

Summary. - In the first section it is argued that Catastrophe Theory is not a true "Theory" in the classical sense, rather it looks like a "paradigm" in Kuhn's sense. The proof consists in analysing the sociological (better social) and the philosophical (better ideological) aspects of the controversy about Thom's and Zeeman's works. Thus in the second section it is showed that Thom's views are greatly unconventional and opposed to the usual opinions and scientific practice shared by mathematicians, mainly regarding the independence of mathematics from the natural sciences. Moreover the paradigm of catastrophe implies major modifications in biology, linguistics and mathematical physics. In the third section the historical process of the algebraization of mathematics, recalling also the birth of quantum mechanics, is presented to stress the resemblance between Thom and Poincaré, Volterra, Weyl, Einstein, Schrödinger. However Thom cannot be confined in the image of mathematicians out of date, rather he should remember to us that it is necessary to criticize now again and to supersede the main results of the recasting of science between the wars.

"Matematica non è sapere"

G.W.F. Hegel

*"Un demone ha lanciato un incantesimo
su questa posizione e l'ha esclusa
dal nostro spazio"*

L. Wittgenstein

Simpatie esterne e reazioni interne; le caratteristiche di un paradigma?

Che una teoria scientifica costituisca l'oggetto di un dibattito può essere considerato relativamente normale. In caso contrario come sarebbe possibile spiegare l'evoluzione di un settore culturale di tanta rilevanza sociale come quello scientifico? E' proprio a questo problema che si tenta di trovare delle risposte attraverso il modello "logico" di Popper o con quello "rivoluzionario" di Kuhn⁽¹⁾, che però danno delle soluzioni quasi sempre inconciliabili. Risulta invece assai raro oggi che un simile dibattito fuoriesca dalla comunità dei ricercatori scientifici per investire il mondo culturale generale e l'opinione pubblica. Se capita potrebbe venire incrinata in tal modo l'immagine -falsa- di una conoscenza scientifica elaborata nel chiuso di torri d'avorio per considerarla invece come il prodotto di particolari soggetti sociali, portatori in quanto tali -ne siano o no consapevoli- di scelte, di idee e progetti che travalicano la singola disciplina specialistica.

Le scienze discusse non possono allora che esserlo in rapporto a qualche implicazione sociale e politica evidente; così la genetica in rapporto all'ingegneria genetica, a Lysenko, al destino biologico degli uomini, così la fusione nucleare in rapporto alle fonti di energia, all'ecologia, agli armamenti atomici, così l'astrofisica in rapporto ai voli spaziali ed alle tecnologie per l'informazione. Ma d'altra parte le potenzia-

1) Popper 1934; Kuhn 1962

lità radicalmente trasformative di un simile confronto vengono spesso disinnescate dal muro invalicabile che viene elevato quasi sempre, tra il valore conoscitivo delle scienze e la loro utilizzazione tecnologica, tra il singolo risultato scientifico e la concezione del mondo l'ideologia l'ambiente culturale e politico, tra il prodotto scientifico -il teorema la teoria l'esperimento- ed il modo di produzione- le istituzioni scientifiche le regole accademiche i grandi laboratori. Si ottiene così il risultato socialmente stabilizzante e rassicurante, che la gente seguirà a ritenere la comunità degli scienziati come depositaria di certezze eterne e di poteri quasi miracolosi, mentre la casta degli scienziati seguirà a cullarsi nell'utile illusione dell'autonomia assoluta. Senza voler insistere sul fatto che si risparmiano in tal modo dei seccanti rendiconti a chi fa concretamente le scelte di politica scientifica, spendendoci la bazzecola di qualche percentuale del prodotto interno lordo.

Questo quadro non stimola certo lo svilupparsi e l'approfondimento di discussioni generali sulla e nella comunità scientifica, anzi si fa subito ostruzione a ciò invocando il dogma epistemologico che se un argomento è troppo controverso esso non può avere statuto di scientificità. Viene di solito considerato inutile e dannoso allargare il confronto a temi non specialistici e di carattere generale in quanto si uscirebbe dalla ricerca scientifica per contaminarsi con la filosofia, con la sociologia o peggio con la politica. E' quindi tanto più sorprendente l'attuale controversia sulla teoria delle catastrofi di René Thom⁽²⁾ non solo perché costringe, piaccia o meno, a fare i conti con quegli aspetti di una teoria che in genere vengono minimizzati, cancellati od ignorati, ma anche perché scaturisce da un settore come la matematica che sembrerebbe essere il meno discutibile, il meno carico di valenze socializzabili, il più neutrale di tutti insomma.

2) Thom 1972

Ben a ragione quindi Guckenheimer fa notare come
I matematici di rado catturano l'attenzione persino all'interno
della comunità scientifica

e come

Una controversia dell'intensità di quella generata dalla Teo-
ria delle Catastrofi è altrettanto rara in matematica quanto
l'attenzione che Zeeman ha attirato⁽³⁾.

Questa teoria è arrivata infatti su giornali come *Le Monde*, *Il Corriere del*
la Sera, *L'Unità*, *La Repubblica*, *Newsweek* il *Times Literary Supplement*⁽⁴⁾.
Ha coinvolto con alcuni articoli e decine di lettere non solo riviste di
argomento matematico come *Asterisque* o la *SIAM review* o *The Mathematical*
Intelligencer, ma già *Nature*, *Science*, *New Scientist*, *Scientific American*,
Le Science, *Sapere*, *Fundamentae Scientiae*, *American Scientist*⁽⁵⁾ che
accolgono tutti i settori scientifici e quando non hanno la storia ed il
prestigio di *Nature* sono l'organo ufficiale della American Association
for the Advancement of Science, contribuendo in ogni caso a formare, an-
che presso il vasto pubblico, l'immagine delle scienze. Ma si sono veri-
ficati interventi anche su riviste culturali e filosofiche come *Critique*,
Dialectica, *Synthèse* ed enciclopedie famose gli hanno dedicato delle vo-
ci⁽⁶⁾. Spesso gli articoli pubblicati riportano lezioni fatte in sedi
che hanno prestigio scientifico e rilevanza culturale (come la Hitchcock
Lecture tenuta da Zeeman a Berkeley nel 1977 e la von Neumann Lecture te-
nuta da Thom a Chicago nel 1976) od in convegni che per brevità possiamo
definire

3) Guckenheimer 1978,15

4) Thom 1976d; Piattelli Palmarini 1977a e 1977b; Ballardin 1978; Giorel-
lo & Mondadori 1977; Angeloni 1978; Regazzoni 1977; Zeeman 1971, Pana-
ti 1976.

5) Thom 1976a e 1977a; Guckenheimer 1978; Stewart 1978; Tessier 1978; Goo-
dwin 1973; Zahler & Sussmann 1977; Zeeman 1977b; Bellairs et al. 1977;
Stewart 1977a; Berry 1977; Guckenheimer 1977; Woodcock 1977; Lewis 1977;
Rosen 1977; Deakin 1977; Stewart 1975; Walgate 1975; Croll 1976; Thom
1976c; Rosenhead 1976; Chillingworth 1976b; Zeeman 1976; Marmo & Vitale
1977; Thom 1971; Dieudonné 1973.

6) Thom 1974a; Levy-Leblond 1977; Thom 1977c; Thom 1975a e 1975b; Sussmann
& Zahler 1978; Thom 1973a; Pomian 1977; Stewart 1977b; Sussmann 1975; si
vedano anche i saggi ristampati in Thom 1974b.

interdisciplinari. Non tutti gli interventi riguardano direttamente ed esplicitamente la teoria delle catastrofi ma ne rappresentano o delle premesse necessarie e delle fasi di incubazione (come le giornate organizzate dal biologo Waddington a Como) o dei corollari necessari e delle posizioni coerenti (come l'intervento di Thom a Luxembourg). In Italia Thom ha girato da Venezia a Pisa e da Lecce a Torino con diverse tappe intermedie e mai l'interesse si è limitato ai soli matematici, tranne forse che a Pisa⁽⁷⁾.

Alcuni di questi saggi sono stati perfino scritti in chiave politica⁽⁸⁾, onore abbastanza raro per settori non direttamente sociali o non facilmente socializzabili, ed anche questo è un indizio della singolarità della Teoria della Catastrofi (seguitaremo a chiamarla così TdC perché è invalso nell'uso nonostante che il termine teoria sia fuorviante come spiegheremo)⁽⁹⁾.

Se queste caratteristiche di popolarità relativa e di controversia ne fanno un caso unico nella matematica d'oggi non bisognerebbe lasciarsi sfuggire un altro aspetto della questione che a mio avviso vale la pena di osservare; la diversa accoglienza riservata alla TdC da parte di comunità di ricercatori con caratteristiche nazionali diverse. Di fatto Thom -in quanto autore della TdC- è stato quasi ignorato in Francia, nonostante che sia francese e lavori all'Institut des Hautes Etudes Scientifiques di Bures-sur-Yvette, tanto che egli stesso chiama l'articolo di Levy-Leblond su *Critique* del 1977

La prima critica francese della teoria delle catastrofi ⁽¹⁰⁾.

7) In Waddington 1968 e volumi seguenti sono pubblicati gli atti degli incontri tenuti a Como a partire dal 1966; Thom 1976e; Thom è stato a Pisa nel 1970, ad Urbino nel 1971, a Venezia nel 1973, a Lecce nel 1975, a Torino Milano Padova nel 1977, a Montecatini nel 1978. Le lezioni fatte a Pisa e gli interventi di Venezia ed Urbino si trovano in Thom 1974b, 7, 314, 178; quello di Lecce in Donini et al. 1977, 29.

8) Levy-Leblond 1977; Marmo & Vitale 1977

9) Thom nega che si tratti di una teoria nel senso de "la teoria di Newton della gravitazione o la teoria di Darwin dell'evoluzione" Thom 1977d, 26

10) Thom 1977c, 675.

E Levy-Leblond è un fisico teorico che non fa testo come termometro della situazione perché la sua sensibilità a questo dibattito gli deriva dalla condizione particolare di duro critico (da posizioni di estrema sinistra)⁽¹¹⁾ dell'attuale "progresso scientifico". Da quello che appare attualmente sulla letteratura il maggior interesse e simpatia per la teoria viene dall'Inghilterra dove sono state portate avanti posizioni anche di appoggio attivo e di arricchimento della TdC⁽¹²⁾. In Inghilterra o da inglesi sono stati pubblicati o scritti i primi libri (a parte quelli di Thom) completamente dedicati allo argomento⁽¹³⁾. Le repulse, gli attacchi e le critiche esplicite sono venute soprattutto dagli USA: la recensione di *Stabilité Structurelle et Morphogénèse* da parte di Guckenheimer, gli interventi di Bari-Kolata, Sussmann e Zahler⁽¹⁴⁾.

Questi sono più che indizi di come una teoria, in particolar modo se non convenzionale, venga recepita diversamente in ambienti scientifici e culturali differenti. Se si considera interessante -e dovrebbe esserlo almeno per i sociologi delle scienze- trovare delle spiegazioni a questo fenomeno incontestabile, la *conditio sine qua non* sarà di considerare la teoria nella sua complessità e globalità senza operare delle riduzioni arbitrarie che ne espurgano i lati filosofici (meglio ideologici) o gli elementi non specialisticamente matematici. Come senza microscopio non si vedono le catene molecolari così senza la lente ideologica non si vedono le interazioni tra teoria e contesto scientifico-culturale. Se è lecito supporre che questo problema della dipendenza dall'ambien

11) Jaubert & Levy-Leblond 1973

12) Innanzitutto Zeeman 1977a ed altri come Chillingworth 1976a, lo Stewart di Poston & Stewart 1976 e 1978.

13) Zeeman 1977a; Poston & Stewart 1976 e 1978; Bröcker 1975. Ma altri libri sulla TdC sono Woodcock & Poston 1974; Lu 1976; Hilton 1976. Negli USA è appena uscito A. Woodcock & M. Davis 1978

14) "René Thom ha scritto un libro provocatorio" Guckenheimer 1973, 878; Sussmann 1975 e 1978; Sussmann & Zahler 1978; Zahler & Sussman 1977; Bari-Kolata 1977.

te non interessi la grande maggioranza dei matematici, non lo sarebbe invece pensare che esso sia stato ignorato dagli storici, dai filosofi e da tutti gli scienziati attivi. Basti pensare a Marx, Spengler, Schroedinger, Kuhn e Forman⁽¹⁵⁾.

Ma perché è esplosivo questo caso della TdC, e perché ha provocato reazioni di rigetto tanto esplicitamente e singolarmente dure? Non usuali soprattutto per una comunità come quella scientifico-matematica che tende a tacere o ad esorcizzare elementi fondamentali per la sua sopravvivenza -come la scelta ed il finanziamento dei settori considerati rilevanti, come le regole del gioco della carriera accademica. Sono questioni tanto importanti che senza di esse non si dà oggi alcuna ricerca scientifica e viene alle volte di pensare a quello che Voltaire diceva del sesso e del denaro: tutti sanno che esiste, risulta impossibile farne a meno, ma è sconveniente parlarne.

Sono state date spiegazioni che pur cogliendo degli elementi di verità girano intorno alle cause più profonde e sostanziali. La parola "catastrofe" viene talvolta (mis) interpretata in senso negativo come esito luttuoso e tragico. Qualche rivista ha illustrato ad esempio la teoria pubblicando la foto di un terreno arido e desertico tutto screpolato come esempio di catastrofe⁽¹⁶⁾. Quindi si otterrebbe della popolarità facile facendo leva sul senso di crisi (altro termine misinterpretato solo in senso negativo⁽¹⁷⁾) che pervade le società industrializzate e complesse come le nostre e che favorisce il filone letterario - cinematografico "catastrofico", la ripresa dell'occultismo, delle sette religiose, dell'irrazionalismo. Ma questa spiegazione è superficiale

15) Marx & Engels 1932; Spengler 1918; Schrödinger 1932; Kuhn 1962; Forman 1971

16) Ballardin 1978

17) Si veda invece Starn 1971; Donini & Tonietti 1978,17.

e non regge. Innanzitutto perché questa presentata sopra non è la TdC, ma la sua caricatura deformata: anche il battito cardiaco, le caustiche che si formano sul fondo di una piscina soleggiata o le screpolature di un castagnaccio ben cotto sono esempi di catastrofi. Questa teoria tratta infatti, attraverso tecniche matematiche "continuiste" come vedremo meglio, dei fenomeni in cui si danno dei cambiamenti qualitativi bruschi, delle discontinuità nel comportamento, dei mutamenti di forma⁽¹⁸⁾. Quindi il far leva sui sentimenti di sfiducia nel progresso e sul senso di decadenza della civiltà scientifica, se giustifica qualche intervento sui rotocalchi, non spiega affatto l'interesse controverso suscitato nella comunità scientifica.

Allora per questa ultima si tira fuori la spinta verso la matematizzazione Presente soprattutto nei settori non esatti delle scienze sperimentali, farebbe guardare alla teoria delle catastrofi come ad un facile mezzo per ottenere lo statuto epistemologico più elevato che certo attribuisce alla matematica ed alla fisica (secondo Popper ed i neopositivisti logici addirittura tutte le scienze dovrebbero uniformare i loro protocolli normativi a queste ultime, le uniche vere scienze)⁽¹⁹⁾. E' vero che la teoria è risultata particolarmente attraente per i biologi, come si può vedere dalla recensione favorevole a *Stabilité Structurale* di un biologo o dalla stessa prefazione di Waddington al libro (e non a caso perché Thom l'ha incubata a fronte di alcuni problemi della biologia⁽²⁰⁾). In ingegneria, in architettura, nelle scienze del comportamento, ne sono stati tratti modelli per lo studio della forma delle navi,

18) Oltre a Thom 1972 e Zeeman 1977a per una esposizione divulgativa si può vedere Zeeman 1976 e Stewart 1975. Per il necessario approfondimento delle tecniche matematiche si veda anche Bröcker 1975; Lu 1976; Poston & Stewart 1978.

19) Levy-Leblond 1977. Si confronti D'Arcy Thompson 1917, I

20) Goodwin 1973; Thom 1972, 5-8; Waddington 1968-1972; Zeeman 1977a.

della stabilità degli archi e si è arrivati all'infelice applicazione sociologica alle rivolte nelle carceri ⁽²¹⁾. Ed è altrettanto vero che alla corporazione dei ricercatori scientifici piacciono molto tutte le innovazioni che si prestano a nuova produzione cartacea, pur conservando l'illusione di quel rigore, oggettività e neutralità ideologica considerata così connaturata alla matematica. Ma questo discorso non vale anche per la immissione delle teoria dei gruppi nella fisica delle alte energie? Non vale soprattutto per la moda strutturalista sotto il cui patrocinio ed ispirazione si sono insiemizzate ed algebrizzate la linguistica, la letteratura, la genetica, l'antropologia e tutti quei settori scientifici e culturali non esatti e talvolta neanche sperimentali che volessero matematizzarsi all'insegna del "discreto" e di relazioni sincroniche?

Se non si può ovviamente liberare la TdC dalle regole del gioco scientifico che la circondano e la condizionano profondamente (almeno Thom le ha stigmatizzate, cosa che non si può dire di molti altri ⁽²²⁾) bisogna però riconoscere le profonde differenze che la separano dalle precedenti forme di matematizzazione. Mentre queste erano del tutto coerenti con la concezione algebrico-formalista maggioritaria della matematica, ad esempio il bourbakismo in Francia negli anni '60, la singolare ottica - a cui non sono estranee le tecniche di topologia differenziale adoperate - della TdC implica delle modifiche sostanziali, piacciono o meno, a partire proprio dai principali settori matematici. Contrariamente al solito non si tratta cioè di travasare tecniche matematiche, cosa che al più produce mutamenti nel recipiente di arrivo, bensì di un processo

21) Soprattutto Zeeman 1977a; Rosenhead 1976; Benincasa 1978.

