

La Fisica dello stato solido in Italia: prodromi (1890 - 1940) e primi sviluppi (1946 - 1960) *

Ilaria Bonizzoni^a, Giuseppe Giuliani^{a,b}

^aGruppo Nazionale di Storia della Fisica, Via Bassi 6, 27100 Pavia, Italy

^bDipartimento di Fisica "Volta", Via Bassi 6, 27100 Pavia, Italy

E - mail: giuliani@fisav.unipv.it; tel. +39 0382 507490; fax: +39 0382 507563

**La relazione al Convegno Orlandini è stata svolta da Giuseppe Giuliani.*

1. Introduzione

Ricerche su argomenti che oggi classificherebbero come di Fisica dello stato solido erano comuni nell'Ottocento: si pensi, ad esempio, alle proprietà elastiche, termiche, elettriche e magnetiche dei solidi. L'insieme di queste ricerche non costituiva, tuttavia, un settore definito della Fisica: mancava infatti una descrizione teorica unificante, condizione necessaria per l'individuazione non ambigua di una branca della Fisica. Una teoria dello stato solido incominciò a delinearsi solo negli anni trenta del Novecento attraverso la progressiva applicazione della meccanica quantistica alla descrizione dei fenomeni osservati nei solidi cristallini. All'individuazione di questa nuova branca della Fisica mediante lo strumento unificante della teoria hanno poi fatto seguito processi di identificazione e organizzazione dei fisici coinvolti e, infine, riconoscimenti sociali e istituzionali. Questi processi sono stati lenti e si sono articolati con caratteristiche diverse nei diversi paesi. In Italia la Fisica dello stato solido nasce nel secondo dopoguerra: in questo lavoro ci occuperemo, essenzialmente, dei prodromi di questo processo.

2. La Fisica dei materiali in Italia: 1890 - 1940

2.1 La comunità dei fisici

La comunità dei fisici italiani era piccola e dispersa (figura 1).¹ Nel 1900 i fisici accademici erano 71, sparsi su circa una ventina di istituti: il tipico "gruppo di ricerca" era quindi costituito da tre o quattro fisici. La ridotta dimensione dei "gruppi di ricerca" rendeva difficile l'acquisizione di una visione equilibrata ed aggiornata dello stato della disciplina. Il numero dei laureati in Fisica era, in media, di uno all'anno per sede: solo nel 1927 troviamo questo numero triplicato. Il ricambio del personale ricercatore era lento e difficoltoso, sia per la scarsità di nuovi posti che per la ridotta disponibilità di nuovi laureati. Si noti che il numero dei professori ordinari rimase praticamente costante dal 1900 al 1940 (incremento di sole quattro unità): l'aumento del numero dei fisici fu quindi dovuto al raddoppio del numero degli assistenti, nonché all'incremento dei professori incaricati e dei liberi docenti.

Il piano di studi era deciso a livello nazionale ed i suoi rari mutamenti erano del tutto inadeguati rispetto al ritmo di sviluppo della disciplina. Nel corso del cinquantennio 1887 - 1937, che ha visto radicali innovazioni nella Fisica, furono apportate al piano di studi solo due variazioni significative:

¹ Le figure e le tabelle 2 e 3 si trovano in fondo al documento.

l'introduzione dei corsi di Fisica superiore (1920 circa) e di Fisica teorica (1937). L'impianto del corso di laurea era rimasto quello dell'Ottocento, caratterizzato da una netta prevalenza di corsi di Matematica o di corsi tenuti da matematici (Meccanica razionale e Fisica matematica): i corsi di Fisica tenuti da fisici si riducevano alle due fisiche sperimentali del primo biennio, nonché a tre corsi di esercitazioni. L'esistenza di un corso a scelta dello studente non modificava di molto la situazione, dato il ventaglio delle scelte disponibili.² Nei due corsi di Fisica sperimentale veniva insegnata quella che oggi chiamiamo Fisica classica (meccanica, termodinamica, ottica ed elettromagnetismo). Tuttavia, gli autori dei manuali furono abbastanza sollecitati a introdurre elementi riguardanti le "nuove radiazioni": raggi X, raggi catodici e radioattività.³ Molto più lenta fu invece la diffusione di elementi di relatività ristretta e di Fisica dei quanti: bisognerà attendere la traduzione del manuale di Graetz (1924) e la comparsa dei testi di Fermi (1928) e Castelfranchi (1929).⁴ In realtà ci furono delle anticipazioni, dovute però a fisici matematici: nel 1921 comparve il manuale di relatività di Marcolongo, che egli utilizzava per il corso di Fisica matematica a Napoli.⁵ Per quanto riguarda l'insegnamento, elementi di relatività e Fisica dei quanti apparvero nei corsi di Fisica superiore e Fisica matematica intorno agli anni venti. Negli stessi corsi, compariranno poi elementi di meccanica quantistica che caratterizzeranno, a partire dal 1937, il corso di Fisica teorica.⁶

La struttura del corso di laurea in Fisica e le caratteristiche dei manuali riflettevano, peraltro, la "natura" del fisico italiano: fisico sperimentale perché formato da fisici sperimentali per convinzione e per professione. Diffusa e radicata era l'idea che lo sviluppo delle conoscenze fisiche fosse essenzialmente, se non unicamente, dovuto alla ricerca sperimentale: la funzione della teoria era ausiliaria e si tendeva a non riconoscerle alcuna capacità creativa. Non può non colpire quanto scriveva Corbino nel 1909, se si considera che egli è stato uno degli osservatori più attenti ai nuovi sviluppi della Fisica e il promotore della istituzione della prima cattedra di Fisica teorica (Roma, 1927):

