensurabilità.

Inoltre credo che la macchinosità dell'apparato ci abbia ripagato quando ha dato risultati di importanza non piccola. Infatti ho ottenuto i seguenti risultati:

1) Ho definito quanti concetti fondamentali (14) possono essere attribuiti a tutte le teorie della SdF classica.

2) Ho elencato tutti i significati specifici (67) che essi assumono nelle varie teorie fisiche classiche. Essi variano radicalmente soprattutto da un MTS ad un altro, giusta la nozione di VRS, dipendente da una incommensurabilità (definita come varianza di almeno una scelta sulle due opzioni). Ci sono più VRS nel MTS cartesiano, che appare come un grosso insieme di teorie disperate, nate in tempi molto diversi, nel periodo di tempo più lungo di tutti gli altri MTS. Ci sono meno VRS nel MTS L, molto coeso dalla sua particolare matematica avanzata.

3) Ho indicato come ricavare correttamente categorie storiche nel caso della storia di una sola teoria, oppure di un solo MTS (come hanno fatto diversi storici).

4) La ricerca di categorie opportune per la storia di teorie appartenenti a differenti MTS, o di tutta la Fisica classica, è più difficile perché deve tenere conto delle tante VRS; qui c'è un enorme salto culturale, non superabile con la creatività intellettuale dello storico. Questi, se vuole essere minimamente adeguato al reale sviluppo storico della Fisica, deve vestirsi di umiltà per registrare tutte le VRS connesse col suo studio. Comunque esse non sono in numero impraticabile, e per di più diventano abbastanza maneggevoli se si fa attenzione alla loro struttura secondo le due opzioni (organizzazione e infinito), cioè se ci si riferisce ai FdF; perché alcuni di essi esprimono direttamente le diversità sulle scelte fondamentali; quindi sono molto importanti per lo storico; trattando di essi egli tratta dei FdF e quindi può sopperire ai dettagli storici con una adeguata interpretazione dei FdF di quel periodo. Perciò, per prima cosa ho precisato quanti concetti fondamentali sono direttamente collegati alle scelte fondamentali. Ho ottenuto poi un insieme di significati specifici che, secondo le due opzioni, hanno avuto un ruolo fondazionale nella mente dei fisici teorici prima del 1900 e che pertanto possono suggerire le categorie utili allo storico di tutta la Fisica: *Spazio (org.), Tempo (inf.), Fenomeno base (org.), Espressione dell'interazione (inf.), Legge fondamentale (org.), Teoria matematica di riferimento (inf.), Costruzione della teoria sulla base di (org.)*. Essi sono 7, così come già erano quelli della meccanica newtoniana che si prestavano ad essere delle categorie storiche; ma solo i primi due più il quarto coincidono con i precedenti; gli altri sono più generali.

5) Ho confrontato questi concetti e i loro significati con le categorie delle principali storiografie in proposito trovando un buon accordo.

Quanto esposto allora suggerisce *una vera e propria metateoria delle teorie fisiche*, ad uso di uno storico della Fisica; quella che è costituita dai concetti soggettivi con i quali i fisici hanno interpretato i FdF classica e nello stesso tempo gli storici possono formare categorie utili per interpretare in maniera approfondita le teorie fisiche di un dato periodo.⁴⁶ Il principale risultato in questa metateoria è che

⁴⁶ Tutto questo concretizza la *Scientia Generalis* di Leibniz (intesa secondo la mia interpretazione) nella storia della scienza; A. Drago: " Leibniz's *Scientia Generalis* reinterpreted and accomplished by means of modern scientific theories, in C. Cellucci

l'attuale impasse della SGF non è dovuta alla mancanza di creatività degli storici nell'inventare nuove categorie interpretative per i casi storici più avanzati; ma all'incommensurabilità tra le varie teorie che costituiscono la SdF dal 1800 in poi, tali da togliere ogni illusione di una facile sintesi, quale quella che purtroppo è stata generata dal famoso libro di Kuhn del 1962. Piuttosto lo storico può superare questa impasse solo se si rifà ad una precisa concezione dei FdF da quale periodo in poi, con la quale egli può sintetizzare la SdF di quel periodo riferendo le sue categorie ai FdF, piuttosto che ai vari significati delle disparate teorie.

Ringraziamento

Ringrazio il dott. F. M. Scarpa col quale ho sofferto un primo abbozzo di questo lavoro.

et al. (eds.): **Logica e Filosofia della Scienza. Problemi e Prospettive**, ETS, Pisa, 1994, 35-54.

ATTI DEL XXI CONGRESSO NAZIONALE DI STORIA DELLA FISICA E DELL'ASTRONOMIA