22) Thom 1973a.

che cambia l'immagine stessa della matematica. Se così non fosse non si spiegherebbe la reazione di rigetto esplicito o di silenzio imbarazzato della maggioranza della comunità dei matematici. Mentre nel caso contrario si sarebbero invece sentiti i commenti compiaciuti di chi vede le proprie ricerche utilizzate ed il proprio prestigio accademico aumentare.

Per raggiungere il nocciolo duro dell'*affaire* TdC bisogna allora soprattutto capire come la discussione intorno ad esso vada inquadrata in quella che riguarda l'avvenire delle matematiche e delle scienze. La TdC coglie infatti, da un lato, l'esigenza di mutamento dell'assetto scientifico a partire in specifico dalla matematica, essendone un indizio rilevante; dall'altro mette in luce le resistenze e le reazioni tese a garantire che questo mutamento sia al più un arricchimento progressivo di vecchi metodi e teorie senza salti di qualità.

Ora l'esigenza di mutamento non può che nascere da una crisi - se tutto andasse bene perché cambiare? - e la crisi nel caso della matematica è percepita in modo diverso all'esterno od all'interno della comunità dei ricercatori. Man mano che si va verso l'esterno la crisi viene valutata positivamente come possibilità di rivalsa di settori considerati secondari, ad esempio la matematica applicata rispetto alla matematica pura, le scienze empiriche rispetto alle scienze formalizzate, le filosofie critiche ed analitiche rispetto a quelle positivistiche e così via. Nel contesto sociale generale quindi la teoria delle catastrofi non deve essere svilita a facile vellicamento di sensibilità antiscientifiche, ma valutata piuttosto in rapporto alle più o meno radicali critiche portate alle attuali scienze ⁽²³⁾. Essa, come queste ultime, pone l'esigenza del mutamento delle regole del gioco, dei pesi relativi tra i vari settori, del modo

23) Jaubert & Levy-Leblond 1973; Rose & Rose 1976a e 1976b; Hodgkin 1976; Ciccotti et al. 1976, Donini & Tonietti 1977; Baracca & Rossi 1976.

generale di guardare alla conoscenza scientifica, del rapporto scienza/tecnologia, scienza/ideologia, scienza/società.

Non credo che le critiche alle scienze per quanto dure e radicali possano essere liquidate come irrazionaliste (in effetti l'inquinamento nucleare e l'instupidimento insiemistico sono ben reali e tangibili)⁽²⁴⁾ od antiscientifiche. Lo diventano solo man mano che ci si lascia incapsulare sempre di più nelle cittadelle delle scienze. In questa ottica si capisce perché il giudizio sulla TdC diventa in genere tra i matematici o tra i fisici ripulsa completa. In quanto non rientrante nei loro statuti epistemologici essa è non-scienza, non-matematica. E Thom, medaglia Field nel 1958, inventore del cobordismo, coinventore della Topologia differenziale, perde quando si dedica alla TdC la qualifica di matematico per acquisire quella meno preoccupante per i suoi colleghi, di filosofo.

Si può allora spiegare a mio avviso la relativa popolarità della controversia. Essa coglie, diffusi nel contesto della società, gli umori di critica delle scienze e rappresenta in certa qual misura anche le inquietudini ed il senso di frustrazione che si provano di fronte alla ormai ipertrofica macchina scientifica. D'altra parte le "vives reactions de reject"⁽²⁵⁾ dichiarate, come quelle in USA, o tacite, come quelle francesi, sono comprensibili se si considerano le abitudini epistemologiche implicite che Thom mette in discussione, insieme ai vecchi equilibri tra settori diversi di ricerca frutto di sessant'anni di evoluzione scientifica.

Esiste evidentemente all'interno del mondo matematico internazionale che si sente messo in pericolo, se dovessero realizzarsi dei cambiamenti radicali. Non potrebbe appannarsi l'egemonia scientifica che è indubbia-

24) Jungk 1977; Bettini 1977; Ciliberto et al. 1977; Thom 1971 e 1973b; Kline 1973 e 1977; Baruk 1973 e 1977; Tonietti 1977;

25) Thom 1977c, 675.

mente statunitense in tutti i campi, a partire dalla matematica come ci viene ricordato ogni quattro anni dai congressi internazionali dei matematici, se dovessero entrare in crisi le pratiche della ricerca e le concezioni teoriche su cui oggi si poggiano le scienze? E la Francia non perderebbe forse parte del suo indiscusso prestigio, legato al modello bourbakista o (meglio) ai risultati della geometria algebrica, se la matematica cosiddetta applicata erodesse degli spazi a quella pura? Ma d'altra parte

c'è la sensazione che, se la TdC non riesce a sostenere le pretese attribuitele, allora l'importanza di tutta la matematica applicata sarà minacciata(26).

Così una discussione su cosa si deve intendere per matematica applicata è inevitabile e si apre la controversia con Zeeman sulla possibilità di dare della TdC una lettura "newtoniana", cioè di trarne delle predizioni empiriche. Fino a che punto quindi sarà lecito non tener debito conto della tradizione scientifica inglese che viene dal '600 e che forse approfitta del caso Thom per riaffiorare in un contesto novecentesco posthilbertiano a lei quasi ostile?

Tener conto di tutti questi fattori è essenziale per capire il rapporto tra TdC ed evoluzione delle matematiche. Ma già un risultato parziale è stato conseguito a questo punto: la TdC, considerati tutti i fatti anche sociologici che abbiamo brevemente descritto, non può essere considerata una teoria in senso "normale", che in genere non è corredata di tutti questi corollari. Essa è **piuttosto**, lo ripetiamo, un punto di vista sulla matematica e sulle scienze atipico e non ortodosso

26) Guckenheimer 1978,19.

per la comunità dei matematici, essa ha quindi molte delle caratteristiche di fondo per assomigliare a quello che Kuhn chiama un paradigma ⁽²⁷⁾. Per poter capire la portata di questo paradigma - se esso cioè è nuovo o vecchio, se corrisponde ad una rivoluzione scientifica o meno, se è veramente incompatibile con l'attuale comunità dei matematici come sembra o verrà riassorbito ed annullato tranquillamente - bisognerà andare molto più a fondo nelle questioni scientifiche e culturali. Infatti questo è stato fatto fino ad ora nella letteratura solo in modo molto parziale, ignorando alcune delle questioni poste sopra e soprattutto non tenendo conto dell'evoluzione storica. E se non si esamina anche la storia della matematica, con la quale nessuno fino ad ora ha illuminato il nostro problema per quanto mi risulta, insieme al suo stato presente non è possibile parlare con cognizione di causa del suo avvenire. Ma forse anche queste opinioni di Poincaré ⁽²⁸⁾ sono state da molti ignorate, dimenticanza che come vedremo fa anch'essa parte del dibattito sul paradigma delle catastrofi.

Se è vero che un paradigma atipico non implica automaticamente una rivoluzione scientifica, essa è una condizione necessaria ma non sufficiente, va tenuto altresì sempre presente come le posizioni sostenute da Thom non si inquadrano nel normale panorama scientifico internazionale ed almeno fino ad ora non si sono lasciate riassorbire. Aspetto questo non ben capito neanche da alcuni interventi, in chiave politica e/o marxista classica, tesi ad annullarne le potenzialità trasformative ed a farne la solita articolazione interna del gioco scientifico delle parti ⁽²⁹⁾.

27) Kuhn 1962

28) Poincaré 1908,19

29) Levy-Leblond 1977; Marmo & Vitale 1977.

"Questa non è matematica, è teologia"

P. Gordan

Thom ed il paradigma delle catastrofi.

Guckenheimer ha recentemente scomposto la controversia sulle catastrofi in tre pezzi, esemplificandoli nelle persone e nelle opere di Arnold, Thom e Zeeman. Mentre il primo si è occupato della classificazione delle singolarità delle funzioni "smooth" a valori reali ed il terzo insiste "sopra le catastrofi elementari come modelli per i fenomeni discontinui", "Per Thom la TdC è un modo di vita"⁽³⁰⁾. Questa tripartizione è un indubio elemento di chiarezza nel senso che le distinzioni precedenti hanno un fondamento di realtà, ma esse sono pertinenti alle critiche di Guckenheimer e finalizzate alla sua tesi. Cercando di superare quindi i limiti di questa tesi proporremo al contempo una lettura che tiene conto anche di altri elementi (proprio quelli taciuti da Guckenheimer), ma che soprattutto organizza i piani del discorso in modo diverso. Si potrebbe essere tentati a questo punto di dare ragione a Bacone -egli credeva che la verità scaturisse meglio dall'errore che dalla confusione, - perché gli "errori" di Guckenheimer permettono una discussione più chiara e motivata di tante confusioni precedenti. Per fortuna il passaggio dall'errore alla verità non è mai lineare (chi non ha paura con Thom dei circoli viziosi può pensarlo come una catastrofe)⁽³¹⁾ e richiede anche un po' di "confusione". Intendendo però con "confusione" un modo (fuorviante) di chiamare la pertinenza e la coerenza dei modelli esplicativi ad una propria ottica, ad una propria ideologia e concezione del mondo, ad un proprio progetto generale che in quanto tale ha anche valenze sociali e politiche oltre che conoscitive. E' proprio perché la comunità scientifica, per altri versi così sofisticata e raffinata nell'esoterismo delle sue terminologie, sem-

30) Guckenheimer 1978,15-16

31) Thom 1976a,305

bra nel caso delle controversie di fondo così restia a procurarsi gli strumenti e le categorie linguistiche adatte, che con troppa facilità molte questioni vengono liquidate sotto l'etichetta della "confusione".

Proprio dai testi di Arnold risulta invece che non si dà un unico sistema dinamico per descrivere un fenomeno in evoluzione, ma la particolare scelta dipende dalle caratteristiche del fenomeno che si considerano importanti rispetto alla utilizzazione della descrizione astratta. In particolare è ben noto che se si richiede stabilità rispetto a "piccole variazioni dei parametri, per renderlo empiricamente utilizzabile, risulta difficile fare a meno dell'attrito (anche se è molto scomodo trattarlo). Credo che l'evoluzione della matematica - sia nel caso della storia passata sia per il futuro - possa essere descritta da diversi sistemi dinamici pertinenti ai diversi aspetti che si vogliono evidenziare, ma sono empiricamente utilizzabili e stabili solo quelli che tengono conto dell'agire reale dei ricercatori all'interno della comunità ed all'interno della società generale. Il moto in questo mezzo risulta irrealistico ed incomprensibile se si trascurano gli infiniti attriti legati alle istituzioni scientifiche, alle regole del gioco accademico, alle convenzioni tacite ma invalicabili, alle concezioni del mondo. E si sa che l'attrito, oltre a stabilizzare, frena anche e permette i cambiamenti di direzione.

Il difetto principale di Guckenheimer consiste nel fatto che togliendo il mezzo trascura l'attrito sovrasemplificando la situazione, ed è per tale ragione che il suo modello esplicativo liquida Thom in mezza colonna. Sempre per questo la parte matematica è appiattita sulla teoria delle singolarità delle applicazioni "smooth" e la parte "esterna" sui modelli empirici di Zeeman. Diviso ed indebolito il fronte (avverso) in questo modo il gioco diventa facile, facendo vedere con qualche dettaglio che i modellini di Zeeman sono vuoti o falsi nelle predizioni. Della teoria del

le catastrofi secondo Thom poi non mette conto o non si deve discutere perché "non scientifica", ma filosofica e "poiché è largamente speculativa è difficile discuterla in modo stringente"⁽³²⁾. Non resta quindi come parte sana che un settore matematico ben definito cui hanno contribuito in tanti e che esisteva ben da prima che questa teoria venisse fuori. In questo modo la controversia viene dissolta e si ha davanti a ben vedere un'analisi della TdC come deduzione da assiomi taciti, ma quasi indiscussi, del tipo "la matematica ai matematici" e "*ne sutor ultra crepidam*"⁽³³⁾.

L'analisi di Guckenheimer è conservatrice allora, non perché porta a simpatizzare per l'identificazione della TdC con un particolare settore della matematica ⁽³⁴⁾, ma perché vanificando il dibattito impedisce la trasformazione. Tale identificazione non è infatti conservatrice, bensì insostenibile. E' sociologicamente insostenibile perché se fosse vera non si spiegherebbe tutta questa accesa controversia. E' storicamente insostenibile perché l'unico modo filologicamente sensato di sapere cosa sia una teoria consiste nel leggere i testi in cui è stata proposta e secondo Thom la TdC non è confinabile alle classificazioni delle singolarità. In caso contrario si gioca con le parole o meglio si tratta di un problema un po' differente, l'accoglienza della teoria da parte della comunità scientifica, anche se dal punto di vista degli scienziati attivi tali problemi appaiono di fatto coincidere. Quest'ultimo quindi è del tutto lecito e strettamente collegato al primo, ma (e non per caso) rispetto a questo l'articolo di Guckenheimer non ci aiuta molto. Nonostante che esso sia anche interpretabile come un intervento che suggerisce alla comunità dei matematici di non accogliere come valida la teoria di Thom, l'unica frase esplicita al proposito è

32) Guckenheimer 1978,16

33) Chevalley & Weil 1957,659

34) Guckenheimer 1978,15

La TdC nel senso generale di Thom rischia di più il pericolo di essere irrilevante che sbagliata (35).

A questa affermazione si può affiancare l'altra, di Thom, che "Ciò che limita il vero non è il falso, è l'insignificante"⁽³⁶⁾. Allora è inutile girare intorno alla questione centrale: cosa fa l'irrilevanza o la significanza di una teoria, di un teorema? I matematici in genere paiono estremamente impreparati o restii a rispondere a simili domande. Eppure non si può negare come esse siano essenziali. D'altra parte è evidente che solo in un'ottica non specialistica e generale si può operare i necessari confronti. Se vogliamo chiamarla filosofia dobbiamo aggiungere che questo tipo di "Filosofia" è necessaria ai matematici perché non separabile dalle loro pratiche di ricerca, se vogliono sfuggire in qualche modo all'insignificanza. Ma allora Thom ha il grande merito di metter questo problema sul tappeto e non può essere liquidato come un matematico che ha cambiato mestiere bensì come uno che legittimamente cerca dei criteri di significanza. Se i suoi criteri non vanno bene lo si dica e si spieghi perché, ma purtroppo proprio questo è mancato alla controversia dando invece l'impressione che i silenzi sulle posizioni espresse o le sue deformazioni fossero dei modi di evitare un problema irritante e spinoso. Se questi criteri esistono si rendano espliciti e poi si spieghi se vale la pena di mantenerli, perché il paradigma delle catastrofi ne propone apertamente alcuni che capovolgono la normale scala di valori. Vediamo allora un po' analiticamente quali sono i ribaltamenti più importanti.

A. Weil scriveva:

Noi abbiamo imparato a far risalire tutta la nostra scienza ad una fonte unica, composta solamente di qualche segno e di qualche regola di impiego di questi segni, ridotto senza dubbio inespugnabile dove non potremmo rinchiuderci senza pericolo di carestia, ma sul quale ci sarà sempre possibile ripiegare in caso di incertezza e di pericolo esterno (37).

35) ibidem, 16

36) Thom 1975a, 79

37) Weil 1948, 309.

e J. Dieudonné ancora più sicuro e chiaro:

Persino se la matematica dovesse essere separata a forza da tutti gli altri canali della ricerca umana, ci rimarrebbe cibo per secoli per pensare ai grandi problemi che dobbiamo ancora risolvere all'interno della nostra scienza (38).

Thom è invece scappato da simili cittadelle fortificate perché rischiava di morire di fame; evidentemente ha pensato che valeva la pena di affrontare i pericoli esterni, tanto più che le protezioni si erano fatte sempre più inefficaci. Il paradigma della catastrofi si proietta infatti al di fuori della matematica trovando la sua legittimazione ed i suoi stimoli sui problemi posti dalla biologia e dalla linguistica (39). Il problema della classificazione e della dinamica delle "forme" non è infatti un problema puramente matematico, ma è in rapporto ad esso che si dà significato alle teorie matematiche utili alla sua soluzione. Lo stesso si può dire per la classificazione delle frasi elementari delle lingue naturali.

Non sempre il privilegiare le legittimazioni interne alla matematica assume le forme esasperate ed ideologiche del bourbakismo (A. Weil e J. Dieudonné sono tra i fondatori di questo progetto) perché è usuale naturalmente che esso si manifesti più per indizi che esplicitamente. Si scorrono i nomi e le motivazioni delle medaglie Field e si troverà una conferma (40). Perché se no nella relazione finale del congresso internazionale dei matematici di Helsinki del 1978 sarebbe giunta l'eco della richiesta di dare più spazio alla matematica applicata?

La cosa che "rischia" di rendere rilevante il paradigma delle catastrofi è che questi criteri di significanza sono in crisi, convincono sempre di meno. Tale crisi è visibile addirittura in chi più aveva progettato di

38) Dieudonné 1964, 248

39) Thom 1972; Zeeman 1977a; Thom 1970-1973c-1974a ed altri saggi riportati in Thom 1974b.

40) E. 1978

assolutizzare in criteri generali per *tutta* la matematica le proprie inclinazioni settoriali. Così il bourbakismo che all'inizio misurava la rilevanza di una teoria e di un teorema dalla capacità di far risaltare le strutture (algebriche, topologiche, d'ordine), dalla capacità di collegarle insieme in edifici matematici sempre più complessi, sempre più astratti e generali (N. Bourbaki era un *generale*, che però essendo troppo generale perdeva le sue battaglie), dalla capacità di usare i risultati ottenuti come strumenti per dissodare altri settori,⁽⁴¹⁾ oggi appare sempre sempre di più una visione della matematica che consegna ad un ristretto gruppo di persone - gli organizzatori dei seminari bourbaki - il giudizio su ciò che è buono o cattivo. Il criterio che una volta riguardava i contenuti matematici si è ridotto ad essere solo un criterio sociologico, cioè legittimato dalla corporazione dei matematici, anzi da una particolare sottocorporazione, dotata di quali particolari carismi non si sa bene⁽⁴²⁾. Se fossimo costretti ad adottare il punto di vista di J. Dieudonné, che una volta per far capire cosa intendesse per matematica si mise ad agitare il *Mathematical Review*, dicendo a gran voce "La mathématique c'est ça", non ci resterebbe che ammettere che criteri di rilevanza non ce ne sono più perché questa illustre rivista è la notte dove tutti i teoremi sono neri, cioè veri⁽⁴³⁾.