Un eccessivo incoraggiamento alle ricerche di natura speculativa potrebbe così aver l'effetto di deprimere il lavoro sperimentale, che solo potrà fornire ai teorici dell'avvenire la soluzione dei problemi che ci affannano adesso...Non sembra, adunque, lecito il ritenere che un più intenso lavoro speculativo, nello stato attuale della Fisica, possa servire ad estendere il campo delle nostre conoscenze sulla natura dei fenomeni. Ci si può chiedere all'opposto se da un esame rigoroso delle teorie dominanti, e dei loro fondamenti sperimentali, non possa aversi la caduta di alcune nostre credenze, che ci fan considerare quasi come verità dei semplici artifici di schematizzazione forse privi di ogni contenuto reale.⁷

Se Corbino nel 1927 ebbe modo di ricredersi, la comunità dei fisici italiani mantenne queste posizioni per lungo tempo ancora. Nella riunione della SIF svoltasi a Roma nel 1925, venne approvata una mozione in cui si chiedeva "almeno la duplicazione della cattedra di Fisica sperimentale in tutte le Università", mentre non si faceva cenno alcuno all'esigenza di sviluppare gli

² Per esempio, nel 1937 a Pavia, l'elenco dei corsi a scelta comprendeva: Mineralogia, Chimica organica, Astronomia, Fisica terrestre e Calcolo delle probabilità.

³ Si veda, ad esempio: P. Marazzini, *Nuove radiazioni, quanti e relatività in Italia: 1896-1925*, Pavia, La Goliardica Pavese, 1996.

⁴ L. Graetz, *Le nuove teorie atomiche e la costituzione della materia*, Milano, 1924; E. Fermi, *Introduzione alla Fisica atomica*, Bologna, 1928; G. Castelfranchi, *Fisica moderna*, Milano, 1929.

⁵ R. Marcolongo, *Relatività*, Napoli, 1921.

⁶ Il radicamento di questo corso fu, tuttavia, molto lento: nel 1937-38, corsi di meccanica quantistica di buon livello furono tenuti solo in quattro o cinque università.

⁷ O.M. Corbino, "I fondamenti sperimentali delle nuove teorie fisiche", Discorso inaugurale letto nella Regia Università di Roma il 4 novembre 1909, in *Conferenze e discorsi di O.M. Corbino*, Roma, 1938, p. 21-22.

studi di Fisica teorica.⁸ Quelli erano peraltro gli anni in cui Enrico Fermi, dopo aver già pubblicato alcuni lavori teorici riguardanti l'elettrodinamica e la relatività ristretta, iniziava, a Pisa, il lavoro di tesi, *naturalmente* sperimentale (1922); solo nel 1927, sempre a Pisa, Giovanni Gentile jr. si laureava discutendo una tesi di natura teorica, ma solo dopo avere iniziato e abbandonato una tesi sperimentale.

2.2 Il finanziamento della ricerca

Anno	Ente	Finanziamento-Lire	Finanziamento-ML di lire 1997
1900 circa	Istituto di Fisica (dotazione)	1850*	11.5
1915 circa	Istituto di Fisica (dotazione)	3750*	19
1935 circa	Istituto di Fisica (dotazione)	11000-30000	15.5-43
1935 circa	Università media	750000	1065
1930 circa	Bilancio CNR	675000	960
1935 circa	Sovvenzione al "Galileo Ferraris"	2000000	2850

Tabella 1. Alcuni dati relativi al finanziamento della ricerca. I dati con asterisco sono valutazioni basate su inferenze. La conversione in lire del 1997 è stata effettuata usando i coefficienti ISTAT: per gli anni trenta, abbiamo usato la media dei coefficienti calcolata sugli anni 1930-39. Le cifre relative agli istituti dovevano coprire non solo le spese per la ricerca, ma anche quelle di supporto alla medesima; di quelle relative alle Università, solo una frazione dell'ordine del 40-50% veniva assegnata agli istituti. L'Istituto Nazionale di Elettrotecnica "Galileo Ferraris" fu inaugurato nel 1935: esso nacque per lo sforzo congiunto della Società Idroelettrica Piemonte, del Comune di Torino e del Governo.

Nel periodo considerato i finanziamenti della ricerca Fisica sono stati inadeguati rispetto alle aspettative dei fisici e scarsi rispetto ad altri paesi. La tabella 1 offre un quadro indicativo. Per dare alle cifre riprodotte nella tabella un significato, possiamo:

- tentare una valutazione intrinseca, commisurata cioè alla situazione storica
- fare un confronto con altri paesi
- fare un paragone con la situazione attuale italiana

Incominciamo con l'osservare che i canali di finanziamento statali erano e sono sostanzialmente due: uno diretto, tra Ministero e Università, l'altro indiretto, attraverso enti terzi.

Per quanto concerne il punto a), rileviamo che il finanziamento indiretto (CNR) era del tutto trascurabile, essendo dello stesso ordine di grandezza delle dotazioni di una Università media. Gli istituti di Fisica potevano quindi contare mediamente solo sulle dotazioni che dovevano comunque coprire tutte le spese di funzionamento degli istituti.

Tra il 1900 e il 1910 la ricerca Fisica era meno finanziata in Italia che negli altri paesi: il rapporto variava tra un fattore 1.5 (Germania, 1900) e un fattore 10 (Stati Uniti, 1910). Il rapporto tra Italia e Francia nel 1900 era di circa 3. Il divario tra i due paesi è aumentato tra gli anni venti e trenta soprattutto per il forte incremento dei finanziamenti francesi attraverso il canale indiretto.⁹

Infine, un confronto con la situazione attuale italiana mostra che, mentre l'equivalente delle dotazioni degli anni trenta si è moltiplicato di circa un fattore 10 (valore reale), è aumentato in

⁸ *Il Nuovo Cimento*, 3 (1926), XL.

