

## Didattica della Fisica nella Scuola Secondaria Superiore dal 1870 al 1940: Analisi dei libri di testo

P. Marazzini

*Via Pitteri 101 - 20134 Milano, Italia*

**Riassunto.** Questo lavoro si propone di descrivere i caratteri fondamentali dell'insegnamento della Fisica nell'ambito della Scuola Secondaria Superiore in Italia relativamente al periodo 1870–1940, con particolare riferimento agli indirizzi liceale e tecnico. Quadri orario, programmi di insegnamento e relative indicazioni ministeriali sono stati tratti dalle Gazzette Ufficiali del periodo esaminato; le modalità di trattazione dei contenuti sono state invece desunte dall'esame di circa venti manuali di Fisica per la Scuola Secondaria Superiore pubblicati in quel periodo. Il lavoro si conclude con alcune considerazioni che, a partire da alcune domande relative alla didattica della Fisica del periodo esaminato, intendono proporre una riflessione sulla didattica del presente e dell'immediato futuro.

**Abstract.** Physics teaching in Italian High Schools in the period from 1870 to 1940 has been studied. After a short introduction concerning timetables and teaching programs, about twenty textbooks are analysed in detail. The critical study of the past suggests, in the final section, some reflections on the problems posed by today (and tomorrow) physics teaching.

### Introduzione

In un mio precedente lavoro [1] osservavo che i manuali di Fisica della Scuola Secondaria Superiore degli anni Cinquanta scritti da autori italiani si caratterizzavano:

- a) per una esposizione di tipo spiccatamente enunciativo, non sostenuta da analisi di esperimenti esposte in termini realistici e tanto meno da proposte di attività sperimentali per gli allievi;
- b) per un uso del formalismo matematico che, a confronto dei manuali attuali, possiamo definire scarso,
- c) per l'uso molto limitato degli esempi numerici e degli esercizi di fine capitolo;
- d) per la quasi totale assenza di riferimenti storico-filosofici;
- e) per un uso piuttosto parsimonioso delle figure le quali, in particolare, non venivano mai usate in *sequenze* illustrative del discorso testuale.

Caratteri così spiccati ed omogenei dovevano certamente avere alle spalle una consolidata tradizione editoriale e didattica che meritava di essere indagata ed utilizzata eventualmente per una riflessione sulla didattica attuale, tanto diversa ed aggiornata ma, secondo le constatazioni dei docenti universitari di materie scientifiche dei primi anni di università, tanto poco efficace.

Obiettivo del presente lavoro è quindi l'esposizione dei caratteri peculiari dell'insegnamento della fisica nelle scuole secondarie italiane relativa al periodo (definito approssimativamente) 1870–1940.

Quanto si dirà si fonda sull'esame dei quadri orario, dei programmi e, soprattutto di un certo numero di manuali pubblicati in quel periodo.

L'esito di questa ricerca giustifica pienamente le considerazioni riportate in [1] ma, in più, inducono alcuni seri interrogativi che riguardano la attuale didattica della Fisica e ai quali si tenterà di dare una risposta al termine del presente lavoro.

Ciò che segue è suddiviso in tre sezioni, precedute da una premessa e seguite da una conclusione. I documenti aggiuntivi ai quali si fa riferimento nel testo sono invece accessibili in [2].

La premessa riassume i caratteri essenziali degli indirizzi di studio ai quali si rivolgevano i manuali che vengono esaminati nelle sezioni successive. La necessità di contenere le dimensioni del testo ci ha condotto ad escludere da questa premessa qualunque tipo di tabella o di quadro orario che, tuttavia potranno essere reperiti sempre in [2].

La sezione 1 presenta una panoramica generale delle tematiche e degli argomenti specifici riportati in sedici manuali di quel periodo: il primo di Giovanni Cantoni, edito nel 1871, l'ultimo di Rosario Federico, edito nel 1939.

La sezione 2 descrive con un certo dettaglio i contenuti di nove argomenti ritenuti adatti a caratterizzare il livello di approfondimento dei manuali: la rappresentazione vettoriale delle grandezze fisiche e la definizione di momento di una forza; il secondo principio della dinamica; i concetti di lavoro ed energia; i principi della termodinamica; l'ottica fisica; i concetti di campo e potenziale elettrico; l'induzione elettromagnetica; le oscillazioni elettromagnetiche; la struttura microscopica della materia.

La sezione 3 presenta i caratteri espositivi generali dei manuali: le caratteristiche grafiche; il livello matematico; l'utilizzo degli esempi numerici, degli ordini di grandezza e degli esercizi; i riferimenti ad apparati, strumenti, attività di laboratorio; la presenza di considerazioni storiche ed epistemologiche.

La conclusione contiene una riflessione sulla didattica della Fisica attuale fondata sul confronto con la didattica del periodo esaminato e alcuni possibili lineamenti per una possibile didattica dei prossimi venti anni.

## Premessa

Nel periodo che va dalla costituzione del Regno fino alla seconda guerra mondiale, l'organizzazione e gli obiettivi della scuola italiana si fondano essenzialmente sui contenuti di una legge e di una riforma <sup>(1)</sup>:

- la prima promulgata nel 1859 (mentre il nuovo stato italiano si stava formando per aggregazione intorno al suo primo nucleo, costituito dalle regioni Piemonte e Lombardia) nota con la denominazione di *Legge Casati* (dal nome dell'allora Ministro della Pubblica Istruzione Gabrio Casati);

<sup>(1)</sup> Chi desiderasse maggiori informazioni sull'intricato percorso degli ordinamenti scolastici italiani relativo al periodo che stiamo esaminando e sui principi pedagogici e filosofici alla loro base, potrà consultare, ad esempio, [3–12].

- la seconda, approvata nel 1923 (durante il primo governo Mussolini) nota con la denominazione di *Riforma Gentile* (dal nome del filosofo Giovanni Gentile, allora Ministro della Pubblica Istruzione).

Gli obiettivi della Legge Casati erano anzitutto quelli di contribuire a ridurre l'analfabetismo <sup>(2)</sup>, creare una lingua comune, preparare una classe dirigente per la gestione dello Stato. Da ciò la focalizzazione sulla istruzione primaria (contro l'analfabetismo) e sulla istruzione secondaria e superiore (per la formazione della classe dirigente).

Il percorso formativo che avrebbe dovuto realizzare gli obiettivi del livello secondario di istruzione venne identificato nello studio delle materie umanistiche e classiche, in accordo con la tradizione culturale dei secoli immediatamente precedenti e come accadeva in gran parte dei paesi europei.

In un contesto di questo tipo il canale del *Ginnasio* e del *Liceo Classico* rappresentò la corsia preferenziale per la formazione dei figli della nuova borghesia italiana.

Questo indirizzo di studi era articolato in un Ginnasio inferiore (di tre anni), in un Ginnasio superiore (di due anni) e in un Liceo Classico (di tre anni).

Il quadro orario approvato con Regio Decreto 22 Settembre 1860 prevedeva per le classi 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> ginnasiale e per le tre classi liceali 28 ore di Italiano, 19 ore di Latino, 14 ore di Greco, corrispondenti rispettivamente al 24%, 17%, 12% del totale delle ore di insegnamento (115) relativo alle cinque classi indicate.

Per contro, all'insegnamento della Matematica venivano assegnate 17 ore nei cinque anni e all'insegnamento della Fisica un totale di 9 ore distribuite nelle due classi terminali del liceo con un peso percentuale delle due materie pari rispettivamente al 15% e al 8% del monte ore totale. Per la Fisica, questo peso percentuale risulta superiore a quello dell'ordinamento attuale (5 ore in seconda e terza Liceo, pari al 3,4% del monte ore complessivo valutato per il Liceo Classico tradizionale) ma va tenuto presente che la materia di insegnamento allora denominata Fisica includeva argomenti che oggi vengono attribuiti all'insegnamento di Chimica.

Per quanto il Liceo Classico fosse dominato dalle materie umanistiche, le 9 ore di Fisica e Chimica (che, in base alla struttura dei manuali più diffusi all'epoca, dovevano essere dedicate prevalentemente alla Fisica) distribuite su due o su un solo anno, dovevano conferire una certa dignità all'insegnamento, anche agli occhi degli allievi. Nel 1888, tuttavia, il quadro orario del Ginnasio-Liceo introduce una modifica che porta da 9 a 7 le ore dedicate all'insegnamento ora denominato "Fisica ed elementi di Chimica" <sup>(3)</sup>.

Questa riduzione del numero di ore per l'insegnamento di Fisica ed elementi di Chimica non è accompagnata da una esplicita riduzione dei programmi ma da una sorta di declassamento del livello dell'insegnamento stesso che, secondo le "Avvertenze" che compaiono nel Regio Decreto del 1888, deve essere proposto "con la minor

<sup>(2)</sup> All'epoca della sua promulgazione, solo il 10% della popolazione della penisola italiana era in grado di leggere e scrivere correttamente e solo il 2,5% della stessa popolazione era italofona.

<sup>(3)</sup> Si veda Documento N° 1, Tabella 4, reperibile in [2].

estensione possibile, omissi tutti i particolari superflui e tutti i dati numerici che non siano indispensabili.”

Il quadro orario del 1888 rimarrà in vigore fino alla Riforma Gentile, nel cui ambito si avrà una ulteriore marginalizzazione dell’insegnamento della Fisica, sia per la riduzione del numero di ore ad esso assegnate, che passano da 7 a 5, sia (ma dovremmo dire, soprattutto) per il suo abbinamento all’insegnamento di Matematica, criticato con forza, anche se senza risultati, più e più volte nel tempo <sup>(4)</sup>. Per quanto riguarda i programmi di insegnamento, non si rilevano novità sostanziali rispetto a quelli del 1860. L’esposizione dei contenuti mantiene il suo carattere descrittivo ed enciclopedico che non intende avvalersi (né potrebbe farlo con il quadro orario previsto) del laboratorio, che ignora i riferimenti agli ordini di grandezza e il valore formativo della risoluzione di un problema. Le uniche variazioni riguardano quindi i contenuti; in particolare, nei programmi di insegnamento trovano un maggior rilievo il concetto di energia, i principi della termodinamica, le applicazioni elettrotecniche, le onde elettromagnetiche e le radiazioni (raggi catodici, raggi X, radioattività).

Ulteriori, ma limitate, modifiche al quadro orario del Liceo Classico furono apportate nel 1936 dall’allora ministro Bottai. Nonostante le proteste dei fisici, questo quadro orario confermava l’attribuzione dell’insegnamento della Matematica e della Fisica ad un unico insegnante, limitandosi a precisare il numero di ore da utilizzarsi per ciascuna materia (7 per la Matematica e 5 per la Fisica).

Sostanzialmente immutati rimangono anche i programmi di Fisica dai quali, però, scompaiono i contenuti di cosmografia e meteorologia mentre compare la voce seguente: “Cenno sulla costituzione della materia, molecole, atomi, nuclei, elettroni.”

Decisamente limitata è l’attenzione che la Legge Casati rivolge all’*Istruzione Tecnica*. Questo indirizzo di studi era articolato in più sezioni, distinte per i loro obiettivi specifici e dotate di uno specifico quadro orario. Nel suo ambito, la sezione di maggior rilievo (ed anche quella più frequentata) era quella Fisico-Matematica, caratterizzata da contenuti più generali e orientata in modo spiccato verso gli studi matematici e scientifici. Da questa sezione si poteva accedere alle facoltà universitarie di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, al corso di laurea in Chimica e Farmacia, alla Scuola Superiore di Medicina Veterinaria, agli Istituti e Scuole Superiori di Commercio, alle Scuole Superiori di Agricoltura, alla Scuola Superiore di Architettura di Roma.

Le esigenze del pur incerto processo di industrializzazione che si sviluppò in Italia alla fine dell’Ottocento, determinò un progressivo interesse per gli studi di carattere tecnico-scientifico cui corrispose un deciso incremento del numero di iscritti in questo canale di istruzione. Infatti, se nel 1861 gli alunni iscritti nelle scuole classiche erano circa 30000 e solo 11000 quelli iscritti negli istituti di tipo tecnico, nel 1901 il numero degli iscritti era rispettivamente 88000 e 61000 con un notevole riequilibrio fra i due canali.

<sup>(4)</sup> Si veda, ad esempio, [13].

I piani di studio dell'Istruzione Tecnica subirono frequenti modifiche nel corso degli anni <sup>(5)</sup>; nell'ordinamento del 1871, ad esempio, l'Istituto Tecnico si articolava su un biennio comune di 35 e 37 ore settimanali e su un biennio di indirizzo di quasi quaranta ore settimanali.

La Fisica veniva insegnata nel biennio comune (con 3 + 3 ore settimanali), nel biennio a indirizzo industriale (3 ore di Fisica Generale in classe III e 4 ore di Fisica Applicata in classe IV) e nel biennio a indirizzo fisico-matematico (3 ore di Fisica in classe III e 3 ore di Meccanica in classe IV).

L'insegnamento della Fisica nei due indirizzi ora ricordati poteva avvalersi di un bagaglio matematico acquisito in 6 + 5 ore settimanali nel biennio comune, 5 + 5 ore settimanali di Matematica elementare e 4 + 4 ore di Geometria descrittiva e disegno nell'indirizzo fisico-matematico, 5 ore settimanali di Matematica e 4 + 4 ore di geometria descrittiva nell'indirizzo industriale.

Nonostante il maggior numero di ore a disposizione dell'insegnamento di Fisica, l'indice dei contenuti ricalcava sostanzialmente quello del Liceo Classico, con qualche insistenza in più sugli aspetti applicativi e pratici.

La situazione ora presentata subì una drastica modifica nel 1876, con il ritorno della gestione degli Istituti Tecnici al Ministero della Pubblica Istruzione. Il quadro orario dei corsi viene drasticamente ridotto a circa 30 ore settimanali e l'insegnamento della Fisica concentrato in classe terza *per tutti gli indirizzi* con la dotazione di 5 ore settimanali.

L'indirizzo fisico-matematico poteva avvalersi di altre 3 ore di Fisica Complementare in classe IV, quello industriale di altre 4 ore di Fisica Applicata in classe IV. Nell'indirizzo fisico-matematico si prevedeva quindi la distinzione specifica fra Fisica (più teorica) e Meccanica (più applicativa) a favore di un insegnamento finalizzato a fornire agli alunni gli strumenti teorici necessari per la prosecuzione dei "loro studi nelle università e nelle scuole di applicazione per gli ingegneri."

Non abbiamo rilevato ulteriori variazioni di quadro orario e di programmi per l'Istituto Tecnico fino alla riforma Gentile, che ne certifica sostanzialmente la fine, cancellando gli indirizzi più prestigiosi (fisico-matematico e industriale) e togliendo a questo indirizzo di studi ogni accesso all'Università. Secondo questa riforma l'Istituto Tecnico segue immediatamente la Scuola Elementare (che si completa in cinque anni) e si articola in un corso inferiore comune di quattro anni e in due soli corsi superiori di quattro anni (denominati Sezione Commerciale e Sezione Agrimensura). In entrambe le sezioni, l'insegnamento della Fisica viene abbinato a quello della Matematica con un monte ore complessivo di 6 ore in classe I e 5 ore in classe II.

L'assetto dato da Gentile agli Istituti Tecnici fu fortemente criticato fin dagli anni Trenta in quanto non coerente con gli obiettivi del Fascismo. Al volgere degli anni

<sup>(5)</sup> Anche per il fatto che, controllati inizialmente dal Ministero della Pubblica Istruzione, divennero poco dopo competenza del Ministero dell'Agricoltura, Industria e Commercio, per tornare nel 1876 sotto il controllo del Ministero della Pubblica Istruzione.

trenta, infatti, il Ministro Bottai progettò un riordino complessivo che, tuttavia non ebbe seguito a causa dell'esplosione della seconda guerra mondiale.

La necessità di elevare il livello dell'insegnamento scientifico in ambito liceale condusse, nel 1911, alla istituzione del *Liceo Moderno*. Questo nuovo indirizzo di studi aveva in comune con l'indirizzo classico tradizionale le prime tre classi ginnasiali ma si diversificava poi nettamente nelle seguenti.

Questo nuovo corso di studi prevedeva l'eliminazione dell'insegnamento del Greco, la consistente diminuzione delle ore dedicate all'insegnamento liceale dell'Italiano e del Latino, l'inserimento dell'insegnamento di due lingue moderne per un totale di 10 e 17 ore, il passaggio da 7 a 10 ore per l'insegnamento della Fisica e degli elementi di Chimica e Geografia fisica ed astronomica, il netto aumento dei contenuti del programma di Matematica, fino ad includere i tipici argomenti dell'analisi infinitesimale: limiti, derivate di funzioni, cenni agli integrali definiti.

Per quanto riguarda le materie scientifiche e, in particolare, gli insegnamenti di Fisica e Chimica (affidati allo stesso insegnante) è prevista l'introduzione delle esercitazioni pratiche, da svolgersi con strumentazione semplice e senza preoccuparsi eccessivamente della precisione dei suoi esiti. Questo nuovo strumento didattico, unitamente alla richiesta specifica di integrare l'esposizione dei principi con la risoluzione di problemi, appaiono come gli elementi più innovativi del corso, anche se la vastità del programma di Chimica e Fisica, da svolgersi nelle 10 ore previste dal quadro orario, crea forti dubbi sulla loro reale attuazione.

Come si è già detto, la Riforma Gentile abolisce gli indirizzi fisico-matematico e industriale degli Istituti Tecnici e il Liceo Moderno che, con i suoi cinque anni ginnasiali e tre liceali assumeva pari dignità del Liceo Classico, e assegna il compito della formazione scientifica nell'ambito della Scuola Media Superiore a un corso quadriennale denominato *Liceo Scientifico*. Ad esso si accede previo esame di ammissione e il suo sbocco sono le facoltà universitarie ad eccezione di Lettere e Filosofia e Giurisprudenza.

L'analisi del suo quadro orario indica chiaramente che la sua denominazione non rispecchia il reale contenuto delle materie proposte. Infatti, agli insegnamenti di Matematica, Fisica, Scienze Naturali, Chimica e Geografia vengono assegnate 32 ore, pari al 29% delle ore totali del corso (112) mentre agli insegnamenti di Italiano, Latino, Filosofia ed Economia Politica vengono assegnate 38 ore, pari al 34% delle ore totali. Per contro, nelle classi IV e V Ginnasio e nelle tre classi del Liceo Classico, agli insegnamenti di Italiano, Latino, Greco, Filosofia vengono assegnate 72 ore, pari al 58% delle ore totali dei cinque anni (124) mentre agli insegnamenti di Matematica, Fisica, Scienze Naturali, Chimica e Geografia vengono assegnate 21 ore, pari al 17% delle ore totali.