L'attuale divisione specialistica del lavoro di ricerca, come rappresentata efficacemente dalla sessantina di settori allineati nel *Mathematical Review* o nel *Zentralblatt für Mathematik* si può allora dire proficua? Garantisce certo molta produttività cartacea e la riproduzione allargata

41) Bourbaki 1948; Israel 1975; Fang 1970; Tonietti 1979

42) Dieudonné 1977 ha recentemente introdotto la "densità bourbachista" per misurare i settori che rientrano nel suo criterio di rilevanza.

43) Efficace comportamento scenico tenuto al Colloque International de Luxembourg nel 1976, lo stesso di Thom 1976e.

della comunità dei matematici, ma purtroppo tanta insignificanza.

Non c'è dubbio che i bourbakisti sono stati la minoranza rumorosa che ha influenzato la maggioranza silenziosa, anche se non tutti si sono lasciati incantare, anche se ogni contesto nazionale ha le sue particolarità;⁽⁴⁴⁾ non c'è dubbio che gli ultimi sessant'anni passeranno nella storia come quelli che hanno visto l'algebrizzazione della matematica⁽⁴⁵⁾. Ebbene alle ossa discrete ed agli scheletri dell'algebra formalista il paradigma delle catastrofi preferisce la carne ed i fluidi continui della geometria. E questa proposta non può allora essere ricondotta tranquillamente a qualche settore della matematica presente da prima - le singolarità delle applicazioni C^∞ , i sistemi dinamici, la teoria qualitativa delle equazioni differenziali, l'analisi globale sulle varietà, proprio perché riguarda la rilevanza di questi settori nel contesto generale, il modo "geometrico" e non "algebrico" di considerarli. E' questa ottica, valorizzante l'intuizione geometrica a scapito degli automatismi algebrico-formali, che non permette di considerare al momento la proposta di Thom come un nuovo settore della matematica o la trasformazione senza rotture di qualche vecchio, bensì un paradigma⁽⁴⁶⁾. Intendendo sottolineare con questo termine sia la discontinuità radicale, la soluzione di continuità, sia la capacità di informare e di sottomettere problemi diversi.

44) Tonietti 1979

45) Eilenberg 1969

46) La specializzazione esasperata e la frammentazione in tanti settori è il meccanismo principale che ostacola il consolidarsi in paradigmi antagonisti dei fermenti e delle tensioni presenti nella comunità scientifica. In effetti se lo scontro tra punti di vista differenti rimane interno al mondo dei ricercatori, esso viene facilmente scaricato nella creazione di nuovi settori di ricerca, di nuovi ambiti accademici e di carriera. Il nostro establishment scientifico specialistico promuovendo solo le innovazioni settoriali cancella le ideologie e le ottiche generali, rifiutando la stessa possibilità concettuale del paradigma. Per questo ogni trasformazione radicale è per sua natura necessariamente ideologica, antispecialistica ed aperta verso l'esterno della comunità della ricerca. Il limite principale dell'analisi di Kuhn consiste nell'accorgersi poco di questa opposizione tra paradigma e divisione del lavoro accademico, ma si veda anche Kuhn 1975.

E' proprio questa capacità che è mancata a settori ovviamente di grande importanza, come la teoria qualitativa delle equazioni differenziali, tenuti al margine -tranne in qualche comunità scientifica particolare come la russo-sovietica ed in altre oasi- dal più forte paradigma algebrico-formalista ⁽⁴⁷⁾. Il senso di crisi legato all'indebolirsi degli attuali criteri di rilevanza non si riduce ovviamente al paradigma delle catastrofi, anche se mi pare che sia esemplificato e coagulato al meglio da esso, un altro indizio di una nuova ricerca di legittimazione esterna è costituito ad esempio dai recenti interessi manifestati da M. Atiyah ed S. Novikov per la fisica matematica e la fisica teorica ⁽⁴⁸⁾.

Attraverso l'ottica delle catastrofi si introduce una esigenza di rifusione e rifondazione della attuale frammentazione in discipline. Ma questa operazione non va eseguita sul piano formale elevandosi a livelli sempre più generali che comprendono i sottostanti come casi particolari. Non va eseguita neanche cercando, attraverso acidi o diffusioni ad alta energia, gli atomi ultimi dell'organismo matematico. Tutte indagini che uccidono la vitalità della matematica la quale deve invece ritrovare la sua ragione di esistenza nei problemi particolari. Problemi che il paradigma delle catastrofi individua soprattutto all'esterno come abbiamo già detto.

47) La generazione degli Alexandrov, Andronov, Pontrjagin ha conservato una sua tipica continuità con la matematica dell'ottocento, anche a causa del taglio engelsiano di una ideologia che cerca le giustificazioni nelle applicazioni produttive. L'attuale generazione di matematici tende però ad appiattirsi sugli standard internazionali.

48) Atiyah 1978; Novikov 1978. Cfr. anche le loro lezioni al congresso internazionale dei matematici di Helsinki 1978.

Quindi non il generale formale, ma il generale concreto e pertinente a problemi particolari. In questo schema le opposizioni ontologiche, continuo vs discreto, geometria vs algebra, intuizione vs ragione formale, perdono in parte la loro impronta riduzionistica per diventare dei modelli pertinenti alle particolari caratteristiche da mettere in luce nei fenomeni studiati.

Pertinenza come aderenza ad un fine, fine intriso come sempre di elementi ideologici e soggettivi non eliminabili dall'impresa scientifica. Da questo punto di vista la rivendicazione di Thom della propria ontologia è pienamente legittima e molto più onesta delle pretese antimetafisiche, positivistiche volgari e pragmatiche dalla vista corta di molti suoi critici.

Come in caso contrario capire la sua insistenza nel ricavare "la catastrofe" cioè la discontinuità, la rottura dell'equilibrio, la genesi delle forme ed il loro trasformarsi, il cambiamento del tipo topologico di una varietà, attraverso un modello che "immerge" tutti questi casi in un *continuum*? *Continuum* che viene rivendicato come entità primordiale attraverso l'intuizione che gli esseri viventi hanno dello spazio-tempo che li circonda. *Continuum* che è in grado quindi di generare e rendere ragione anche del suo opposto il discontinuo. Diversamente da ogni idea che pretenda invece di ricostruire ogni fenomeno montando, come in una macchina, un numero finito e discreto di elementi ultimi. Pretesa questa ultima che va giudicata anche per la sua inefficacia in problemi particolari. Così la meteorologia, nonostante le sue reti di satelliti e computer, si trova in uno stato miserevole perché ha di fronte fenomeni che sono globali e non locali per loro natura.

In genere le attuali procedure di ricerca e di conoscenza limitano ed arrestano l'indagine dei fenomeni agli elementi intrinseci, coniugando

un paradigma del tipo: tanto più si capisce scientificamente un fatto quanto più si è in grado di isolarlo, renderlo indipendente e scomporlo. Quello delle catastrofi è invece del tipo: il significato di un fenomeno si ottiene solo considerandolo in rapporto al contesto che lo contiene. Questo insistere sull'ambiente ne fa una specie di ecologia della scienza e della matematica. Ad esempio i numeri reali non vanno smontati, rimontati e ridotti ad un semplice caso particolare di strutture generalissime intrecciando sulla base di un insieme relazioni algebriche topologiche ed assiomi opportuni, bisogna invece fare riferimento alla *retta* reale che definisce l'ambiente senza il quale campo, distanza ed ordine perdono significato.

Così inteso il paradigma delle catastrofi può essere articolato nel ribaltamento operato da Thom nei confronti della didattica basata sulla teoria degli insiemi, sull'algebra formale, sulle strutture astratte. Meglio la geometria euclidea che sviluppa l'intuizione e che offre problemi da risolvere proponibili all'allievo ⁽⁴⁹⁾. L'insegnamento della matematica cosiddetta moderna è dunque un errore perché è la stessa matematica moderna che va criticata fino in fondo. Per questo il duro attacco di Thom alla didattica insiemistica si sostiene di più rispetto agli altri proprio perché è più radicale e coinvolge globalmente tutta la matematica senza limitarsi a criticare l'efficacia di un metodo di insegnamento ⁽⁵⁰⁾.

Sulle due gambe di un articolato ed affascinante programma di ricerca e di una proposta didattica ad esso collegata marcia allora una critica radicale all'impostazione formalistica della matematica. Così corredato il paradigma delle catastrofi riesce ad essere una specie di con

49) Thom 1971 e 1973b

50) Questi sono i limiti di posizioni come quella di Griffiths & Howson 1974.

troaltare del bourbakismo, che è stato l'unico recente programma di ricerca in matematica che ~~fosse~~^{si} arrivato fino a proporre esplicitamente una didattica coerente (per giunta ottenendo, in Francia, una riforma dell'insegnamento plasmata su di esso).

Nonostante che in Thom le proposte didattiche, come in molti altri casi del resto, non riescano a superare i limiti di una matematica elitaria e con funzioni selettive, le sue mi paiono almeno potenzialmente più aperte a recepire le intuizioni e la spontaneità degli alunni (51). A questo proposito risulta interessante l'esperienza didattica fatta in una scuola elementare romana. Si trattava di eseguire delle esperienze di caduta dei gravi. Certo l'insegnante voleva stimolare gli alunni a ritrovare la legge di Galileo, ma avendo scelto di lasciare libera iniziativa alla spontaneità egli ha dovuto per un paio di mesi eseguire esperimenti di caduta nell'aria. In tal modo i bambini hanno scoperto non la costanza dell'accelerazione per tutti i corpi bensì la dipendenza della legge di caduta in un mezzo *continuo* dalla *forma* del corpo, arrivando a classificare dei pezzi di carta secondo la forma relativa (52). Peccato che ai maestri non si insegni la teoria delle catastrofi o che la rigidità dei programmi, insieme ai pregiudizi scientifici, impedisca loro di impararla dagli allievi.

La critica di Thom al formalismo non si limita al paradiso insiemistico cantoriano in cui Hilbert ci voleva confinare, ma tocca ovviamente anche la questione del rigore. Supponiamo che la correttezza di una proposizione in una teoria formale sia stata verificata dopo 10^{30} operazioni elementari da una macchina di Turing velocissima.

51) Boiti et al. 1979.

52) Esperienza fatta da Paolo Guidoni e raccontata durante una conferenza tenuta nel 1977 all'università di Lecce.

Ora quale matematico accetterebbe senza esitare la validità di una simile dimostrazione, data l'impossibilità di verificare tutti i suoi passaggi?⁽⁵³⁾

Domanda singolarmente profetica, se si pensa che recentemente è stata offerta una soluzione del famoso problema dei quattro colori che fa uso *necessario* ed intensivo di un veloce calcolatore. Ma la reazione dei matematici pare che non sia stata come Thom si aspettava, nel senso che non si è levato molto clamore attorno a questo nuovo modo di dimostrare, certo non molto ortodosso rispetto a quello che normalmente si usa nella ricerca. Alla luce di questo fatto bisogna piuttosto credere che l'idea del rigore normalmente posseduta da un ricercatore medio è sì formalista, ma innestata su una interpretazione pragmatica che assegna la parola finale ai "maggiori specialisti del tempo"⁽⁵⁴⁾ (nel nostro caso i referee dell'*Illinois Journal of Mathematics*).

Per Thom invece "un teorema è innanzitutto l'oggetto di una visione", non etimologicamente la visione di Dio, ma quella di un risultato matematico inteso in senso realistico raggiunto attraverso l'intuizione⁽⁵⁵⁾. Non vogliamo addentrarci nella *vexata questio* dell'"esistenza reale" dei concetti e dei risultati matematici, anche perché questa affermazione si trova mescolata alle posizioni più varie -ad esempio in Dieudonné coabitata senza troppi problemi con lo stesso formalismo, in C. Davis col mate

53) Thom 1971, 696

54) Appel, Haken 1977

55) Thom 1971, 697.

rialismo ⁽⁵⁶⁾ - e quindi mi pare più importante discutere i contesti matematici in cui si inserisce.

Del resto il realismo di Thom non si limita all'ontologia, piuttosto anch'esso lo spinge nella direzione su cui abbiamo più volte insistito, cioè ad occuparsi di settori quali la fisica, la biologia, la linguistica. Si può dunque accettare di incasellare la proposta di Thom nella cosiddetta matematica applicata? Credo di no e questo per diversi motivi. La biologia è infatti un settore diverso tanto dai settori applicati classici come la fisica matematica, quanto da quelli nuovi come l'informatica. Inoltre - e questo è l'aspetto fondamentale - il modello di Thom non è applicativo, bensì *integrativo* tra la matematica ed i tre settori menzionati. Si apre così la possibilità di critica e di proposte innovative radicali rispetto ai punti di vista settoriali comunemente accettati e queste critiche sono coerenti con la sua concezione generale delle scienze e della matematica. Le possiamo solo accennare in questa sede, ma meriterebbero ciascuna un intervento particolare ed analitico.

Mentre la biologia appare orientata, in rapporto alla chimica ed alla fisica, a dare delle ricostruzioni molecolari dei processi vitali, Thom si fissa sulla morfogenesi. Riallacciandosi al "grande visionario" d'Arcy Thompson ed a Waddington si propone anzi un modello efficace "senza fare ricorso a proprietà speciali, a ciò che sta sotto le forme o alla natura delle forze agenti". Gli embriologi riescono infatti a predire cosa capita nei vari stati di sviluppo di un uovo di rana con ben maggiore precisione dei geologi che sono invece incapaci di predire la forma

56) Dieudonné 1970, 145; Davis 1974, 40. Mentre il realismo di Thom è platonico, quello di Dieudonné rappresenta solo la "convenienza" mentale dei matematici. C. Davis invece propone che "l'esistenza matematica è l'usabilità nel ruolo di un nome - di - oggetto - esistente all'interno dei ragionamenti matematici".

delle rocce come risultato dell'erosione atmosferica. Nonostante che nel secondo caso si pretenda di saperne di più sugli agenti.⁽⁵⁷⁾ Per certi processi basta dunque - direbbe un fisico - la cinematica nel senso che la dinamica vi è inclusa e non risulta necessario conoscere separatamente le forze in gioco. La morfogenesi dei fenomeni inanimati farebbe allora bene ad imparare dalla biologia. Si tratta di una concezione della biologia che si lega a quella non riduzionistica di Waddington, la quale si accorge dell'inefficacia e della mancanza di praticità del cercare di analizzare il cuore od una cellula muscolare nei termini di geni o di molecole. Per questo ha senso perseguire la costruzione di una "biologia teorica" autonoma, in quanto né la fisica né la chimica sono in grado di garantire una base teorica sicura⁽⁵⁸⁾. A una biologia materialistica volgare, che considera spiegato un fenomeno vitale solo quando l'ha ridotto a combinazione di molecole e di geni e che quindi ricostruisce gli esseri viventi come macchine, Thom contrappone una concezione delle scienze che, tenendo invece ferma l'integrità degli esseri viventi, vede il mondo come un organismo. E' uno di quegli aspetti che dà al paradigma delle catastrofi un sapore pregalileiano ed antinewtoniano. Aspetto intimamente legato al fatto che nella proposta di Thom la TdC non è predittiva bensì classificatoria.

Si salda in tal modo l'ottica delle grandi classificazioni delle specie con quella delle classificazioni matematiche. Quasi tutti i settori matematici classificano infatti qualcosa - dai gruppi finiti alle algebre, dai nodi alle equazioni differenziali, dai numeri alle applicazioni. La TdC lo fa sciogliendo le singolarità (si pensi ai minimi, massimi e flessi)

57) Thom 1968,153-54. Le posizioni di Thom sull'evoluzione richiamano Lamarck e questo naturalmente è una provocazione anche per i biologi più inclini alla simpatia: "il tentativo di fornire una interpretazione lamarkiana per le origini evoluzioniste di organi, proteine e geni ... in fondo non convince" Goodwin 1973,208.

58) Waddington 1968 e nella prefazione a Thom 1972,6-7.

dei germi di funzioni differenziabili particolarmente semplici (al massimo di due variabili) attraverso l'immersione strutturalmente stabilizzante in una varietà differenziabile (superficie liscia) ottenuta aggiungendo al massimo quattro parametri. In tal modo si ottengono le sette catastrofi elementari, classificazione completa a meno di (particolari) omeomorfismi e dell'aggiunzione di una forma quadratica ⁽⁵⁹⁾.

La distinzione con Zeeman va introdotta nel momento in cui questo ultimo pretende di farne un modello predittivo, come se si trattasse di una equazione del moto che prevede il punto nel quale il grave passerà ad un dato tempo e con quale velocità. Si tratta invece di un modello radicalmente antinewtoniano perché non si studia l'evoluzione di un fenomeno fissato il potenziale, ma si classificano le possibili evoluzioni classificando i "conflitti" che le producono. Più precisamente, attraverso l'analisi delle trasformazioni continue dei potenziali (intesi come variabili) e dei relativi minimi, si rappresentano i "conflitti" tra gli oggetti stabili del mondo reale, associando ad ogni oggetto un minimo. Sono infatti le trasformazioni della forma del potenziale (prima sono presenti ad esempio due minimi, poi uno di essi sparisce) che dominano dinamiche e conflittualità diverse ⁽⁶⁰⁾. (Cfr. fig. 1).