⁹ I dati relativi al 1900-1910 sono tratti da: P. Forman, J.L. Heilbron, S. Weart, "Physics circa 1900", *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 5, (1975), 1-186. La situazione francese tra le due guerre è stata studiata da: D. Pestre, *Physique et physiciens en France: 1918-1940*, Montreux, 1984.

modo molto più grande il finanziamento indiretto: nel 1997 il bilancio delle sezioni pavesi dei due maggiori Enti di ricerca specifici (INFN e INFN) è stato, rispettivamente, di circa un miliardo e di circa 7.5 miliardi.

2.3 La ricerca

Per valutare la ricerca svolta dai fisici italiani, prenderemo in considerazione le annate de *Il Nuovo Cimento*. Questa rivista è sicuramente rappresentativa della produzione scientifica dei fisici italiani, almeno sino alla metà circa degli anni trenta.¹⁰ Inoltre, tutti gli articoli pubblicati su *Il Nuovo Cimento*, dall'anno della sua fondazione (1855) al 1944, sono stati classificati in un database. Rimandiamo al volume di Giuliani¹¹ per una analisi dettagliata; ne riproduciamo qui solo alcuni tratti essenziali.

2.4 Sperimentare non basta

I lavori dei fisici italiani erano, prevalentemente, sperimentali (figura 2). Tuttavia, sebbene non ci siano stati fisici teorici di professione sino verso la fine degli anni trenta, una frazione consistente di articoli era teorica o presentava una significativa miscela di esperimento e teoria. Come si espresse Corbino nel 1929, i fisici sperimentali italiani si trasformavano, all'occorrenza, in "teorici di se stessi". Gli articoli de *Il Nuovo Cimento* sono inoltre stati raggruppati in tre grandi gruppi (tabella 2): Fisica classica, Fisica moderna e proprietà dei materiali (figura 3). Nel gruppo della Fisica classica sono stati inseriti quegli articoli che trattano temi tipici della Fisica ottocentesca; in quello della Fisica moderna si trovano invece gli articoli connessi a problematiche che hanno svolto un ruolo cruciale nel passaggio tra Fisica dell'Ottocento e Fisica moderna (ad esempio: corpo nero, scarica elettrica nei gas rarefatti, raggi catodici, raggi X, radioattività) o che sono, cronologicamente, chiaramente collocate nel Novecento (ad esempio: relatività, Fisica quantica, effetto Stark, superconducibilità). Sebbene tale classificazione possa essere considerata, in qualche misura, arbitraria, essa appare significativa.¹² La figura 3 mostra infatti che, mentre gli articoli classificati come "proprietà dei materiali" o "vari" (articoli non classificabili in alcuno dei tre raggruppamenti) costituiscono un sottofondo abbastanza costante, Fisica classica e moderna sono complementari: alla diminuzione dell'una corrisponde la crescita dell'altra. Naturalmente, questo andamento era del tutto prevedibile: da questo punto di vista, esso costituisce un supporto della attendibilità della classificazione adottata. Al picco della Fisica moderna (e al relativo calo della Fisica classica) nel quinquennio 1896 - 1900 hanno contribuito i lavori dei fisici italiani sui raggi X e sulle tematiche collegate (raggi catodici, scarica elettrica nei gas rarefatti); la crescita della Fisica moderna nel quinquennio 1920 - 1924 è in parte dovuta alla comparsa sulla scena di Enrico Fermi; infine, il calo della Fisica moderna nell'ultimo quinquennio (1940 - 1944) non ha alcuna giustificazione intrinseca allo sviluppo della disciplina e sembra imputabile all'impatto di eventi estrinseci: leggi razziste (con conseguenti emigrazioni) e attività belliche. Se si prescinde dalle oscillazioni connesse a questi tre periodi, la crescita della Fisica moderna e il corrispondente calo della Fisica classica nel periodo 1896 - 1939 seguono un andamento sostanzialmente lineare, a testimonianza di un processo di adeguamento caratterizzato dalla continuità. Supponendo questi andamenti come effettivamente lineari, il calo della Fisica classica risulta del 5,3% ogni quinquennio, mentre il corrispondente aumento della Fisica moderna del 5,9%: si tratta, come si

¹⁰ Quando il gruppo di Fermi iniziò la ricerca sulla radioattività indotta da neutroni, esso incominciò a pubblicare sistematicamente i propri lavori su *La Ricerca Scientifica* che assicurava rapidi tempi di pubblicazione: articoli più dettagliati venivano poi pubblicati su riviste straniere. Un comportamento analogo fu tenuto da Bruno Rossi.

¹¹ G. Giuliani, *Il Nuovo Cimento-Novant'anni di Fisica in Italia: 1855-1944*. La Goliardica Pavese, 1996, Pavia.

¹² A rigore, i criteri di classificazione dovrebbero mutare con il tempo.

vede, di variazioni lente, corrispondenti allo spostamento di circa tre articoli all'anno da una classe all'altra (su circa cinquanta articoli pubblicati ogni anno). Questo dato è già molto significativo. Se si aggiunge il fatto che nei primi due decenni del Novecento i fisici italiani rimasero sostanzialmente ai margini del principale filone di sviluppo della disciplina - lo studio della struttura microscopica della materia - emerge un quadro di grande difficoltà per quanto concerne il processo di "modernizzazione" della Fisica in Italia. I ritardi accumulati nei venticinque anni che vanno dal 1896 al 1920 inizieranno ad essere colmati dal processo di rinnovamento innescato da Enrico Fermi; l'allineamento della comunità dei fisici italiani su livelli di produttività e qualità adeguati ai ritmi di sviluppo della disciplina avverrà, invece, solo nel secondo dopoguerra.

