

FISICA SPERIMENTALE, MATEMATICA E TEORICA NELL'800 EUROPEO

F.Bevilacqua
Dipartimento di Fisica A. Volta
Università di Pavia
GNSF - Unità di Pavia

In un recente volume¹ è stato sottolineato che il "detto di Galileo: prima furono le cose e poi i nomi, oggi può sollevare gravi dubbi le cose e i loro nomi entrano insieme nel problema, in modo inestri-cabile". Analogamente nel 1976² era stata sottolineata l'importanza acquisita durante l'800 dal "mondo di carta" della teoria nei con-fronti del "mondo sensibile" . Ma questa linea di pensiero non é nuova: già nel 1910 si argomentava³ che nell'800 "ai concetti che indicano un'esistenza si contrappongono i concetti che esprimono soltanto una forma di connessione". D'altra parte quest'approccio, che anticipa l'idea della theory ladenness della moderna filosofia della scienza, fu una conquista degli scienziati del secolo scorso che non era sfuggita alla riflessione dell'epoca:

"la fisica...comprende anche la teoria di quegli agenti che prima venivano definiti (entità) imponderabili (luce, calore, elettricità, magnetismo, etc .) e tutti questi sono ora considerati come forme del moto, come differenti manifestazioni della stessa fondamentale energia".⁴

C'è un certo accordo dunque sul fatto che nell'800 le sostanze della fisica diventano funzioni e che queste funzioni sono strettamente connesse alle varie teorie in gioco. Ma come e dove esattamente avviene questo processo di sviluppo di una fisica teorica a partire da una fisica sperimentale e matematica? Che l'emergere della fisica teorica come attività professionalmente ben definita fosse il tratto caratteristico del secolo scorso era stato accennato in un breve scritto alcuni anni fa⁵ ma non mi sembra che sia stata fatta ancora un'analisi comparata dei contributi delle tradizioni "nazionali" all'intreccio di esperienza, matematica e teoria di cui sopra.

Gli sviluppi delle tradizioni matematiche e sperimentali nel '6-700 sono stati oggetto di un'affascinante interpretazione da parte di T.Kuhn.⁶

Kuhn é d'accordo con Koyre e Butterfield per i quali la rivoluzione scientifica fu un evento caratterizzato prevalentemente da una rivoluzione concettuale, ma ciò solo per quel che riguarda le scienze classiche (discipline sia mature, matematizzate, con propri libri di testo e cioè per l'astronomia, l'armonia, la matematica, l'ottica geometrica e la statica. Invece il metodo sperimentale fu determinante per l'emergere di nuove discipline: la chimica, il magnetismo, l'elettricità, la termometria, l'ottica.

Pochi scienziati, come Galileo e Newton, contribuirono ad entrambi i gruppi di discipline, ma fu proprio dalle opere di Newton che iniziarono le due grandi tradizioni settecentesche. I Principia da una parte diedero inizio ad una tradizione "classica" di fisica matematica, che si sviluppò prevalentemente in Francia e i cui esponenti di spicco

¹ Toraldo (1986) p. 195.

² Bellone (1976) p. 165.

³ Cassier (1973) p. 223.

⁴ Stallo (1882).

⁵ Mc Cormmach (1971) p. XVII.

⁶ Khun (1977a).

furono J. e D. Bernoulli, D'Alembert, Eulero, Clairaut e Lagrange. L'Opticks, d'altra parte fu all'origine una tradizione sperimentale, diffusa principalmente in Inghilterra, che vide tra gli altri i contributi di Boyle, Hooke, Hauksbee, Gray, Black, Priestley, sperimentatori che fino al 1780 furono superiori ai loro colleghi continentali.

Una convergenza tra le due linee avviene nella Francia di fine secolo, quando nel 1760 a Nollet e a Monge vengono dati insegnamenti di fisica sperimentale, nel 1783 Lavoisier inventa il famoso calorimetro a ghiaccio e nel 1785 Coulomb la sua raffinata bilancia di torsione. Nel 1785 viene anche aperta una sezione di Fisica sperimentale all'interno della divisione matematica dell'Accademia di Parigi.