Permane inoltre il deprecato abbinamento degli insegnamenti di Matematica e Fisica e, relativamente a quest'ultima materia, vengono cancellate le innovazioni introdotte dal Liceo Moderno riguardanti l'obbligo dell'uso del laboratorio e della risoluzione dei problemi.

Da notare che la differenziazione degli obiettivi del Liceo Scientifico e del Liceo Classico per quanto riguarda l'insegnamento della Fisica è pressoché nulla

(i programmi di insegnamento e gli argomenti dell'esame finale sono sostanzialmente identici) mentre è piuttosto accentuata per quanto riguarda l'insegnamento della Matematica, sia per quanto riguarda il numero di ore assegnate a questa materia, sia per i contenuti previsti dal programma ministeriale, che includono il calcolo infinitesimale.

Il quadro orario del Liceo Scientifico viene ritoccato dal Decreto Bottai del 1936 con l'inclusione della Religione e della Cultura militare. Per gli insegnamenti di Matematica e Fisica, sempre attribuiti ad un unico insegnante, è previsto l'aumento di un'ora (da 20 a 21), con la specificazione delle ore da utilizzarsi per i due insegnamenti: 13 per la Matematica e 8 per la Fisica.

## 1. Esame generale dei contenuti

*Introduzione* – C'è sempre un certo grado di scollamento fra gli obiettivi didattici e i programmi di studio previsti dagli ordinamenti ministeriali e ciò che si traduce in didattica corrente, attraverso la mediazione dalla personale concezione didattica degli autori dei manuali di studio. Nel 1871, così scriveva Giovanni Cantoni:

“Stimo quindi inutile di notare che nell'ordinamento di questo mio libro non presi a guida alcun programma ufficiale, poiché credo che non la scienza debba atteggiarsi secondo questo o quel programma ministeriale, ma bensì i programmi dovrebbero ogni volta attagliarsi alle peculiari condizioni di sviluppo della scienza” <sup>(6)</sup>.

Non tutti gli autori dei manuali da noi esaminati avevano l'autorità scientifica di Cantoni, professore di Fisica presso l'Università di Pavia e membro del Regio Istituto Lombardo di Scienze e Lettere; tuttavia molti altri autori di manuali di Fisica per le Scuole Superiori di fine Ottocento e dei primi decenni del Novecento potevano vantare titoli accademici (Ròiti, Amaduzzi, Murani, Corbino, Fermi, per citarne solo alcuni) e quindi, nel trasferire in un manuale le indicazioni ministeriali, molti di loro dovevano considerarsi vincolati solo dalla propria concezione didattica, in non pochi casi sperimentata nell'insegnamento universitario. Abbiamo voluto sottolineare fin dalla premessa il ruolo dei manuali, in quanto più di una volta abbiamo trovato nelle “Avvertenze generali” che accompagnano i programmi ministeriali la raccomandazione perentoria di attenersi ai libri di testo e a non dettare appunti in classe.

Una raccomandazione del genere doveva probabilmente fronteggiare una prassi indesiderata; tuttavia induce a ritenere che l'uso del manuale fosse molto più diffuso allora che non negli ultimi decenni, durante i quali il quaderno personale di appunti, per motivi che si indicheranno più avanti, ha preso il sopravvento sul manuale, almeno nella Scuola Secondaria Superiore.

Obiettivo di questa sezione è quindi quello di fornire una panoramica generale dei contenuti effettivamente esposti nei manuali cui si fa riferimento nel primo paragrafo di questa sezione.

<sup>(6)</sup> [18], Vol. I, Prefazione.

### 1.1. I manuali utilizzati

La ricerca delle fonti, eseguita quasi esclusivamente nelle Biblioteche di Milano e Pavia <sup>(7)</sup>, ha consentito l'esame dei manuali che sono riportati, in ordine cronologico di pubblicazione, in bibliografia dalla voce [14] alla [39].

Per l'analisi dettagliata dei testi non sono stati presi in considerazione tutti i volumi sopra indicati, per vari motivi quali la difficoltà di reperire l'opera completa o la caratterizzazione troppo specialistica del testo in quanto rivolto ad un tipo specifico di scuola.

L'analisi dettagliata dei contenuti riguarda solo i manuali dei seguenti autori:

Cantoni (1871, [18]), Roiti (1880, [20]), Bonmassari (1890, [21]), Invrea (1900, [22]), Funaro-Pitoni (1901, [24]), Vanni-Monti (1906, [25]) Cintolesi (1909, [26]), Amaduzzi (1921, [30]), Murani (1921, [31]), Battelli (1922, [32]), Murani (1925, [34]), Corbino (1925, [35]), Amerio (1925, [36]), Fermi (1929, [37]), Palatini-Serini (1933, [38]), Federico (1937/1939, [39]) <sup>(8)</sup>.

### 1.2. Il collegamento tra Fisica e Chimica

Nella prima metà dell'800 i fisici si occupano molto spesso di problematiche che oggi definiremmo di tipo chimico-fisico. Si pensi, ad esempio ai lavori di Volta sulla pila, che non potevano certo essere distinti da quelli del "chimico" inglese Davy o di Faraday sui fenomeni elettrochimici e, ancora, si tenga presente che gli studi sulla conversione del calore in lavoro meccanico obbligavano ad approfondire i problemi relativi ai gas, ai passaggi di stato, ai vapori, ecc. La connessione fra le due discipline trova ampio riscontro nelle memorie scientifiche dell'epoca e si trasferisce nei manuali didattici. Infatti, il *Corso elementare di Fisica*, di Moratelli, pubblicato nel 1805, dedica ad argomenti di tipo esclusivamente chimico il primo dei tre volumi dell'opera (355 pagine su un totale di 924).

Riferimenti espliciti ai contenuti di chimica si trovano anche nel primo volume del "Compendio di Chimica" del Belli (poco più di 50 pagine sulle "Affinità chimiche" e sulle "sostanze semplici e composte") e nel volume di Ambrosoli (1854) (un capitolo

<sup>(7)</sup> Più precisamente, si sono esplorati gli archivi storici delle biblioteche dei seguenti istituti: Liceo Classico Parini di Milano (LP), Liceo Classico Berchet di Milano (LB), Liceo Scientifico Vittorio Veneto di Milano (LVV), Istituto Tecnico Cattaneo di Milano (ITC), Liceo Classico Foscolo di Pavia (LF), Dipartimento di Fisica di Pavia (Fondo Storico) (DFP, FS), Collegio Ghislieri di Pavia (CG), Politecnico di Milano (PM). Le sigle tra parentesi compariranno anche in bibliografia, accanto ai volumi citati, allo scopo di facilitarne l'eventuale reperimento.

<sup>(8)</sup> L'analisi degli indici dei 16 manuali ora indicati ha consentito di compilare una Tabella 1 riportata del Documento N° 3, reperibile in [2], nella quale sono indicate le pagine che ciascun autore dedica all'esposizione di 44 argomenti di carattere fisico (gli eventuali paragrafi di contenuto tipicamente chimico sono stati ignorati) da noi ritenuti qualificanti. Questa tabella, unitamente a un primo sommario esame dei manuali, ha condotto alle considerazioni generali che riportiamo nei restanti paragrafi di questa sezione.

di circa 20 pagine intitolato *Fenomeni chimici* e capitoli specifici, di 10-15 pagine ciascuno, sulla pila, sugli effetti fisiologici e chimici della medesima, sulla galvanoplastica e sulle pile a forza elettromotrice costante.

La presenza di contenuti tipicamente chimici nei manuali di Fisica delle scuole secondarie dell'epoca trovava una motivazione istituzionale nella struttura del quadro orario dell'insegnamento liceale e tecnico degli anni Sessanta dell'Ottocento. Dall'esame dei manuali da noi esaminati si può tuttavia dedurre:

- a) che l'attenzione ai contenuti specificamente chimici è sempre stata decisamente inferiore a quella relativa ai contenuti di tipo fisico;
- b) che, se si prescinde dal manuale di Funaro-Pitoni (1901/1904), il cui primo volume dedica 85 pagine alla "esposizione di nozioni elementari di Chimica" riguardanti gli elementi base della Chimica, già nel manuale di Cantoni del 1871 scompaiono i capitoli esplicitamente dedicati a contenuti tipici della Chimica;
- c) che, tuttavia, la presenza di contenuti che oggi definiremmo di tipo chimico-fisico caratterizza le tematiche della terminologia (ove si dedica sempre notevole spazio ai passaggi di stato, ai fenomeni di cristallizzazione delle sostanze, al comportamento dei vapori, ai processi di liquefazione dei gas, ecc.) e dei fenomeni elettrici e magnetici (ove si descrivono, con ricchezza di particolari, sia il comportamento dei generatori elettrochimici, sia i fenomeni elettrolitici e galvanici).

Il Liceo Moderno confermerà l'abbinamento di Fisica e Chimica in termini ufficiali riconoscendo una stretta affinità metodologica e di contenuto, ma la riforma Gentile, come abbiamo già visto, separerà le due materie abbinando la Fisica alla Matematica. Tuttavia i riferimenti ai contenuti chimico-fisici di cui si è appena detto si conserveranno nella tradizione didattica italiana della scuola superiore ancora per molto tempo.

### 1.3. Il capitolo sulle "Proprietà generali"

Nei manuali attuali lo studio della Fisica viene solitamente introdotto con la descrizione, più o meno estesa, dei principi generali del metodo scientifico di indagine, ma poi ci si concentra essenzialmente:

- a) sul problema della misura delle grandezze fisiche,
- b) sul modo di rappresentare le loro dipendenze (grafici),
- c) sui caratteri generali delle grandezze fisiche, in particolare sulla distinzione fra grandezze fondamentali e derivate e fra grandezze scalari e vettoriali, con relative regole di calcolo. I tre argomenti ora ricordati precedono invece la trattazione della meccanica solo per alcuni autori del Novecento, mentre in quasi tutti gli altri manuali esaminati il capitolo di apertura reca il titolo *Proprietà generali* e contiene una sintesi, a carattere puramente discorsivo, delle tematiche affrontate nell'opera, riferimenti al metodo di indagine della Fisica (secondo la tipica successione: esperienza, legge, ipotesi), la descrizione di alcuni tipici strumenti di

misura (termometro, bilancia), l'enunciazione di alcune proprietà fondamentali della materia (gravità, densità, viscosità, elasticità, solubilità) <sup>(9)</sup>.

#### 1.4. La meccanica

In tutti i manuali esaminati, con eccezione di quello di Funaro-Pitoni (il cui primo volume è dedicato alla Chimica), la tematica presentata per prima è la meccanica. Secondo il Cantoni, infatti:

“Le nozioni di meccanica e le leggi della gravità, applicate anche alle condizioni di equilibrio per i corpi fluidi, furono da me svolte con molta maggior larghezza che non si soglia nei manuali di fisica, poiché quelle formano la base di tutte l'altre parti della scienza, e la norma delle loro applicazioni” <sup>(10)</sup>.

Posto che tutti considerano la Meccanica come tematica preliminare per la trattazione dei fenomeni fisici, piuttosto differenziata appare invece la sequenza con la quale i diversi autori espongono i vari argomenti soprattutto a causa del fatto che, fino agli inizi del Novecento, un medesimo argomento poteva essere trattato in punti diversi del manuale, anche distanziati tra loro <sup>(11)</sup>.

A partire dagli anni Venti del Novecento, gli autori sembrano tacitamente concordare sulla sequenza: cinematica, statica, statica macchine, dinamica, lavoro e energia, gravitazione (o gravitazione, lavoro e energia), attuata con una modalità espositiva secondo la quale i diversi argomenti vengono esaminati in capitoli compatti senza successivi ritorni. Entrando in ulteriori particolari, segnaliamo quanto segue.

*Sul moto circolare.* Specialmente nei manuali dell'Ottocento e dei primi del Novecento il moto circolare non viene introdotto nell'ambito della cinematica ma direttamente nell'ambito della dinamica, dopo aver presentato il concetto di forza centripeta e, solitamente, in modo molto sintetico.

*Sulle macchine.* Notevole rilievo veniva dato alla descrizione delle macchine semplici, che impegnava talvolta un capitolo a se stante, successivo a quello relativo alla trattazione teorica della statica e del problema dell'equilibrio per le traslazioni e le rotazioni. Questa attenzione per le macchine e gli apparati si trova anche relativamente alla descrizione dei barometri, delle pompe per vuoto e per liquidi, almeno fino al manuale di Murani del 1925.

*Lavoro, potenza, energia.* I concetti di lavoro, potenza, energia vengono trattati da tutti gli autori, anche se con ampiezza piuttosto diversa. Nessuno, tuttavia, assegna al concetto di energia un ruolo paradigmatico. Anche il principio di conservazione dell'energia, che trova poi un ulteriore sviluppo nel concetto di equivalenza calore-energia, gioca sempre un ruolo piuttosto marginale e, da non pochi autori, è esposto in termini puramente discorsivi.

<sup>(9)</sup> Per ulteriori dettagli si veda ad esempio, Documento N°4, Indice 1, reperibile in [2].

<sup>(10)</sup> [18], Dall'introduzione al primo volume.

<sup>(11)</sup> Vedi Documento N° 3, Tabella 2, reperibile in [2].

*Liquidi e Aeriformi.* Sempre trattate con ricchezza di particolari le leggi relative ai liquidi (principi di Pascal, Stevino, Archimede) e agli aeriformi. Quasi tutti gli autori considerati espongono anche i fenomeni connessi alle proprietà molecolari dei liquidi: viscosità, capillarità, osmosi. Pochi autori trattano invece i problemi di idrodinamica, almeno fino alla metà degli anni Venti. La stessa cosa si deve dire per la teoria cinetica dei gas alla quale, comunque, vengono dedicate sempre poche pagine. Qualche autore accenna ad essa nel capitolo degli aeriformi ma, per lo più, chi la tratta, la riporta nell'ambito della termologia, per illustrare il concetto di temperatura.

*Gravitazione.* La correlazione peso-massa-accelerazione di gravità e la variabilità di quest'ultima grandezza con il luogo considerato, sono presentati da tutti gli autori nell'ambito della dinamica ma non tutti presentano la legge di gravitazione e analizzano fenomeni ad essa strettamente connessi. Si tenga inoltre presente che alcuni autori trattano l'argomento non nell'ambito della dinamica ma nell'ambito della cosmografia, che costituiva un capitolo a se stante, richiesto dai programmi ministeriali, collocato solitamente al termine dello studio della meccanica.

*Onde meccaniche e acustica.* La trattazione delle onde meccaniche è inquadrata solitamente nella tematica intitolata Acustica. Solo pochi autori assegnano una priorità concettuale alle onde meccaniche mostrando poi come le onde acustiche ne siano un caso particolare. Segnaliamo esplicitamente che questa più corretta modalità espositiva viene ignorata anche da quasi tutti gli autori del Novecento.

### 1.5. La sequenza delle tematiche: acustica, termologia, ottica, elettrologia

Nei manuali attuali si è ormai consolidato l'uso di trattare la termologia e la termodinamica subito dopo il capitolo relativo ai concetti energetici, di unificare in una trattazione omogenea lo studio delle onde, meccaniche ed ottiche, e di passare quindi allo studio dei fenomeni elettrici.

Nei manuali esaminati, la sequenza dei temi ora indicati appare molto diversa dalla attuale e, almeno fino agli inizi degli anni Venti, è anche notevolmente diversa da autore ad autore <sup>(12)</sup>.

Alcuni autori collocano le onde meccaniche e l'acustica a conclusione della meccanica e ad esse fanno seguire immediatamente la termologia, senza ricercare una connessione con l'ottica, da alcuni collocata addirittura dopo l'elettrologia, mentre altri, dopo la meccanica, sviluppano la sequenza termologia, onde meccaniche, acustica, ottica, elettrologia.

Con Murani 1921 la sequenza diviene invece invariabilmente acustica, onde meccaniche, termologia, ottica, elettrologia.

Lo stacco dell'acustica dall'ottica, oggi difficilmente concepibile, era allora giustificato dal fatto che l'esposizione dell'ottica si incentrava quasi esclusivamente sull'ottica geometrica, corredata da elementi di fotometria e spettroscopia. Spesso assente

<sup>(12)</sup> L'analisi dettagliata è riportata nel Documento N° 3, Tabella 3, reperibile in [2].

o caratterizzata da un ruolo del tutto marginale (tranne nel caso dei manuali di In-vrea, Amaduzzi, Murani 1925, Palatini-Serini) era invece l'ottica fisica, i cui caratteri espositivi verranno precisati nella prossima sezione.

Per quanto riguarda l'ottica geometrica, osserviamo che, mediamente, gli argomenti trattati, la loro sequenza e il loro livello espositivo erano molto simili a quelli attuali, se si prescinde dall'apparato grafico e fotografico, dall'assenza di applicazioni numeriche e dalla maggiore attenzione a particolari di tipo applicativo e strumentale <sup>(13)</sup>.

### 1.6. Termologia e termodinamica

Grande rilievo viene dato da tutti gli autori alla tematica del calore. Dopo Cantoni, nessun altro dedicherà all'argomento un intero volume ma, comunque, i contenuti di taglio fisico e chimico-fisico (questi ultimi come eredità della stretta correlazione fra Fisica e Chimica esistente nella prima metà dell'Ottocento) connessi alla termologia avranno, in tutti i manuali, un ruolo di preminenza.

La termologia iniziava solitamente con la presentazione del concetto di temperatura, immediatamente seguito dallo studio della dilatazione dei solidi, trattata con una discreta dose di formalismo ed estesa ai liquidi e ai gas. Notevole spazio veniva poi dato ai passaggi di stato e ad altri argomenti che oggi affidiamo ormai all'insegnamento di Chimica, quali la crioscopia, l'ebullioscopia e i fenomeni di cristallizzazione.

La calorimetria veniva corredata solitamente dalla descrizione di un certo numero di tipi di calorimetro, anche se poi queste descrizioni non venivano completate dal punto di vista quantitativo con esempi numerici.

Molto meno rilevanti i contenuti relativi al primo e al secondo principio della termodinamica. Il primo argomento si riduce solitamente alla descrizione di esperimenti che evidenziano l'equivalenza fra calore e lavoro meccanico, ai quali non seguono enunciati generali e formalizzati sul principio di conservazione dell'energia. Il secondo principio viene addirittura ignorato da non pochi autori ma, anche chi lo tratta, lo fa con una esposizione prevalentemente qualitativa, accompagnata dalla descrizione di qualche macchina termica. Ulteriori dettagli sulle modalità espositive delle tematiche termodinamiche verranno riportate nella prossima sezione <sup>(14)</sup>.