Ci si può chiedere, tutti i possibili conflitti sono descrivibili con una delle sette catastrofi (la più usata è la cuspidè)? Si riesce inoltre a predire quando si determinerà un conflitto e come andrà a finire? È la prima domanda che polarizza l'interesse di Thom diversamente dalla seconda alla cui risposta tende particolarmente Zeeman. Thom è infatti un contemplativo mentre Zeeman è un applicativo. Siamo di fronte ad un contrasto tra punti di vista incommensurabili, difficilmente riconducibili

59) testi citati nella nota 18

60) La significativa diversità con Zeeman è illustrata nel modo migliore da Thom che distingue un "modo fisico" da un "modo metafisico" (il suo) di intendere la TdC, Thom 1976b.

l'uno all'altro attraverso passaggi continui od aggiunzioni finite. La comunità dei ricercatori preferisce discutere Zeeman perché risulta falsificabile -e di fatto si trovano controesempi empirici alla sua TdC. Invece Thom viene accusato di non essere falsificabile perché la sua teoria non è empiricamente verificabile, spiegando tutto finisce per non spiegare nulla ⁽⁶¹⁾. Sarebbe meglio dire che non sembra oggi tecnologicamente utilizzabile, perché guarda dalla spiaggia il formarsi ed il distruggersi delle onde nel mare, il rincorrersi delle nubi nel cielo.

Ma questa tendenza ad un modello universale buono a tutti gli usi sul quale plasmare i fenomeni è un difetto che ha solo il paradigma delle catastrofi? In realtà è tipico di ogni paradigma e gli accusatori non si accorgono di coniugarne altri profondamente diversi, ma dalle medesime pretese: con un computer potente, un milione di dollari ed una equipe di ricercatori affiatati (cioè formati al paradigma dalla scuola) si conosce qualsiasi fenomeno. Allora quello di Thom ha il vantaggio di essere poetico ed innocuo, mancando degli aspetti inquietanti che l'altro sicuramente comporta ⁽⁶²⁾.

E' dunque sempre più vero che Thom mescola l'estetica e la filosofia con le scienze, ma in realtà finisce per assomigliare proprio per questo ad altri modelli che difficilmente possono essere considerati oggi non scientifici. Sia infatti la relativa "indifferenza" agli esperimenti, sia infatti la riduzione dei fenomeni alle forme geometriche sono aspetti che ricordano la teoria delle relatività generale di Einstein, ma su questo ritorneremo nella parte storica ⁽⁶³⁾.

61) Thom 1977d, 26; Sussmann 1978

62) Pollock 1956; Martin & Norman 1970; Manacorda 1976

63) E' ben noto come le teorie della relatività di Einstein soddisfino più a requisiti di semplicità e simmetria che a discriminanti controlli sperimentali. Bergia 1979; Wechsler 1978.

Criticando i modelli fisici quantitativi classici, Thom privilegia dunque i modelli qualitativi in cui ci si occupa dell'andamento generale del fenomeno, come ad esempio nel passaggio dalla fase liquida a quella gassosa nel caso dell'acqua che bolle. Ma tale scelta non può neanche in questo caso essere una pura scelta di settore (la meccanica statistica e le transizioni di fase) perché si allarga subito ad una critica generale verso il modo di porsi della fisica di fronte ai fenomeni. La critica di Thom alla smania di "calcolabilità" -in genere i ricercatori pensano che ciò che non è calcolabile e riducibile a numero non serve scientificamente - si poggia sull'osservazione che la "stabilità strutturale" è il genere incompatibile con essa:

la fisica attuale ha sacrificato la stabilità strutturale alla calcolabilità, voglio credere che non abbia da pentirsi per questa scelta (64).

Nel caso della linguistica la critica al modello formalista, che pretende di studiare le lingue naturali attraverso strumenti come le macchine di Turing od i sistemi formali, è ancora più netta o chiara. Dopo Saussure per scientificizzarsi e matematizzarsi i linguisti hanno scelto in genere la strada della scomposizione delle frasi in elementi ultimi discreti e finiti (i fonemi) da ricombinare linearmente ed algebricamente nel monoido libero delle collane (strings). La distinzione tra le collane ben formate (che fanno parte del linguaggio) e le altre viene perseguita su base formale, cioè fissando le regole di combinazione permesse. Una frase ben formata si genera allora come un teorema si ottiene dagli assiomi attraverso le regole di derivazione della metamatemática formalista e finitista. Il significato delle parole e delle frasi non gioca dunque alcun ruolo nel processo, anzi si cercherebbe di ricondurlo alla descrizione formale. Così l'essere dotate di significato sarebbe proprietà caratteristica solo delle frasi ben formate ed a differenti strutture corrispondono

64) Thom 1972, 48

significati diversi. Si risolvono in tal modo le ambiguità come quella del famoso esempio chomskiano "They are flying planes"⁽⁶⁵⁾.

Questo tipo di matematizzazione algebrica e formalista delle lingue naturali è largamente fallito, nel senso che esistono dei teoremi di ostruzione ad una matematizzazione completa⁽⁶⁶⁾. Funziona quindi solo in casi particolari ed essendo un programma di ricerca essenzialmente fondato sulla lingua inglese ha dei controesempi notevoli, come le lingue della famiglia del cinese⁽⁶⁷⁾. Se si sostiene ancora è soprattutto perché si appoggia ai sistemi linguistici discreti, finiti ed automatici, cioè formali per definizione, come quelli utilizzati per il software dei computer.

All'opposto Thom propone una descrizione matematica delle lingue naturali di tipo topologico, geometrico e continuista. Attraverso le sette catastrofi elementari si classificano le frasi atomiche caratterizzanti una azione (od uno stato) che si svolge in genere tra un numero di agenti (actants) inferiore a quattro. *Il gatto prende il topo* viene associata allora ad un grafico di cattura (fig. 1), la cui dinamica è descritta dall'evoluzione della curva potenziale che passa da due minimi (gatto e topo) ad uno solo (gatto). Questo "conflitto" tra due minimi del potenziale si ottiene attraverso una opportuna sezione della catastrofe a cuspide, quella generata dallo scioglimento universale della funzione $V'(x)=x^4/4$. L'ottica geometrizzante, che accompagna sempre Thom, si lega in questo caso alla proposizione del "significato" come punto di partenza ineliminabile per una descrizione efficace delle lingue naturali⁽⁶⁸⁾.

Anzi il significato linguistico in questa ottica è messo in stretto rapporto con l'azione reale che descrive. Pertanto il programma linguistico

65) Gross & Lentin 1970; Gross 1972

66) Gross 1972,32; Thom 1974b, 150-51

67) E' soprattutto la schematizzazione in una struttura lineare che non funziona a mio avviso per il cinese. Per la lingua scritta è evidente che la distinzione tra tratti segmentari e sopra-segmentari perde significato, mentre per quella parlata la presenza di almeno quattro toni pertinenti alla comunicazione impone di non trascurare gli elementi soprasegmentari. Inoltre gli ideogrammi cinesi sono particolarmente sensibili al contesto.

68) Thom 1970 e 1973c.

di Thom assume la caratteristica di una classificazione di cose ed azioni reali, caricandosi di somiglianze con i cataloghi tipici del pensiero medievale.

Che questo suo interesse linguistico non sia casuale ed episodico, ma rientri sotto il paradigma delle catastrofi, lo si può capire anche dalla critica fatta da Thom al dogma della separazione tra linguaggio matematico e linguaggio comune. Alla luce di tutto quanto detto fino ad ora, non può più meravigliarci che, partendo dall'osservazione della ineliminabilità di fatto del discorso comune dalle descrizioni scientifiche, si arrivi a rivalutare pienamente la carica intuitiva presente nelle lingue naturali. Si vedono ora come pregi, perché rendono possibile la comunicazione sociale, quegli aspetti che una certa (maggioritaria) tradizione scientifica considera come dei difetti, cioè l'ambiguità, l'analogia, la sensibilità al contesto... Difetti che, come è ben noto, hanno portato e portano tuttora purtroppo certuni a considerare la matematica logicizzata e formalizzata come il modello supremo di razionalità universale ⁶⁹⁾.

Non abbiamo volutamente usato fino ad ora termini filosofici come positivismo, idealismo, neopositivismo logico, esistenzialismo o (peggio) razionalismo, irrazionalismo, perché nonostante che Thom sia *homo philosophicus*, per descrivere le sue posizioni generali è bene partire dalla sua pratica scientifica e culturale. Certe categorie della tradizione accademica sono infatti a mio avviso inadeguate a rendere la complessità dell'intera questione. Per questo preferisco usare il termine *ideologia* che permette di non fare riferimento diretto a classificazioni storiche ormai invecchiate ⁽⁷⁰⁾. Sarebbero adeguate se cadessimo nell'errore di considerare il paradigma delle catastrofi come la somma senza interferenza di una parte matematica e di una parte filosofica, accettando quindi

69) Ad esempio si veda la teoria dell'analogia in Thom 1976b, 250-51

70) Donini & Tonietti 1977; Tonietti?; Cfr. Rossi 1977.

quelle divisioni accademiche che invece finiscono per togliere al paradigma gran parte della sua vitalità singolare e critica nei confronti dell'establishment scientifico.

Questo non toglie che le posizioni di Thom siano dichiaratamente anti-positivistiche. Ma proprio se si fa riferimento alla sua pratica di ricerca ci si deve accorgere che non per questo la sua ideologia è classificabile come idealistica ⁽⁷¹⁾ o precomtiana ⁽⁷²⁾. Letture queste fortemente riduttive nei confronti della potenzialità del paradigma di rappresentare la sensibilità alla crisi ed i fermenti di possibile trasformazione dell'attuale assetto scientifico. Certo sta dalla parte della filosofia del divenire a partire da Eraclito fino a Nietzsche e concepisce il mondo come un animale piuttosto che come una macchina, similmente ad Aristotele ed alle filosofie classiche cinesi. Certo la famosa legge hegeliana della trasformazione della quantità in qualità viene ripresa nella catastrofe che la modella matematicamente e ad essa si ricorre quando si vuole derivare la discontinuità dalla continuità. Ma che tutti coloro che sono sensibili alla "qualità" ed ai valori della vita siano nipotini di Hegel o vitalisti è un gioco retorico che comincia col non distinguere Marx da Hegel (o Marx da Comte) e finisce per dare la patente di irrazionalità a tutti, da Horkheimer all'ultimo Wittgenstein, da Kuhn a Foucault.

Dopo aver distinto l'ideologia di Thom, legata al paradigma delle catastrofi ed alle sue pratiche scientifiche e culturali, dalle interpretazioni riduttive - tanto quelle solo matematiche, quanto quelle solo filosofiche - non ci rimane che concludere riprendendo una questione sollevata all'inizio. Cosa resta del paradigma delle catastrofi se togliamo l'ideologia di Thom? Quasi nulla, non resta a ben vedere neanche la matematica di Thom, bensì qualche teorema o risultato reinterpretato in senso formalista.

71) Pomian 1977; Benincasa 1978.

72) Levy-Leblond 1977,439

Ma questo dipendere criticamente dall'espressione esplicita di una concezione generale delle scienze e della matematica non è tipico solo di Thom, esistono altri scienziati che rivendicano questa necessità. Tra i matematici l'esempio più interessante dopo di lui è quello di A. Robinson che fa appello apertamente a quella che addirittura chiama la "metafisica". Ed è difficile capire le motivazioni della analisi non-standard se non si tiene presente questa "metafisica". A. Robinson rivendica persino una sua concezione storica, invitando a riprendere in esame le ricostruzioni lineari ed apologetiche del passaggio dagli infinitesimi di Leibniz al rigore del limite secondo Cauchy-Weierstrass⁽⁷³⁾. Sollecitazione salutare e sfida aperta agli storici del progresso che a mia conoscenza ha raccolto solo Lakatos⁽⁷⁴⁾.

Anche il paradigma delle catastrofi esige un simile ripensamento della storia delle matematiche, soprattutto perché in caso contrario non si riuscirebbe a conoscerne la genesi ed a valutarne a pieno la portata. Vedremo che il paradigma delle catastrofi implica di riconsiderare l'immagine dello sviluppo scientifico nel suo complesso.

73) Robinson 1966,4; Robinson 1972.

74) Lakatos 1978.

"In questi giorni l'angelo della topologia ed il diavolo dell'algebra astratta si contendono l'anima di ogni settore matematico particolare".

H. Weyl

..."La teoria ondulatoria del moto di una particella di De Broglie-Einstein, secondo la quale una particella non è niente altro che una specie di cresta di spuma sull'onda della radiazione"

E. Schrödinger

Thom e la storia delle scienze.

Abbiamo già detto che l'attuale dibattito è carente in un punto essenziale: manca di una prospettiva storica. Invece le analisi storiche sono in grado di gettare molta luce sulla nostra controversia. Si tratta però di individuare prima quale strumento storico è adatto perché ci sono storie della matematica che sarebbero sinceramente da ostacolo.

Sono quelle apologetiche, che sembrano scritte per assegnare una patente di nobiltà all'ultimo arrivato sul trono. Di questo tipo sono le note storiche agli *Eléments* del Bourbaki o l'*Abrégé d'histoire des mathématiques* diretto da Dieudonné ⁽⁷⁵⁾ nelle quali si traccia la genealogia delle strutture astratte, ignorando il resto e deformando i punti di vista originali dei protagonisti. Ma anche Zeeman ha fatto una operazione simile nei confronti di Eudosso e di Euclide. Naturalmente in questo ultimo caso si scoprono (in Eudosso) gli antenati del calcolo infinitesimale (già legato alla velocità) e persino dell'algebra astratta (cosa non si farebbe per deprimere il presunto bourbakista Galois) ⁽⁷⁶⁾. Sarebbe facile a questo punto contrapporre ad ambedue una genealogia del pensiero geometrico, che peraltro nella Grecia post pitagorica è storicamente più

75) Bourbaki 1960; Dieudonné 1978

76) Zeeman 1974

verosimile perché Euclide sistema geometricamente (più che assiomaticamente) i risultati matematici dell'epoca ⁽⁷⁷⁾.

Ma il punto è proprio di non limitarsi a fare la cronistoria dei risultati od una loro ricostruzione razionale alla Popper, bensì di guardare alla storia come ad una successione di controversie, di cui ha interesse capire come e perché si sono sviluppate. Accogliendo il suggerimento di Kuhn di non ridurre la storia della scienza agli aneddoti ed alle cronologie, ⁽⁷⁸⁾ respingendo decisamente le "ricostruzioni razionali" a posteriori dei risultati di Popper (ma anche di Lakatos), occorre muoversi verso ricostruzioni *integrali* delle scelte di evoluzione tirando in ballo *necessariamente* le istituzioni, l'ambiente culturale, quello sociale e politico ⁽⁷⁹⁾. Solo in questo caso la storia è utile "allo stato presente ed alle prospettive future" della matematica, riducendosi negli altri casi o ad un particolare settore accademico (per gli storici di professione) o ad una funzione esornativa (per i matematici attivi).

Possiamo ora porre sul tappeto la questione principale: quale è la relazione della controversia sulle catastrofi con quelle avvenute in passato? Per fortuna nella nostra topologia -l'asse storico non ne porta infatti con sé una naturale dipendendo essa dal punto di vista storiografico particolare assunto - le discontinuità (le rivoluzioni) prodotte dalle controversie sono relativamente poche, perché dipendono da come vengono immersi i fatti matematici e scientifici nei vari contesti culturali e sociali. Senza tale immersione stabilizzante si oscillerebbe arbitrariamente tra l'estremo di Popper (nessuna rivoluzione) o quello di Feyerabend e dell'ultimo Kuhn (una infinità di microrivoluzioni) estremi che

77)Struik 1967,52 e 64.

78)Kuhn 1962,19.

79) Forman 1971,1974 e?;Tonietti?; Donini 1978 e 1979;Baracca et al. 1979.

sarebbe facile fare toccare ⁽⁸⁰⁾.

Ebbene, le posizioni di Thom suonano sensibili alle argomentazioni sostenute da chi, attraverso queste controversie scientifiche di fondo, è stato espurgato dall'asse di sviluppo dominante. Così nell'opposizione tra il punto di vista aristotelico verso quello galileiano, tra Cartesio verso Newton, tra Poincaré verso Hilbert, tra Einstein e Schrödinger verso Bohr e Heisenberg, le sue simpatie vanno verso i primi. Il paradigma delle catastrofi sedimenta quindi dentro di sé queste lateralità storiche per riproporle oggi. Ma, e qui sta il punto, nella situazione scientifica attuale esse non possono sembrare come progetti sconfitti definitivamente, bensì come problemi accantonati e non risolti che tornano alla luce. Questioni considerate non matematiche, non scientifiche, non importanti da tre secoli di un certo "progresso" scientifico (e sociale) sono riproposte come degne di attenzione, anzi come nuovo asse di evoluzione, perché Thom, figlio di quelle grandi controversie, non ne accetta in toto gli esiti rimettendoli in discussione.

Fissiamoci per poter andare un po' di più nei dettagli sugli ultimi grandi scontri dai quali è nato l'attuale assetto scientifico in fisica ed in matematica. Fissiamoci cioè su quegli eventi storici dell'inizio del secolo e degli anni '20 che hanno dato origine allo schema algebrico-formalista ed a quello quantistico.

Quando Hilbert fa irruzione nella scena col suo celebre teorema della base ⁽⁸¹⁾ fa esclamare a Gordan

Questa non è matematica, è teologia ⁽⁸²⁾.

In realtà, questo teorema di esistenza segna la "morte" della teoria degli

80) Lakatos & Musgrave 1970; Kuhn 1975; le rivoluzioni scientifiche sono coerenti con quelle sociali e queste ultime sono relativamente rare; Cfr. Tonietti 1976, 25; Donini 1978 e 1979; Baracca et al. 1979.