2 - A Laplace e alla sua scuola si deve una sintesi tra la tradizione della meccanica razionale e quella delle scienze baconiane, all'interno di un programma di ricerca che si basa sull'azione a distanza e sui fluidi imponderabili.⁷ Attraverso notevoli rivolgimenti istituzionali (la chiusura delle università nel 1793, la fondazione dell'Ecole Polytechnique e delle Grandes Ecoles nel 1794, l'apertura dell'Institut de France - ex Academie - nel 1795 ad indirizzo applicativo: nel 1803 verrà chiusa la sezione di Scienze politiche e sociali perché troppo teorica) Laplace sviluppa il suo progetto (nel 1800 appaiono i primi due volumi del *Traité de mécanique céleste* e nel 1825 il quinto) e la sua scuola (raccolta nella Société de l'Arcueil - dal nome della tenuta di Berthollet). Tale scuola, che vede il suo massimo splendore tra il 1805 ed il 1815 e cioè durante l'Impero napoleonico, era formata tra gli altri da Biot⁸ (il cui famoso *Traité de physique expérimentale* è del 1816), Poisson, Gay Lussac, Thenard, Malus. Ma nonostante gli straordinari contributi di questi personaggi all'interno e all'esterno dell'Ecole Polytechnique si mostrano i segni di una rivolta antilaplaciana: con caratteri poi definiti positivisti (Comte fu allievo di Fourier all'Ecole) in Fourier⁹ (e poi in Lamé e Duhamel) e Ampère, e in direzioni teoriche diverse con Fresnel¹⁰ (e poi Navier e Cauchy) e Arago, Dulong e Petit. Isolata, seppur notevolissima la figura di Carnot.

Le scienze baconiane vengono matematizzate, la tradizione baconiana viene congiunta a quella matematica, la Francia è al vertice della fisica mondiale ma, stranamente, a partire dal '825 si assiste ad un declino di entrambe le tradizioni antilaplaciane. Poisson nel 1835 ancora ripropone la teoria del fluido calorico mentre Biot nel 1845¹¹ riconosce la decadenza, che nell'opera di Savart, Puillet, Becquerel e Regnault¹² si rivela nell'approccio antisistemico e antiteorico. Regnault in particolare a una figura tragica perché, pur essendo l'erede di una grande tradizione, non coglie l'emergere di un fondamentale contributo di metà secolo: la conservazione dell'energia. Numerose analisi sociologiche sono state dedicate a questo impressionante declino della fisica francese con analisi quantitative della produzione scientifica e degli sviluppi istituzionali, ma non mi sembra che vengano offerte delle conclusioni convincenti. Tra i problemi presi in esame: l'evolversi delle politiche di centralizzazione e decentralizzazione¹³ il maggior peso dato alla didattica più che alla ricerca, la prevalenza di tradizioni di fisica matematica soprattutto in astronomia¹⁴, l'influenza dopo il 1815 di filosofie spiritualiste e

⁷ Fox (1794).

⁸ Frankel (1977); Sutton (1981).

⁹ Friedmann (1977).

¹⁰ Silliman (1974).

¹¹ Shinn (1979) p. 294.

¹² Fox (1975).

¹³ Shinn (1979).

¹⁴ Davies (1986).

positiviste, il ritardo con cui nacquero le prime società scientifiche (nel 1872 l'Associazione per il Progresso delle Scienze e nel 1873 la Società di Fisica).¹⁵

In Gran Bretagna all'inizio del secolo la tradizione sperimentale non era istituzionalizzata come in Francia, i maggiori contributi venivano da scienziati dilettanti. Spesso gli inglesi si lamentavano del declino che a fine settecento presentava il loro stato delle ricerche (Airy, Babbage, J. Thomson),¹⁶ ma in Scozia era già attiva una tradizione di filosofia naturale, erede dell'illuminismo scozzese e della filosofia del common sense, che avrà una grande influenza sugli sviluppi successivi, sia per l'accento posto sul ruolo dell'induzione e delle analogie, sia per aver preparato direttamente alcuni tra i più importanti studiosi che formeranno poi la "scuola" di Cambridge.¹⁷ Infatti W. Thomson e W.J. Steele avevano studiato a Glasgow, e P.G. Tait e J.C. Maxwell a Edinburgo.