2.4.1 La Fisica dei materiali prima del 1940

I lavori dei fisici italiani riguardanti argomenti che oggi classificheremmo come di Fisica dello stato solido possono essere raggruppati nel modo seguente:

1. proprietà elastiche
2. proprietà termiche (calori specifici, conduzione termica)
3. proprietà elettriche (conducibilità, dielettrici)
4. proprietà magnetiche (ferromagnetismo)
5. effetti galvano-termo-magnetici
6. effetto fotoelettrico, termoionico, Volta
7. spettroscopia

Il contributo della comunità dei fisici italiani allo sviluppo delle conoscenze in questi settori è stato commisurato alle sue dimensioni e al suo grado di padronanza della disciplina: i contributi di una certa rilevanza sono stati rari e isolati. Nell'Ottocento, Augusto Righi ha svolto studi sull'effetto fotoelettrico e sull'effetto Hall subito dopo la loro scoperta. I lavori di Righi sull'effetto fotoelettrico iniziarono ad apparire nel 1888, cioè nell'anno successivo alla sua scoperta da parte di Hertz. Tuttavia, Righi abbandonò presto questi argomenti di ricerca, senza che nessun altro italiano ne raccogliesse in qualche modo l'eredità. Così quando, al volgere del secolo, si incominciò, dopo la scoperta dell'elettrone, a chiarire alcuni aspetti essenziali dell'effetto fotoelettrico, nessun italiano era sulla scena. Maggiore consistenza, sia quantitativa che qualitativa, ebbe l'impegno dei fisici italiani sugli effetti galvano - termo - magnetici. Fu ancora Augusto Righi il primo ad occuparsi del fenomeno di Hall nel 1883. Successivamente, Righi rivolse la sua attenzione agli effetti termo - magnetici: nel 1887, contemporaneamente e indipendentemente da Leduc, scoprì il così detto effetto Righi - Leduc (analogo termico dell'effetto Hall in cui la corrente elettrica è sostituita da una corrente termica). Dopo Righi, i fisici italiani hanno continuato ad occuparsi di questi argomenti, pubblicando sul *Nuovo Cimento* 26 lavori tra il 1883 e il 1910 (lavori di Righi inclusi). A parte la novità dei fenomeni oggetto di studio, l'effetto Hall presentò sin dall'inizio un problema la cui soluzione si sarebbe trovata solo nel 1929. L'estensione delle misure di effetto Hall al bismuto aveva infatti mostrato che il coefficiente di Hall è, in questo caso, positivo. Nel 1911, Orso Mario Corbino iniziò una serie di misure, accompagnate da elaborazioni teoriche, sull'effetto Hall in un campione a simmetria circolare (disco di Corbino).¹³ Due sono gli aspetti interessanti della ricerca di Corbino: a) l'uso di una teoria *dualistica* della conduzione elettrica (i portatori di carica sono due, uno positivo e l'altro negativo); b) il fatto che essa diede origine ad una sequenza di lavori che vide impegnati sullo stesso argomento fisici e fisici matematici (Corbino e collaboratori, Vito Volterra e collaboratrici). L'uso, da parte di Corbino, di una teoria dualistica della conduzione avvenne in un

¹³ Per un approfondimento si veda: S. Galdabini, G. Giuliani, "Magnetic field effects and dualistic theory of metallic conduction in Italy (1911-1926): cultural heritage, epistemological beliefs, and national scientific community", *Annals of Science*, 48, (1991), 21-37.

contesto in cui era ormai diffusa la teoria classica della conduzione elettrica basata sul moto degli elettroni. All'estero, i lavori di Corbino furono infatti subito reinterpremati sulla base della teoria corrente; tuttavia Corbino ignorò intenzionalmente questi sviluppi e perseverò, insieme a Volterra, nell'uso della teoria dualistica. Solo quando la teoria dualistica di Corbino fu attaccata da Michele La Rosa (1918) e da T. Collodi (1920), Corbino sviluppò una serie di considerazioni in difesa del proprio punto di vista presentando ben quattro memorie all'Accademia dei Lincei nel giro di tredici mesi (giugno 1920 - luglio 1921). Il comportamento di Corbino mostra che la comunità dei fisici italiani era - in una certa misura - isolata rispetto al contesto internazionale: Corbino ha infatti tranquillamente ignorato le critiche al suo punto di vista provenienti dall'estero, ma ha prontamente reagito quando le medesime critiche gli sono state rivolte da colleghi italiani. La posizione di Corbino è interessante anche dal punto di vista epistemologico. Egli riconosce che:

Una elaborazione ulteriore deve idealmente condurre, sia pure attraverso a uno svolgimento formale più difficile, *alla eliminazione di quelle ipotesi che non si assestano bene nel quadro generale della fenomenologia Fisica*. E in tal senso è da considerare come un vero progresso ogni tentativo di spiegare con la presenza di elettroni di una sola specie, i negativi, quei fatti che sembrano richiedere l'esistenza postulata dal Drude, di due specie di centri mobili: i positivi e i negativi.¹⁴

Tuttavia:

E in tutto questo campo di fenomeni la teoria dualistica non ha soltanto la funzione di rendere più stretta la corrispondenza numerica tra le previsioni e la realtà (ciò che costituirebbe, in alcuni casi, un merito piuttosto apparente, avendosi a disposizione un maggior numero di costanti); ma serve ad eliminare le contraddizioni categoriche cui dà luogo la teoria monistica. Si deve quindi concludere che, se degli elettroni positivi *liberi* non si è potuta finora dimostrare l'esistenza, essi costituiscono provvisoriamente un elemento indispensabile per rendere conto del complesso dei fenomeni della conduzione metallica e degli effetti del campo magnetico.¹⁵

Appare quindi evidente che, nel valutare l'attendibilità di una ipotesi, Corbino privilegia la sua capacità di accordarsi con i dati sperimentali - in questo caso il duplice segno del coefficiente di Hall - rispetto alla possibilità di inserirsi nel quadro della conoscenza acquisita.