### 1.7. Elettromagnetismo

Complessa e molto articolata la sequenza utilizzata per l'esposizione dei fenomeni elettrici, magnetici ed elettromagnetici, entro la quale si collocano la descrizione dei generatori elettrochimici e dei fenomeni elettrolitici, la presentazione delle leggi relative alle correnti continue (incentrata soprattutto sulle leggi di Ohm), l'esame dei

<sup>(13)</sup> Si veda, ad esempio il Documento N° 4, Indice 2, reperibile in [2].

<sup>(14)</sup> Nel Documento N° 4, Indice 3, reperibile in [2] si riporta, a titolo di esempio, l'indice dei paragrafi relativi alla tematica del calore tratti dal manuale di Amaduzzi (1921).

molti effetti connessi alle scariche nei gas e, a partire dai primi del Novecento, delle onde elettromagnetiche.

La sequenza degli argomenti e il numero di pagine ad essi riservato dai diversi autori <sup>(15)</sup> non evidenzia, a nostro avviso, una sequenza dominante, in quanto gli autori mescolano frequentemente i vari argomenti secondo una logica propria. Riteniamo tuttavia di poter affermare quanto segue.

1. L'uso di iniziare l'esame dei fenomeni elettrici e magnetici con questi ultimi viene progressivamente abbandonato (fa eccezione il manuale di Palatini-Serini) a favore di una descrizione preliminare dei fenomeni elettrici, che offre anche l'opportunità di proporre qualche cenno sulla natura microscopica della carica elettrica. Questa preoccupazione spiega il fatto che alcuni autori (Vanni-Monti, Cintolesi, Amaduzzi) introducono sintetici riferimenti ai fenomeni della scarica elettrica e ai raggi catodici subito dopo la descrizione dei fenomeni elettrostatici. Va detto però che, con gli anni Venti del Novecento, questi argomenti, unitamente ai raggi X e alle emissioni radioattive, vengono collocati in genere al termine della trattazione dell'elettromagnetismo, a sottolinearne il carattere di novità in rapporto alla struttura della materia.

2. Tutti gli autori dimostrano notevole interesse per gli aspetti *applicativi* dell'elettromagnetismo, che si traduce nella descrizione delle macchine elettrostatiche, delle macchine elettromagnetiche, delle tecniche di radiotelegrafia con e senza fili.

3. Ampi riferimenti vengono dedicati all'esame della struttura dei generatori elettrochimici e al loro principio di funzionamento, nonché ai fenomeni elettrolitici e di elettrodeposizione.

4. Tutti gli autori descrivono le leggi relative alle correnti continue (leggi di Ohm e effetto Joule) ma, in genere, senza insistere particolarmente sugli aspetti circuitali. Interessante osservare anche che la collocazione di queste tematiche varia molto da autore a autore e che nel singolo manuale può comparire trattata in punti diversi.

5. A partire dal manuale di Invrea, viene introdotta la descrizione delle onde elettromagnetiche (ovvero delle "oscillazioni elettriche" secondo la terminologia allora usata). Se si prescinde dal manuale di Murani del 1925, la trattazione dell'argomento è però sempre piuttosto sintetica, puramente descrittiva e sempre corredata da riferimenti alla tecnica della radiotelegrafia senza fili <sup>(16)</sup>.

## 2. Analisi di tematiche qualificanti

*Introduzione* – Nella sezione precedente abbiamo presentato una panoramica dei contenuti trattati nei diversi manuali. I dati forniti consentono di stabilire i livelli di attenzione per i diversi argomenti e le sequenze espositive utilizzate dai diversi autori ma non forniscono informazioni sulle modalità dell'esposizione. Nella presente sezione

<sup>(15)</sup> Si veda Documento N° 3, Tabella 4, reperibile in [2].

<sup>(16)</sup> Per una prima idea dei contenuti relativi all'elettromagnetismo trattati dopo gli anni venti del Novecento si veda il Documento N° 4, Indice 4, relativo al manuale di Fermi, reperibile in [2].

cercheremo di presentare, almeno in parte, anche questo aspetto riferendoci in modo specifico ad alcuni argomenti che abbiamo ritenuto qualificanti:

- 1) la rappresentazione vettoriale delle grandezze e la definizione di momento di una forza;
- 2) il secondo principio della dinamica;
- 3) i concetti di lavoro ed energia;
- 4) i principi della termodinamica;
- 5) l'ottica fisica;
- 6) i concetti di campo e di potenziale elettrico;
- 7) l'induzione elettromagnetica;
- 8) le oscillazioni elettromagnetiche
- 9) la struttura microscopica della materia.

### **2.1. La rappresentazione vettoriale delle grandezze e la definizione di momento di una forza**

Tutti i manuali odierni di fisica introducono fin dalle prime pagine la distinzione fra grandezze scalari e vettoriali e, per queste ultime, descrivono le modalità di somma e sottrazione, effettuata sia graficamente sia mediante l'uso delle componenti, e introducono le definizioni di prodotto scalare e vettoriale.

L'uso della rappresentazione vettoriale nei manuali pubblicati fino agli anni Venti del Novecento è invece molto più limitato e rispecchia il fatto che, anche a livello della ricerca e dei manuali universitari, la rappresentazione vettoriale era scarsamente utilizzata. Nei manuali esaminati non compaiono mai prodotti scalari e vettoriali e anche la stessa rappresentazione vettoriale delle grandezze appare piuttosto incerta. In genere gli autori rappresentano le forze con segmenti dotati di freccia (nei manuali di Invrea [22] e di Vanni-Monti [25], però, si usano segmenti senza freccia) ai quali si applica la regola del parallelogramma; ma questo tipo di rappresentazione è utilizzato quasi esclusivamente per rappresentare le forze, nella descrizione delle condizioni di equilibrio, e le velocità, per illustrare il principio di composizione dei movimenti. Raramente la si utilizza per altre grandezze fisiche vettoriali quali l'accelerazione e i campi elettrico e magnetico.

Le grandezze vettoriali, inoltre, non vengono mai caratterizzate tipograficamente con una specifica simbologia che le distingua dalle grandezze scalari e quindi risulta difficile anche la distinzione fra la grandezza vettoriale e il suo modulo o stabilire se si sta parlando dei componenti o delle componenti di una forza.

L'unico manuale in cui abbiamo rilevato una modificazione significativa di questa consuetudine è quello di Palatini-Serini [38], nel quale le grandezze vettoriali sono indicate con carattere grassetto, maiuscolo, tondo (nel successivo manuale di Rosario Federico [39] però queste distinzioni scompariranno nuovamente).

La mancanza del concetto di prodotto vettore di vettori porta naturalmente ad introdurre il momento di una forza come prodotto dell'intensità della forza per il suo braccio e a correlare il segno del momento al senso della possibile rotazione del corpo

sul quale la forza agisce, senza, quindi, metterne in evidenza il carattere di grandezza vettoriale.

Questa sarà la norma fino agli anni Venti del Novecento. Nel manuale di Amaduzzi [28], però, il momento di una coppia di forze, definito sempre come prodotto  $Fb$ , verrà denominato “asse-momento” e rappresentato da un segmento dotato di freccia non applicato, disegnato perpendicolarmente al piano della coppia e caratterizzato con il simbolo  $M$  non dotato di freccia soprastante.

Questa modalità rappresentativa verrà usata anche da altri autori (Murani 1921, [31], Fermi [37], Palatini-Serini [38]), ma altri (Federico, ad esempio) continueranno a usare una definizione che non evidenzia il carattere vettoriale del momento di una forza o di una coppia. Nessun autore, comunque, esprimerà il momento di una forza come prodotto vettore di vettori utilizzando una relazione generale nella quale compaia il seno dell'angolo definito dai due vettori.

Il caso di un corpo rotante soggetto a più coppie viene preso in considerazione da molti autori ma la sua analisi è limitata al caso in cui le coppie giacciono tutte nello stesso piano e il loro effetto risultante può essere determinato eseguendo la somma *algebraica* dei prodotti  $Fb$  delle diverse coppie.

## 2.2. Il secondo principio della dinamica

In tutti i manuali *contemporanei* il secondo principio della dinamica viene proposto dopo lo studio cinematico del moto rettilineo uniforme e uniformemente accelerato; è enunciato nella forma euleriana tradotta dalla relazione vettoriale  $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$  (i simboli in grassetto sostituiscono i corrispondenti simboli con freccia) viene solitamente verificato con esperimenti realizzati con rotaie a cuscinio d'aria; i valori delle grandezze in esso coinvolte sono espressi con le unità del S.I. e viene abbondantemente applicato all'analisi di fenomeni, reali o ipotetici, trattati anche numericamente.

Molto diverse sono le modalità espositive di questo principio presenti nei manuali di fine Ottocento.

Una delle differenze più notevoli è costituita dalla diversa sequenza espositiva che, come si è già mostrato nella sezione precedente, non faceva precedere la dinamica dalla cinematica ma alternava le due tematiche nell'ambito di un unico capitolo. Cantoni [18], ad esempio, nel paragrafo 18 intitolato “Principi della dinamica”, comincia a definire come *forza* “tutto ciò che è capace di imprimere moto ad un corpo, oppure di modificare in un corpo il suo stato di moto” e quindi, nel paragrafo 19, definisce il *moto uniforme* caratterizzandolo con la relazione  $s = vt$  e attribuendolo all'azione di una *forza istantanea* che ha “operato su d'un mobile, per un tempo anche brevissimo”. Nel paragrafo 20 ritornerà poi sugli aspetti dinamici proponendo un enunciato della legge della dinamica coerente con l'enunciato più genuinamente newtoniano (secondo il quale l'azione di una forza produce una variazione della quantità di moto del corpo su cui l'azione è stata sviluppata) senza approdare ad una formulazione del tipo  $F = ma$ .

Anche Ròiti [20] utilizza inizialmente un enunciato newtoniano della seconda legge:

“II. La variazione del moto è proporzionale alla forza agente, ed avviene nella direzione della retta lungo la quale essa forza agisce” <sup>(17)</sup>.

ma subito dopo preciserà che

“Per variazione di moto in una data direzione, non si può intender altro che la variazione della sua velocità, contata in quella direzione” <sup>(18)</sup>.

Tale variazione viene indicata con  $f$  ed esplicitamente denominata *accelerazione*.

Ròiti non conclude il suo enunciato del secondo principio con una relazione del tipo  $F = ma$ , ma si limita alla affermazione seguente:

“Ciò posto, è chiaro che una **forza costante** deve comunicare al corpo, sul quale agisce, variazioni di velocità uguali in tempi uguali. Cioè se in un secondo produce la variazione di velocità  $f$ , in  $t$  secondi produrrà la variazione di velocità:

$$(1) \quad \nu = ft \quad (19).$$

Nelle pagine successive, la II legge della dinamica viene applicata all’analisi del moto di caduta dei gravi e verificata mediante la descrizione di esperimenti eseguiti con la macchina di Atwood.

L’enunciato di Ròiti rappresenta quindi un ibrido fra l’enunciato di tipo newtoniano e quello di tipo euleriano ma, a partire dai manuali di inizio Novecento, la trattazione del secondo principio approderà sempre alla relazione  $F = ma$  espressa in forma *scalare*.

Ad esempio, nel manuale di Invrea, all’inizio del capitolo intitolato “Moto di un punto materiale libero”, troviamo la seguente affermazione:

“Se ad un punto materiale libero  $M$  di massa  $m$  è applicata una forza costante  $MF$  diretta secondo il movimento, esso avrà una accelerazione costante  $MA$  tale che sia  $MA = MF/m$ ” <sup>(20)</sup>.

Si noti però, in questa definizione, l’assenza di qualunque riferimento vettoriale. Essa sarà seguita dall’analisi del moto di caduta dei gravi e dalla verifica sperimentale della legge eseguita mediante la macchina di Atwood ma, in entrambi i casi, sono del tutto assenti i riferimenti numerici.

Nel giungere all’enunciato euleriano della II legge della dinamica si possono però individuare due percorsi logici differenti. Alcuni autori (Funaro-Pitoni [24], Cintolesi [26], Corbino [35], ad esempio) seguono un percorso nel quale si confrontano tra loro gli effetti di tre diverse forze. Riportiamo in proposito l’esposizione di Cintolesi.

<sup>(17)</sup> [20], Vol. I, p. 54.

<sup>(18)</sup> [20], Vol. I, p. 55.

<sup>(19)</sup> [20], Vol. I, p. 55.

<sup>(20)</sup> [22], Vol. I, p. 32.

“L’esperienza insegna, e la ragione suggerisce, che per produrre la stessa accelerazione in corpi di masse differenti occorrono forze *proporzionali* alle masse: e forze uguali, agendo su masse diverse, v’inducono accelerazioni *inversamente proporzionali* alle masse.

Ciò posto, supponiamo che due forze  $F_1$  ed  $F_2$ , agendo sopra le masse  $m_1$  ed  $m_2$ , vi producano le accelerazioni rispettive  $a_1$  e  $a_2$ . Sia  $F_3$  una terza forza, la quale agendo sulla massa  $m_1$  vi produca l’accelerazione  $a_2$ . Dal detto sopra, chiare risultano le due seguenti relazioni:

$$(1) \quad F_1 : F_3 = a_1 : a_2; \quad F_3 : F_2 = m_1 : m_2.$$

Dalle quali, moltiplicando termine a termine, e sopprimendo  $F_3$  si deduce:

$$(2) \quad F_1 : F_2 = m_1 a_1 : m_2 a_2.$$

Ponendo ora  $F_2 = 1$ ,  $m_2 = 1$ ,  $a_2 = 1$ : vale a dire, scegliendo per unità di massa quella di un corpo, sul quale l’unità di forza produrrebbe l’unità di accelerazione, dedurremo dalla (2):

$$(3) \quad \frac{F_1}{1} = \frac{m_1}{1} \cdot \frac{a_1}{1}$$

ossia, sopprimendo gli indici, divenuti inutili, avremo

$$(4) \quad F = ma,$$

dalla quale:

$$(5) \quad m = \frac{F}{a}$$

cioè:

‘il numero che misura la massa di un corpo, è dato dal rapporto tra il numero che misura la forza e quello che misura l’accelerazione impressa da questa’<sup>(21)</sup>.

Altri autori giungono invece più direttamente alla relazione  $F = ma$ . Esemplifichiamo in proposito con l’esposizione di Amerio:

“Per enunciare il secondo principio si considerano delle forze applicate a un corpo libero e gli effetti dinamici prodotti allorché esse *agiscono per uno stesso tempo*. Questi effetti sono delle *accelerazioni*, delle *velocità* e degli *spazi*.

Il secondo principio ci dice che *gli effetti prodotti dalle forze applicate a un corpo libero sono proporzionali ad esse, hanno la loro stessa direzione e non dipendono dallo stato di quiete o di moto del corpo*.

<sup>(21)</sup> [26], pp. 46, 47.

Consideriamo per effetto l'accelerazione che indichiamo con  $a$ . Sia  $f$  l'intensità della forza, e  $m$  una costante di proporzionalità.

Dal secondo principio discende quindi senz'altro la seguente *equazione fondamentale*

$$(18) \quad f = ma$$

che è di applicazione assai frequente" <sup>(22)</sup>.

Si osservi che anche questo è un enunciato in forma scalare del II principio. D'altra parte, nei manuali da noi esaminati solo quello di Palatini-Serini riporterà la formulazione vettoriale  $\mathbf{F} = m\mathbf{A}$ , con la specificazione che  $\mathbf{F}$  indica il vettore forza e  $\mathbf{A}$  il vettore accelerazione.

A questi due ultimi autori va anche riconosciuto il merito di aver utilizzato per primi (sempre relativamente ai manuali da noi esaminati) il sistema M K S (che era stato proposto da Giorgi nel 1901) nel cui ambito l'unità di forza in Italia veniva allora indicata con il termine "*vis*". A questo proposito ricordiamo che questa unità era stata accettata ed utilizzata solo da pochi autori e che, già alla fine degli anni Trenta del Novecento, una commissione del Comitato Elettrotecnico Internazionale aveva proposto l'uso del termine "newton".

Per quanto riguarda il concetto di massa, la maggior parte degli autori si preoccupa di precisarne il carattere di *misura della quantità di materia* e di *misura dell'inerzia al moto del corpo*.

Nessun cenno al ruolo della massa nella relatività ristretta, con due sole eccezioni:

– il manuale di Dessau [29] (che, tuttavia, come abbiamo già detto, nonostante il titolo, si rivolgeva più agli Istituti Superiori) ove sono presenti *alcune* pagine, su un totale di 1800, riguardanti la Relatività ristretta;

– Il manuale di Federico, nel cui secondo volume, parlando della massa dell'elettrone, compare la nota seguente:

"(1) S'intende di un elettrone in quiete. Secondo la Teoria di Einstein, la massa di un corpo varierebbe con la velocità di esso" <sup>(23)</sup>.

Il silenzio totale sui principi relativistici può essere giustificato, almeno fino agli anni Venti, con l'atteggiamento che i fisici italiani ebbero nei confronti della Relatività, ma per il periodo successivo potrebbe essere attribuito sia al fatto che un cenno a questa teoria non era previsto dai programmi ministeriali, sia al fatto che tutte le nuove teorie del Novecento dovevano essere prima assimilate in modo adeguato dai futuri docenti mediante una adeguata preparazione universitaria che, purtroppo, in Italia, mosse i suoi primi passi solo a partire dagli anni Cinquanta del Novecento.

Per quanto non sia importante ai fini della nostra analisi, vogliamo segnalare infine che, a partire dal manuale di Amaduzzi [28], il secondo principio della dinamica viene attribuito (seppure con diversa sottolineatura) da *tutti* gli autori a Galilei.

<sup>(22)</sup> [36], Vol. I, p. 57.

<sup>(23)</sup> [39], Vol. II, p. 171.

Non vengono portate valide giustificazioni storiche per questa attribuzione che, molto probabilmente, è da ricercarsi nel clima nazionalistico degli anni Venti e Trenta.

### 2.3. Lavoro ed energia

Un primo enunciato del principio di conservazione dell'energia è proposto da Mayer nel 1841 e le verifiche sperimentali del suddetto principio sono opera di Joule ed Helmholtz e vengono eseguite alla fine degli anni Quaranta del XIX secolo. Queste date giustificano in buona misura la timida e limitata esposizione che di tali concetti fa il Cantoni [18] nel suo manuale del 1871.

Assente un capitolo specifico sull'argomento e assenti i termini di energia cinetica e di energia potenziale; compare invece il termine di *vis viva* nell'ambito della presentazione dei fenomeni d'urto. A partire dalla relazione fra impulso e quantità di moto, viene dedotta la relazione

$$mv^2 + m'v'^2 = mv_1^2 + m'v_1'^2$$

“la quale significa che, nelle due masse, la somma delle forze vive dopo l'urto riesce eguale a quella che sussisteva prima dell'urto. Questo risultato è indicato sotto il nome di legge della *conservazione delle forze vive nell'urto de'corpi elastici*”<sup>(24)</sup>.