Ma prima di soffermarci sullo sviluppo della fisica di Cambridge occorre notare che il programma laplaciano si scontrava con una tradizione britannica di rifiuto dei fluidi imponderabili, i cui maggiori esponenti furono Young e Davy. Tra i contributi originali di quel periodo vanno inoltre citati i lavori di fisica matematica di G. Green e W.R. Hamilton. La situazione complessiva era però carente e fu merito degli esponenti della società analitica di Cambridge (Airy, Whewell) di aver deciso di importare la nuova matematica francese e di aver indirizzato il Cambridge Mathematical Tripos verso la Mixed Mathematics, e cioè fisica matematica (con prevalenza alla dinamica e all'interpretazione geometrica) e matematica applicata, piuttosto che verso programmi sui fondamenti.¹⁸ È da notare che solo lentamente (a partire dalla riforma del 1848) le scienze baconiane, oramai matematizzate, entrarono a far parte del Mathematical Tripos. È di questo periodo la laurea (B.A.) di W. Thomson (1845), di Tait (1852) di Steele (1852) e di Maxwell¹⁹ (1854) tutti di formazione culturale scozzese, un fatto piuttosto inconsueto. È dalla fusione di quella tradizione filosofica e della tradizione matematica di Cambridge che si svilupperanno i grandi risultati della scuola britannica cantabrigense. L'influenza di questa università sulla fisica dell'intero paese sarà straordinaria. Gli sviluppi istituzionali interni furono invece piuttosto complessi. Nel 1851 viene fondato il Natural Science Tripos (NST), in cui però la fisica non appare come soggetto indipendente. Lentamente la fisica sperimentale entra nel Mathematical Tripos: nel 1871 Maxwell avrà la prima cattedra di fisica sperimentale e nel '74 assumerà la direzione del nuovo Cavendish Laboratory²⁰, mentre per merito di Rayleigh e J.J. Thomson il N.S.T. riconoscerà alla fisica lo status di soggetto indipendente e aggiungerà la matematica ai propri programmi. A partire da queste date lo sviluppo del Cavendish sarà notevolissimo. A Cambridge si prepararono studenti del calibro di H. Lamb (M.T. 1872), J.H. Poynting (M.T. 1876), R.T. Glazebrook M.T. (1876), J. Larmor (M.T. 1880), J.J. Thomson (M.T. 1880), W.H. Bragg (M.T. 1884), A.E.H. Love (M.T. 1885), E.T. Whittaker (M.T. 1895), J.H. Jeans (M.T. 1898) e inoltre C.T.R. Wilson (N.S.T. 1892) e O.W. Richardson (N.S.T. 1900) che conquisteranno il Nobel (nel 1927 e 28 rispettivamente) per attività svolte al Cavendish.

4 - In Germania la fisica all'inizio del secolo è particolarmente arretrata: prevalgono tendenze antiteoriche ed antimatematiche che attribuiscono un ruolo primario alle esperienze qualitative ed alla intuizione fisica.²¹ Tra gli scienziati dell'epoca ricordiamo

¹⁵ Nye (1983).

¹⁶ Crosland e Smith (1978).

¹⁷ Wilson (1985).

¹⁸ Wilson (1982); Grattan - Guinness (1985); Crosland e Smith (1978); Becher (1980); Morell (1971).

¹⁹ Poter (1981).

²⁰ Sviedrys (1970), (1976).

²¹ Caneva (1978).