Nel 1929, dopo la nascita della teoria delle bande dei solidi cristallini, Pierls spiegò l'effetto Hall positivo sulla base di due portatori di carica: gli elettroni e le *buche*.¹⁶ Le buche, tuttavia, descrivono il comportamento di elettroni mancanti nella banda di valenza. Edoardo Amaldi ha raccontato a uno dei due autori (G. G.) che Corbino tornando su questi argomenti negli anni trenta, soleva dire: "Vedete che avevo ragione a sostenere che i portatori di carica erano due!".¹⁷ In realtà le cose non stanno esattamente così. Corbino aveva ragione a sostenere che la *descrizione teorica* dell'effetto Hall *richiede* l'uso di due portatori di carica (elettroni e buche); aveva torto a pensare che *esistessero* gli elettroni positivi.

Per completare il quadro dei contributi significativi, dobbiamo occuparci dei lavori di Vito Volterra sulle distorsioni, di Rita Brunetti sul paramagnetismo degli ioni del gruppo del ferro, nonché dei

¹⁴ O.M. Corbino, "La teoria elettronica della conducibilità dei metalli nel campo magnetico", *Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei*, 29, no. 2 (1920), 282-285, p. 282, (corsivo nostro).

¹⁵ Ibidem, p. 285 (corsivo di Corbino).

¹⁶ R.E. Peierls, "Zur Theorie der Galvanomagnetischen Effekte", *Zeitschrift für Physik*, 53 (1929), 255.

¹⁷ Erice, novembre 1989.

lavori di Giovanni Gentile jr. sul ferromagnetismo.¹⁸

Vito Volterra riprese nel 1905 un lavoro di Julius Weingarten apparso nel 1901. Questi aveva mostrato che corpi elastici più volte connessi possono avere tensioni interne in assenza di forze esterne. Un semplice esempio è costituito da un anello cui viene sottratta una fetta di materiale e le cui due nuove superfici sono ricongiunte. Volterra mostrò che corpi semplicemente connessi non possono avere tensioni interne in assenza di forze esterne. Mostrò poi che lo stato di tensione di un corpo più volte connesso può essere descritto in termini di *distorsioni*, cioè che ogni stato di tensione può essere indotto introducendo *distorsioni* appropriate.¹⁹ La procedura è la seguente:

- si effettua il taglio necessario per trasformare la regione più volte connessa occupata dal corpo in una regione semplicemente connessa
- si separano le due facce del taglio con uno spostamento rigido
- si ricongiungono le due facce aggiungendo o togliendo materiale

Nel 1920, passando in rassegna il lavoro di Volterra in una appendice della terza edizione del suo trattato sulla Teoria matematica dell'elasticità, Love chiamò le distorsioni di Volterra *dislocazioni*.²⁰ Negli anni trenta il termine *dislocazione* fu usato da Taylor, Orowan e Polany in un contesto completamente differente riguardante la deformazione plastica dei cristalli.²¹ Il termine *dislocazione* si riferisce in questo caso ad un sistema fisico ordinato e discreto che richiede quindi una descrizione in termini di spostamenti di atomi e di loro interazioni. Inoltre, la dislocazione cristallina costituisce un esempio di corpo semplicemente connesso con tensioni interne in assenza di forze esterne, contraddicendo apparentemente i teoremi di Volterra.²² Appare chiaro come i due concetti di dislocazione siano emersi in contesti completamente diversi: la *distorsione* di Volterra si riferisce a corpi continui più volte connessi; la *dislocazione* cristallina si riferisce ad un corpo discreto, ordinato e semplicemente connesso. Tuttavia le due *dislocazioni* possono essere descritte dalle medesime relazioni sforzi - tensioni trovate da Volterra purché ci si trovi a distanze sufficientemente grandi dal nucleo della dislocazione cristallina. Il lavoro di Volterra aprì la via ad altri contributi italiani. Dopo il 1905 troviamo su *Il Nuovo Cimento*, prescindendo dai lavori di Volterra, sette lavori teorici sulle *distorsioni* e un lavoro sperimentale sulla rivelazione ottica delle tensioni introdotte dalle *distorsioni* nella gelatina. Ma negli anni trenta quando le *distorsioni* ricomparvero sulla scena come *dislocazioni* nessun contributo venne dall'Italia e, forse, nessun fisico italiano se ne accorse.

Rita Brunetti era stata chiamata, come professore straordinario, a Ferrara nel 1926. Tuttavia, dato lo stato dell'istituto di Fisica di quella università, lavorò nei due anni successivi a Bologna, prima di trasferirsi a Cagliari (1928) e, successivamente (1936), a Pavia. Il problema affrontato dalla Brunetti era costituito dal fatto che le proprietà paramagnetiche degli ioni del gruppo del ferro osservate sperimentalmente non erano inquadrabili nel contesto teorico allora usato. Brunetti e, indipendentemente, E.C. Stoner pubblicarono nel 1929 un lavoro che forniva una descrizione

¹⁸ Riprendiamo qui elementi di analisi da un lavoro non pubblicato di S. Galdabini e G. Giuliani (Volterra, Gentile); per quanto riguarda la Brunetti si veda, per un approfondimento: S. Galdabini, G. Giuliani, "Early lines of research in Italy: 1940-1960", in G. Giuliani (ed) *The Origins of Solid State Physics in Italy: 1945-1960*, Bologna, 1988, pp. 1-14.

¹⁹ V. Volterra, "Sull'equilibrio dei corpi elastici più volte connessi", *Il Nuovo Cimento*, 10, (1905), 361-385; 11, (1906), 5-20, 144-161, 205-221, 338-347.

²⁰ A.E.H. Love, *The mathematical theory of elasticity*, terza ed., (Cambridge, 1920), p. 219.

²¹ Si veda, ad esempio: E. Braun, "Conjecture and confirmation-The history of dislocation", in G. Giuliani (ed.), *The origins of solids state physics in Italy: 1945-1965*, Bologna, 1988, 275-289.