Osserva poi che

“... nell'urto de'corpi molli, accade sempre una perdita di forza viva”<sup>(25)</sup>, e con l'esperimento ideale di una grossa palla di piombo di peso  $p$  lasciata cadere per un tratto  $s$  mostra che nella caduta essa acquista una forza viva  $\frac{1}{2}mv^2 = ps$  che, nell'urto, trasforma poi in calore.

Il manuale di Ròiti rappresenta invece un punto di svolta per la didattica dei concetti di lavoro ed energia.

La sua esposizione non utilizza ancora il termine energia: il lavoro di una forza conferisce *vis viva* al corpo su cui la forza agisce secondo la relazione

$$Fs = \frac{1}{2}Mv^2$$

e il lavoro che può compiere un corpo che è stato sollevato dal suolo viene indicato con il termine di “lavoro potenziale”. Tuttavia, analizzando il caso di un sasso gettato su un tetto che, vincendo la resistenza dell'aria, ricade a terra per opera del suo peso, consumando parte della sua *vis viva*, giunge a mettere in evidenza, pur senza enunciarlo in modo rigoroso, il principio di conservazione della forza viva e del lavoro potenziale. E poco più avanti:

“Si vede adunque che una macchina, ben lungi dal moltiplicare il lavoro motore, non fa altro che trasformarli ed anzi ne dissipa una parte a causa delle

<sup>(24)</sup> [18], Vol. I, p. 64.

<sup>(25)</sup> [18], Vol. I, p. 65.

resistenze passive; e si appalesa così l'assurdità del **moto perpetuo**, che ha preoccupato tanti uomini d'ingegno e di poca cultura" <sup>(26)</sup>.

Un paio di pagine dopo, Ròiti riassumerà tutto quanto esposto con la seguente affermazione:

"**115.** Se poi consideriamo il sistema in due configurazioni diverse, talché nella prima abbia maggior forza viva che nella seconda, in quest'ultima il difetto di forza viva sarà compensato da un eccesso di lavoro potenziale. E concludiamo che in un sistema sottratto ad azioni esterne *la somma della forza viva e del lavoro potenziale è costante.*

Tale è il cosiddetto **principio della conservazione della forza**, che si può considerare come la più importante conquista scientifica dei tempi moderni. Esso fa riscontro al principio di indistruttibilità della materia, e come questo è il fondamento della Chimica, così quello si può ormai considerare come il fondamento di tutte le Scienze Fisiche" <sup>(27)</sup>.

Ed è, infine, a questo punto che compare il termine "energia".

"Piuttosto che parlare di conservazione della forza, è meglio seguire la locuzione inglese, e dire che *la somma dell'energia dell'universo è costante*; riserbando il vocabolo *forza* a designare una pressione, una trazione o una causa di moto in genere, e chiamando col nome generico d'*energia* tutte quelle estrinsecazioni delle forze che sono quantità omogenee col lavoro meccanico, ossia definendo l'energia *l'attitudine a produrre lavoro*. Gl'inglesi chiamano *energia attuale*, o *cinetica*, o *energia di moto* la nostra forza viva, ed *energia potenziale* o *di posizione* il nostro lavoro potenziale" <sup>(28)</sup>.

Dopo Ròiti, tutti gli altri autori utilizzeranno in modo più sistematico il termine "energia", anche se tutti (ad eccezione di Palatini-Serini) continueranno a chiamare con il termine di *vis viva* (o forza viva) la quantità  $\frac{1}{2}mv^2$ , dedotta applicando le leggi della dinamica all'espressione generale del lavoro di una forza:  $L = Fs$ .

Lo schema espositivo più condiviso sarà quindi il seguente:

- Definizione di lavoro di una forza, o considerando il componente della forza lungo lo spostamento del suo punto di applicazione o nella forma  $L = Fs \cos \theta$  (Ròiti, Invrea, Amaduzzi, Murani 1925, Amerio, Fermi, Palatini-Serini).
- Introduzione dei concetti di lavoro motore e resistente.
- Introduzione del concetto di potenza.
- Definizione dell'unità di misura del lavoro e della potenza; vengono utilizzati il chilogrammetro e l'ergon e il chilogrammetro al secondo e il cavallo vapore fino al manuale di Vanni-Monti (1906) e poi anche le unità joule e watt.
- Giustificazione del teorema delle forze vive ( $Fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ ).
- Introduzione dei termini *energia cinetica* o *attuale* e *energia statica* o *potenziale*. La prima è misurata dalla *vis viva*; relativamente alla seconda, solo Invrea e

<sup>(26)</sup> [20], Vol. I, p. 95.

<sup>(27)</sup> [20], Vol. I, p. 97.

<sup>(28)</sup> [20], Vol. I, p. 97.

Palatini-Serini si preoccupano di precisare che è necessario definire un livello di riferimento per misurarla e che su tale livello essa può anche essere diversa da zero (ma d'altra parte, l'assenza totale di esempi numerici consentiva di passare sotto silenzio questi aspetti del problema).

- Esame del caso *particolare* della caduta di un corpo pesante ed enunciato del principio di conservazione dell'energia meccanica nella forma *particolare*  $Ph = \frac{1}{2}mv^2$ .
- Discussione della impossibilità del moto perpetuo.

Solo pochi autori (Murani 1925, Amerio, Palatini-Serini) faranno seguire all'enunciato del principio di conservazione dell'energia alcune applicazioni diverse dal moto di caduta di un corpo pesante (il moto di un pendolo e il moto dei proiettili).

Segnaliamo anche che il passaggio al principio di conservazione dell'energia viene eseguito quasi sempre senza prendere in considerazione fenomeni estranei alla meccanica. Fanno eccezione Murani 1925, Amerio e Palatini-Serini i quali sottolineeranno l'equivalenza calore-energia meccanica, estendendo poi il discorso fino ad accennare al concetto di degradazione dell'energia. In proposito va però detto che tutti gli autori trattano poi l'equivalenza calore-lavoro nell'ambito della termologia.

Una terza eccezione è quella del manuale di Corbino, che fa esplicito riferimento alle trasformazioni radioattive.

Per quanto riguarda il livello matematico dell'esposizione dei concetti energetici, va segnalato che, in genere, può essere considerato decisamente modesto quando lo si confronti con le esposizioni attuali. Fanno eccezione:

- Funaro-Pitoni, che applica i concetti energetici allo studio del moto rotazionale di un corpo rigido e alla definizione del "potenziale" associato a una forza del tipo  $f = k/d^2$ ;
- Murani (1925) e Palatini-Serini i quali, come si è detto in precedenza, applicano il principio di conservazione al moto dei proiettili, del pendolo e del corpo rigido;
- Amerio, che applica il principio di conservazione al moto vibratorio e all'urto elastico.

Va osservato comunque che nessun autore si preoccupa di chiarire l'uso delle formule mediante esempi numerici (coerentemente alle modalità espositive di ogni altro argomento trattato).

Ricordiamo infine che, a partire dai manuali del Novecento, viene stabilita da tutti gli autori una *ambigua* correlazione fra energia di un corpo o di un sistema e lavoro da esso compiuto secondo una formulazione che esemplifichiamo con una citazione tratta dal manuale di Fermi:

“Vediamo dunque che in determinate circostanze si può ottenere del lavoro dai corpi. *La quantità di lavoro che si può ricavare da un corpo prende il nome di energia del corpo*” <sup>(29)</sup>.

<sup>(29)</sup> [37], Vol. I, p. 101.

In tempi recenti, definizioni di questo tipo sono state sottoposte a serrata critica, tuttavia esse rappresentano la radice storica delle definizioni di energia ancora presenti in molti manuali di fisica del giorno d'oggi.

#### 2.4. I e II principio della Termodinamica

Come è noto, gli storici attribuiscono alle riflessioni di B. Thomson, conte di Rumford (inizi XIX secolo), l'inizio del cammino verso l'affermazione di una descrizione del calore come energia disordinata di particelle microscopiche e il concomitante abbandono della ipotesi sostanziale del calorico, ma saranno solo l'ipotesi di Mayer sulla conservazione dell'energia (1841), gli esperimenti di Joule finalizzati alla determinazione dell'equivalente meccanico del calore (1845-47), i lavori di Helmholtz (fine anni Quaranta) e le deduzioni teoriche di Clausius (anni Sessanta) a convincere il mondo scientifico che il calore è una forma di energia meccanica riconducibile al moto delle particelle materiali.

È quindi perfettamente comprensibile che nei manuali di Matteucci [16], in genere aggiornatissimo, e Ambrosoli [17] compaia esclusivamente il termine "calorico": *Calorico latente*, *calorico latente dei vapori*, *calorico specifico*, legge del *calorico specifico degli atomi* dei corpi semplici e dei corpi composti, *calorico raggianti* sono i titoli di altrettanti paragrafi che compaiono nel manuale di Matteucci.

Già con il manuale di Cantoni tuttavia possiamo leggere, nell'ambito del paragrafo intitolato *Teoria Termodinamica*, il passo seguente.

"L'insieme delle precisate osservazioni [produzione di calore per sfregamento o per percussione di un corpo molle con corrispondente perdita di forza viva] torna in appoggio della teoria dinamica del calore, la quale oggidì viene dai fisici accettata in luogo dell'antica ipotesi del calorico, considerato come una materia a sé, ossia come uno speciale fluido sottilissimo" <sup>(30)</sup>.

Nel seguito dello stesso paragrafo Cantoni introduce il termine *equivalente dinamico del calore*, definito come

"la quantità di lavoro meccanico necessario a svolgere una caloria, ovvero la quantità di lavoro meccanico che può prodursi da una caloria" <sup>(31)</sup>

e descrive alcuni esperimenti finalizzati alla determinazione di tale valore. In particolare descrive l'esperimento del calorimetro a palette di Joule. Cantoni non definisce però il secondo principio della termodinamica anche se una ventina di pagine prima del paragrafo sopra citato, aveva descritto il principio di funzionamento delle *macchine motrici a vapore*.

Questa sostanziale indipendenza dell'esposizione del funzionamento delle macchine termiche dalla conoscenza dei due principi cardine della termodinamica (confermata dalla sequenza espositiva: descrizione delle macchine termiche, presentazione dei principi della termodinamica) caratterizzerà i manuali dell'Ottocento e il manuale di

<sup>(30)</sup> [18], Vol. I, pp. 487, 488.

<sup>(31)</sup> [18], Vol. I, p. 490.

Funaro-Pitoni. Nel manuale di Invrea e di Vanni-Monti la sequenza viene invertita e questa inversione verrà poi mantenuta anche nei manuali successivi.

La prima esposizione del significato fisico dei due principi della termodinamica (anche se con la sequenza sopra indicata) la troviamo nel manuale di Ròiti che, come per altre tematiche, si caratterizza per le sue novità espositive (pagando con il prezzo del suo scarso apprezzamento da parte dei docenti suoi contemporanei!). Le modalità con cui questi principi vengono presentati sono (a differenza di oggi) prevalentemente legate ai fenomeni ed agli esperimenti e, molto meno, a relazioni formali.

A pag. 31 di quel manuale si dichiara che la teoria del calorico è stata “sbugiardata dal fatto” e che “il calore non è dovuto ad una materia peculiare, ma al moto delle ultime particelle dei corpi”. La descrizione degli esperimenti di Joule e di Hirn consentono quindi di stabilire che l’ “equivalente dinamico della caloria” corrisponde a 425 chilogrammetri.

Su quello che oggi indichiamo come il primo principio della termodinamica non c’è altro; tuttavia, molto più avanti, con passaggi del tutto simili a quelli presenti nei manuali attuali, Ròiti stabilirà la correlazione fra la legge generale dei gas e la “forza viva molecolare media”.

La *seconda legge della termodinamica* viene introdotta in relazione al problema della produzione di lavoro in una macchina termica e identificata nella necessità di due sorgenti di calore. Viene descritto il ciclo di Carnot ma, per il resto, l’esposizione si mantiene su livelli puramente discorsivi. Unica formula proposta è la seguente:

$$L = 425(Q - q),$$

ove  $L$  è “il lavoro eseguito dalla macchina”,  $Q$  e  $q$  rispettivamente “il calore sottratto alla sorgente” e “il calore ceduto al refrigerante”. Il valore 425 indica il numero di chilogrammetri di lavoro corrispondente ad una chilocaloria.

Dopo avere evidenziato l’invertibilità del ciclo di Carnot, Ròiti mostra anche che il rapporto  $(Q - q)/Q$  dipende unicamente dalla temperatura  $\theta$  della sorgente calda e  $\Theta$  del refrigerante e deduce la possibilità di stabilire una “scala assoluta della temperatura”.

Il capitolo si chiude con una pagina relativa alla degradazione dell’energia presentata in termini puramente descrittivi.

Se si prescinde dal manuale di Bonmassari [21], nel quale compaiono solo poche pagine a carattere puramente descrittivo sulle macchine termiche e sull’equivalente meccanico del calore (nessun cenno al secondo principio), si può notare che la sequenza espositiva di Ròiti è accolta e persino ampliata dagli autori della prima decade del Novecento. Da Invrea anzitutto (che giunge persino alla formulazione esplicita della relazione  $L - JQ + U = 0$ ), ma anche da Funaro-Pitoni e Vanni-Monti. Anche questi autori identificano il primo principio con l’equivalente meccanico del calore, il cui valore viene proposto a conclusione di dettagliate descrizioni degli esperimenti di Mayer, Joule e Hirn.

Ben sottolineata è anche la connessione con lo stato cinetico delle particelle materiali che, nel manuale di Vanni-Monti, è trattato anche formalmente fino alla proposta della relazione (non dedotta)

$$HV = (1/3)MNVv^2,$$

ove  $H$  è la pressione di un gas,  $V$  il suo volume,  $M$  la massa di una molecola,  $N$  il numero di molecole contenute nell'unità di volume,  $v$  la velocità delle molecole.

Nei manuali di questi autori viene poi esaminato il secondo principio della termodinamica, indicato come *principio di Carnot*. Il punto di partenza è l'esame del ciclo (descritto in genere senza ricorrere alle espressioni formali dell'isoterma e dell'adiabatica) cui seguono (senza deduzione) le espressioni del rendimento (che allora veniva indicato con il termine di *coefficiente economico*):

$$\alpha = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad \alpha = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Per quanto riguarda l'enunciato del secondo principio, è interessante osservare che sia gli autori ricordati, sia quelli degli anni Venti e Trenta del Novecento, non giungono ad una definizione canonica unanimemente seguita ma si avvalgono di diversi enunciati che si riconducono: o all'impossibilità di un passaggio spontaneo di calore da una sorgente a bassa temperatura ad una a temperatura superiore <sup>(32)</sup>; o alla correlazione fra il lavoro prodotto e le temperature estreme delle trasformazioni con le quali viene realizzato <sup>(33)</sup>; o all'impossibilità di trasformare completamente calore in lavoro <sup>(34)</sup>; o all'impossibilità di realizzare un processo che abbia come unica conseguenza una trasformazione di calore in lavoro quando il calore viene assorbito da un'unica sorgente <sup>(35)</sup>.

Non pochi saranno gli autori che spingeranno la loro riflessione sul secondo principio fino a mostrare (anche se solo in termini puramente descrittivi) la conseguenza della degradazione dell'energia. Ma, a questo proposito merita osservare che alcuni autori <sup>(36)</sup> sembrano avere forti dubbi sulla conseguenza estrema di tale degradazione: la morte termica dell'Universo, preconizzata da Boltzmann.

Come si è rilevato in precedenza, la lezione di Ròiti viene ben assimilata dagli autori della prima decade del Novecento. Con gli autori della prima metà degli anni Venti si realizza però un chiaro processo regressivo per quanto riguarda l'ampiezza dei contenuti proposti e la loro formalizzazione.

Da Amaduzzi a Murani a Battelli, l'esposizione dei principi della termodinamica si spoglia progressivamente degli aspetti formali e si riduce in ampiezza, per divenire

<sup>(32)</sup> Si veda, ad esempio: Invrea, [22], Vol. I, p. 326; Corbino, [35], Vol. II, p. 27; Fermi, [37], Vol. I, p. 226.

<sup>(33)</sup> Si veda: Funaro-Pitoni, [24], Vol. III, p. 95.

<sup>(34)</sup> Si veda: Amaduzzi, [28], Vol. II, p. 103; Amerio, [36], Vol. I, p. 263.

<sup>(35)</sup> Si veda: Fermi, [37], Vol. I, p. 226.

<sup>(36)</sup> Si veda, ad esempio: Amaduzzi, [30], Vol. II, p. 104.

esclusivamente descrittiva nel manuale di Corbino. In questo, l'unico dato numerico rilevabile è il valore dell'equivalente meccanico del calore e i due principi della termodinamica vengono esposti in sole sette pagine di *considerazioni descrittive*.

Il manuale di Murani (1925) (che, però, come si è già detto più volte, aveva obiettivi che eccedevano quelli di una didattica solo liceale) e di Amerio invertono nettamente questa tendenza ma il livello espositivo di Fermi non è molto più elevato di quello di Murani 1921, se si eccettua il fatto che egli mette in chiara evidenza la differenza fra il calore specifico a pressione costante e a volume costante e propone la relazione di Mayer nella forma  $J = R/(C_p - C_v)$ , ove  $R$  è la costante generale dei gas e  $J$  l'equivalente meccanico della caloria.

Nel manuale di Palatini-Serini gli aspetti formali riacquisteranno un certo rilievo ma il manuale di Federico ci ripropone una esposizione dei due principi nuovamente descrittiva, senza alcun riferimento a cicli termici e nella quale ci si limita a riportare l'espressione del rendimento, senza alcuna giustificazione di carattere deduttivo.

## 2.5. Ottica fisica

I principi generali della teoria ondulatoria della luce vengono formulati da Fresnel a partire dal 1815 e quindi si possono già considerare ben consolidati, forse anche sul piano didattico, nella seconda metà dell'Ottocento. Ciò nonostante il trasferimento di questa tematica nei manuali della scuola liceale avviene con modalità molto diverse, almeno fino agli anni Venti del Novecento.

Matteucci e Ambrosoli dedicano una trentina di pagine sull'argomento ma negli anni successivi, con l'eccezione del manuale di Invrea, la tematica sembra perdere di importanza.

Cantoni vi dedica solo 13 pagine; gli argomenti affrontati sono: la relazione fra velocità, frequenza e lunghezza d'onda della luce; l'interferenza prodotta dagli specchi di Fresnel e da due fori molto piccoli e ravvicinati; la diffrazione da spigoli e fenditure; l'interferenza da lamine sottili con ampio riferimento agli anelli di Newton; la doppia rifrazione e la polarizzazione della luce; la rotazione della luce polarizzata. Un indice che anche oggi considereremmo del tutto esauriente ma la cui esposizione è condotta in termini *puramente descrittivi* e senza alcun supporto formale, eccezion fatta per la relazione  $v = \lambda f$ .