Ritter, Erman, Tager, Pfaff, Schweigger e poi, dopo gli anni '20, Seebeck, Muneche, Poggendorf, Phol, Schimdt. Due elementi "esterni" vengono a influire profondamente sugli sviluppi della fisica: da una parte le guerre napoleoniche, le sconfitte e le successive riforme dell'università, che vedono in questa il luogo della ricerca e non dell'insegnamento (Humboldt) e dall'altro contro l'approccio utilitaristico degli studi e a favore dell'unificazione delle varie branche della fisica il ruolo svolto dalla filosofia romantica della natura. Paradossalmente un movimento sostanzialmente antiscientifico si trovò a svolgere anche un ruolo progressivo nello sviluppo delle scienze esatte.²² Tra i primi fautori di un metodo quantitativo negli anni venti troviamo Ohm e Fechner, negli anni 30 Lenz, Jacobi, Gauss, Weber, Moser, Riess; negli anni 40 Neumann e Grassman. Con Gauss abbiamo un primo uso di modelli euristici e con Neumann (tramite l'uso dei potenziali per spiegare la mutua induzione tra circuiti) il superamento dell'intuizione e delle percezioni immediate, caratteristiche della fisica precedente. Weber²³ infine va ricordato per l'uso strumentale dei modelli nelle sue ricerche elettrodinamiche e per la svolta nella precisione delle misure sperimentali. Una istituzione fortemente innovativa fu il seminario di Koenigsberg di Neumann e Jacobi²⁴, una anticipazione del dottorato che servì a diffondere la fisica matematica in Germania. Una prima grande sintesi degli elementi matematici, fisici, sperimentali e filosofici che testimonia dei progressi compiuti dalla Germania in pochi decenni e la formulazione di Helmholtz del principio di conservazione dell'energia.²⁵ Da questo punto in poi la fisica tedesca, insieme e anche più di quella inglese, si innalza a vertici mondiali. La sintesi meccanicistica di Helmholtz del '48 viene affiancata da un indirizzo fisico matematico, ad esempio con Kirchhoff e Clausius, e da un grande sviluppo della fisica sperimentale quantitativa. Si sviluppa con Boltzmann l'interpretazione statistica della termodinamica, ma già prima con il trasferimento di Helmholtz a Berlino l'elettrodinamica aveva ricevuto un enorme impulso. Insieme a sviluppi istituzionali rilevanti a Berlino Helmholtz avvia la fisica stessa verso una nuova fase²⁶ pro-gressivamente sganciandosi da un rigido meccanicismo newtoniano egli individua non più nel principio di conservazione ma in quello di minima azione una migliore guida giustificativa e euristica.²⁷ Da questi nuovi sviluppi emerge la fisica teorica, una conquista tedesca di fine secolo. A riguardo possiamo citare il contrasto tra due "al-lievi" di Helmholtz: Hertz e Planck. Il primo, legato a un'idea di etere (pur nella svolta tra un'azione a distanza e a contatto) e ad un rifiuto del concetto di energia potenziale (alla quale preferiva l'idea delle masse nascoste), dovette cedere il passo già nell'87, nonostante l'inizio dei successi sperimentali, alla metodologia più sofisticata del secondo: la distinzione tra l'aspetto empirico e teorico dei principi di conservazione ed il giudizio a favore del modello fisico che offre la forma più soddisfacente del principio.²⁸ Con Planck la fisica teorica emerge tra quelle che ormai sono le strettoie della fisica sperimentale e della fisica matematica e si afferma definitivamente.

5 - In Italia a fine settecento vi è una tradizione sperimentale ai vertici internazionali (basti pensare a Galvani e Volta) alla quale però purtroppo non corrisponde una altrettanto valida capacità di intervento teorico nel dibattito internazionale. Basti pensare al Brugnatelli e all'interpretazione elettrochimica della pila. Sono notevoli a inizio secolo

²² Caneva (1978) p. 67; Khun (1977).

²³ Jungnickel (1979).

²⁴ Turner (1971).

²⁵ Harman (1974), (1976), (1982).

²⁶ Schubring (1981), Chan (1982), (1985).

²⁷ Bevilacqua (1983) p.119.

²⁸ Bevilacqua (1983) p.199.

i contatti con i fisici matematici francesi (da parte prevalentemente di matematici: Plana, Brunacci, Piola, Brioschi, Borgis) e in seguito tedeschi (ricordiamo le visite di Jacobi e Riemann). L'opera di Mossotti e Melloni (e quella poco conosciuta di Avogadro) porterà anche alcuni storici a chiedersi se la fisica inglese sia decollata per l'influsso italiano.²⁹ Ma a questa tradizione sperimentale manca il supporto di una adeguata elaborazione teorica nonostante che il numero dei ricercatori sia elevato, che società scientifiche siano nate in tempo (l'Associazione per il Progresso delle Scienze e del 1839), e che sia stata sempre ben nota la letteratura straniera, rintracciabile ancor oggi nelle biblioteche e recensita nelle numerose riviste italiane dell'epoca.

Spiccano tra gli altri Matteucci (a cui si deve il primo laboratorio moderno nel 1840) e Felici, mentre Fusineri non riusciva a far corrispondere alle brillanti intuizioni filosofiche un'adeguata capacità di elaborazione scientifica sulla teoria meccanica del calore e sull'interpretazione chimica dell'effetto Volta). Tipica situazione degli studi sperimentali era l'elaborazione quantitativa di scoperte straniere: così nel caso dell'induzione elettromagnetica con Antinori e Nobili, così nel caso delle onde elettromagnetiche con Righi e Marconi. Pacinotti e Ferraris presentano degli spunti teorici.³⁰ Nella generale arretratezza di una tradizione filosofica staccata dai problemi più recenti nel dibattito europeo, mancando una vera e propria fisica teorica si sviluppa invece a fine secolo una forte scuola di fisica matematica con Betti, Beltrami, Volterra e Levi Civita.³¹