²² La contraddizione è solo apparente perché nei pressi della dislocazione cristallina non sono soddisfatte le condizioni richieste dalla teoria di Volterra.

teorica soddisfacente dei risultati sperimentali. Entrambi i lavori si basavano ancora sul modello vettoriale dell'atomo - sviluppato una decina di anni prima - e mostravano come l'interazione tra gli ioni paramagnetici e il resto del cristallo, riducendo il contributo dei momenti magnetici associati ai momenti angolari degli elettroni, fosse responsabile del comportamento anomalo. Il lavoro della Brunetti fu pubblicato in italiano sui *Rendiconti dell'Accademia dei Lincei* e non fu ripubblicato altrove.²³ Stoner pubblicò il suo lavoro sul *Philosophical Magazine*.²⁴ Quando, solo tre anni dopo, apparve il volume di Van Vleck sulle suscettibilità elettriche e magnetiche, la trattazione del paramagnetismo degli ioni del gruppo del ferro sulla base della meccanica quantistica era ormai acquisita e la riduzione del contributo dei momenti angolari veniva denominata *quenching of the angular momentum*. Van Vleck cita Stoner, ma ignora il contributo della Brunetti.²⁵ Il lavoro della Brunetti fu invece citato da Sommerfeld, insieme a quello di Stoner, alla Conferenza Solvay sul magnetismo del 1930.²⁶ Tuttavia, nel proseguire la sua relazione, Sommerfeld seguì l'impostazione di Stoner, più organica e flessibile di quella della Brunetti. A parte la citazione di Sommerfeld, il lavoro della Brunetti passò quindi inosservato, non solo all'estero. Non conosciamo infatti alcuna citazione italiana di questo lavoro, se si eccettua il necrologio scritto da Zaira Ollano, allieva della Brunetti, nel 1942.²⁷ Anche nello scritto di Polvani su cent'anni di Fisica in Italia, il lavoro della Brunetti non compare; viene invece citato un suo precedente lavoro, meno significativo.²⁸ Non intendiamo sopravvalutare l'importanza di questo episodio. Esso ci pare tuttavia emblematico della situazione in cui, ancora negli anni trenta, si trovava la comunità dei fisici italiani: ancora parzialmente isolata dal contesto internazionale e incapace di valutare appieno anche i propri successi.

Il caso di Giovanni Gentile jr. è interessante sotto molteplici aspetti. Figlio dell'omonimo filosofo idealista, si laureò a Pisa nel 1927 discutendo una tesi teorica sulla meccanica ondulatoria di Schrödinger. Nel 1929, con una borsa del Ministero dell'Educazione Nazionale, andò a Berlino e successivamente - nel secondo semestre del 1930 - a Lipsia. Qui, sotto l'influenza di Heisenberg, iniziò ad occuparsi di problemi teorici concernenti il ferromagnetismo in collaborazione con Felix Bloch; la questione studiata riguarda l'anisotropia del processo di magnetizzazione dei materiali ferromagnetici. Il lavoro, ancora in corso, venne citato da Heisenberg alla Conferenza Solvay del 1930 durante la discussione della relazione di Pauli sulla trattazione quantistica del ferromagnetismo. Il lavoro fu poi pubblicato sulla *Zeitschrift für Physik*. Nel 1931 Gentile tornò in Italia. I suoi interessi teorici non erano, tuttavia, orientati verso la Fisica dello stato solido. Ciò non ostante, ritornò su questioni di ferromagnetismo due anni dopo mostrando come si possa pervenire in modo più rigoroso ad un risultato già ottenuto da Bloch sulla magnetizzazione residua.

Brunetti e Gentile sono stati esponenti di due ambienti culturali molto diversi. La differenza di data delle loro lauree (Brunetti 1913, Gentile 1927) è significativa sia per i cambiamenti avvenuti all'interno della disciplina che per gli avvenimenti riguardanti la comunità dei fisici italiani. Brunetti era un fisico sperimentale in grado tuttavia di divenire, all'occorrenza, 'teorico di se stesso'. Gentile apparteneva a quel piccolo gruppo di giovani fisici italiani, cresciuto intorno ad Enrico Fermi, che - senza alcun aiuto intellettuale da parte della vecchia generazione di fisici - incominciò a studiare e

²³ R. Brunetti, "Teoria del paramagnetismo per joni soggetti ad azione molecolare forte", *Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei*, 9, (1929), 754-760.

²⁴ E.C. Stoner, "Tonic magnetic moments", *Philosophical Magazine*, 8, (1929), 250-266.

²⁵ J.H. Van Vleck, *Electric and magnetic susceptibilities*, Oxford, 1932, pp. 287-297.

²⁶ A. Sommerfeld, in *Le Magnetisme-Rapports et discussions du VI-ème Conseil de Physique tenu à Bruxelles du 20 au 25 octobre 1930 sous les auspices de l'Institut International de Physique Solvay, Paris, 1932*, pp. 17-19.

²⁷ Z. Ollano, "In memoria di Rita Brunetti", *Il Nuovo Cimento*, 19, (1942), 213-225.

²⁸ G. Polvani, "Il contributo italiano al progresso della Fisica, negli ultimi cento anni", in *Un secolo di progresso scientifico italiano: 1839-1939*, Roma, 1939, pp. 555-699.

ad applicare la relatività, la Fisica dei quanti e, successivamente, la meccanica quantistica. Come già osservato, la crescita del gruppo di Fermi costituì un momento di rottura con la tradizione della Fisica italiana e fu caratterizzata da un consapevole sforzo di integrazione nella comunità scientifica internazionale. Lo sforzo di questi giovani fisici si concretizzò, negli anni trenta, nell'inserimento delle ricerche italiane sulla Fisica del nucleo e sui raggi cosmici tra quelle di frontiera; i settori restanti della Fisica italiana non furono tuttavia coinvolti in questo processo.