Ròiti, che più volte abbiamo indicato come innovatore aggiornato e temerario della didattica di fine Ottocento, non include nel suo manuale alcun cenno all'ottica fisica e così faranno anche Bonmassari, Vanni-Monti, Cintolesi e persino Murani 1921.

Nell'ambito di questa consuetudine didattica spicca ancora di più l'anomalia della trattazione di Invrea. Nel suo manuale l'ottica fisica è trattata in ben 59 pagine, con notevole ricorso ad aspetti formali. Invrea interpreta persino la diffrazione da ostacoli ed aperture, dopo aver esaminato, anche formalmente, gli effetti interferenziali delle regioni concentriche e contigue di un fronte sferico.

Non meno approfondita l'analisi degli effetti di polarizzazione eseguiti anche in termini formali a partire dall'espressione dell'ampiezza d'onda in termini di periodo e fase.

Ma Invrea, come si è già detto, non viene imitato dagli altri autori suoi contemporanei e, per trovare nuovamente una esposizione abbastanza completa degli argomenti di ottica fisica, si deve attendere la pubblicazione del manuale di Amaduzzi <sup>(37)</sup>.

Nella sua esposizione Amaduzzi utilizza alcune espressioni formali: la legge di rifrazione espressa come rapporto della velocità della luce nei due mezzi; l'espressione della lunghezza d'onda della luce in funzione dell'interfrangia in una figura di interferenza; la correlazione fra la posizione degli anelli di Newton e la lunghezza d'onda della luce incidente su di essi; l'espressione della posizione delle frange di una figura di diffrazione prodotta da una fenditura; la formula del potere separatore di un cannocchiale; la relazione che esprime la posizione angolare dei massimi prodotti da un reticolo; la legge di Malus per la luce polarizzata. Tutte queste relazioni vengono però fornite al lettore (ed eventualmente applicate per interpretare altri fenomeni) *senza essere dedotte a partire dai principi generali delle onde*.

In definitiva, Amaduzzi dà un discreto rilievo alla tematica ma, anche in questo caso, non riesce a promuovere una nuova linea didattica. Infatti, ad eccezione del manuale di Palatini, che ripropone un indice di argomenti molto simile a quello di Amaduzzi, svolgendolo con un discreto livello di formalizzazione, gli altri autori degli anni Venti tratteranno l'ottica fisica in un numero di pagine molto contenuto (Corbino, 12 pagine; Fermi, 10 pagine e ancora meno gli altri) limitandosi alla considerazione dei fenomeni di interferenza e di polarizzazione, in termini quasi esclusivamente descrittivi.

Scendendo a questioni più particolari, ci sembra interessante segnalare i due punti seguenti.

*Il primo* riguarda la composizione della luce solare. Oggi i manuali più aggiornati riportano, per i colori fondamentali che costituiscono la luce solare i sei seguenti: rosso, arancio, giallo, verde, azzurro, violetto. In tutti i manuali da noi esaminati, a questi sei colori viene aggiunto l'indaco, con lunghezza d'onda pari a  $0,41 \mu\text{m}$  e compreso fra l'azzurro ( $0,47 \mu\text{m}$ ) e il violetto ( $0,39 \mu\text{m}$ ).

L'inclusione dell'indaco nella composizione cromatica della luce solare non trova eccezioni almeno fino agli anni Novanta del secolo scorso.

*Il secondo* riguarda l'eventuale esistenza di un supporto per la propagazione della luce, cioè dell'etere. Già il Cantoni descrive l'etere come "un fluido estremamente sottile ed elastico" che

"colle proprie vibrazioni elastiche serve a trasmettere da un punto ad un altro dello spazio, anche lontanissimi tra loro, le vibrazioni proprie dei corpi luminosi o incandescenti" <sup>(38)</sup>.

La fede nell'etere come mezzo elastico per la propagazione della luce è presente in tutti i manuali esaminati fino a quello di Amerio. Qui il termine non compare, ma neppure viene posto esplicitamente il problema di come si propaga la luce e quindi

<sup>(37)</sup> A titolo esemplificativo, nel Documento N°4, Indice 5, [2] si riporta l'elenco dei paragrafi presenti nel manuale di questo autore.

<sup>(38)</sup> [18], p. 953.

non è possibile stabilire se questo silenzio sia determinato da una posizione critica dell'autore nei riguardi del concetto di etere.

La prima critica esplicita a tale concetto compare invece nel manuale di Fermi, il quale osserva che si deve ormai ammettere

“che le vibrazioni che costituiscono la luce non siano vibrazioni delle particelle di etere, bensì che si tratti di vibrazioni elettriche e magnetiche” <sup>(39)</sup>.

Interessante osservare però che anche Fermi non fa scuola, perché Palatini-Serini ricorrono ancora al concetto di etere e Federico avrà nei riguardi di questo concetto una posizione didatticamente ambigua in quanto, nell'ambito del capitolo sull'ottica fisica, prima dichiara che la luce si propaga mediante un etere cosmico; mezza pagina dopo afferma che la teoria elettromagnetica della luce consente di non supporre più l'esistenza; infine, nelle sue successive considerazioni, continuerà a parlare di “vibrazioni dell'etere” <sup>(40)</sup>.

## 2.6. Campo elettrico e potenziale

I riferimenti scientifici per il concetto di campo sono i lavori sperimentali di Faraday e i lavori teorici di Maxwell (trasferiti nel suo trattato sull'elettricità e il magnetismo del 1873). Non meraviglia quindi il fatto che nel manuale di Cantoni sia assente il termine di campo (sia elettrico che magnetico) e il concetto di potenziale appaia ancora con la terminologia voltiana di tensione intesa come

“mutua repellenza manifestata dalle parti di un corpo o di un insieme di corpi aventi un medesimo stato elettrico” <sup>(41)</sup>

e misurabile mediante un elettrometro a foglie o a torsione.

Meraviglia semmai il fatto che il termine campo elettrico compaia già nel manuale di Ròiti (1880), anche se con modalità che mascherano un po' il suo vero significato fisico. Infatti, dopo aver definito il potenziale in un dato punto come il lavoro eseguito dalle forze elettriche sull'unità di carica positiva quando questa viene portata dal punto all'infinito, Ròiti definisce il “campo elettrico” come “lo spazio entro il quale sono sensibili le azioni” dovute a un insieme di corpi elettrici e introduce “il valore medio della forza elettrica” che si esercita su un “corpuscolo coll'unità di carica” che si porta da un punto A a un punto B del campo nella forma

$$f = \frac{V_a - V_b}{d},$$

senza però specificare che tale forza rappresenta l'intensità del campo <sup>(42)</sup>.

<sup>(39)</sup> [37], Vol. II, p. 52.

<sup>(40)</sup> Si veda: [39], Vol. II, pp. 103, 104.

<sup>(41)</sup> [18], pp. 545, 546.

<sup>(42)</sup> Si veda: [20], Vol. IV, pp. 26, 27.

Dopo questa relazione viene definita la *linea di forza*, intesa come la curva che incontra

“... ortogonalmente tutte le equipotenziali: o, in altre parole, quella curva la cui tangente in ogni punto sia perpendicolare al piano tangente della superficie di livello in quel punto medesimo” <sup>(43)</sup>.

Sul concetto di campo, nel manuale di Ròiti, non c'è altro: non ne vengono definite chiaramente le unità di misura, non ci sono rappresentazioni di campi associati a distribuzioni diverse di cariche, non se ne sottolinea il carattere vettoriale e, tanto meno, si mostra come si debbano sommare campi prodotti da cariche diverse, non si esamina la natura fisica del campo accennando alle modalità della sua propagazione.

I due manuali a nostra disposizione che seguono temporalmente quello di Ròiti costituiscono, per motivi opposti, due anomalie che mal rappresentano la successiva evoluzione della proposta didattica dei due concetti che stiamo esaminando.

Quello di Bonmassari, perché in esso non si accenna neppure al concetto di campo; quello di Invrea perché la trattazione dei concetti di campo e potenziale, fatta a partire dal campo magnetico prodotto da distribuzioni di poli magnetici identici, raggiunge livelli di completezza, formalismo e astrazione senz'altro sproporzionati ad una didattica liceale e che, infatti, non verranno imitati da nessun altro autore.

In tutti gli altri manuali pubblicati dopo quello di Invrea si individua invece una notevole omogeneità espositiva, con poche differenziazioni, coerenti con le scelte didattiche generali dei diversi autori. In sintesi, si può affermare quanto segue.

a) Nessun autore affronta il problema della realtà del campo e del suo modo di propagarsi nello spazio.

b) Il termine campo non definisce la modificazione dello spazio ma *lo spazio stesso* secondo definizioni del tipo seguente:

“... chiameremo campo elettrico, una regione dello spazio tale che, ponendo in un punto qualsiasi di essa un corpicciolo elettrizzato, esso venga sollecitato da una forza elettrica” <sup>(44)</sup>.

c) La trattazione delle proprietà del campo è ridotta al minimo. Cintolesi formula il teorema di Gauss partendo dall'esame del caso particolare di una carica puntiforme; Amaduzzi si limita ad enunciarlo, senza poi applicarlo; nessun altro autore lo ricorda. Coerente con questo livello di trattazione è l'assenza di ogni sua applicazione allo studio dei sistemi di cariche puntiformi o delle distribuzioni di cariche.

d) Poco evidenziato, in genere, il carattere vettoriale del campo, almeno fino agli anni venti. Amaduzzi (1921) inquadra infatti la definizione di campo elettrico in una definizione più generale dei campi di forza, nel cui ambito include anche il campo “gravifico” di cui evidenzia il carattere vettoriale.

L'inquadramento del campo elettrico nell'ambito più generale dei campi di forza non verrà seguito dagli altri autori che, però, saranno tutti più attenti nel precisare

<sup>(43)</sup> [20], Vol. IV, pp. 27, 28.

<sup>(44)</sup> [37], Vol. II, p. 78. Come vedremo fra poco, però, Fermi preciserà meglio questa prima definizione di campo ma così non farà la maggior parte degli altri autori.

il carattere vettoriale del campo elettrico. Amerio riporterà anche un esempio di somma vettoriale dei vettori campo elettrico associati a due cariche di segno opposto per giustificare la curvatura delle linee di forza in quel caso (anche se poi non descriverà i passaggi necessari per giungere al modulo del campo elettrico risultante).

Molto precisa invece la trattazione di Fermi, nella quale compaiono ben separate la forza agente sulla carica e il campo in cui si trova la carica. L'attacco potrebbe sembrare ancora ambiguo perché:

*“Si chiama intensità del campo elettrico nel punto  $P$ , la forza che agisce sopra un corpicciolo carico con l'unità di quantità di elettricità, posto nel punto  $P$  del campo”* <sup>(45)</sup>.

Ma appena qualche riga dopo, compare la relazione  $F = qE$  che così commenta:

*“Possiamo esprimere questo risultato dicendo che: la forza che si esercita su un corpo elettrizzato, posto in un punto di un campo elettrico, è uguale al prodotto dell'intensità del campo in quel punto per la carica elettrica del corpo”*.

Da rilevare anche che Fermi parla esplicitamente di un campo elettrico “prodotto” da una carica  $Q$ , modificando, anche se un po' implicitamente, la sua prima definizione di campo (che abbiamo riportato poco sopra) secondo la quale un campo elettrico è semplicemente una *regione di spazio* nella quale su un corpicciolo carico agiscono delle forze.

e) Tutti gli autori parlano di linee di forza e riportano la loro rappresentazione nel caso di una carica puntiforme, di due cariche e di due distribuzioni affacciate di cariche di segno opposto.

Per quanto riguarda il *concetto di potenziale*, si ravvisa, nei manuali che seguono quello di Cantoni, una maggior confidenza e il discorso relativamente a tale grandezza viene sviluppato in modo da farne emergere con discreta chiarezza il significato fisico.

Va segnalato però che tutti gli autori *identificano* il potenziale con il lavoro compiuto dalle forze elettriche sulla carica positiva unitaria, introducendo quindi un elemento di ambiguità dal punto di vista dimensionale, mitigato dal fatto che, in genere, questo tipo di definizione è seguito dalla relazione  $L = q(V_1 - V_2)$ , ma aggravato dalla mancanza di esempi numerici che, applicando la relazione precedente, consentano di distinguere chiaramente fra lavoro e potenziale <sup>(46)</sup>.

Come per il campo elettrico, la trattazione formale dei fenomeni in cui è coinvolto il potenziale è molto limitata. In genere, infatti, viene presentata solo la relazione sopra indicata e solo un certo numero di autori presenta anche la relazione  $V = kq/r$ , senza giustificarla (tranne nel solito manuale di Invrea e in quello di Fermi).

D'altra parte questo livello di formalizzazione si accorda molto bene con l'assenza di applicazioni sia formali che numeriche. L'unica eccezione a questo vuoto applicativo è costituita dal manuale di Federico che, tuttavia, a proposito del concetto di potenziale, si limita a proporre i seguenti *due* esercizi.

<sup>(45)</sup> [37], Vol. II, p. 78.

<sup>(46)</sup> Si veda, ad esempio: [35], Vol. III, pp. 120, 121.

“ESERCIZI 1. Qual è il lavoro che occorre eseguire perché una bacchetta di vetro per strofinio si elettrizzi al potenziale di 15000 V, con una carica di  $10^{-8}$  coul.?”

2. Una sferetta di metallo, venendo in contatto con un conduttore elettrizzato  $A$  al potenziale di +5000 V, acquista una carica di  $4 \times 10^{-11}$  coul. Essa è attratta da un altro conduttore elettrizzato  $B$ , al potenziale di -3000 V, alla distanza di cm 50. Calcolare:

- a) il lavoro che compie la sferetta passando da  $A$  a  $B$ ;
- b) il valore della forza media con cui la sferetta è sollecitata in tale movimento” <sup>(47)</sup>.

## 2.7. L'induzione elettromagnetica

La pubblicazione di Faraday sulla corrente indotta è datata 1831. Henry lavorò sull'argomento nell'estate del 1830 stabilendo la possibilità di generare correnti indotte mediante un certo numero di fenomeni ma fornirà il resoconto di tale lavoro dopo Faraday. Lenz enuncerà la sua legge nel 1834. La formalizzazione delle leggi sull'induzione sono frutto del contributo di diversi fisici fra i quali Felici, Neumann, Weber e Maxwell, i primi tre secondo la visione dell'azione a distanza, Maxwell (1873) all'interno del concetto faradayano di campo; tutti con un formalismo che, nella sua completezza, non era per nulla proponibile ad un livello di scuola secondaria superiore.

Le date ora ricordate consentono di comprendere il fatto che al fenomeno dell'induzione elettromagnetica fossero riservate poche pagine nei manuali di Matteucci e Ambrosoli mentre, nel manuale di Cantoni, il fenomeno è già descritto con qualche rilievo, pur senza ricorso ad alcun formalismo e senza alcun riferimento al campo magnetico e alla sua variazione o al taglio delle linee di forza magnetiche <sup>(48)</sup>.

La mancanza di riferimento al campo magnetico caratterizzerà anche l'esposizione di Ròiti che, però, all'argomento dedicherà una ventina di pagine.

Il primo manuale nel quale compare l'aspetto interpretativo del fenomeno è quello di Bonmassari che, nel proporlo, segue il criterio faradayano delle linee di forza magnetiche tagliate <sup>(49)</sup>.

Il riferimento al taglio delle linee di forza non verrà utilizzato da nessun altro autore: tutti si riferiranno invece alla variazione del flusso del campo magnetico <sup>(50)</sup> seguendo il criterio che si era andato affermando a partire dai lavori di Heaviside e Hertz.

Nessuno degli autori degli anni Venti e Trenta interpreterà invece la genesi della corrente indotta utilizzando il concetto di forza di Lorentz, coerentemente al fatto che a questa forza non si fa alcun cenno nei manuali dell'epoca. Si tenga presente,

<sup>(47)</sup> [39], Vol. II, p. 139.

<sup>(48)</sup> [18], pp. 696, 697.

<sup>(49)</sup> [21], Vol. II, p. 355.

<sup>(50)</sup> Si veda, ad esempio: [37], Vol. II, p. 179.

comunque, che il formalismo che correda gli enunciati relativi alla corrente indotta e le loro applicazioni è sempre molto modesto e, in qualche caso, del tutto assente.

Decisamente più ampia è invece l'esposizione degli apparati sperimentali che giustificano il fenomeno della corrente indotta e le sue applicazioni. In particolare ricordiamo che in tutti i manuali vengono descritte le correnti di apertura e chiusura, le correnti parassite di Foucault e il rocchetto di Ruhmkorff e, in non pochi manuali, l'esperimento di Arago (ago magnetico trascinato in rotazione da un sottostante disco di rame rotante).

Per quanto riguarda l'introduzione alla tematica, questa è, nella maggior parte dei casi, costituita dalla descrizione di uno o più esperimenti di Faraday (moto relativo fra magneti e circuito elettrico chiuso; apertura o chiusura di un circuito). Nessun autore, invece, descrive l'esperimento del disco di Faraday, coerentemente al fatto che, come si è già detto, a parte Bonmassari, nessuno prenderà in considerazione il caso delle linee di forza magnetiche tagliate dai conduttori. Ròiti e Invrea e, molto più tardi, Murani prenderanno invece le mosse da *considerazioni energetiche* relative al movimento di una spira che ruota in un campo magnetico compiendo lavoro o, più semplicemente, vincendo le forze di attrito che si oppongono alla rotazione <sup>(51)</sup>.

Concludiamo con una considerazione sulla attribuzione della legge di induzione. La stessa confusione che regna nei manuali attuali caratterizzava i manuali dell'epoca. Quasi tutti gli autori riconoscono a Faraday il merito della scoperta; tutti citano Lenz, ma senza evidenziare il contenuto completo del suo enunciato, che stabiliva una stretta correlazione fra induzione elettromagnetica ed esistenza di forze elettrodinamiche; per quanto riguarda gli aspetti formali, i fisici più menzionati sono Felici e Neumann ma compaiono anche i nomi di Henry, Abria, Weber, Matteucci e, infine, Maxwell, senza alcuna distinzione fra le diverse impostazioni concettuali.

## 2.8. Onde elettromagnetiche

La prima trattazione delle onde elettromagnetiche che abbiamo individuato nei manuali a disposizione è quella di Invrea, come al solito ben articolata e completa <sup>(52)</sup>. L'autore la presenta in un capitolo intitolato "Il campo elettromagnetico", suddiviso in due parti: "Onde elettriche" e "Onde elettromagnetiche" di 10 e 9 pagine rispettivamente.