81) Hilbert 1890; Kline 1972, 930

82) Ibidem; Fisher 1966, 145.

invarianti ⁽⁸³⁾ e scandisce un periodo di controversie che cambierà profondamente l'immagine della matematica. Tanto da portarci a credere che, con la pubblicazione di *Moderne Algebra* di van der Waerden, ⁽⁸⁴⁾ la "non matematica" di Hilbert è ormai diventata la linea di evoluzione dominante almeno in Germania, che allora era ancora il paese guida nelle scienze.

Il progetto di ricerca hilbertiano, esposto nel 1900 attraverso i ventitre problemi, comincia a segnare dei nuovi criteri di rilevanza, dei modi nuovi di fare ricerca ⁽⁸⁵⁾. Esso si scontrava con il punto di vista di H. Poincaré, che rappresenta la continuità con la matematica ottocentesca ⁽⁸⁶⁾. In genere si tende a credere che la questione principale del contendere fossero i fondamenti con le tre possibili alternative, tra formalisti logicisti ed intuizionisti. In realtà l'elemento centrale di scontro, soprattutto alla luce dei problemi che l'esito di esso ci costringe ad affrontare oggi aggravati, era l'autonomia della matematica dalle altre scienze.

Tutta l'opera matematica di Poincaré riceve continuamente stimoli, sia sotto la forma di problemi da affrontare, sia sotto quella di intuizioni su come risolverli, dalla fisica. Si pensi al nucleo della sua attività di studioso, costituito dal problema dei tre corpi, la teoria qualitativa delle equazioni differenziali e la topologia combinatoria, che *in Poincaré* non è separabile in tre settori distinti. Oggi è facile considerare Poincaré essenzialmente un matematico, perché la solita perniciosa concezione del progresso lineare ce lo ha sedimentato ed imbalsamato in tale ruolo ma non bisogna dimenticare che il nostro ha conteso la teoria della relatività ristretta ad Einstein e diceva la sua sui quan

83) Weyl 1939,27; Fisher 1966

84) van der Waerden 1931

85) Hilbert 1900

86) Poincaré 1900

ti al primo congresso Solvay ⁽⁸⁷⁾.

Hilbert al contrario autonomizza la matematica da tutto il resto facendone un modello astratto di razionalità, di rigore formale privo di radici in un contesto esterno. Coi *Fondamenti della Geometria* si propone un sistema assiomatico che taglia i riferimenti, presenti in Euclide, col mondo reale dei concetti di punto, retta, piano. La unica legittimazione possibile in tal caso rimane nella coerenza interna, nella completezza e nella decidibilità della matematica, ridotta ad un sistema formale di segni sulla carta ⁽⁸⁸⁾. Addirittura l'analisi, lo strumento principe del programma di filosofia naturale newtoniano, deve venire rigorizzata ⁽⁸⁹⁾ per la seconda volta fondando i numeri reali ed introducendo la topologia generale (tutt'altra cosa da quella combinatoria di Poincaré).

Non che Hilbert non si interessasse più di fisica, anzi ha sempre voluto che uno dei suoi assistenti a Gottinga fosse un fisico ⁽⁹⁰⁾, ma ora il rapporto si rovescia e per lui la fisica è matematica applicata, un settore in cui verificare *a posteriori* la potenza dei metodi di algebra astratta, di analisi funzionale creati, in supposta autonomia, dalla comunità dei matematici. La prima tecnica da esporre in fisica diventa naturalmente l'assiomatica (sesto problema ⁽⁹¹⁾), e da qui discende l'interesse per quella teoria - la relatività generale - che pareva permettere, all'interno di una ottica unificante di tutti i fenomeni (dalla gravitazione all'elettromagnetismo), la riduzione della fisica a po

87) Il ruolo di Poincaré nel dibattito sulla relatività ristretta è ben noto perché valga la pena di ricordarlo, piuttosto è meno noto che Poincaré abbia partecipato al congresso Solvay e si sia interessato dei quanti: Langevin & De Broglie 1912; Mc Cormmach 1967

88) Hilbert 1899

89) che il rigor mortis di cui parla Zeeman 1974, 607 cominci ad essere inoculato in questa occasione?

90) Forman 1970, 159

91) Hilbert 1900, 454-55 della tr. ingl.

chi generalissimi principi⁽⁹²⁾. Anche se questo si rivela impossibile, tutta via si può sempre convincere che un repertorio di *metodi matematici* è indispensabile per la fisica, e sarà il Courant & Hilbert volume I⁽⁹³⁾. Testo opposto a *Les Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste* di Poincaré nel quale la invenzione di nuove teorie matematiche è sollecitata direttamente da un problema fisico particolare⁽⁹⁴⁾. Grazie a questa inversione nel rapporto tra matematica e fisica non sarà più tanto difficile arrivare all'indifferenza teorizzata esplicitamente oggi dai Bourbakisti ed accettata da tanti matematici cosiddetti puri⁽⁹⁵⁾.

Diversamente da Poincaré - che ce l'ha implicitamente nel rapporto intimo (a priori) con le scienze della natura - Hilbert deve dare lui esplicitamente i suoi criteri di rilevanza e proprio tale compito ha il suo elenco dei problemi matematici presentato al congresso di Parigi.

Questa *grande trasformazione* della matematica è ovviamente e profondamente toccata dal programma matematico formalista col suo criterio di verità interno, ma sarebbe sbagliato ridurla ad esso. Infatti, mentre nella sua formulazione logica la linea di evoluzione hilbertiana è bloccata dai teoremi di ostruzione degli anni '30⁽⁹⁶⁾, il processo di automizzazione va avanti, diventando soprattutto specializzazione interna alla matematica fino ad arrivare alla frammentazione esasperata di oggi. Piaccia o meno, e con buona pace del Bourbaki, gli ultimi cent'anni ci hanno fatto passare dalla matematica alle matematiche⁽⁹⁷⁾. E nessun metodo generale, logico-formalista, nessuna filosofia neopositivista, nessun attrezzario di strutture è stato in grado, né mai lo sarà, di farci

92) Hilbert 1915/17 e 1924; Mehra 1974; Earman & Glymour 1978

93) Courant & Hilbert 1924

94) Poincaré 1892

95) Weil 1948,317; Dieudonné 1964,248; Dieudonné 1965,543 cit. in Fang 1970, 93-94; Bourbaki 1948,46.

96) Gödel 1931

97) "La matematica o le matematiche?" questo è il sottotitolo di Bourbaki 1948.

apparire in ciò una qualche unità.

Già circa un terzo dei problemi esposti da Hilbert nel 1900 ha a che fare con l'algebra, ma solo qualche decennio dopo l'algebra formale (cosiddetta moderna) sarà il nuovo paradigma con cui ristrutturare le discipline classiche e garantire nuove linee di evoluzione. A questo punto il criterio di rilevanza si è trasformato nel privilegiare un settore, l'algebra, a scapito di altri, la geometria, e si è costituito in punto di vista generale, che attira al suo interno la comunità dei matematici e la sua produzione di ricerca. A questo punto cioè possiamo dire che le matematiche si sono *algebrizzate* e che la transizione da "non matematica" a "matematica" egemone si è compiuta. Come sempre la vitalità di un nuovo punto di vista si misura anche dalla capacità di inglobare i risultati di quelli diversi e così la topologia da combinatoria diventa algebrica ⁽⁹⁸⁾. Come sempre processi di tale natura hanno caratteristiche nazionali e sono essenzialmente legati alle trasformazioni culturali e sociali generali, perciò avvengono a partire da situazioni singolari e poi, se del caso, si estendono. Ad esempio l'Italia rimane quasi completamente fuori da questo processo di algebrizzazione e seguita a sviluppare la sua (ancora feconda) ottica *à la Poincaré*, tant'è che l'algebra formale passa nell'insegnamento universitario addirittura solo dopo la seconda guerra mondiale negli anni '60. Mentre in Francia l'ottica algebrica va di pari passo con l'affermazione del gruppo bourbakista di Dieudonné, Weil, Chevalley, H. Cartan. Ma appunto essi la importa

98) Kline 1972,1180; "In ogni caso, una parte considerevole della topologia è confluita, durante gli ultimi quindicianni circa, nella cosiddetta topologia algebrica che iniziò circa trentanni fa con molta geometria e poca algebra ed oggi consiste di molta algebra e poca topologia" in Lefschetz 1962,287-288.

no dalla mittel Europa, negli anni '30 e '40, dove va individuato il centro promotore principale attorno a nomi, oltre Hilbert, come Emmy Noether, Emil Artin, van der Waerden ⁽⁹⁹⁾.

Dobbiamo allora concludere che Thom - le cui analogie vanno largamente a Poicaré, anche perché va ricordato come quest'ultimo non considerasse estraneo alla sua professione occuparsi di filosofia e di questioni generali - ha il grosso difetto di non essersi accorto che la linea di evoluzione a lui più consona è già stata "irrimediabilmente" battuta? Se non avessimo messo in guardia dalle ricostruzioni storiche apologetiche e/o razionali (esse stanno sempre dalla parte dei vincitori) sembrerebbe inevitabile far precipitare Thom attraverso una opportuna sezione di una catastrofe a cuspidate modellante la rottura appena descritta degli anni '20 (fig. 2) - in compagnia di coloro che lo considererebbero, in tutte le sue manifestazioni, più matematico dei suoi critici. Ma la storia non può mai essere appiattita e ridotta alla proiezione su una linea (il progresso scientifico), così rimasero laterali e semisepolti, cercando di divincolarsi strenuamente dal trionfante paradigma algebrico-formalista, altri filoni ad esso antagonisti. Antagonismo, lo ripetiamo, che non è riconducibile o limitabile solo alle questioni logico-matematiche tipo l'intuizionismo, che più di ogni altro ha contrastato tra i matematici attivi la scuola hilbertiana, ma che ha coinvolto le pratiche di ricerca e quindi anche i prodotti della comunità dei matematici.

Alludiamo alle posizioni di matematici come P. Alexandrov, L. Pontrjagin, G.D. Birkhoff, V. Volterra, oltre ai dichiaratamente intuizionisti L. Brouwer e H. Weyl, tutti chi più chi meno eredi del punto di vista

99) Il manuale di van der Waerden 1931 viene dalle lezioni di E. Noether ed E. Artin; Birkhoff 1976.

à la Poincaré, non solo perché alcuni ne sono i diretti continuatori dell'opera scientifica (in topologia, equazioni differenziali, sistemi dinamici ...), ma soprattutto per voler mantenere, almeno sullo sfondo, il suo rapporto con le scienze della natura⁽¹⁰⁰⁾. E' vero che tutti i tre punti di vista sulla TdC - quello di Arnold/Guckenheimer, di Thom e di Zeeman - fanno un qualche riferimento a questi matematici; ed è financo possibile che essi gravitino anche nelle argomentazioni dei più rumorosi attacchi ad essa, ma - e qui sta il punto - le loro posizioni sono in genere reinterpretate e filtrate attraverso l'ottica *à la Hilbert*. Così diventa possibile dichiarare che si può discutere la posizione di Zeeman, perché in quanto *matematico applicato* occupa un posto legittimo, anche se poi qualcuno gli deve dire onestamente che si sbaglia. Ma che non si prenda in considerazione uno come Thom, perché è invece un *matematico ispirato!*

I fatti storici stanno invece altrimenti e se qualche-duno potessero mai legittimare questo è Thom. Bisogna però avere la pazienza di andarli a cercare nei testi e di prenderli come sono senza ripuliture di comodo. Non conoscendo alcuna analisi completamente adatta allo scopo⁽¹⁰¹⁾ so no costretto ad accennarla qui per sommi capi e pertanto mi limiterò (ma è solo una questione di spazio) a due dei matematici più pertinenti: Volterra e Weyl.

Nel primo lavoro di Volterra sulle equazioni integrali che portano il suo nome si legge:

-
- 100) Si ricordi questa frase di P. Alexandrov (1956, 215 ed. ingl.):
"Precisamente questi argomenti meccanici, fisici ed anche astronomici hanno prodotto la rapida crescita della topologia contemporanea, che forma una parte così significativa dello sviluppo generale della matematica del presente secolo" - notando che la topologia di cui parla è quella combinatoria di Poincaré e non quella generale - e poi si prendano in esame ad esempio il testo di G.D. Birkoff sui sistemi dinamici, quello di Pontrjagin sulle equazioni differenziali ecc.
- 101) Kline 1972 è un testo storico attento in modo particolare al rapporto tra la matematica e la fisica.

Ad una classe di problemi che si hanno frequentemente da risolvere appartiene il seguente: trovare una funzione $f(\alpha)$ atta alla integrazione tale che sia

$$\phi(x) = \int_0^a f(\alpha)F(\alpha,x)d\alpha \quad 0 \leq x \leq a$$

in cui $\phi(x)$ e $F(\alpha,x)$ sono funzioni note... (102)

Ma quale è la classe di problemi che "ispira" tale tipo di equazione integrale?

Il problema dell'equilibrio della elettricità sopra le calotte di una superficie conduttrice in rivoluzione soggette all'induzione di coibenti elettrizzati, disposti simmetricamente rispetto all'asse di rivoluzione rientra nel problema generale ora considerato (103).

Infatti il lavoro di Volterra è significativamente intitolato: "Sopra un problema di elettrostatica". Del resto Volterra è stato professore di Fisica Matematica e di Meccanica Razionale a Pisa, Torino e Roma. Nel 1901 tiene un discorso ufficiale a Roma dal titolo "Sui tentativi di applicazione delle matematiche alle scienze biologiche e sociali" in esso si legge:

E' naturale invece nei più il desiderio di volger la mente fuori dalla cerchia della pura analisi matematica; d'informarsi, di comparare la riuscita dei vari mezzi di cui essa dispone, e classificarli in vista delle loro applicazioni, onde poter rivolgere la propria attività a perfezionare i più utili, a rafforzare i più deboli, a crearne dei più potenti.

Ma è intorno a quelle scienze nelle quali le matematiche solo da poco tempo hanno tentato di introdursi, le scienze biologiche e sociali, che è più intesa la curiosità, giacché è forte il desiderio di assicurarsi se i metodi classici, i quali hanno dato così grandi risultati nelle scienze meccanico-fisiche, sono suscettibili di essere trasportati con pari successo nei nuovi ed ine-

102) Volterra 1884,188

103) Volterra 1884,191

splorati campi che si dischiudono loro dinanzi (104).

Nella seconda metà degli anni '20 Volterra viene stimolato da D'Ancona a studiare le fluttuazioni biologiche delle speci. Nell'inverno '28/'29 tiene al nuovo Istituto Poincaré (costruito coi fondi della fondazione Rockefeller) delle lezioni, pubblicate a Parigi nel 1931, col titolo *Leçons sur la Théorie Mathématique de la lutte pour la vie*. Nella prefazione è scritto:

Questa opera non si rivolge ai soli matematici che ci vedranno degli sviluppi analitici, ma anche ai naturalisti che ci troveranno delle leggi biologiche.

Prima si era reso omaggio a Poincaré:

ricordando quanto egli abbia insistito in alcuni dei suoi lavori classici sul ruolo che possono giocare nella *philosophie naturelle* lo studio qualitativo degli integrali delle equazioni differenziali (105).

Si sente la necessità di insistere sull'"interesse pratico" dello studio riferendosi alla "industria della pesca" e si passa a trattare tramite equazioni differenziali ed integro-differenziali (problemi ereditari) le fluttuazioni numeriche degli individui di speci biologiche in rapporto all'ambiente, ma soprattutto quando una specie divora un'altra. Certo ci sono anche differenze notevoli con Thom, perché attraverso un impianto analitico si cercano soluzioni quantitative, ma non ci si scandalizza affatto se:

si utilizza la geometria in recenti ricerche sulla forma e la crescita di essere organici per descrivere le forme stesse ed il loro sviluppo (106).

e si cita placidamente *On Growth and Form* di D'Arcy Thompson che, come sappiamo, è uno dei punti di partenza del paradigma delle catastrofi

104) Volterra 1901,15 della rist.

105) Volterra 1931,VI

106) Volterra 1931, 1-2

di Thom.

Si può allora concludere che Volterra come Thom, nonostante che il matematico italiano rimanga interno ad una ingenua fede nella scienza di tipo positivisticò, non teme di perdere la propria credibilità matematica e/o scientifica perché si ispira ai fenomeni naturali e si occupa direttamente di biologia.

Ma forse più vicino a Thom è Hermann Weyl, almeno per importanti aspetti della loro concezione scientifica. L'insistere sul *continuum* come elemento di base della sua filosofia matematica mette sicuramente Weyl nell'ala "geometrica" dello intuizionismo storico (F. Klein, H. Poincaré) vista come distinta da quella "numerica" (Kronecker, costruttivismo)⁽¹⁰⁷⁾. Ma egli, anche nelle polemiche antiformaliste inevitabili, non ha mai assunto i toni esasperati alla Brouwer, perché lo divideva dal matematico olandese, che prendeva posizioni di politica scientifica internazionale "völkisch" e più filogermaniche dei matematici tedeschi, l'antinazismo profondo⁽¹⁰⁸⁾.

E' in ogni caso un antiformalismo praticato:

Nel cercare di evitare riferimenti continui alle componenti [di vettori] siamo obbligati ad adottare una profusione di nomi e simboli oltre ad una intricata successione di regole per fare i calcoli, così che il bilancio tra vantaggi e svantaggi pendola considerevolmente verso il lato negativo. Una enfatica protesta va sollevata contro queste orge di formalismo che turbano la pace persino dello scienziato più tecnico⁽¹⁰⁹⁾.

Così - di nuovo - è meglio, piuttosto che su questioni di logica matematica, indicare le sue somiglianze con Thom sul piano dei rapporti tra pratiche della ricerca, concezioni della matematica e scienze della natura.

107) Weyl 1918a

108) Born & Einstein 1969, 116-117 della tr. it.

109) Weyl 1918b, 54 della tr. ingl.

La prima cosa da notare allora riguarda il peso notevole e dichiarato che hanno nel suo operare matematico le questioni della filosofia e della fisica del tempo. Husserl, la relatività generale e la fisica dei quanti rimangono riferimenti costanti nei suoi numerosi scritti.