Pur essendo presenti studi di filosofia delle scienze (la rivista di Morselli) manca un'influenza dei fisici sulle vicende politico educative (con l'eccezione di Matteucci) e mancano anche delle scuole scientifiche (tranne forse quella pisana): lo testimonia il "lamento" del Blaserna,³² e anche va notata la mancata risposta ai compilatori della bibliografia del 1881³³ come indice di un disinteresse di fondo per attività coordinate. In definitiva pur essendo sempre a stretto contatto con il dibattito internazionale di frontiera i fisici italiani non riescono mai nell'800 ad assumere una posizione trainante.³⁴

6 - Confrontiamo ora nel caso dell'elettromagnetismo le risposte date nei vari paesi europei. Dovunque nella seconda metà del secolo si era diffusa una fisica sperimentale quantitativa ed una fisica matematica (la matematizzazione delle scienze baconiane). Ovunque i modelli prevalenti erano in definitiva tre: quello newtoniano (forze dipendenti solo dalla posizione), quello newtoniano modificato (posizione, velocità e accelerazione) in seguito considerato equivalente all'azione a distanza ritardata, e infine quello dell'etere (che si riallaccia alla meccanica del continuo). Era anche largamente diffusa l'uso della teoria matematica del potenziale per stabilire un'equivalenza formale tra i modelli alternativi.³⁵ Si afferma quasi ovunque una "fisica dei principi" a partire dalla conservazione dell'energia di Helmholtz (1847) e poi dall'uso della minima azione fatto da Thomson e Tait nel 1867.³⁶

Il punto di rilievo che indica la necessità dell'emergere della fisica teorica è il seguente: le varie teorie offrono formulazioni differenti dei principi: da una parte la distinzione classicamente precisa tra energia cinetica (T) e potenziale (V), dall'altra la localizzazione nell'etere di queste quantità (velocità finita); ancora: riduzione di tutta

²⁹ Crosland e Smith (1978) p. 60.

³⁰ Polvani (1939).

³¹ Cerruti (1908), Levi Civita (1912), Marcolongo (1907).

³² Blaserna (1868).

³³ Rossetti e Cantoni (1881).

³⁴ Polvani (1939), Righi (1908), Corbino (1912), Perucca (1927), Righi (1912), Castelnuovo (1912), Maiocco (1980).

³⁵ Buchwald (1977), Wise (1979).

³⁶ Wise (1982).

l'energia a cinetica e rifiuto del concetto di energia potenziale; energia cinetica e potenziale inestricabilmente connesse nel potenziale cinetico; infine: T e V superate dal concetto di energia locale del campo.³⁷ In Inghilterra prevale l'idea del continuo con T e U localizzate (ma ancora separate) con Maxwell; con il tentativo di ridurre U a T con W. Thomson e con l'emancipazione del concetto di energia locale da quello di spostamento in Poynting. In Germania con Weber e Clausius prevale il potenziale cinetico e la teoria matematica del potenziale, l'azione a distanza ritardata con C. Neumann e L. Lorenz; e come abbiamo visto lo slittamento da conservazione dell'energia a minima azione con Helmholtz, il tentativo di ridurre U a T con Hertz e l'analisi dei vari principi di conservazione (con la scelta a favore dell'energia locale) con Planck. In Francia Poincaré mostra delle difficoltà nell'interpretare le esperienze di Hertz e nello stesso tempo motiva la scelta a favore di Maxwell su argomenti fisico matematici (la separazione di T e U) non più all'avanguardia del dibattito. È tutto il filone fisico matematico francese ad essere in difficoltà a fine secolo e infatti P. Duhem nel 1902 ancora si dichiara a favore dell'elettrodinamica di Helmholtz e contro la teoria di Maxwell. Dal punto di vista sperimentale la situazione non è migliore: ai grandi contributi sperimentali di M. Curie non corrisponde un'adeguata riflessione teorica e quindi non viene accettata l'ipotesi del decadimento radioattivo di Rutherford e Soddy³⁸ un indice dei problemi del periodo era stato offerto dal caso della "luce nera" di Le Bon.³⁹