La prima delle due è notevolmente formalizzata, la seconda è esposta senza formule e con poche figure (in particolare, non è presente una rappresentazione spaziale dell'onda elettromagnetica) e in essa vengono descritti dettagliatamente gli esperimenti di Hertz. In questa parte viene definito il campo elettromagnetico come

"sovrapposizione di un campo elettrostatico e di un campo magnetico dipendenti l'uno dall'altro" <sup>(53)</sup>.

<sup>(51)</sup> Si veda ad esempio: [31], pp. 830, 831.

<sup>(52)</sup> Si veda eventualmente: [2], Documento N°4, Indice 6.

<sup>(53)</sup> [22], Vol. II, pp. 203, 204.

In nessun altro dei manuali consultati verrà proposto il livello matematico utilizzato da Invrea; le trattazioni dell'argomento saranno infatti quasi esclusivamente descrittive. Solo qualche autore presenterà (senza alcuna dimostrazione) la formula che esprime il periodo di oscillazione del circuito in funzione della sua capacità e del suo coefficiente di induzione o la relazione che esprime l'entità dello smorzamento delle onde elettriche nel circuito.

Rare anche le rappresentazioni grafiche dell'onda elettromagnetica. La prima l'abbiamo rilevata nel manuale di Amaduzzi: un grafico bidimensionale che rappresenta la "forza elettrica" lungo la direzione di propagazione dell'onda elettromagnetica. Più completa la rappresentazione tridimensionale che Battelli fa del campo elettromagnetico generato da un dipolo oscillante, nella quale compaiono sia le linee del campo elettrico sia le linee del campo magnetico. Una rappresentazione analoga si troverà anche in Murani 1925 mentre in tutti gli altri manuali il campo dell'onda elettromagnetica è descritto solo a parole. Facciamo osservare che il mezzo che consente la propagazione delle onde elettromagnetiche è:

"l'etere cosmico" (Vanni-Monti); "l'etere cosmico occupante lo spazio medesimo" (Amaduzzi, 1921), "L'etere cosmico" (Amerio); "lo stesso etere che trasmette le onde luminose" (Corbino).

Il primo autore che non fa riferimento all'etere è Fermi, poi imitato da Palatini-Serini e Federico (con le ambiguità già rilevate nella sezione 2.5).

Tutti gli autori trattano con ricchezza di dettagli i classici esperimenti di Hertz (e consimili esperimenti di Righi) e concludono la loro esposizione con riferimenti più o meno ampi alla trasmissione delle onde radio, ai rivelatori delle stesse (Coherer di Calzecchi Onesti, in particolare) e ai lavori di Marconi. C'è un progressivo incremento di interesse per questi aspetti applicativi che si esprime soprattutto nel manuale di Federico ove compare la descrizione dell'audion (così veniva chiamato allora il triodo) e, soprattutto, una celebrazione del progresso tecnico rappresentato dalla radio e dalla nascente televisione e, contestualmente, del "Regime" che "con grande interessamento e con modernità di vedute" ne ha favorito la diffusione:

"Così possiamo sentire a piacere o la musica orchestrale che ci trasmette Torino; o il canto dell'opera che si dà alla Scala di Milano, o la conferenza scientifica che ci giunge da Napoli, o il discorso politico del Duce irradiato dalla stazione ultrapotente di Roma, di Roma italiana e fascista..."<sup>(54)</sup>.

## 2.9. Elettroni e struttura della materia

Le considerazioni sulla struttura della materia nei manuali di fine Ottocento prendono lo spunto dalla estrema divisibilità della materia e approdano al modello atomico-molecolare. Così, ad esempio, si esprime Ròiti (1880):

"... al giorno d'oggi si ammette quasi generalmente che la materia non si possa suddividere all'infinito; si dà il nome di **atomi** alle ultime particelle indivisibili,

<sup>(54)</sup> [39], Vol. II, p. 320.

e si contano sessantacinque specie di atomi. Un determinato aggruppamento d'atomi, omogenei ed eterogenei, costituisce la cosiddetta **molecola**" <sup>(55)</sup>.

Nell'ultima decade dell'Ottocento, però, le ricerche sui raggi catodici e la scoperta dei raggi X e delle emissioni radioattive pongono in crisi questo semplice modello. Le novità teoriche e i molti interrogativi generati da questi nuovi fenomeni avrebbero potuto consigliare agli autori di manuali di scuola secondaria un prudente periodo di moratoria su quegli argomenti. In realtà, già nel II volume di Invrea (1900) compaiono due pagine dedicate ai raggi catodici e ai raggi Röntgen e nel III Volume del manuale di Funaro-Pitoni (1904) compaiono espliciti riferimenti alla "Teoria degli elettroni", ai "Raggi catodici", ai "Raggi del Röntgen" e alle "sostanze radioattive".

In effetti il riferimento agli elettroni si riduce a una quindicina di righe, nelle quali essi vengono definiti "corpuscoli od atomi elettrici" che si attraggono o si respingono secondo la legge di Coulomb "per azione dello stesso etere" e che costituiscono "gli agenti attivi nel fenomeno della dispersione delle cariche elettriche".

Più completa è invece la descrizione, di tipo fenomenologico, di quelle che allora venivano chiamate le "nuove radiazioni": i raggi catodici, i raggi X, le emissioni radioattive.

Subito dopo la loro scoperta, anche i fisici italiani si erano dedicati ad approfondirne le proprietà e gli effetti (anche se mediante ricerche di importanza piuttosto marginale) <sup>(56)</sup>; erano stati pubblicati alcuni volumi sull'argomento e riferimenti specifici cominciavano a comparire nei manuali universitari di Murani [41], Battelli A, Stefanini A. [42], Ròiti A. [43], Righi A. [44].

La diffusione della conoscenza di queste nuove scoperte fu rapida anche in Italia perché, erroneamente, ai fisici di inizio Novecento apparivano semplicemente come i più recenti trionfi della fisica classica e non come eventuali elementi di rottura con il quadro concettuale ottocentesco.

In tutti i manuali che seguiranno quello di Funaro-Pitoni si trovano dunque riferimenti più o meno estesi (e più o meno chiari) a quelle tematiche, con una progressiva integrazione di termini nuovi quali, atomo nucleare, protone, positrone. Tuttavia, solo nel manuale di Federico (e dunque siamo già nel 1939!) appariranno sommari cenni a qualcuno degli aspetti quantistici coinvolti in quei fenomeni.

Lo schema espositivo, che verrà seguito praticamente da tutti gli autori, è il seguente:

- introduzione del concetto di elettrone, allo scopo di interpretare la natura fisica dell'elettricità;
- considerazione del ruolo dell'elettrone nell'ambito dell'atomo;
- identificazione dei raggi catodici con gli elettroni;
- descrizione di esperimenti che mettono in evidenza che mediante i raggi catodici di elevata energia si producono raggi X;

<sup>(55)</sup> [20], Vol. I, p. 3.

<sup>(56)</sup> Si veda in proposito: [40], pp. 19-68.

- presentazione del fenomeno della radioattività, ponendo interrogativi sulla struttura più intima dell'atomo.

Esemplificativa in proposito la trattazione di Vanni-Monti, ove si constata anche che gli autori dell'epoca non esitavano a trasferire nelle loro esposizioni anche tutti i punti incerti di una teoria che costituiva allora il fronte della ricerca <sup>(57)</sup>. La sequenza espositiva di Vanni-Monti rimarrà sostanzialmente inalterata fino agli anni Trenta ma si preciserà e completerà nel tempo con l'affermarsi, nel mondo scientifico italiano, delle nuove scoperte e delle nuove teorie. Nel manuale di Amaduzzi troviamo così il primo riferimento all'atomo nucleare:

“una specie di minuscolo sistema solare formato da un nucleo positivo (il sole) intorno al quale circolerebbero, a guisa di pianeti, gli elettroni negativi (più o meno numerosi)” <sup>(58)</sup>.

Ma nel manuale di Murani 1921, pubblicato nello stesso anno, per la struttura dell'atomo si propone ancora il modello di Lord Kelvin secondo il quale l'atomo è

“un sistema formato da più elettroni moventisi con grandissima rapidità entro una sfera avente una carica elettrica positiva, eguale e contraria alla somma delle cariche degli elettroni” <sup>(59)</sup>.

Murani modificherà la propria descrizione dell'atomo nel manuale del 1925 ove, dopo aver ricordato il modello di Kelvin, perfezionato da J. J. Thomson, espone in otto righe la teoria dell'atomo nucleare del Rutherford ribadendo l'idea che gli elettroni siano i pianeti di un sistema solare in miniatura. E subito dopo:

“Applicando questa teoria, si spiega, secondo Bohr, la serie spettrale di Balmer (§ 139) ammettendo che nell'atomo di idrogeno gli elettroni si muovano intorno al nucleo positivo, mantenendosi però in cerchi di raggi ben determinati” <sup>(60)</sup>.

Come si vede da questo timidissimo riferimento alla teoria di Bohr, anche un autore della levatura scientifica di Murani evitava di compiere l'ultimo passo verso l'ipotesi quantistica dell'energia che, d'altra parte, ancora in quel periodo, veniva rifiutata dalla maggior parte dei fisici italiani <sup>(61)</sup>. Nel suo stesso volume del 1925, Murani descriverà anche l'effetto fotoelettrico ma limitandosi alla sua fenomenologia (Lenard, Righi, ecc.) senza il minimo cenno all'ipotesi di Einstein. Questa posizione sarà condivisa anche dagli altri autori del periodo come è ben espresso da questo passo di Corbino che conclude il paragrafo intitolato: “Vedute generali sulla teoria degli elettroni e la costituzione della materia”.

“Alcune recenti indagini hanno completato in modo sorprendente le nostre conoscenze circa la costituzione dell'atomo, nei riguardi della natura degli altri componenti, oltre agli elettroni. Risultati della più grande importanza

<sup>(57)</sup> [25], Vol. II, pp. 204, 205, sulla teoria elettronica della materia; pp. 258, 259, sui raggi catodici e sui raggi X; p. 263, sui “raggi uranici” e la “Radio-attività”.

<sup>(58)</sup> [30], Vol. III, p. 44.

<sup>(59)</sup> [31], p. 943.

<sup>(60)</sup> [34], Vol. II, p. 1055.

<sup>(61)</sup> Si veda: [40], pp. 115-148.

sono stati ottenuti in proposito da Rutherford, Bohr e da altri. Ma su tali risultati non può essere dato qui neanche un superficiale accenno” <sup>(62)</sup>.

Nei manuali del 1925 e degli anni successivi compariranno anche termini nuovi. In quello di Amerio, troviamo i termini di protone e di isotopo <sup>(63)</sup>.

Altri termini nuovi compariranno nel manuale di Federico: positrone, fotone, neutrone. La scoperta del primo viene attribuita a Blackett e Occhialini (1933). Quanto al fotone, la sua natura quantistica non viene per nulla evidenziata; esso infatti è considerato semplicemente come “un centro d’irradiazione di energia” prodotto dalla unione di un positrone con un elettrone. Errata, infine, la caratterizzazione del neutrone considerato come un nucleo di idrogeno senza la carica positiva del positrone <sup>(64)</sup>.

Nel manuale di Federico troviamo anche il primo riferimento esplicito ad Einstein e a Planck. Einstein viene citato una prima volta a proposito della stabilità dei nuclei:

“I protoni, elettrizzati dello stesso segno, dovrebbero respingersi, ed il nucleo sfasciarsi. Deve esistere perciò una forza, maggiore di quella elettrostatica, che li tiene uniti; essa si chiama *forza di legame*. L’origine di questa energia è stata supposta da Einstein, che asserisce essere la materia e l’energia due manifestazioni di una stessa entità, e non due enti distinti, e quindi trasformabili una nell’altra. Cioè, un corpo che cede o assorbe energia (calore, luce, . . .) diminuisce o accresce la sua massa” <sup>(65)</sup>.

Planck (e Bohr) vengono citati a proposito della stabilità degli atomi, giustificata supponendo che l’energia, secondo l’ipotesi di Planck, venga emessa o assorbita con variazioni:

“a gradini, secondo multipli di un’energia elementare, costante ed unitaria, che chiamò *quanto d’azione* o semplicemente *quanto*”.

E a questo proposito viene nuovamente citato Einstein per attribuirgli la paternità della quantizzazione dell’energia <sup>(66)</sup>. Si osservi però che, ancora una volta, accanto all’entusiasmo per una Fisica in continuo progresso, riemerge, neppure troppo velatamente, una diffidenza che Federico traduce nel seguente passo che conclude la serie di paragrafi dedicati alla “Costituzione della materia”.

“Ma ora fermiamoci in questo rapido, rudimentale cenno sulle recenti scoperte. Non ingolfiamoci nelle nuovissime teorie, ancora in gestazione, che affacciando dei dubbi sull’ipotesi di Bohr per la costituzione dell’atomo, negherebbero la teoria ondulatoria delle radiazioni, per rimettere in onore quella dell’emissione e apporterebbero nuovi lumi nella concezione del mondo ultrapiccolo. Questa è la Fisica di domani; un’altra fisica impreveduta, meravigliosa, regnante nel campo dell’atomo. Non insistiamo perciò sulle nuove affermazioni che *la massa di un corpo non è costante*, perché essa varia con la velocità di cui il corpo è animato; e che la materia dotata di radiazione diminuisce di massa, poiché

<sup>(62)</sup> [35], Vol. II, p. 201.

<sup>(63)</sup> [36], Vol. III, p. 239.

<sup>(64)</sup> [39], Vol. II, p. 173.

<sup>(65)</sup> [39], Vol. II, p. 176.

<sup>(66)</sup> [39], Vol. II, pp. 178, 179.

l'energia di radiazione possiede anch'essa una massa! Tutte teorie seducenti, ma che hanno per il fisico il grave inconveniente di essere fondate principalmente sull'astrazione pura delle formule matematiche. Ma il puro sistema delle formule ci lascia insoddisfatti; niente può essere più fatale al progresso della Fisica, che una troppa confidenza con i simboli matematici: perché si è condotti così ad assumere la formula e non il fatto come la realtà fisica" <sup>(67)</sup>.

### 3. Caratteri espositivi

*Introduzione* – Nelle due sezioni precedenti ci siamo concentrati sui *contenuti* dei manuali esaminando in particolare alcune tematiche qualificanti. Vogliamo ora prendere in considerazione le caratteristiche espositive dei manuali avendo sullo sfondo quelle che si sono via via consolidate negli attuali manuali di Fisica del triennio della scuola secondaria italiana.

In questo esame cominceremo dall'analisi delle caratteristiche grafiche ma la nostra maggior attenzione sarà poi dedicata al livello formale, ai riferimenti quantitativi e, in particolare, all'uso degli esempi numerici e degli esercizi, agli aspetti sperimentali e di laboratorio, alla presenza di riferimenti storici.

Purtroppo, sono piuttosto pochi gli autori che, nella prefazione al loro manuale, dichiarano il loro progetto didattico e quindi molte delle considerazioni che seguono sono frutto di una nostra personale riflessione, basata sì sulla lettura del testo ma sicuramente condizionata dalla attuale concezione della didattica della Fisica.

#### 3.1. Le caratteristiche grafiche

La prima cosa che balza all'occhio *maneggiando e sfogliando* i volumi da noi consultati è, ovviamente, il loro aspetto "geometrico", molto diverso da quello dei manuali attuali. I volumi dell'Ottocento (Ambrosoli, Cantoni, Ròiti) utilizzano pagine con formato 17 cm × 11 cm ma, già a partire dal manuale di Bonmassari e Invrea il formato si amplia leggermente per assumere le dimensioni di 19 cm × 13 cm; queste caratterizzeranno tutti i manuali successivi, fino a quello di Federico, con l'eccezione del manuale di Murani 1921, che adotta un formato di 14 cm × 10 cm.

I numeri ora riportati indicano dunque che il formato standard era notevolmente inferiore sia a quello utilizzato negli anni settanta (24 cm × 17 cm) sia a quello attuale (29 cm × 20 cm).

Passando alla grafica dei testi, ciò che si rileva a prima vista è la semplicità della loro struttura tipografica. La materia è in genere suddivisa in capitoli (talvolta in parti), a loro volta suddivisi in paragrafi, numerati secondo un ordine progressivo che non tiene conto della ripartizione operata dai capitoli. Non esistono sottoparagrafi, approfondimenti, rubriche di varia natura, appendici, integrazioni.

<sup>(67)</sup> [39], Vol. II, pp. 181, 182.

Il paragrafo è evidenziato da un titoletto in grassetto o in maiuscoletto e al suo interno possono comparire termini in grassetto e/o definizioni in corsivo. La pagina è sempre a “giustezza” piena, senza colonnini a disposizione per note o figure e senza titoletti di alcun tipo a lato.

Alcuni autori utilizzano per il testo due corpi di diverse dimensioni, quello minore per le parti ritenute didatticamente meno essenziali.

In genere le formule vengono numerate e centrate nella pagina e, come si è già messo in evidenza nel precedente capitolo, non evidenziano mai (tranne nel caso del manuale di Palatini-Serini) il carattere vettoriale delle grandezze in esse coinvolte.

Le figure sono inserite nel testo senza un ordine sistematico e con grandezza piuttosto variabile. In genere numerate in ordine crescente, ignorando la segmentazione dei capitoli o delle parti, e sono quasi sempre prive di didascalia.

Il loro ruolo didattico appare notevolmente diverso dall’attuale. Senza arrivare alla posizione di Bonmassari, che si dichiara nettamente contrario all’uso delle

“vignette illustrative [...] le quali, perché impressionano molto i sensi, rendono meno necessaria quella meditazione che si richiede nelle discipline scientifiche da giovani già iniziati a studi seri . . .” <sup>(68)</sup>,

gli autori dell’Ottocento e della prima decade del Novecento usano con molta parsimonia le figure. Queste sono sempre molto semplici ed essenziali, tranne nel caso in cui debbano rappresentare apparati sperimentali o macchine. Allora il disegno può raggiungere effetti quasi fotografici.

Il numero delle figure per pagina non risulta mai molto elevato, anche nei manuali degli anni Venti del Novecento. Nel manuale di Murani 1921 questo numero è pari a 1, in quello di Corbino pari a 0,8, in quello di Fermi pari a 1. Il manuale di Federico modifica abbastanza radicalmente la situazione portando il numero di figure per pagina a circa 1,6.