Nella prefazione a *Spazio Tempo Materia* scrive:

... era mio desiderio presentare questo grande soggetto [la teoria della relatività generale] come una illustrazione del mescolarsi del pensiero filosofico matematico e fisico, uno studio che mi è particolarmente caro.

Come stanno le cose oggi non c'è altra alternativa che lasciare le singole scienze procedere ciascuna lungo queste linee dogmatiche, vale a dire, seguire in buona fede i cammini sui quali sono condotte da motivi ragionevoli propri ai loro metodi peculiari ed alle loro limitazioni particolari. Il compito di gettare una luce filosofica su queste questioni è cionondimeno importante perché è radicalmente differente da quelli che assolvono le numerose scienze individuali.

Tutti gli inizi sono oscuri. Visto che il matematico opera con i suoi concetti lungo linee disciplinate e formali, dovrebbe soprattutto ricordarsi di volta in volta che le origini delle cose giacciono ad una profondità più grande di quella cui i suoi metodi gli permettono di arrivare. Oltre alla conoscenza ottenuta dalle scienze particolari, ci rimane il compito di *comprendere*. Nonostante il fatto che i punti di vista della filosofia oscillino da un sistema all'altro, non possiamo farne a meno, a meno che si voglia trasformare la conoscenza in un caos senza significato⁽¹¹⁰⁾.

Mi sembrò che la tesi da esso portata avanti, della compenetrazione di pensiero scientifico e pensiero filosofico, fosse sempre attuale... Con gli anni io sono diventato più cauto circa le implicazioni metafisiche della scienza... e tuttavia la scienza perirebbe senza l'appoggio di una convinzione ideale della *esistenza di verità e realtà*, e senza il continuo scambio fra i suoi dati e le sue costruzioni da un lato, e la costruzione di idee dall'altro⁽¹¹¹⁾.

110) Weyl 1918b, IX, 2, 10 della tr. ingl.

111) Weyl 1949, VIII della tr. ingl.

Riferimenti espliciti ad Husserl si trovano ad esempio in *Spazio Tempo Matematica* ed in *Filosofia della Matematica e delle Scienze Naturali* (112)

Weyl vive il momento della ristrutturazione scientifica fra le due guerre mondiali e coglie l'intima coerenza fra i profondi mutamenti della fisica e della matematica:

Esiste a mio avviso un parallelismo facilmente visibile tra i più recenti sviluppi della matematica e della fisica (113).

Questa ultima osservazione ci ricorda che la funzione della matematica è quella di essere al servizio delle scienze naturali (114).

Che vada messo tra gli "ispirati" e non tra gli "applicati" è chiaro da un commento che fa tracciando una acuta storia della teoria degli invarianti:

In tempi recenti l'albero della teoria degli invarianti ha mostrato nuova vita ed ha cominciato a fiorire di nuovo, principalmente come conseguenza dell'interesse per i problemi teorici degli invarianti risvegliato dagli sviluppi rivoluzionari della fisica matematica (teoria della relatività e meccanica quantistica)... (115).

E' difficile pensare che Weyl, studente a Gottinga e poi addirittura successore alla cattedra di Hilbert dal 1929 fino al nazismo (dopo essere stato a Zurigo) potesse non confrontarsi con gli algebristi del suo tempo. Tuttavia, mentre avveniva il distacco dell'"algebra formale" dalla "matematica classica", ^{egli} lui continua a pensare "geometricamente" la matematica. Seguita a parlare del *continuum* dei reali dove gli altri vedono solo il "campo" dei reali, il concetto di gruppo è definito come gruppo di trasformazioni e motivato nella sua genesi come strumento, soprattutto come strumento geometrico per la classificazione proposta da F. Klein nel programma di Erlanger (116).

112) Weyl 1918b,5 tr. ingl.; Weyl 1949,145 e seg. tr. it.

113) Weyl 1928,VIII tr. ingl.

114) Weyl 1949, 74 tr. it.

115) Weyl 1939, 28

116) Weyl 1928, 110-112 tr. ingl.; Weyl 1939, 13-14.

Si cita il manuale di van der Waerden, ma il termine algebra è quasi esclusivamente impiegato nel significato di algebra di matrici (117).

In questo si rende conto di apparire un conservatore:

La mia giustificazione per aver proceduto in un modo molto più conservatore di quanto sarebbe probabilmente parso desiderabile alla nostra giovane generazione di algebristi, consiste nel desiderio di non sacrificare il passato (118).

La questione da quale parte stesse Weyl nel dibattito sulla causalità in fisica è delicata e non la tratto in questa sede (119). In questo contesto mi preme però far notare come Weyl, nel presentare la meccanica quantistica, la impervi essenzialmente sull'equazione di Schrödinger, nonostante che gli appaia "meno stringente", perché:

conduce più velocemente ai principi fondamentali della meccanica quantistica ed alle conseguenze più importanti per le scienze sperimentali (120).

La verità però a mio avviso risiede nell'ottica "continuista" che pervade l'interpretazione di Schrödinger e la matematica che questo fisico adopera. Weyl conclude infatti il capitolo matematico del suo libro sulla meccanica quantistica con le parole:

Gli strumenti algebrici e geometrici sviluppati in questo capitolo offrono un mezzo naturale di esprimere la meccanica quantistica: essi già ricoprono una posizione dominante nella fisica classica dei mezzi continui (121).

Forse questo fatto può non colpire troppo chi impara la meccanica quantistica sui manuali di scuola britannica o statunitense o francese, che preferiscono utilizzare (in rapporto alle loro tradizioni scientifiche) la più agile equazione di Schrödinger rispetto alla meccanica delle ma

117) Weyl 1939,79

118) Weyl 1939, VII

119) Cfr. Forman 1971 e ?

120) Weyl 1928, 48 tr. ingl.

121) Weyl 1928,40 tr. ingl.

trici di Heisenberg, Born e Jordan, ma non si dimentichi che, ai tempi in cui Weyl scriveva il suo libro, in Germania c'erano testi sulla meccanica quantistica come quello di Born e Jordan che neanche menzionano l'equazione di Schrödinger (122).

Per corroborare ulteriormente l'argomentazione sulla somiglianza tra Weyl e Thom si può menzionare una polemica del primo contro la quantità ed un apprezzamento di Aristotele:

Da tempo immemorabile la matematica è stata considerata come la scienza della quantità, o come la scienza dello spazio e dei numeri ... Questo punto di vista appare oggi troppo ristretto, se si tiene conto dei campi quali la geometria proiettiva o la teoria dei gruppi. Di conseguenza non occorre preoccuparsi in modo particolare di cosa si intenda per quantitativo. Del resto lo sviluppo stesso della matematica ha messo in dubbio il fatto che la quantità sia una categoria ben determinata e filosoficamente importante.

Per gli interi appare più appropriato l'ordine naturale che Aristotele introduce in opposizione alla concezione platonica del numero (123).

Abbiamo già incontrato poco sopra il dibattito sulla meccanica quantistica tra le due guerre, menzionando anche proprio il protagonista che viene in mente leggendo Thom, cioè Schrödinger. Come è ben noto il suo punto di vista (124)

122) Born & Jordan 1930.

123) Weyl 1949, 75, 77 tr. it. Ci si riferisce all'infinito potenziale di Aristotele, preferito all'infinito attuale di Platone, tipico della teoria degli insiemi. Ma si badi a non derivarne un presunto antiplatonismo generale di Weyl da contrapporre al realismo platonico di Thom. Tanto in Weyl quanto in Thom coabitano aspetti sia aristotelici che platonici perciò le posizioni relative vanno confrontate sul singolo problema matematico concreto. In questo caso è rilevante il comune antiformalismo. Cfr. p. 24-25.

124) Forman 1971; Tonietti 1976; Donini 1978 e 1979; Baracca et. al. 1979.

ondulatorio e causale venne statisticizzato e ridotto a strumento di calcolo. Ma, se lo si legge in originale, si trovano delle posizioni esplicitamente continuiste e si scopre che anche lui si è occupato di biologia.

Proprio nel lavoro che dimostra l'equivalenza formale tra meccanica ondulatoria e meccanica delle matrici, Schrödinger espone i due punti di vista come paralleli all'opposizione continuo verso discreto:

Nella meccanica di Heisenberg le variabili continue classiche sono rimpiazzate da dei sistemi di numeri discreti che dipendono da due numeri interi (matrici) e che sono determinati da equazioni *algebriche*. Gli autori stessi chiamano la loro teoria "la vera teoria del discontinuo".

Di contro, la meccanica ondulatoria fa un progresso rispetto alla meccanica classica, in una direzione esattamente opposta, va le a dire *verso una teoria del continuo*. Questa teoria sostituisce i fenomeni meccanici, descritti classicamente da un numero finito di funzioni soluzione di un numero finito di equazioni differenziali ordinarie, con un *campo continuo* di fenomeni nello spazio delle configurazioni governato da una equazione a *derivate parziali* unica ...⁽¹²⁵⁾.

In tal modo gli aspetti discreti delle scienze naturali - in questo caso le righe dello spettro dell'atomo di idrogeno - vengono dedotti da un mo dello continuo, una equazione del tipo delle onde. L'ala acausale ricava invece il discreto dal discreto (la matrice). La meccanica quantistica *secondo Schrödinger* è dunque da questo punto di vista una teoria analoga alla TdC e Zeeman si sbaglia se crede che:

Soltando recentemente è stato elaborato un metodo matematico per descrivere i fenomeni discontinui e divergenti ⁽¹²⁶⁾.

Del resto Schrödinger non rappresenta un'anomalia isolata nel dibattito tra i fisici degli anni '20, perché le sue posizioni sono affini a quelle di Einstein e di De Broglie da cui deriva ⁽¹²⁷⁾. Così Einstein seguita

125) Schrödinger 1926, 72 rist.

126) Zeeman 1976, 16 tr. it.

127) Forman 1969; Bergia 1979

a cercare una teoria generale dei campi, simile alla relatività generale, le cui singolarità siano i quanti⁽¹²⁸⁾.

Come sempre, quando c'è scontro tra punti di vista antagonisti, le questioni ideologico-filosofiche tendono a venire alla ribalta anche nelle scienze⁽¹²⁹⁾. Quindi non c'è da meravigliarsi se il dibattito sulla meccanica quantistica è intriso di progetti di sviluppo e di dichiarazioni programmatiche. Ma anche in questo Schrödinger si distingue perché viene da lui ammesso esplicitamente, come fattore non eliminabile dalle teorie scientifiche, l'influenza dell'ambiente culturale e del clima politico generale, che non è visto come una ingerenza indebita nei vari fatti scientifici, al contrario come un elemento necessario⁽¹³⁰⁾.

Gli interessi espliciti di Schrödinger per le questioni della biologia sono ampiamente documentabili dal suo saggio *Che cos'è la Vita?*⁽¹³¹⁾. Esso è tutt'altro che esornativo perché discute proprio l'influsso della nuova fisica nei confronti dei problemi biologici classici ed ha avuto un notevole impatto sull'assetto generale della disciplina. Va subito detto che le idee sulla biologia di Schrödinger sono sicuramente diverse da quelle di Thom su molti aspetti determinanti, basti pensare all'insistenza del primo sui meccanismi genetici ed alla sua ottica riduzionistica. Tuttavia la distinzione proposta, tra le regolarità della fisica come derivanti "dal disordine" (cioè dal "meccanismo statistico") e le regolarità della biologia che producono "l'ordine dall'ordine" (la struttura genetica), conduce ad aspettarsi che le leggi fisiche non bastino a spiegare la materia vivente. Solo che secondo Schrödinger il nuovo princi

128) Born & Einstein 1969, 27 tr. It.

129) Forman 1969 e 1971

130) Schrödinger 1932

131) Schrödinger 1944.

cipio dei quanti viene subito in soccorso (132)

In ogni modo questo interesse per la biologia da parte di un fisico teorico di professione è stato qualcosa di più di una eccentricità o di un caso. Né era isolato nel contesto del dibattito sulla meccanica quantistica (133), né poteva sembrare fuori luogo al Cavendish e nei laboratori di Copenhagen, che tanta parte ebbero anche per l'assetto attuale della biologia avendone avuto per la fisica. Già, si tratta proprio dell'assetto che Thom critica, ma come escludere allora per partito preso oggi che una nuova crisi delle scienze esatte possa coinvolgere ed essere stimolata da un particolare modo di guardare ai problemi della biologia?

132) ibidem 189-190 tr. it.

133) Jordan 1947, 61 e seg. "Fin dal 1922 molti scienziati hanno percepito che nello studio dei processi di emissione e di assorbimento della luce la fisica è andata vicina al problema della vita "L.L. White Archimedes or the Future of Physics London 1928, 95 citato in Forman?

"Ogni frase che dico deve essere intesa non come una affermazione, ma come una domanda"

N. Bohr.

Conclusioni.

Nella prima parte si è argomentato come la TdC non possa essere considerata una teoria in senso classico, bensì assomigli di più ad un paradigma nel senso di Kuhn. Ce lo fanno pensare, tanto il dibattito intenso che ha provocato, quanto le caratteristiche sociologiche di esso, che sono assai diverse da quelle di una normale *routine* di ricerca. Nella seconda parte si è analizzata la posizione di Thom, facendo vedere come il suo punto di vista sia largamente nonconvenzionale ed apertamente antagonista a quelli in genere creduti oggi nella comunità dei matematici, soprattutto circa la questione dell'autonomia della matematica dalle altre scienze e dalle concezioni "metafisiche". In particolare il paradigma delle catastrofi implica delle modifiche sostanziali in biologia, in fisica matematica ed in linguistica, circa i problemi da considerare importanti ed il modo di risolverli.

Nella terza parte si è mostrato come l'ideologia di Thom non spunti dal nulla, ma affondi le sue radici nelle crisi di ristrutturazione che hanno segnato l'evoluzione delle scienze nel nostro secolo. Ma le somiglianze evidenziate, con le posizioni sostenute allora dai grandi "sconfitti" come Poincaré, Volterra, Weyl, Einstein, Schrödinger, non devono in alcun modo farci concludere che Thom sia un nostalgico fuori moda già sorpassato dalla storia. Piuttosto le sue posizioni ci costringono a riesaminare le modalità di quella grande trasformazione per criticarne gli esiti principali: lo schema quantistico in fisica, lo schema algebrico-formale in matematica, che tanto condizionano le nostre attuali pratiche di ricerca, talvolta anche al di là delle scienze esatte.

A causa di tutto questo il caso Thom merita grande attenzione. Per i

sociologi costituisce l'occasione per seguire, da vicino e mentre il fenomeno si svolge, le vicende di una critica generatasi nella comunità scientifica in rapporto alle reazioni che provoca, sia allo interno che all'esterno di essa. Test raro, che consente - anche di mettere in luce, senza troppi pudori e reticenze, i reali modi di produzione di risultati scientifici nelle società capitalistiche postindustriali, più determinati dagli interessi di casta delle corporazioni che da qualche presunta regola normativa o residuo conoscitivo.

Ai *filosofi* dovrebbe allora far capire - se vogliono confrontarsi con le procedure reali di ricerca e non solo con le ricostruzioni razionali dei risultati - che, di fronte ai problemi delle innovazioni scientifiche e soprattutto alle esigenze (esterne o interne alla comunità scientifica che siano) di mutamento radicale, i protocolli normativi (di stampo positivistico) hanno solo una funzione di freno e di filtro. I comportamenti dei ricercatori, insieme ai prodotti ottenuti per loro tramite nella fabbrica scientifica, sono ben più ricchi e complessi di quanto sarebbe desiderabile da chi, con funzione di gendarme, insegue astratti criteri di demarcazione su cosa sia o non sia la fisica, la matematica, la biologia.

Dalle *posizioni* di Thom - come del resto dalla Analisi non-standard di A. Robinson - gli *storici* debbono imparare a guardare sotto una luce nuova i secoli di evoluzione scientifica passata, per riesaminarne i modelli e le modalità. Che valore può avere parlare di progresso scientifico se posizioni credute dissolte, attraverso un puro esercizio di "razionalità", riemergono e trovano giustificazione in contesti scientifici e sociali mutati? *No*, quindi ha senso immaginarsi per le scienze uno sviluppo lineare e cumulativo, che avanza inarrestabile scartando definitivamente le non-scienze, né si riescono a fornire spiegazioni sufficienti limitandosi a commentare i teoremi, le teorie, gli esperimenti in un ordine logico e manualistico.

C'è bisogno di qualche cosa di più, come "ci vorrà qualcosa di più dei paradossi e dei risultati di Gödel per sollecitare i filosofi a prendere in seria considerazione gli aspetti empirici della matematica"⁽¹³⁴⁾. Ma Lakatos, ancora legato al popperismo che lo spinge a tratteggiare uno schema falsificazionista anche per la matematica in polemica col neopositivismo, nonostante questa ammissione sorprendente non ci dice nulla sulla natura di questa lacuna, perché nella sua concezione storiografica non può dircelo. Del resto c'è bisogno di qualche cosa di più anche del paradigma di Kuhn, nonostante che l'abbiamo usato abbondantemente nel presente lavoro, se vogliamo capire la portata della controversia sulle catastrofi. Siccome questo schema rimane metodologico e quindi del tutto insufficiente a spiegare le rivoluzioni scientifiche, se non si passa alla analisi reale della dinamica delle istituzioni di ricerca, dei confronti culturali, dei flussi finanziari, delle procedure di formazione del consenso, senza fare un salto di qualità in tale direzione è impossibile affrontare la questione sollevata sopra. La Teoria delle Catastrofi rappresenta una rivoluzione scientifica?