.In Italia i fisici più avanzati sono i fisici matematici, ma il loro approccio è in ritardo rispetto all'elaborazione teorica tedesca e inglese. Tipico è il caso di Levi Civita che nel 1897 propone un'interpretazione delle esperienze di Hertz in termini di azione a distanza ritardata. In definitiva possiamo dire che nell'intreccio dell'800 europeo la fisica matematica che ha giocato un ruolo di punta all'inizio del secolo viene a fine secolo a trovarsi, specialmente in Francia e Italia, in posizione di retroguardia. La fisica sperimentale offre linee di ricerca perdenti (Kelvin, Hertz, Curie) se non è strettamente collegata alla fisica teorica, che è la vera novità di fine secolo e che si impone, dapprima in Germania con Planck, e poi via via in tutta l'Europa agli inizi del '900.

BIBLIOGRAFIA

H. W. Becher (1980): William Whewell and Cambridge mathematics. HSPS 11:1, pp. 1-48.

E. Bellone (1976): Il mondo di carta. EST Mondadori.

F. Bevilacqua (1983): The Principle of Conservation of Energy and the History of Classical Electromagnetic Theory. Pavia

P. Blaserna (1868): Sullo stato attuale delle scienze fisiche in Italia. Parigi, pp. 1-16.

J. D. Buchwald (1977): William Thomson and the Mathematization of Faraday's Electrostatics. HSPS 8, pp.101-136.

³⁷ Bevilacqua (1983).

³⁸ Weill (1971) p.499.

³⁹ Nye (1984).

- D. Cahan (1982): Werner Siemens and the origin of the Physikalisch Technische Reichsanstalt, 1872 - 1887. HSPS 12:2 - pp.253-284.
- D. Cahan (1985): The institutional revolution in German physics, 1865 - 1914. HSPS 15:2, pp. 1-66.
- K.L. Caneva (1978): From Galvanism to Electrodynamics: The Transformation of German Physics and its Social Context. HSPS 9, pp.63-170.
- E. Cassirer (1973): Sostanza e funzione. La Nuova Italia.
- G. Castelnuovo: (1912): Sull'evoluzione delle misure di spazio e tempo, in: Atti SIPS della riunione del 1911. pp.47-63.
- V. Cerruti (1908): Le matematiche pure e miste nei primi 12 congressi della SIPS, in: Atti SIPS della riunione del 1907., pp.94-107.
- O. M. Corbino (1912): Il contributo italiano ai progressi dell'elettrotecnica nell'ultimo cinquantennio, in: Atti SIPS della riunione del 1911. pp.275-306.
- M. Crosland and C. Smith (1978): The Transmission of Physics, from France to Britain: 1800 - 1840. HSPS 9, pp. 1-62.
- S. D'Agostino (1975): Hertz's Researches on Electromagnetic Waves. HSPS 6, pp.261-324.
- J. L. Davis, (1986): The influence of astronomy on the character of physics in mid-nineteenth century France. HSPS 16:1, pp.59-82.
- P. Forman, J. Heilbron, S. Weart (1975): Physics circa 1900. HSPS Vol.5, pp.1-185.
- R. Fox (1974): The Rise and Fall of Laplacian Physics. HSPS 4, pp. 89-136.
- R. Fox (1975): H. V. Regnault DSB Vol.II, pp.352-354.
- E. Frankel (1977): J. B. Biot and the Mathematization of Experimental Physics in Napoleonic France. HSPS 8, pp.33-72.
- R. M. Friedmann (1977): The Creation of a New Science: Joseph Fourier's Analytical Theory of Heat. HSPS 8, pp.73-99.
- I. Grattan - Guinness (1985): Mathematics and physics from Cambridge 1815 - 1840 a survey of the achievements and of the French influences, in: Harman (1985), pp.84-111.
- P. M. Heimann (1976): Mayer's Concept of "Force": The Axis of a New Science of Physics. HSEPS 7, pp.277-296
- P.M. Heimann (1974): Helmholtz and Kant. SHPS 5, pp.205-38.
- P.M. Heimann (1982): Energy, Force and Matter. Cambridge U.P..
- P.M. Harman (1985): Wranglers and Physicist. Manchester U.P
- C. Jungnickel (1979): Teaching and Research in the Physical Sciences and Mathematics in Saxony, 1820 - 50. HSPS 10, pp.3-47
- T. Kuhn (1977): Mathematical versus experimental tradition, in: Essential Tension, Chicago U.P., pp.31-65.
- T. Kuhn (1977): Energy conservation as, an Example of Simultaneous Discovery, in: Essential Tension. Chicago U.P. pp. 66-104.
- T. Levi Civita (1912): Estensione ed evoluzione della fisica matematica (nell'ultimo cinquantennio con speciale riguardo al contributo italiano), in: Atti SIPS della riunione del 1911, pp.237-254.
- R. Mc Cormack (1971): Editor's Foreword. HSPS 3, pp.IX-XXIV.
- R. Maiocchi (1980): Il ruolo delle scienze nello sviluppo industriale italiano, in: Annali della Storia d'Italia, Vol.3, Torino, pp.865-1003.
- R. Maiocchi (1985): Einstein in Italia. Franco Angeli.
- R. Marcolongo (1907): Progresso e sviluppo della teoria matematica della elasticità in Italia (1870-1907). Nuovo Cimento, serie V- tomo XIV, anno LIII, p.371.