3. Il secondo dopoguerra

La ricerca Fisica in Italia nel secondo dopoguerra dovette fare i conti con i problemi della ricostruzione del Paese in un contesto caratterizzato dallo spostamento dell'egemonia economica e scientifica negli USA e dalla perdurante debolezza delle strutture scientifiche nazionali. Gli eredi della scuola di Enrico Fermi, sapientemente guidati da Edoardo Amaldi, riuscirono nell'intento di sviluppare la Fisica delle particelle elementari utilizzando anche la disponibilità del Governo a sostenere la ricerca delle applicazioni tecniche della Fisica del nucleo. Gli altri settori della Fisica non solo non avevano solide radici culturali, ma dovettero iniziare un faticoso processo di identificazione, di organizzazione, di reperimento di fondi reso ancora più difficile dalla sostanziale incapacità del Governo e dei settori produttivi a prevedere quali sarebbero state le linee di sviluppo delle applicazioni tecnologiche.

3.1 La nascita della Fisica dello stato solido

Il processo che ha portato alla nascita della Fisica dello stato solido è stato caratterizzato da uno sviluppo policentrico: diversi piccoli gruppi di ricerca hanno iniziato a lavorare in collegamento con centri di ricerca stranieri, ma con scarsi o nulli contatti fra di loro. La tabella 3 illustra questa situazione.²⁹ L'organizzazione a livello nazionale di questi gruppi sparsi è stata lenta e segnata dalle difficoltà richiamate precedentemente. Solo nel 1966 venne istituito il Gruppo Nazionale di Struttura della Materia del CNR e solo nel 1994 è stato creato l'Istituto Nazionale di Fisica della Materia che costituisce l'analogo dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare fondato nel 1967. Sulla ricostruzione storica delle vicende riguardanti la Fisica dello stato solido sono direttamente impegnati gli autori di questo articolo all'interno di un più vasto progetto di ricerca riguardante la Fisica italiana del secondo dopoguerra.

²⁹ Si veda, per un approfondimento: G. Giuliani (ed), *The Origins of Solid State Physics in Italy: 1945-1960*, Bologna, 1988.

Fisica	Proprietà	Fisica
Classica	dei materiali	Moderna
acustica	conducibilità elettrica	astrofisica
astronomia	conducibilità termica	corpo nero
calorimetria	cristallografia	cosmologia
elasticità	diffusione	effetto fotoelettrico
	effetti galvano - termo - magnetici	effetto Raman
elettricità	effetti magnetoelastici	effetto Stark
elettrolisi	effetto Volta	effetto Zeeman
elettromagnetismo	effetto termoionico	emissione secondaria
etere	fluorescenza, fosforescenza	Fisica nucleare
fluidi	fotoconducibilità	Fisica quantistica
fotometria	piezoelettricità	Fisica statistica
geofisica	proprietà dielettriche	gas rarefatti
geologia	proprietà elastiche dei materiali	gravitazione
idrodinamica	proprietà magnetiche	irraggiamento termico
liquidi	solidi	magnetoottica
matematica	termoelettricità	radioattività
meccanica		raggi catodici
meteorologia		raggi cosmici
ottica		raggi molecolari
raggi ultravioletti		raggi X
termodinamica		relatività
termometria		spettroscopia
		struttura molecolare
		superconducibilità

Tabella 2. Composizione dei tre gruppi: Fisica classica, proprietà dei materiali, Fisica moderna.

Sede	Anno	Fisici	Argomenti principali	Collegamenti
Pavia	1946	Luigi Giulotto	risonanza magnetica nucleare	
Roma	1946	(A. Giacomini) Daniele Sette	Fisica dei fluidi e spettroscopia ultrasonica	
Torino	1947	Giorgio Montalenti	ferromagnetismo	
Roma	1947	Piergiorgio Bordoni	proprietà elastiche e anelastiche a basse temperature	MIT
Pisa	1950	Adriano Gozzini	Fisica delle microonde	
Milano	1952	Fausto Fumi, Giorgio Bassani, Paolo Tosi	Fisica dello stato solido (teorie)	Urbana
Pavia	1952	Gianfranco Chiarotti Paolo Camagni	centri di colore in alogenuri alcalini	Urbana
Genova	1954	Giovanni Boato	gas inerti	Chicago
Frascati	1955	Giorgio Careri	Fisica delle basse temperature	Leiden
Milano	1955	Roberto Fieschi	centri di colore in alogenuri alcalini	Leiden
CISE	1955	Elio Germagnoli	proprietà varie dei solidi	
Palermo	1955	Ugo Palma	risonanza magnetica elettronica	MIT
Ispra	1959	Paolo Camagni Alfonso Merlini	imperfezioni nei solidi	
Roma, Ispra	1959	Giuseppe Caglioti Antonio Paoletti Francesco P. Ricci	diffrazione neutronica	Chalk River Brookhaven MIT
Genova	1960	Giovanni Boato	superconducibilità	
Pavia	1960	Gianfranco Chiarotti	Fisica dei semiconduttori	

Tabella 3. Lo sviluppo policentrico della Fisica dello stato solido dopo il 1945.