Visto che le rivoluzioni scientifiche (da quella copernicana a quella quantistica) sono tali solo se entrano in relazione con le linee di trasformazione del contesto sociale nel quale avvengono, anche la TdC può diventarlo, ma a patto che sappia rendere coerente il proprio essere espressione di una crisi generale delle scienze con le particolari manifestazioni delle più profonde crisi economiche, politiche e sociali. Bisogna quindi andare molto cauti nel trasformare l'antagonismo delle catastrofi in una rivoluzione trionfante, ma bisogna anche negare che si abbia di fronte la solita rivoluzione impossibile. Di fatto le posizioni di Thom sulla matematica e sulle scienze in generale corrodono alcuni pilastri portanti dell'establishment della ricerca: l'autonomia delle scienze tra di loro e dall'ideologia, la divisione accademica del lavoro. Se si ripen

134) Lakatos 1976, 220 .

sa agli anni '20 si può capire come questi aspetti fossero coerenti, da un lato con l'aumento della produttività scientifica garantita - tayloristicamente come dicono i bourbakisti ⁽¹³⁵⁾ - dallo schema quantistico ed algebrico-formale, dall'altro con i fermenti culturali, le innovazioni tecnologiche e produttive, le trasformazioni sociali di una società come quella mitteleuropea che era costretta a cercare nuovi equilibri.

(Febbraio 1979)

135) Bourbaki 1948,42.

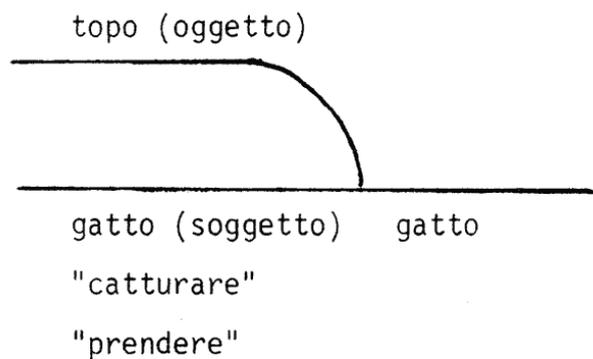
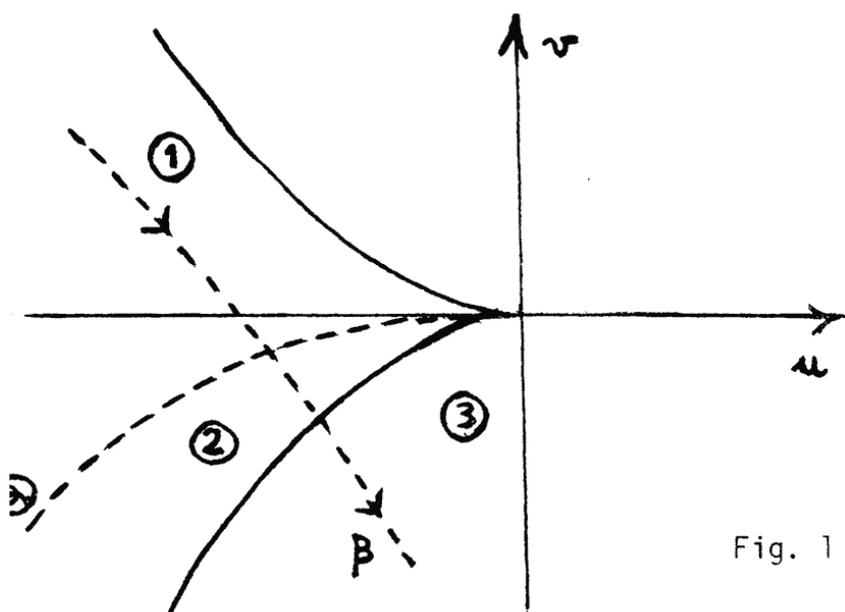
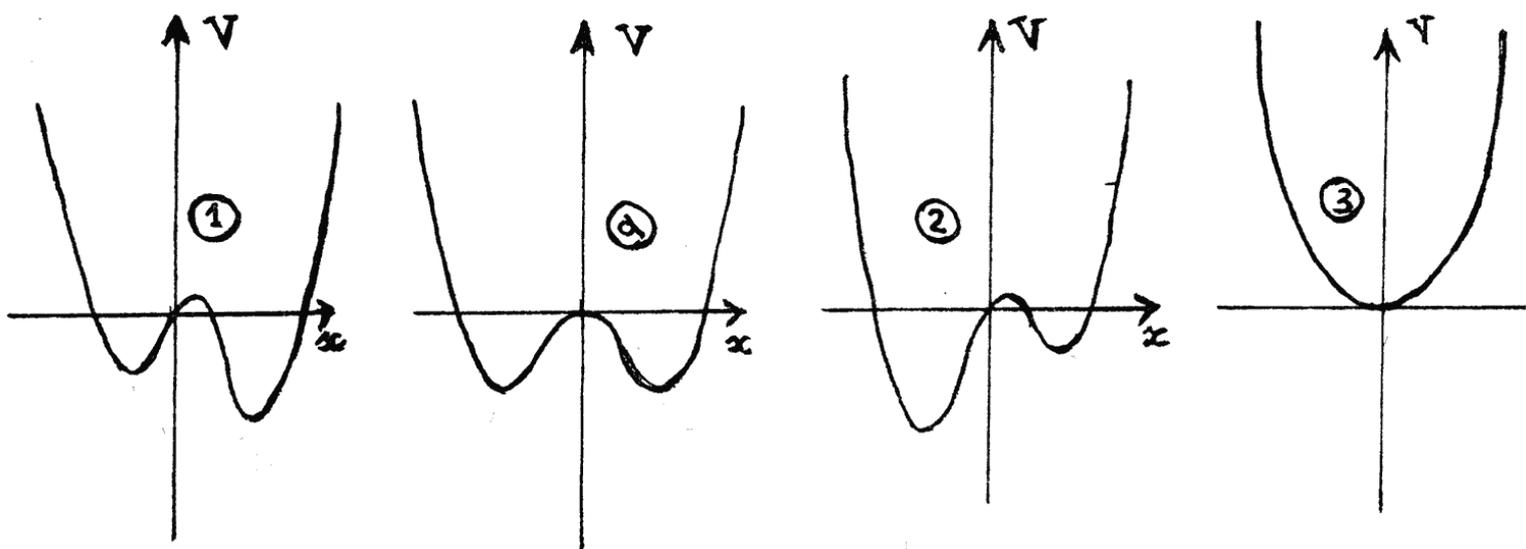


Fig. 1

$V' = \frac{x^4}{4}$ è singolare ed instabile nell'origine, il suo svolgimento stabile è $V = \frac{x^4}{4} + u \frac{x^2}{2} + v x$. Essa è singolare nei punti $\frac{\partial V}{\partial x} = x^3 + ux + v =$ del piano u, v (cuspidine disegnata in figura). Fissati u e v si studiano i massimi ed i minimi di V ottenendo le quattro forme base della figura, relative alle regioni 1, 2, 3, ed alla curva tratteggiata α . Una curva disegnata nel piano u, v descrive un conflitto se taglia α ad esempio seguendo β lungo la freccia si passa da due minimi di potenziale (il topo ed il gatto) ad un unico minimo (il gatto) ed il processo viene descritto dal grafico di cattura.

"CLASSICAL"
MATHEMATICIANS

"MODERN"
MATHEMATICIANS

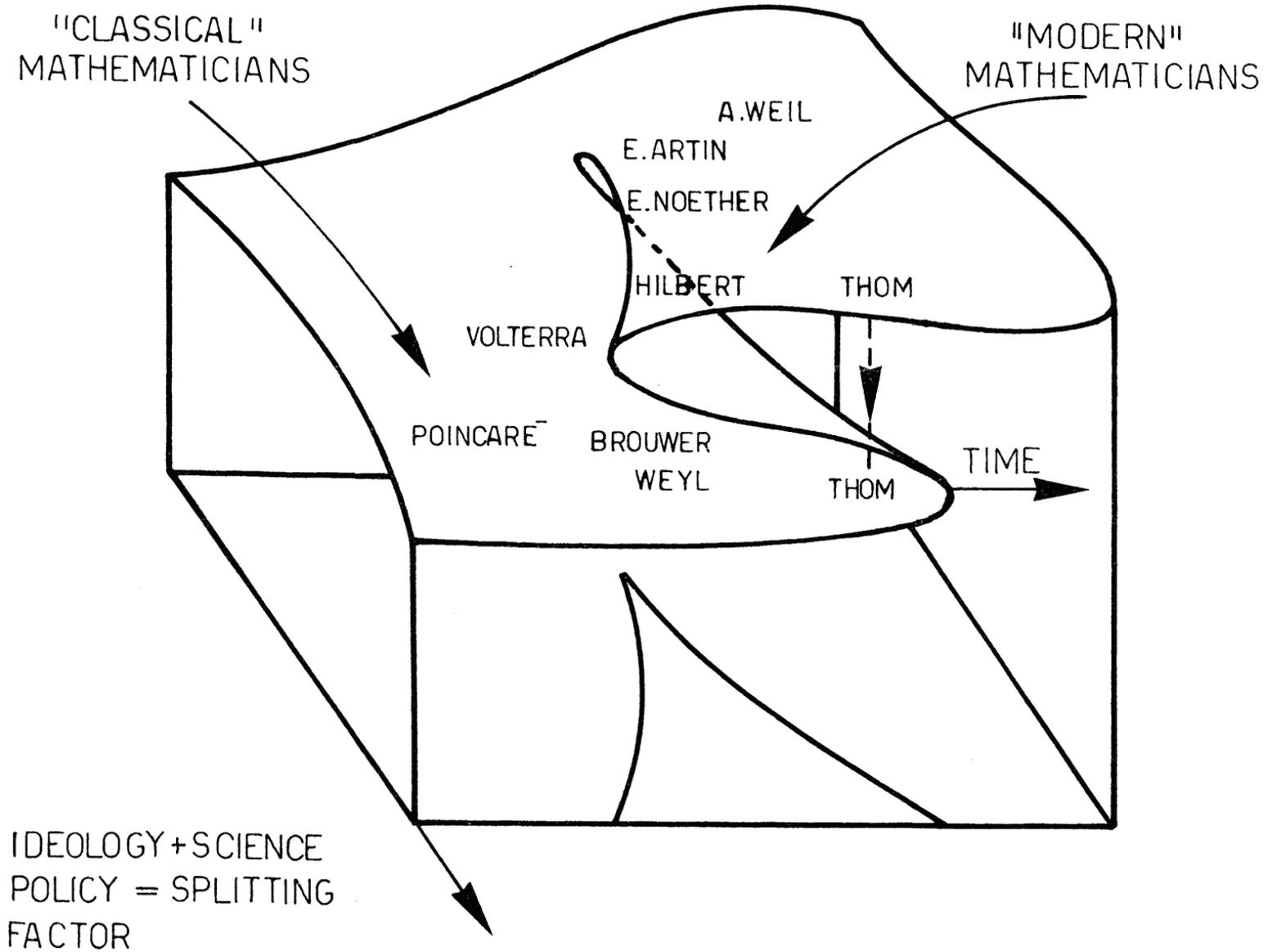


Fig. 2

B I B L I O G R A F I A

ALEXANDROV P.

- 1956 "Topology" in MATEMATIKA A.D. Alexandrov, A.N. Kolmogorov, M.A. Lavrent'ev (ed.) Mosca ; tr. ingl. in *Mathematics. Its Content, Methods and Meaning* MIT Press 1969, 193-225.

ANGELONI G.

- 1978 "La nascita è una 'catastrofe?" *l'Unità* 22/2

APPLE K. HAKEN W.

- 1977 "The Solution of the four-colour-map-problem" *Scientific American* 237, 4 (Oct.) 108-121 tr. it. "La soluzione del problema dei quattro colori" *Le Scienze* XX (Genn. 1978), 54-65.

ATIYAH M.F.

- 1978 "Geometry of Yang-Mills Fields" in *Mathematical Problems in Theoretical Physics* G. Dell'Antonio, S. Doplicher, G. Jona-Lasinio (ed.) LNP 80 Berlino Springer V., 216-

BALLARDIN G.

- 1978 "Thom: ho la formula che spiega i disastri" *Corriere della Sera Illustrato* 4/2,4 -

BARACCA A. ROSSI A.

- 1976 *Marxismo e Scienze Naturali* Bari De Donato

BARACCA A. LIVI R. RUFFO S.

- 1979 "Le tappe dello sviluppo della teoria dei quanti nel quadro della seconda rivoluzione industriale e delle contraddizioni del capitalismo del primo dopo-guerra". *Testi e contesti* in corso di stampa

BARI-KOLATA G.

- 1977 "Catastrophe Theory: The Emperor has no clothes" *Science* 196, 287-

BARUK S.

- 1973 *Echec et Maths* Paris Seuil

- 1977 *Fabrice ou l'école des mathématiques* Paris Seuil

BELLAIRS R. GOODWIN B. MACKLEY M.B.

1977 lettera a *Nature* 270, 382.

BENINCASA C.

1978 *Architettura come dis-identità. Teoria delle Catastrofi ed architettura* Bari Dedalo.

BERGIA S.

1979 "Einstein nel centenario della nascita: un itinerario essenziale attraverso l'opera e la critica" *Testi e Contesti*, 1, 69-90.

BERRY M.

1977 lettera a *Nature* 270, 382-83

BETTINI V.

1977 *Contro il nucleare* Milano Feltrinelli

BIRKHOFF G.

1976 "The Rise of Modern Algebra to 1936" in *Men and Institutions in American Mathematics* J.D. Tarwater, J.T. White, J.D. Miller (ed.) Texas Tech Press, 41-63.

BOITI M. BOSCOLO I. DONINI E. ROSSI A. TONIETTI T.

1979 "Un <<sovvertimento inevitabile" *Sapere* 817 (febb. 1979), 53-57.

BORN M. JORDAN P.

1930 *Elementare Quantenmechanik* Berlin Springer V.

BORN M. EINSTEIN A.

1969 *Briefwechsel 1916-1955* München Nymphenburger Verlagshandlung; tr.it. *Scienza e Vita Lettere 1916-1955* Torino Einaudi 1973

BOURBAKI N.

1948 "L'architecture des Mathématiques" in *Les Grandes Courants de la Pensée Mathématiques* Le Lionnais (ed.) Cahiers du Sud, 35-47

1960 *Eléments d'histoire des mathématiques* Paris Hermann; tr. it. *Elementi di storia della Matematica* Milano Feltrinelli 1963.

BRÖCKER T.

1975 *Differential Germs and Catastrophes* Cambridge U.P.

CHEVALLEY C. WEIL A.

- 1957 "Hermann Weyl (1885-1955)" *L'Enseignement Mathématique* tome III
fas. 3 rist. in H. Weyl *Gesammelte Abhandlungen* IV Springer V.
1968,655-685.

CHILLINGWORTH D.R.J.

- 1976a *Differential Topology with a view to applications* London Pitman
1976b Lettera a *New Scientist* 72 (14 ott.)

CICCOTTI G. CINI M. DE MARIA M. JONA-LASINIO G.

- 1976 *L'Ape e l'Architetto* Milano Feltrinelli

CILIBERTO S. et alia

- 1977 *I nucleodollari* Firenze CP Editrice

COURANT R. HILBERT D.

- 1924 *Methoden der Mathematischen Physik* I Berlin Springer V.; tr. ingl.
Methods of Mathematical Physics New York Interscience 1966

CROLL J.

- 1976 "Is catastrophe theory dangerous?" *New Scientist* 70,630-32

D'ARCY THOMPSON W.

- 1917 *On Growth and Form* abridged ed. Cambridge U.P. 1975

DAVIS CHANDLER

- 1974 "Materialist Mathematics" in *For Dirk Struik* R.S. Cohen, J.J. Sta-
chel, M.W. Wartofsky (ed.) Dordrech Reidel, 37-66

DEAKIN M.A.B.

- 1977 Lettera a *Science* 196,1272

DIEUDONNE' J.

- 1964 "Recent development in Mathematics" *American Mathematical Monthly*
71,239-248
1965 "Mathematics" *Collier's Encyclopedia* vol. 15,541-552
1970 "The Work of N. Bourbaki" *American Mathematical Monthly* 77,134-145
1973 "Should we teach 'modern' mathematics?" *American Scientist* 61,
16-19

- 1977 *Panorama des mathématiques pures. La Choix bourbachique* Paris Gauthier-Villars.
- 1978 (ed.) *Abrégé d'histoire des mathématiques 1700-1900* Paris Hermann
DODSON M.
- 1977 Lettera a *Nature* 270, 658
DONINI E.
- 1978 "La meccanica quantistica tra Germania e USA" *Sapere* 812, 55-62
- 1979 "Scienze a Weimar: un nodo storico" *Testi e Contesti* 1, 13-24.
DONINI E. TONIETTI T.
- 1977 "Lo scientifico è politico" *Quaderni Piacentini* 62/63, 99-133
- 1978 "Conoscenza e Pratica" *Sapere* 808, 16-19
DONINI E. ROSSI A. TONIETTI T.
- 1977 (ed.) *Matematica e Fisica: Struttura e Ideologia* Bari De Donato
E.H.
- 1978 "A Short History of the Fields Medal" *The Mathematical Intelligencer*
1, 127-129.
EARMAN J. GLYMOUR C.
- 1978 "Einstein and Hilbert: two months in the history of General Relativity" *Archive for History of Exact Sciences* 19, 291-308
EILENBERG S.
- 1969 "The Algebraization of Mathematics" in *The Mathematical Sciences*
COSRIMS MIT Press; tr. it. *Le Scienze Matematiche* Bologna Zanichelli
1973, 177-184.
FANG J.
- 1970 *Bourbaki* New York Paideia Press
FISHER C.S.
- 1966 "The Death of a Mathematical Theory" *Archive for History of Exact Sciences* 3, 137-159.
FORMAN P.
- 1969 "Why was it Schrödinger who developed de Broglie's Ideas?" *Historical Studies in the Physical Sciences*, 1, 291-314.