Per un confronto con l’oggi, si tenga presente che nei manuali liceali più diffusi il rapporto n° figure/n° pagine può variare da circa 1 a circa 2. In questo secondo caso la figura non è semplicemente un supporto grafico del testo ma viene proposta in sequenze che traducono visivamente quanto viene esposto a parole nel testo. Un uso di questo genere della figura è totalmente assente nei manuali esaminati, anche quando il numero di figure riportate è piuttosto elevato, come nel manuale di Federico.

Concludiamo osservando che il primo ed unico manuale ove compaiono fotografie (e non solo disegni di precisione quasi fotografica) è il primo volume di Federico e, soprattutto, il secondo. Le foto sono sempre in bianco e nero ma raggiungono efficacemente il loro scopo di testimoniare direttamente l’esistenza di apparati, macchine, impianti e persino fisici al lavoro nel proprio laboratorio. Nel II volume di Federico compare anche il primo disegno a colori di alcuni spettri di emissione.

<sup>(68)</sup> [21], Prefazione.

### 3.2. Il livello matematico

Nei manuali attuali di livello liceale ben difficilmente la traduzione formale di una legge viene data senza una giustificazione sperimentale o senza essere dedotta da altre più fondamentali mediante opportuni passaggi matematici; inoltre, ogni relazione formale trova una immediata applicazione in esempi numerici o in analisi di fenomeni.

Questo modo di utilizzare il formalismo trova un limitato riscontro nei manuali da noi esaminati.

Anzitutto per la *quasi totale* mancanza delle applicazioni numeriche esemplificative delle leggi proposte (chiariremo l'uso del *quasi* nel prossimo paragrafo) ma anche perché in quel periodo si riteneva che lo studio della Fisica dovesse essere prevalentemente intuitivo e descrittivo, non matematico. Così si legge, ad esempio, nel XLII capoverso delle "Avvertenze relative al programma di Fisica ed elementi di Chimica" che compaiono nel Regio Decreto 24 Ottobre 1888:

"XLII. - Nell'insegnamento della fisica, che dev'essere, al più possibile sperimentale e induttivo, il professore, tralasciando tutte le dimostrazioni matematiche più difficili, nei vari casi in cui la scienza odierna richieda la deduzione si contenti di asserire che con l'aiuto delle matematiche dai postulati si deducono rigorosamente le leggi, e dia le sole formole che esprimono le leggi naturali più importanti".

Esageratamente fedele e a questa raccomandazione è certamente il Bonmassari che, nella prefazione al suo manuale, dichiara di volersi avvalere della matematica solo nei casi di "necessità", allo scopo di evitare che la fisica si riduca a semplice esercizio algebrico o geometrico.

Ma anche dalla prefazione dei manuali di altri autori, fino a Federico, si può desumere che gli aspetti matematici dovevano avere ben poco spazio nell'insegnamento della scuola secondaria.

"La parte matematica, che era già nel libro, è stata conservata; semplificando e sviluppando dove occorre. Sembrerà forse ancora soverchia pei nostri licei, dove quella sentenza di Kant 'vi è tanto più di scienza in una dottrina quanto più v'è di matematica' sembra dimenticata; ma quel che non è assolutamente indispensabile è posto in modo da poter essere tralasciato, volendo" <sup>(69)</sup>.

"Le cognizioni di matematica richieste sono tra le più elementari, cosicché da questo lato non può aversi difficoltà di sorta" <sup>(70)</sup>.

"La matematica ragiona su concetti astratti, la Fisica su cose concrete; il pretendere che il linguaggio puro della Matematica si adatti alla Fisica è un assurdo. [...] Infine, la Fisica (elementare) è una scienza quasi esclusivamente intuitiva; i *principi* (postulati) sono ad ogni passo; perciò in questo studio bisogna lasciare un gran campo all'intuito e contentarsi spesso di *capire* che una proprietà sia vera, anche se non se ne dà una dimostrazione né matematica

<sup>(69)</sup> [24], Prefazione.

<sup>(70)</sup> [31], Prefazione.

né sperimentale [...] lo studio della Fisica nelle Scuole Medie, quale carattere formativo della mente dei giovani allievi, non avrebbe scopo, se dovesse essere un duplicato della Matematica” <sup>(71)</sup>.

Nel leggere questi passi si tenga presente che se il manuale di Bonmassari ebbe diffusione piuttosto limitata, quello di Murani del 1921 era una *undicesima* edizione e che quello di Federico manteneva “il vanto ambitissimo [di essere] il testo di Fisica più adottato nelle Scuole Medie”.

Per tentare di fornire una immagine più realistica del livello matematico presente nei manuali esaminati, abbiamo cercato (pur rendendoci conto della difficoltà di una simile operazione) di attribuire a ciascuno di essi un punteggio compreso fra 1 e 5, considerando il 4 come indicativo del livello matematico di un attuale manuale di liceo (a prescindere dalle eventuali relazioni che coinvolgono il simbolismo differenziale e da ogni applicazione numerica delle relazioni stesse) e il 2 come indice di una esposizione nella quale, in genere, le formule vengono date senza tentare una giustificazione approfondita delle stesse e, soprattutto, senza fornire qualche ordine di grandezza che orienti lo studente relativamente alle caratteristiche quantitative del fenomeno in esame.

Ne è emersa la valutazione riportata in tabella I, alla quale corrisponde il grafico della fig. 1.

Come si può dedurre dal grafico, tenuto conto anche della diffusione dei manuali valutata sulla base delle loro ristampe, il livello matematico e formale era mediamente (e talvolta anche notevolmente) inferiore a quello dei manuali attuali, ma esisteva anche un certo numero di autori che tentava di sottolineare maggiormente l’aspetto matematico della Fisica. Si trattava però di una corrente decisamente minoritaria e “perdente” sul piano editoriale.

TABELLA I. – Punteggio che caratterizza il livello di difficoltà matematica dei manuali esaminati.

Manuale	Punteggio	Manuale	Punteggio
Cantoni	3	Murani (1921)	2
Ròiti	4	Battelli	2
Bonmassari	1	Murani (1925)	5
Ivrea	5	Corbino	2
Funaro/Pitoni	3	Amerio	5
Vanni/Monti	3	Fermi	3
Cintolesi	1	Palatini/Serini	5
Amaduzzi	2	Federico	2

Già Ròiti, al cui manuale abbiamo assegnato il punteggio di 4, nella prefazione al secondo volume del suo manuale, che seguiva di circa sei mesi la pubblicazione del

<sup>(71)</sup> [39], Prefazione.

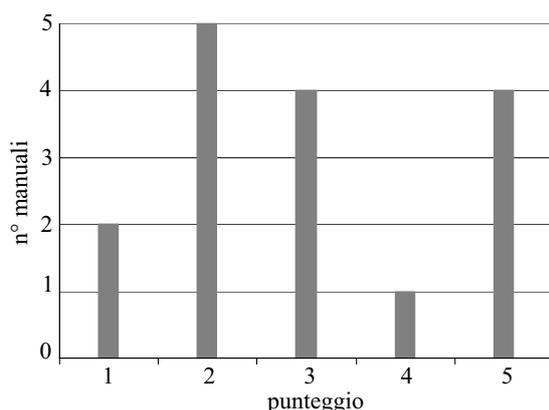


Fig. 1. – Numero di manuali che hanno ottenuto punteggi da 1 a 5.

primo, doveva, suo malgrado, constatare che solo pochi gli avevano indirizzato qualche lode mentre, “molti altri” avevano trovato il suo “trattatello” “troppo difficile”.

In effetti Ròiti contesta che la cattiva accoglienza fosse dovuta alle difficoltà matematiche, attribuendola invece al fatto che nel suo manuale si utilizzava una esposizione notevolmente diversa da quella “convenzionale” e “pedantesca” dei testi francesi “divenuta abituale nelle nostre scuole”, ma sta di fatto che anche il livello matematico doveva apparire insolito e, molto probabilmente, eccessivo per una scuola secondaria. D’altra parte non va ignorato che anche la formazione universitaria di fine Ottocento e delle prime decadi del Novecento era essenzialmente sperimentalista e trascurava non poco gli aspetti formali, lasciati ai fisico-matematici, incardinati istituzionalmente nella Facoltà di Matematica.

Così infatti (ma siamo già nel 1932!) scriveva Perucca nella prefazione alla prima edizione del suo manuale di *Fisica generale e sperimentale* che diverrà poi un classico nei decenni successivi.

“Le pagine che seguono non sono state scritte per costituire una superficiale opera di divulgazione, e ingegneri, tecnici, studiosi e studenti profitteranno di questo libro se avranno conoscenza della fisica elementare e dei fondamenti della geometria analitica e del calcolo infinitesimale. Da un lato, infatti, la fisica è una di quelle scienze che vanno necessariamente studiate per successive approssimazioni; d’altro lato, una caratteristica che distingue questo libro da quelli di ugual mole finora pubblicati in Italia è appunto data da un più largo impiego della matematica.

E invero un fecondo studio della fisica, senza l’aiuto del calcolo, è, a mio parere, impossibile. La definizione esatta di molti concetti fisici, anche tra i più comuni, la formulazione quantitativa delle leggi fisiche richiedono continuamente l’impiego dell’algoritmo matematico, specialmente di quello infinitesimale.

Si rompa dunque anche in Italia una tradizione ormai abbandonata in tutti i paesi che sono all’avanguardia degli studi fisici, e si utilizzi quanto, insegnato con larga e precisa dottrina dai valenti colleghi matematici delle scuole su-

periori italiane, rischia di venir considerato da molti un elegante esercizio di logica, mentre è ausilio poderoso di tutte le scienze fisiche e tecniche”<sup>(72)</sup>.

Concludiamo osservando che il livello formale dipende molto dalla tematica analizzata. Quella in cui il livello è più elevato e nel cui ambito si cerca anche una certa correlazione fra le diverse relazioni proposte è la meccanica (in particolare la cinematica e la dinamica) considerata da tutti gli autori come la base essenziale per la comprensione di tutta la Fisica; in molte altre parti (termologia, acustica, elettrostatica, ad esempio) l’esposizione risulta invece dominata dagli aspetti descrittivi e gli aspetti formali possono, in diversi autori, scomparire quasi del tutto.

Caratteristica generale, con rarissime eccezioni di cui parleremo nel prossimo paragrafo, è invece la mancanza di applicazioni numeriche esemplificative delle relazioni proposte. Questo fatto, che oggi considereremmo un grave errore didattico, non doveva tuttavia creare problemi agli allievi ai quali non veniva richiesta alcuna applicazione quantitativa dei contenuti studiati.

### 3.3. Esempi numerici, ordini di grandezza

L’idea di un insegnamento della Fisica puramente formale, con scarsi riferimenti agli ordini di grandezza delle variabili coinvolte nelle relazioni fisiche e nel quale il *Problema numerico* era un’opzione condivisa da pochissimi, ha avuto un ruolo dominante sia a livello universitario che di scuola secondaria superiore (con la sola eccezione degli Istituti Tecnici Industriali) almeno fino agli anni Ottanta del Novecento, quando cominciarono a diffondersi, a livello universitario, le idee della didattica anglosassone e, a livello della scuola superiore, le idee didattiche dell’AIF e, in particolare, a partire dagli anni Novanta, del gruppo Olimpiadi della Fisica.

La lettura dei manuali da noi esaminati conferma che questa tradizione didattica era ben radicata nel tempo perché, salvo qualche rara eccezione di cui si dirà fra poco, in essi non compaiono né esempi numerici svolti, né l’indicazione di ordini di grandezza, né la proposta di esercizi mediante i quali verificare la comprensione di quanto studiato.

Anche in questo caso il Regio Decreto 1888 è molto esplicito perché, a proposito dei programmi di Fisica ed elementi di Chimica riporta la seguente “Avvertenza”:

“I programmi di fisica, di chimica e di storia naturale devono essere interpretati in guisa da dare all’insegnamento la minor possibile estensione, omissi tutti i particolari superflui e tutti i dati numerici che non siano indispensabili”.

Per quanto riguarda i dati numerici, questa raccomandazione sarà seguita scrupolosamente da tutti gli autori di fine Ottocento e del Novecento (con le pochissime eccezioni di cui si dirà in seguito) almeno fino agli anni Settanta.

Questa impostazione didattica non doveva essere priva di inconvenienti se, ancora nel 1957, Enrico Persico osservava che tutti gli studenti italiani di Fisica e

<sup>(72)</sup> [45], Prefazione alla prima edizione.

di Matematica e Fisica dimostravano di essere affetti da una comune “malattia” consistente in

“uno strano disinteresse per il fenomeno fisico (e ancor più per le sue applicazioni pratiche) congiunto a una lodevole, ma sproporzionata attenzione rivolta alla formulazione matematica delle leggi, la quale diviene fine a se stessa anziché strumento di rappresentazione e di indagine del mondo fisico. E le formule, si badi bene, sono considerate solo nel loro aspetto algebrico: mai si pensa alla possibilità di sostituire quelle lettere con dei numeri, e a tenerne presenti gli ordini di grandezza che intervengono nei fenomeni reali” <sup>(73)</sup>.

Tuttavia i critici alla Persico dovevano essere una estrema minoranza negli anni cinquanta e lo saranno almeno per altri vent’anni.

Abbiamo cercato una giustificazione di questa impostazione didattica nelle prefazioni dei manuali esaminati ma con scarsissimi risultati, come se non fosse neppure necessario sottoporla a riflessione critica. Solo Vanni e Monti giustificano l’inserimento di un certo numero di “Esempi numerici” (per altro *molto pochi* e solo nell’ambito dell’elettrologia) basandosi su ciò che essi definiscono come

“l’aureo principio di Lord Kelvin” [secondo il quale] “non si conosce bene un fenomeno se non quando si sa tradurlo in numeri” <sup>(74)</sup>.

Per dare un’idea della tipologia di questi esempi numerici ne riportiamo uno relativo al lavoro delle forze elettriche ed uno relativo al campo magnetico.

“*Esempio numerico.* Proponiamoci di calcolare il lavoro delle forze elettriche quando una carica  $Q = 1$  coulomb passa dal potenziale costante  $V_1$  al potenziale costante  $V_2$ , differente dal primo per 100 volt in meno; vale a dire quando la carica di 1 coulomb subisce, come si dice, una caduta costante di potenziale eguale a 100 volt.

Valutando tutto in unità assolute teoriche, avremo  $Q = 1$  coulomb =  $3 \times 10^9$  unità teoriche (§ 252) e  $V_1 - V_2 = 100$  volt =  $100/300 = 1/3$  di unità elettrostatica di potenziale. Quindi per la formula (1) del § 279 avremo

$$L = Q(V_1 - V_2) = 3 \times 10^9 \times 1/3 = 10^9 \text{ erg}$$

ossia 100 joule. Lo stesso risultato, espresso in joule, si ottiene direttamente valutando tutto in unità assolute pratiche, si ha infatti

$$L = Q(V_1 - V_2) = 1 \text{ coulomb} \times 100 \text{ volt} = 100 \text{ joule}” \text{ } ^{(75)}.$$

“*Esempio numerico.* Un solenoide di lunghezza  $l = 1$  metro, avente un numero totale di spire  $N = 100$  spire, e di sezione  $S = 10 \text{ cm}^2$ , sia percorso da una corrente  $i = 2$  ampère.

<sup>(73)</sup> [46], p. 64.

<sup>(74)</sup> [25], Prefazione.

<sup>(75)</sup> [25], Vol. II, p. 226.

Il numero di spire per cm, essendo  $n_1 = N/l = 10$  per cm, ed  $i = 0,2$  unità teoriche di corrente (§ 399) la intensità del campo, sarà:

$$H = 4\pi n_1 i = 12.57 \times 10 \times 0.2 = 25.14 \text{ gauss}$$

ed il flusso attraverso ad una spira del solenoide

$$\varphi = HS = 25.14 \times 10 = 251.4 \text{ maxwell}^{(76)}.$$

Prima di Vanni-Monti, solo Ròiti e Palagi [23] riportano esempi numerici nei propri manuali. Nel primo dei due questi esempi sono però in numero *limitatissimo* e vengono proposti senza alcuna evidenziazione grafica e senza alcuna sistematicità.

Più sistematico e completo Palagi, che correda gli argomenti trattati con un *discreto* numero di problemi proposti e risolti (nel I° volume sono 158), riportati a piede di pagina, in corpo minore. A titolo di esempio riportiamo il testo di alcuni di essi <sup>(77)</sup>.

“*Probl. 8.* – Un corriere parte da un luogo colla velocità di  $a^{\text{km}}$  all’ora. Dopo  $t$  ore gli viene spedito dietro dallo stesso luogo un altro corriere colla velocità di  $b^{\text{km}}$  all’ora. Quante ore ( $x$ ) dopo la sua partenza, e a quale distanza ( $d$ ) il primo sarà raggiunto dal secondo? (Applicazione numerica per  $a = 10$ ,  $b = 14$ ,  $t = 1\frac{1}{2}$ ) (pag. 9).

*Probl. 62.* – Un corpo del peso di  $1^{\text{kg}}$  ruota sopra un piano orizzontale senza attrito attorno ad un punto al quale è collegato mediante una corda di  $2^{\text{m}}$ ; un dinamometro applicato al centro dimostra che la corda è tesa colla forza di  $3^{\text{kg}}$ . Determinare la durata della rivoluzione (tempo periodico). (*Da resolv.* colle formule del § 24 e ricordando che  $m = p/g$ ) (pag. 33).

*Probl. 150.* – Quale dev’essere la lunghezza d’un tubo sonoro aperto o chiuso, perché il suo suono fondamentale a  $12^\circ$  sia il *la* normale? (pag. 204).

*Probl. 157.* – Supposte circolari le orbite dei pianeti, dimostrare la legge di Newton sulla gravitazione sopra riferita, mediante la formula della forza centripeta e le leggi di Kepler (pag. 241).”

In tutti gli altri manuali da noi esaminati non abbiamo trovato né esempi numerici, né esercizi proposti, con l’eccezione del manuale di Federico nel quale sono riportati, in modo sporadico *alcuni* esempi numerici (19 nel II° volume) e in modo sistematico, al termine di ciascun capitolo, i testi di alcuni esercizi privi di risposta numerica (106 nel II° volume). Di seguito riportiamo alcuni esempi relativi a tematiche del II° volume che possono rappresentare il livello massimo di difficoltà degli esercizi proposti <sup>(78)</sup>.

<sup>(76)</sup> [25], Vol. II, p. 327.

<sup>(77)</sup> [23], la pagina nella quale si trova l’esercizio è indicata tra parentesi al termine dello stesso.

<sup>(78)</sup> [39], Vol. II; la pagina nella quale si trova l’esercizio è indicata tra parentesi al termine dello stesso.