- J. B. Morrell (1971): Individualism and the Structure of British Science in 1830. HSPS, 3, pp.183-204.
- M. J. Nye (1974): Gustave Le Bon's Black Light: Study in Physics and Philosophy in France at the Turn of the Century. HSPS 4, pp.163-196.
- M. J. Nye (1983): Recent sources and problems in the history of French science. HSPS, 13:2, pp.401-415.
- E. Perucca (1927): 150 anni di elettrostatica - Volume per il I centenario della morte di A. Volta. Roma, pp.17-36.
- G. Polvani (1939): Il contributo italiano al progresso della fisica negli ultimi cento anni. SIPS - 1939, pp.555-699.
- T. M. Porter (1981): A statistical survey of gases: Maxwell's social physics. HSPS, 12:1, pp.77-116
- P. Redondi (1980): Cultura e scienza dall'illuminismo al positivismo, in: Annali della Storia d'Italia - Vol.3 - Torino, pp.685- 14.
- B. J. Reeves (1984.): Pensieri sulla decadenza della politica in Italia, 1861-1911, in: Atti del IV Congresso Nazionale di Storia della Fisica, pp.147-154.
- A. Righi (1908): Le nuove vedute sull'intima struttura della materia; in: Atti SIPS della riunione del 1907, pp.108-131.
- A.Righi (1912): La nuova fisica, in: Atti SIPS della riunione del 1911. pp.13-32.
- F. Rossetti - G. Cantoni (1881): Biblioteca italiana di elettricità e magnetismo Padova.
- G. Schubring (1981): Mathematics and teacher training: Plans for a Polytechnic in Berlin. HSPS, 12:1, pp.161-194.
- T. Shinn (1979): The French Science Faculty System, 1908 - 1914: Institutional Change and Research Potential in Mathematics and the Physical Science. HSPS 10, pp.271-332.
- R.H. Silliman (1974): Fresnel and the Emergence of Physics as a Discipline. HSPS 4 pp.137-162.
- J.B. Stallo (1882): The concepts and theories of modern physics. London.
- G. Sutton (1981): The politics of science in early Napoleonic France: The case of the voltaic pile. HSPS 11:2, pp.329-366.
- R. Sviedrys (1970): The Rise of Physical Science at Victorian Cambridge. HSPS 2, pp.127-151.
- R. Sviedrys (1976): The Rise of Physics Laboratories in Britain. HSPS 7, pp.405-436.
- G. Toraldo di Francia (1986): Le cose e i loro nomi. Laterza.
- R.S. Turner (1971): The Growth of Professional Research in Prussia, 1818 to 1848. Causes and Context. HSPS 3, pp.137-182.
- A.Weill (1971): M.Curie. D.S.B. Vol. 111, pp.479-503.
- D.B.Wilson (1982): Experimentalists Among the mathematicians: Physics in the Cambridge Natural Science Tripos, 1851 - 1900. HSPS 12:2, pp.325-372.
- D.B. Wilson (1985): The educational matrix: physics at early - Victorian Cambridge, Edinburgh and Glasgow Universities, in: Hermann (1985) pp. 12-48.
- M. N. Wise: William Thomson's Mathematical Route to Energy Conservation: A Case Study of the Role of Mathematics in Concept Formation. HSPS 10, pp.49-83.
- M. N. Wise (1982): The Maxwell literature and British dynamical theory. HSPS 13:1, pp.175-205.