- 1970 "Alfred Landé and the Anomalous Zeeman Effect. 1919-1921" *Historical Studies in the Physical Sciences* 2,153-261
- 1971 "Weimar Culture, Causality and Quantum Theory 1918-1927: Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment" *Historical Studies in the Physical Sciences* 3, 1-115.
- 1974 "The Financial Support and political Alignment of Physicists in Weimar Germany" *Minerva* 12,39-66
- ? "The Reception of an Acausal Quantum Mechanics in Germany and Britain" *Proceedings of The Reception of Unconventional Science by the Scientific Community AAAS*; tr. it. *Fisici a Weimar* a cura di T. Tonietti in corso di pubblicazione presso Einaudi, che comprende tutti i lavori di Forman citati.
- GIORELLO G. MONDADORI M.
- 1977 "La sfida del matematico" *l'Unità* 15/11
- GÖDEL K.
- 1931 "Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I" *Monatshefte für Mathematik und Physik* 38 173-198; tr. ingl. "On Formally undecidable propositions of *Principia Mathematica* and related systems I" in *From Frege to Gödel* J. van Heijenoort (ed.) Cambridge Harvard U.P. 1967,596-617.
- GOODWIN B.C.
- 1973 "Mathematical Metaphor in Development" recensione a THOM 1972 *Nature* 242,207-208
- GRIFFITHS H.B. HOWSON A.G.
- 1974 *Mathematics: Society and Curricula* Cambridge U.P.
- GROSS M.
- 1972 *Mathematical Models in Linguistics* Englewood Cliffs Prentice-Hall
- GROSS M. LENTIN A.
- 1970 *Introduction to Formal Grammars* Berlino Springer V.
- GUCKENHEIMER J.
- 1973 recensione a THOM 1972 *Bulletin of the American Mathematical Society* 79,878-890
- 1977 lettera a *Nature* 270,383 - 84
- 1978 "The Catastrophe Controversy" *The Mathematical Intelligencer* 1,15-20

HILBERT D.

- 1890 "Über die Theorie der Algebraischen Formen" *Mathematischen Annalen* Bd. 36,473-534; rist; in *Gesammelte Abhandlungen II*,199-257 Berlino Springer V. 1933 (1970)
- 1899 *Grundlagen der Geometrie* Leipzig, 7ma ed. Teubner 1930;tr.it. *Fondamenti della Geometria* Milano Feltrinelli 1970
- 1900 "Mathematische Probleme " *Göttinger Nachrichten*, 253-297; rist. in *Gesammelte Abhandlungen III* Springer V. 1935(1970),290-329; tr. fran. "Sur les Problèmes futurs des mathématiques" in *Compte Rendu du Deuxième Congrès International des Mathématiciens (Paris 1900)* Paris Gauthier-Villars 1902. 58-114; tr. ingl. "Mathematical Problems" *Bulletin of the American Mathematical Society* 8 (1901/2),437-479
- 1915-17 "Die Grundlagen der Physik " *Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft zur Göttingen*, 395-407 e (17), 53-76
- 1924 "Die Grundlagen der Physik " *Mathematischen Annales* Bd. 92,1-32; rist. in *Gesammelte Abhandlungen III* Springer V. 1935(1970), 258-289.

HILTON P.

- 1976 (ed.) *Structural Stability, The Theory of Catastrophes and Applications in the Sciences* LNM 525 Berlino Springer V.

HODGKIN L.

- 1976 "Politics and Physical Sciences" *Radical Science Journal* 4, 29-60; tr. it. "Ricerca matematica e ideologia" *Sapere* 808 (1978 Febb.),2-15

ISRAEL G.

- 1977 "Un aspetto ideologico della matematica contemporanea: il 'bourbakismo'" in DONINI, ROSSI, TONIETTI (ed.) 1977,35-70

JAUBERT A. LEVY-LEBLOND J-M.

- 1973 (ed.) *(auto)critique de la science* Paris Seuil

JORDAN P.

- 1947 *Das Bild der modernen Physik* Hamburg Stromverlag; tr. it. *L'immagine della Fisica Moderna* Milano Feltrinelli 1964

JUNGK R.

- 1977 *Der Atom-Staat. Von Fortschritt in die Ummenschlichkeit* München Kindler V.; tr. it. *Lo stato atomico* Torino Einaudi 1978.

KLINE M.

1972 *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times* New York Oxford U.P.

1973 *Why Johnny can't add* St. Martin's Press New York

1977 *Why the Professor can't teach* New York St. Martin's Press

KUHN T.S.

1962 *The Structure of Scientific Revolutions* The University of Chicago Press; tr. it. *La Struttura delle Rivoluzioni Scientifiche* Torino Einaudi 1969

1975 "Tradition mathématique et tradition expérimentale dans le développement de la physique" *Annales* 30, 975-998

LAKATOS I.

1976 "A Renaissance of Empiricism in the Recent Philosophy of Mathematics" *British Journal of Philosophy of Science* 27, 201-223; rist. in *Mathematics Science and Epistemology* I. Lakatos Cambridge U.P. 1978, 24-42

1978 "Cauchy and the Continuum: the significance of non-standard analysis for the history and philosophy of mathematics" in I. Lakatos *Mathematics Science and Epistemology* Cambridge U.P. 1978, 43-60; rist. in *The Mathematical Intelligencer* 1, 151-161

LAKATOS I. MUSGRAVE A.

1970 (ed.) *Criticism and the Growth of Knowledge* Cambridge U.P.; tr. it. *Critica e Crescita della Conoscenza* Milano Feltrinelli 1976

LANGEVIN P. DE BROGLIE M.

1912 (ed.) *La Théorie du Rayonnement et les quanta* (Solvay 1911) Paris Gauthier-Villars

LEFSCHETZ S.

1962 "Topology" in *Recent Soviet Contribution to Mathematics* J.P. LaSalle, S. Lefschetz (ed.) New York Macmillan. 287-299

LEVY-LEBLOND J.-M.

1977 "Des Mathématiques Catastrophiques" *Critique* XXXIII, 430-441

LEWIS M.

1977 Lettera a Science 196, 1270

LU YUNG-CHEN

- 1976 *Singularity Theory and an Introduction to Catastrophe Theory*
Berlino Springer V.

MANACORDA P.M.

- 1976 *Il Calcolatore del Capitale* Milano Feltrinelli

MARMO G. VITALE B.

- 1977 "La Teoria delle Catastrofi" *Sapere* 804, 17-28; tr. ingl. "Quality, Form, and Globality: an assessment of Catastrophe Theory" in corso di pubblicazione su *Fundamentae Scientiae*.

MARTIN J. NORMAN A.R.D.

- 1970 *The Computerized Society* Englewood Cliffs Prentice-Hall

MARX K. ENGELS F.

- 1932 *Die Deutsche Ideologie* MEGA vol. V; tr. it. *L'Ideologia Tedesca*
Roma Editori Riuniti 1967

MC CORMMACH R.

- 1967 "Henry Poincaré and the Quantum Theory" *ISIS* 58,37-55

MEHRA J.

- 1974 *Einstein, Hilbert and the Theory of Gravitation* Dordrecht Reidel

NOVIKOV S.P.

- 1978 "Periodic Solitons and Algebraic Geometry" in *Mathematical Problems in Theoretical Physics* G. Dell'Antonio, S. Doplicher, G. Jona-Lasinio (ed.) LNP 80 Berlino Springer V., 222-

PANATI C.

- 1976 "Catastrophe Theory" *Newsweek* January 19

PIATTELLI PALMARINI M.

- 1977a "I numeri delle catastrofi" *Corriere della Sera* 14/5

- 1977b "Con le catastrofi cambia la geometria" *Corriere della Sera* 17/7

POINCARÉ' H.

- 1892 *Les Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste* Paris Gauthier-Villars

- 1902 "Du role de l'Intuition et de la logique en Mathématiques" *Compte Rendu du Deuxième Congrès International des Mathématiciens* (Paris 1900) Paris Gauthier-Villars, 115-130.
- 1908 *Science et Méthode* Paris Flammarion
POLLOCK F.
- 1956 *Automation* Francoforte Europäische Verlagsanstalt; tr.it. *Automazione* Torino Einaudi 1956
POMIAN K.
- 1977 "Catastrofi" *Enciclopedia Einaudi* Vol. II, 789-803
POPPER K.R.
- 1934 *Logik der Forschung* Vienna; tr. it. *Logica della Scoperta Scientifica* Torino Einaudi 1970
POSTON T. STEWART I.N.
- 1976 *Taylor Expansions and Catastrophes* London Pitman
- 1978 *Catastrophe Theory and its Applications* London Pitman
REGAZZONI E.
- 1977 "Che cosa intendo per 'catastrofe'" *La Repubblica* 18/11
ROBINSON A.
- 1966 *Non-Standard Analysis* Amsterdam North-Holland
- 1972 "The Metaphysics of the Calculus" in *Problems in the Philosophy of Mathematics* I.Lakatos (ed.) Amsterdam North-Holland, 28-40.
ROSE H. ROSE S.
- 1976a (ed.) *The Political Economy of Science* London Macmillan Press
- 1976b (ed.) *The Radicalization of Science* London Macmillan Press
ROSEN R.
- 1977 Lettera a *Science* 196, 1271-72
ROSENHEAD J.
- 1976 "Prison 'catastrophe'" *New Scientist* 71, 740
ROSSI A.
- 1977 "Epistemologia e Prassi Scientifica" *Sapere* 1° parte 797, 31-35
2° parte 804, 35-45.

SCHRÖDINGER E.

- 1926 "Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Quantenmechanik zur der meinen" *Annalen der Physik* 79,734-756 rist.
"Sur les rapports qui existent entre la mécanique quantique de Heisenberg-Born-Jordan et la mienne in *Mémoires sur la Mécanique Ondulatoire* Paris Librairie Alcan 1933,71-99
- 1932 *Ist die Naturwissenschaft milieubedingt? Über indeterminismus in der Physik* Lipsia Barth 1932; tr. it. "La fisica dipende dall'ambiente?" in E. Schrödinger *L'immagine del mondo* Torino Boringhieri 1963
- 1944 *What is Life? The Physical Aspects of the Living Cell*, Cambridge U.P. tr. it. in E. Schrödinger *Scienza e Umanesimo. Che cos'è la vita?* Firenze Sansoni

SENÉCHAL M.

- 1977 lettera a *Science* 196,1270

SPENGLER O.

- 1918 *Der Untergang des Abendlandes* München; tr. it. *Il Tramonto dell'Occidente* Milano Longanesi 1978

STARN R.

- 1971 "Historians and 'crisis'" *Past and Present* n. 52,3-22; tr. it. in *Le Origini dell'Europa Moderna* M. Rosa (ed.) Bari De Donato 1977, 309-336

STEWART I.

- 1975 "The seven elementary catastrophes" *New Scientist* 68,447-454
- 1977a lettera a *Nature* 270,382
- 1977b "Catastrophe Theory" *Encyclopedia Britannica* book of the year
- 1978 lettera a *The Mathematical Intelligencer* 1,62

STRUİK D.

- 1967 *A Concise History of Mathematics* New York Dover

SUSSMANN H.J.

- 1975 "Catastrophe Theory" *Synthese* 31,229-270
- 1978 "On some self-immunization Mechanisms of Applied Mathematics: the case of Catastrophe Theory" in *Optimization Techniques* J. Stoer (ed.) Berlino Springer V., 63-84.

SUSSMANN H.J. ZAHLER R.

- 1978 "Catastrophe Theory as applied to the social and biological sciences, a critique" *Synthèse* 37,117-216
- TESSIER B.
- 1978 lettera a *The Mathematical Intelligencer* 1,64
- THOM R.
- 1968 "Une théorie dynamique de la morphogénèse" in WADDINGTON 1968, 152-66; rist. in THOM 1974b, 252-271
- 1970 "Topologie et Linguistique" in *Essays on Topology and Related Topics* (ded. G. de Rham) A. Haefliger, R. Narasimhan (ed.) Berlino Springer V., 226-248; rist. in THOM 1974b, 148-177
- 1971 "'Modern' Mathematics; an educational and philosophic Error?" *American Scientist* 59,695-699
- 1972 *Stabilité Structurelle et Morphogénèse* Reading Benjamin; tr. it. in corso di stampa da Einaudi.
- 1973a "La science malgré tout ..." *Encyclopaedia Universalis* vol.17 Paris, 5-10
- 1973b "Modern mathematics; does it exist?" in Howson (ed.) *Developments in Mathematical Education* Cambridge U.P., 194-209
- 1973c "Langage et Catastrophes: Eléments pour une Sémantique Topologique" in *Dynamical Systems* M. Peixoto (ed.) New York Academic Press, 619-654; rist. in THOM 1974b, 89-126.
- 1974a "La Linguistique, discipline morphologique exemplaire" *Critique* XXX 235-245
- 1974b *Modèles Mathématiques de la Morphogénèse* Paris UGE 10/18
- 1975a "Les Mathématiques et l'intelligible" *Dialectica* 29,71-80
- 1975b "D'un modèle de la science à une science des modèles" *Synthèse* 359-374.
- 1976a Introduzione a *Trois Etudes en Dynamique Qualitative*, *Asterisque* 31,3-13
- 1976b "The two-fold way of catastrophe Theory" in HILTON 1976, 235-252
- 1976c replica a CROLL 1976 *New Scientist* 70,632
- 1976d "La Théorie des catastrophes" *Le Monde*, 22/12
- 1976e "Une mathématique du continu est-elle possible?" in *Langage et Pensée Mathématiques* Actes du Colloque International, Centre Universitaire de Luxembourg, 299-307.

- 1977a "Structural Stability, Catastrophe Theory and Applied Mathematics"
SIAM Review 19,189-201
- 1977b lettera a *Nature* 270,658
- 1977c risposta a LEVY-LEBLOND 1977 *Critique* XXXIII, 675-681
- 1977d "What is Catastrophe Theory about?" in *Synergetics. A Workshop* H. Haken (ed.) Berlino Springer V., 26-32.
- TONIETTI T.
- 1976 "Il dibattito sui fondamenti della meccanica quantistica "
Sapere 788,19-26
- 1977 "Algebra e Teoria degli insiemi nell'insegnamento medio e superiore" *Sapere* 805,56-64
- 1979 "La Matematica è una opinione?" *Quaderni dell'Istituto di Matematica dell'Università di Lecce* in corso di stampa
- ? "Dal caso 'Weimar' di P. Forman ad un modello 'integrale' di storia delle scienze" poscritto a P. Forman *Fisici a Weimar* in corso di pubblicazione da Einaudi
- VAN DER WAERDEN B.L.
- 1931 *Moderne Algebra* Berlino Springer V.; tr. ingl. *Modern Algebra* New York Frederick Ungar 1949
- VOLTERRA V.
- 1884 "Sopra un problema di elettrostatica" *Nuovo Cimento* XVI,49-57; rist. in *Opere Matematiche I* Roma Accademia Nazionale dei Lincei 1954,188-195
- 1901 "Sui tentativi di applicazione delle matematiche alle scienze biologiche e sociali" *Annuario Regia Università di Roma* (1901/2), 3-28; rist. in *Opere Matematiche III* Roma 1957,14-29
- 1931 *Leçons sur la Théorie Mathématique de la lutte pour la vie* Paris Gauthier-Villars
- WADDINGTON C.H.
- 1968-72 (ed.) *Towards a Theoretical Biology* in quattro volumi Edinburgh U.P.
- WALGATE R.
- 1975 "R. Thom clears up catastrophe" *New Scientist* 68,578
- WECHSLER J.
- 1978 (ed.) *On Aesthetics in Science* MIT Press Cambridge

WEIL A.

- 1948 "L'avenir des Mathématiques" in *Les Grandes Courants de la pensée mathématique* Le Lionnais (ed.) Cahiers du Sud, 307-320

WEYL H.

- 1918a *Das Kontinuum* Leipzig; tr.it. *Il Continuo* Napoli Bibliopolis 1977
- 1918b *Raum Zeit Materie* Berlino; tr. ingl. *Space Time Matter* New York Dover 1950
- 1928 *Gruppentheorie und Quantenmechanik* Leipzig; tr. ingl. *The Theory of Groups and Quantum Mechanics* New York Dover 1931
- 1939 *The Classical Groups* Princeton U.P.
- 1949 *Philosophy of Mathematics and Natural Sciences* Princeton U.P.; tr. it. *Filosofia della Matematica e delle Scienze Naturali* Torino Boringhieri 1967. Ampliamento di un articolo scritto nel 1926 per l'*Handbuch der Philosophie*

WOODCOCK A.E.R.

- 1977 Lettera a *Nature* 270,384

WOODCOCK A.E.R. POSTON T.

- 1974 *A geometrical study of the elementary catastrophes* LNM 373 Berlino Springer V.

WOODCOCK A.E.R. DAVIS M.

- 1978 *Catastrophe Theory: the revolutionary new way of understanding how things change* New York Dutton.

ZAHLER R.S.

- 1978 Lettera a *Nature* 271, 401

ZAHLER R.S. SUSSMANN H.J.

- 1977 "Claims and accomplishments of applied catastrophe theory" *Nature* 269, 759-763

ZEEMAN E.C.

- 1971 "The Geometry of Catastrophe" *Times Literary Supplement* 10/12
- 1974 "Research ancient and modern" in ZEEMAN 1977/a, 605-614
- 1976 "Catastrophe Theory" *Scientific American* (Apr.), 65-83; tr. it. "La teoria della Catastrofe" *Le Scienze* 96(Ag.), 16-29
- 1977a *Catastrophe Theory Selected Papers 1972-1977* Reading Addison-Wesley
- 1977b Lettera a *Nature* 270, 381.

I N D I C E

Simpatie esterne e reazioni interne; le caratteristiche di un paradigma?	pag. 1
Thom ed il paradigma delle catastrofi	" 13
Thom e la storia delle scienze	" 34
Conclusioni	" 53
Bibliografia	" 59