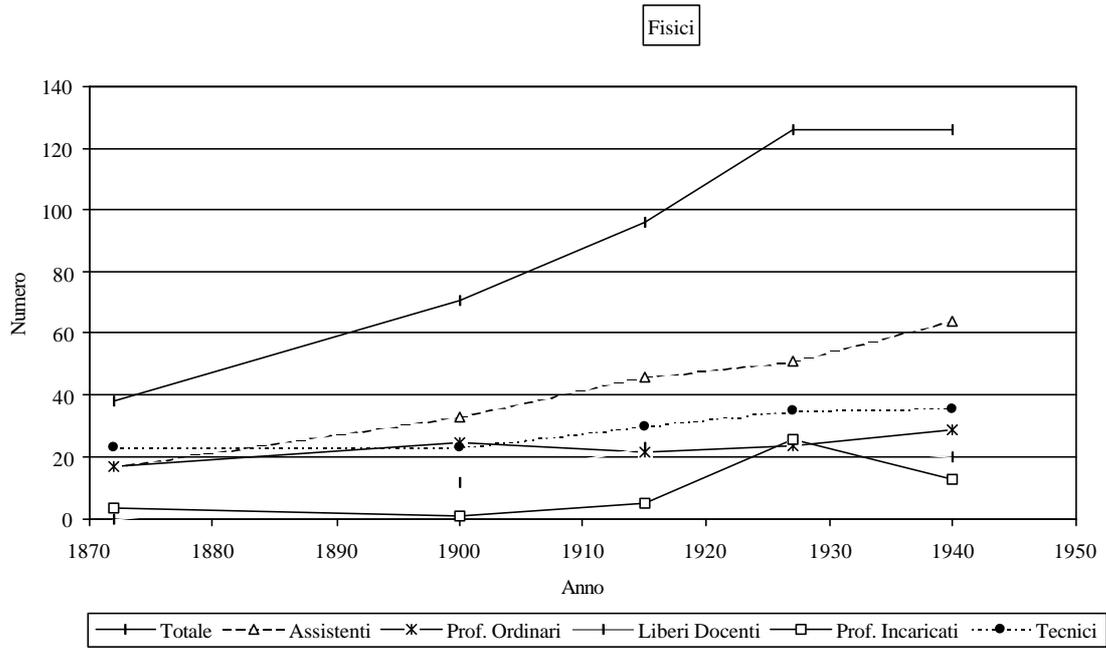


Figura1. Fisici accademici in Italia.

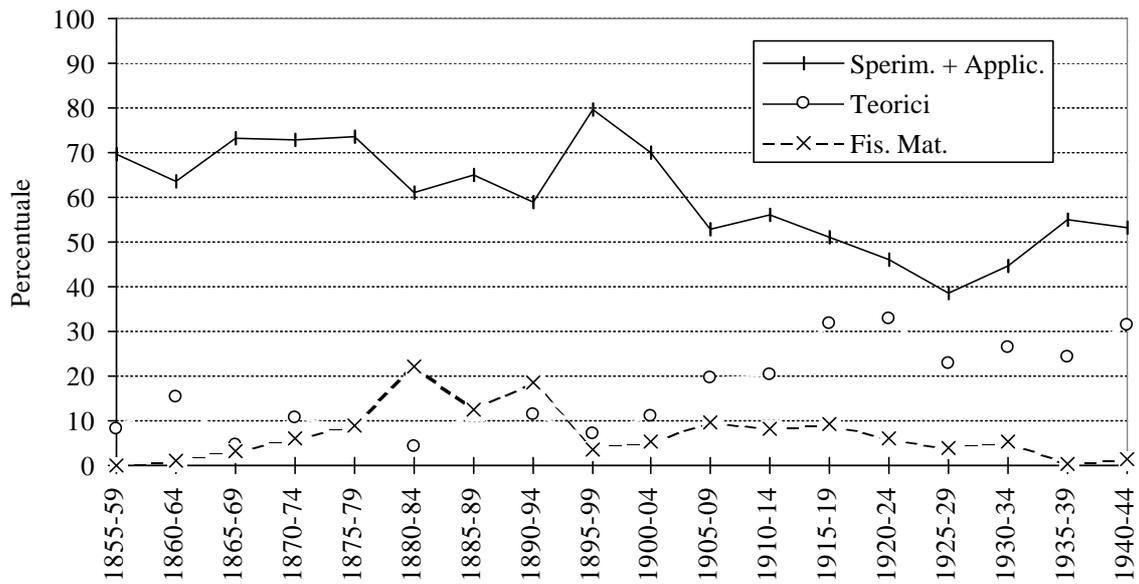


Figura 2. Articoli pubblicati su *Il Nuovo Cimento* suddivisi per tipo.

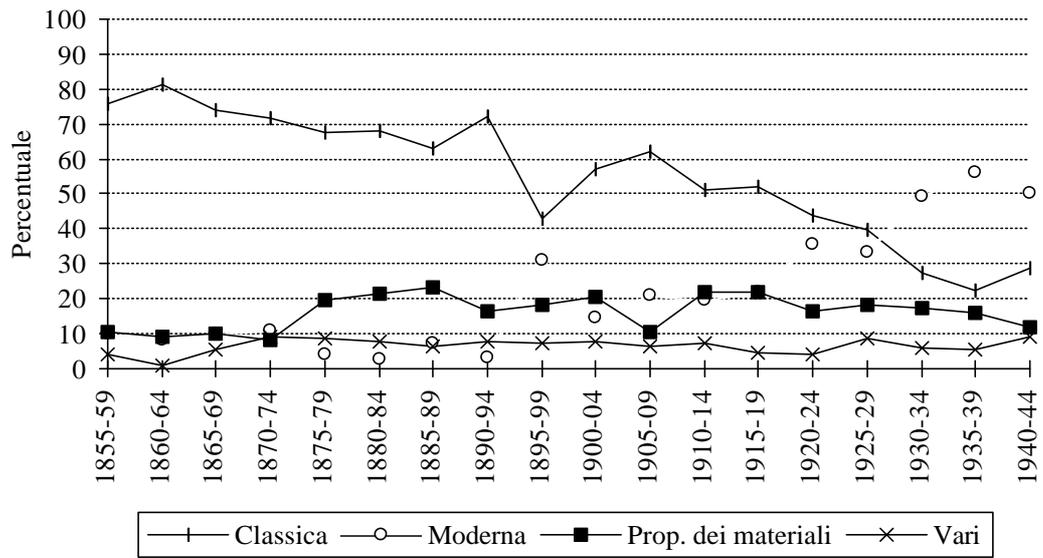


Figura 3. Articoli suddivisi secondo i criteri della tabella 2.