“- Quale dev’essere la distanza focale di uno specchio concavo, perché l’immagine di un oggetto alto  $75\text{ cm}$  posto a  $m\ 2,50$  dallo specchio, sia di  $cm\ 15$ ? (pag. 50)

- In un microscopio composto la distanza focale dell’obiettivo è di  $mm\ 2$  e quella dell’oculare è di  $mm\ 10$ ; calcolare l’ingrandimento, per un occhio normale, se la lunghezza del tubo che porta le lenti è di  $cm\ 18$ . (pag. 97)

- Quanta elettricità occorre somministrare ad una batteria di 5 bottiglie di Leyda, le cui armature sono ciascuna di  $3\text{ dm}^2$ , ed il coibente è vetro di  $mm\ 3$  di spessore, per caricarla al potenziale di  $6000\text{ V}$ ? (pag. 146)

- Si vuole ricoprire una lastra rettangolare di  $cm\ (20 \times 10)$ , con uno strato di argento di  $mm\ 0,1$  di spessore; la corrente ha densità di  $2\text{ amp}$  per  $dm^2$ . Per quanto tempo dovrà passare? (pag. 215)

- Calcolare l’intensità del campo di un rocchetto lungo  $cm\ 20$ , con 5 strati di filo del diametro (compreso l’isolante) di  $mm\ 0,8$  con la corrente di  $4\text{ amp}$ . (pag. 233)

- A quale temperatura occorre riscaldare un filo di carbone del diametro di  $mm\ 0,2$  lungo  $cm\ 12$ , perché la sua resistenza diventi  $175\text{ Ohm}$ ? (pag. 242)

- Quanti ampère si chiedono per alimentare un gruppo di lampade a  $120\text{ V}$ , se la potenza della corrente che le alimenta è di  $2,5\text{ KW}$ ? (pag. 250)

- Qual’è la potenza di un motore necessario ad azionare un alternatore monofase, il cui rendimento è del  $90\%$ , che fornisce corrente a  $125\text{ V}$ ,  $50\sim$ , se deve alimentare un circuito la cui impedenza è  $0,015$ , ed il fattore di potenza è di  $0,85$ ? (pag. 288)”

In questo panorama, ove il problema svolge un ruolo didattico sostanzialmente trascurabile se non addirittura nullo, ci siamo tuttavia imbattuti in un interessante volumetto di *Problemi di Fisica*, di G. Viale [27], pubblicato nel 1908. Nella breve prefazione alla raccolta così si legge:

“Gli alunni degli Istituti tecnici e dei Licei, ai quali la esuberanza della materia da studiare, non concede il tempo di svolgere sufficientemente la parte pratica della fisica, troveranno in questi problemi una guida per risolverne altri più difficili e complicati. Nella vita odierna la fisica, oltre ad un maggior sviluppo, ha anche un’importanza straordinaria poiché, in molti esami di concorso, il candidato deve sostenere un esame scritto di fisica, che lo obbliga alla risoluzione di un quesito nel quale deve dimostrare di conoscere, sia la parte teorica, quanto la parte tecnica. [...]

Nella risoluzione dei problemi mi sono strettamente mantenuto entro i limiti degli attuali programmi vigenti nelle scuole regie, sia di fisica che di matematica” <sup>(79)</sup>.

Leggendo tra le righe, dunque, l’applicazione numerica è considerata “parte pratica” e quindi di importanza secondaria rispetto ai contenuti della “materia da studiare” e ciò giustifica pienamente il fatto che i manuali la ignorino. Forse per giustificare la

<sup>(79)</sup> [27], Prefazione.

sua opera l'Autore afferma che questa parte pratica della Fisica ha tuttavia "un'importanza straordinaria (...) in molti esami di concorso "nei quali il candidato deve sostenere un esame scritto di Fisica" ma quali siano questi esami non viene detto. A nostro parere dovevano essere però pochissimi, se si considera che, a quanto ci risulta, solo la Normale di Pisa richiedeva, per la prova di ammissione alla facoltà di Fisica, la risoluzione di un problema.

Va osservato comunque che, sulla base di quanto contenuto nel volume *Problemi di Fisica della Scuola Normale* [47], edito nel 1984, anche il livello di queste prove scritte non fu particolarmente elevato fino agli anni Cinquanta.

Un confronto con le attuali prove regionali delle Olimpiadi della Fisica consente di stabilire che, pur essendo rivolte a studenti di levatura intellettuale sopra la media, le prove della Normale degli anni Venti e Trenta non presentavano difficoltà superiori a queste (che pure rappresentano solo il *secondo* dei quattro livelli del concorso).

L'importanza didattica del problema nello studio della Fisica viene posta in evidenza nelle "Avvertenze del Liceo Moderno" (Regio Decreto del 1913) ma, come si è detto in precedenza, questo indirizzo fu cancellato quasi subito dalla Riforma Gentile e con esso i suoi obiettivi didattici che, per le materie scientifiche, contenevano indubbiamente elementi di originalità e modernità.

In sostanza, dunque, la risoluzione di un problema di Fisica doveva apparire ai docenti dell'epoca un'attività didattica di scarsa rilevanza teorica che poteva, al più, interessare qualche allievo di capacità particolari, interessato a sostenere qualche concorso di prestigio, ma che non meritava neppure una piccola frazione del tempo scuola, troppo limitato anche per il solo svolgimento della parte teorica della Fisica, l'unica ad essere oggetto d'esame finale del corso liceale.

Non riportiamo esempi di testi dei problemi che compaiono nel volume di Viale in quanto non sono sostanzialmente diversi da quelli che compaiono nel manuale di Palagi, dei quali abbiamo riportato una breve raccolta poco sopra. Rispetto a quelli possiedono però un commento risolutivo molto più ampio e dettagliato.

### 3.4. Apparat, strumenti, laboratorio

Quando si sfogliano i manuali di Fisica dell'Ottocento e delle prime due decadi del Novecento si resta piuttosto colpiti dalla presenza di numerose figure che rappresentano apparati sperimentali e strumenti e la prima impressione che ne deriva è che l'aspetto sperimentale dovesse svolgere un ruolo di primo piano nella didattica di quei decenni, coerentemente al fatto che la Fisica accademica a cavallo fra l'Ottocento e il Novecento in Italia fu essenzialmente sperimentale.

Una breve nota che accompagna il quadro orario del Liceo Classico ridefinito nel Regio Decreto del 16 Giugno 1881, sembrerebbe avvalorare questa tesi:

"*Fisica* – Saranno trattate scientificamente la fisica generale e la terminologia. Sull'acustica, sull'elettricità, sul magnetismo e sulla luce, si descriveranno brevemente i principali fenomeni accompagnando le descrizioni colle esperienze".

Una analisi più attenta dei testi e la lettura delle prefazioni dei loro autori (quando esiste) mette però in evidenza che tale conclusione non è corretta e che lo “sperimentalismo nella ricerca” non si traduce in uno “sperimentalismo nella didattica della scuola liceale”.

Anzitutto perché la preminenza è sempre e comunque assegnata ai “principi” e con una attenzione che aumenterà progressivamente, soprattutto a partire dagli anni Venti, chiaramente evidenziata dalla contemporanea forte diminuzione delle descrizioni di apparati e strumenti.

Se si esamina poi attentamente la parte testuale che illustra un apparato sperimentale e il relativo utilizzo, si constata la presenza di due caratteristiche invariabili.

a) La descrizione dell'apparato e delle sue modalità d'uso sono finalizzate esclusivamente alla *conferma* di una legge o alla determinazione di una costante significativa (ad esempio l'equivalente termico del lavoro).

b) La descrizione dell'apparato *non include mai* i valori dei parametri coinvolti nell'esperimento e il suo esito finale viene fornito senza alcuna analisi degli errori associati alla misura.

Per fornire un'idea più chiara del significato di quanto ora affermato riportiamo la descrizione dell'esperimento di Hirn presente nel manuale di Amaduzzi (che riproduce in termini pressoché identici quella proposta da Ròiti quarant'anni prima).

“*Metodo di Hirn.* – Hirn sospese orizzontalmente, mediante funi, un prisma di pietra (che chiamava *incudine*) molto pesante, di peso  $P$  e, sul suo prolungamento, mediante altre funi, una trave (che chiamava *martello*) di legno di peso  $p$ , in modo che, nella posizione d'equilibrio, le testate di ferro, di cui la trave e il masso erano muniti, fossero di fronte e lasciassero fra loro un pezzo di piombo sostenuto in alto mediante una funicella. [Questo testo circonda una figura in cui viene rappresentato l'apparato di Hirn.]

Allora, sollevando la trave come un pendolo, la lasciava cadere. Il lavoro fatto da questa nell'urto che produce ritornando alla sua posizione di equilibrio (prodotto del suo peso per l'altezza  $h$ , a cui era stata sollevata) produce tre effetti. 1° eseguisce il lavoro necessario per spingere il prisma o *incudine* ad una certa altezza  $H$  (prodotto del peso del masso per questa altezza); 2° fa il lavoro necessario pel rimbalzo del martello ad una certa altezza  $h'$  (prodotto del suo peso per questa altezza); 3° riscalda il piombo.

La quantità  $Q$  di calore comunicato al piombo (determinabile con un calorimetro sottostante al piombo e nel quale questo si lascia poi cadere tagliando la funicella) è dunque dovuto alla differenza tra il lavoro totale prodotto dalla trave cadendo e la somma dei lavori di cui ai numeri 1° e 2°. Si avrà allora:

$$E = \frac{p(h - h') - PH}{Q} .$$

Hirn, operando con questo metodo, trovò per  $E$  il valore di circa 425” <sup>(80)</sup>.

Dunque uno “sperimentalismo” di pura conferma, proposto in termini puramente teorici, con scarsa attenzione alla struttura dell’apparato stesso (di cui si ignorano addirittura le caratteristiche geometriche e fisiche), senza alcuna considerazione degli errori associati alle misure eseguibili mediante esso, per nulla pensato per una attività sperimentale degli allievi.

Queste conclusioni trovano piena conferma nelle visite alle collezioni di strumenti di Fisica dei Licei e degli Istituti attivi fin dall’Ottocento: i Licei Parini, Berchet e Leone XIII di Milano, l’Istituto Cattaneo di Milano, il Liceo Foscolo di Pavia, il Liceo Foscarini di Venezia. La composizione di queste collezioni, talvolta molto ricche, indica chiaramente che la loro finalità non era la progettazione di esperienze per gruppi di allievi con finalità esplorative ma l’esecuzione di esperienze “da cattedra” con pura finalità di verifica di principi e/o di osservazione di fenomeni già noti.

Anche in questo caso saranno gli obiettivi del Liceo Moderno a tentare una inversione di rotta introducendo ore specifiche per le “esercitazioni pratiche” di Fisica e di Chimica ma, anche da questo punto di vista, la sua troppo breve esistenza non consentì di incidere su una tradizione didattica consolidata da troppo tempo. Va inoltre detto che la tendenza a porre in seconda linea l’attività sperimentale, semmai, subì un’accentuazione a partire dagli anni Venti del Novecento, quando, anche nel mondo accademico italiano, si cominciò a pensare che la ricerca Fisica non dovesse essere solo di tipo sperimentale.

Una conferma indiretta dello scarso interesse per una attività didattica di tipo sperimentale in Italia è costituita dal fatto che, nel 1937, il Consiglio Nazionale delle Ricerche distribuì in tutte le scuole d’Italia una *Guida pratica per esperienze didattiche di Fisica sperimentale* [48] con lo scopo:

“[...] di ravvivare nei docenti e nei giovani il gusto e l’interesse per l’osservazione, per l’esperienza, per la constatazione di quelle inesorabili relazioni tra causa ed effetto che vanno col nome di “leggi naturali” e che costituiscono, a mio parere, la più sicura e quindi la più preziosa conquista dell’ingegno umano nel campo della conoscenza” <sup>(81)</sup>.

Nella prefazione a questo volume così osserva Perucca.

“È necessario che nelle nostre Scuole lo spirito di osservazione, l’amore all’esperienza siano coltivati tanto da contribuire in modo cospicuo alla formazione mentale della gioventù istruita” <sup>(82)</sup>.

Lo sforzo del Consiglio Nazionale delle Ricerche ebbe tuttavia esiti del tutto modesti e gli obiettivi didattici di Perucca non ebbero alcun seguito almeno fino alla metà degli anni Sessanta, con l’introduzione di uno specifico corso di Fisica e Laboratorio negli ITIS e con il pur limitato utilizzo del metodo PSSC [49] nei licei.

<sup>(80)</sup> [30], Vol. II, p. 53.

<sup>(81)</sup> [48], Presentazione dell’opera.

<sup>(82)</sup> [48], Prefazione.

### 3.5. Storia ed epistemologia

“Avvertirò ancora che qui tralasciai di discutere il valore delle dottrine ammesse in precedenza nella fisica, onde non ingombrare la mente della gioventù studiosa con talune fantastiche teorie, che vorremmo fosser presto dimenticate” <sup>(83)</sup>.

“Sebbene in talune discussioni teoriche la Fisica sembri accostarsi alla filosofia, pure è fondamentale notare che né i fisici teorici né i fisici sperimentali si propongono di scoprire l’intima essenza delle grandezze degli enti considerati, di scoprire insomma la realtà. Sotto questo aspetto nessun punto di contatto può esistere fra fisici e filosofi. Noi introdurremo le varie grandezze fisiche (lunghezza, tempo, massa, forza, energia, calore, elettricità, ecc.) perché ci è conveniente introdurle; queste sono sufficientemente definite e hanno esistenza reale in quanto si è d’accordo sulle operazioni da compiere per misurarle. Ogni legge che collega queste grandezze è una relazione numerica tra le loro misure” <sup>(84)</sup>.

Le due dichiarazioni ora riportate incorniciano dal punto di vista temporale il periodo da noi esaminato e lo *caratterizzano pienamente*. Nei manuali esaminati, le leggi non hanno né epoca né storia e vengono ricordate solo con i nomi dei fisici che le hanno proposte e dei quali non si riporta alcun cenno biografico. Allo studente, quindi, la Fisica doveva apparire una scienza senza storia prodotta da individui al di fuori del tempo.

L’unica eccezione a questa situazione è costituita dal manuale di Funaro-Pitoni i quali corredano la loro esposizione con un certo numero di “note storiche” che, in genere, si limitano a ricordare in quale opera viene riportata una certa legge <sup>(85)</sup>.

L’impostazione storica dell’insegnamento della Fisica andrà ben oltre il periodo che abbiamo esaminato e una, pur timida, inversione di rotta si avrà nella Scuola Superiore italiana solo verso la fine degli anni Settanta; tale inversione non toccherà però il livello del biennio universitario che, fino all’avvento delle Scuole di Formazione per i docenti, forniva le *basi teoriche essenziali* per la preparazione alle prove di concorso dei futuri insegnanti di Fisica delle scuole secondarie.

## Conclusioni

Se ci si affida all’“impressione generale” che deriva dalla lettura dei manuali, si può riassumere il carattere complessivo della didattica della Fisica del periodo esaminato nei punti seguenti.

i) Dal punto di vista dei *contenuti* si constata: da una parte, un forte ritardo nell’adottare la formulazione euleriana del secondo principio della dinamica, una notevole

<sup>(83)</sup> [18], Prefazione al Vol. I.

<sup>(84)</sup> [50], Prefazione, p. 5.

<sup>(85)</sup> Si veda, ad esempio: [24], Vol. I, p. 65.

resistenza nell'utilizzare il formalismo vettoriale, un'incertezza nell'assegnare un ruolo centrale al principio di conservazione dell'energia e ai principi della termodinamica (questi ultimi sempre piuttosto marginali rispetto al complesso dell'esposizione dei fenomeni termologici e delle relative leggi), l'assenza totale della forza di Lorentz nella interpretazione dei fenomeni elettromagnetici; dall'altra una tempestività nel presentare i caratteri generali delle onde elettromagnetiche, dei raggi catodici, dei raggi X e delle emissioni radioattive (pur presenti soltanto in termini descrittivi).

ii) Assente fino alla metà degli anni Trenta qualunque riferimento alla relatività einsteiniana e alla meccanica quantistica e, quando questi riferimenti cominciano ad apparire, si riducono a poche righe che, talvolta, dimostrano la cattiva assimilazione di quei concetti da parte di chi li presenta.

iii) Per quanto riguarda le *modalità espositive*, essa segue la concezione generale della Fisica che si forma e si evolve nel mondo accademico e negli ambiti della ricerca italiani. Conseguentemente, nel periodo in cui la fisica è considerata come essenzialmente sperimentale (cioè fino agli anni Trenta del Novecento), i manuali riportano con ricchezza di particolari la descrizione di esperimenti, strumenti di misura, applicazioni pratiche, mentre, nel periodo successivo, quando si comincia a comprendere il ruolo della fisica teorica, le esposizioni manualistiche si concentrano maggiormente sui "principi".

iv) Il *formalismo* presente nei manuali è molto limitato e si adegua ad un livello matematico che ha nelle funzioni goniometriche la sua espressione più elevata. L'istituzione del Liceo Moderno (1911) e del Liceo Scientifico gentiliano (1923) non modificano sostanzialmente tale situazione, nonostante i programmi di Matematica di questi corsi prevedano anche i primi elementi del calcolo infinitesimale.

v) Assenti le *applicazioni numeriche*, non previste dai programmi, con l'eccezione del Liceo Moderno; assenti gli *ordini di grandezza* dei parametri fisici coinvolti nelle leggi; ignorata l'applicazione numerica delle leggi in *problemi* di fine capitolo.

vi) Nessun tentativo di coinvolgimento degli allievi nell'*attività sperimentale*, limitata eventualmente a dimostrazioni da cattedra svolte allo scopo di evidenziare un fenomeno o di verificare una legge, ma senza addentrarsi in dettagli quantitativi, coerentemente a quanto si fa nei manuali.

vii) Assente ogni obiettivo di *storicizzazione* delle teorie e di *interdisciplinarietà*, se si eccettua la correlazione con i contenuti chimici e chimico-fisici, per tradizione e per esigenze di programma, almeno fino alla Riforma Gentile, quando l'insegnamento della Fisica verrà abbinato a quello della Matematica.

Non sono pochi gli interrogativi che nascono quando si confrontano i caratteri sopra ricordati con i principi che orientano l'attuale didattica della Fisica.

Cominciamo dai due seguenti:

- Perché una Fisica storica che non tenta di stabilire contatti interdisciplinari con la Filosofia?
- Perché una esposizione degli argomenti che si limita ad usare un livello matematico di modesto livello?

Alla prima domanda si è risposto, almeno parzialmente, nell'ultimo paragrafo della sezione 3, rifacendoci al contesto culturale dell'epoca.

Per quanto riguarda la seconda, si può forse affermare che la giustificazione del modesto livello matematico può essere cercata in parte nella concezione di una Fisica che deve essere anzitutto descrittiva e in parte nelle finalità del programma di Matematica, che sviluppava notevolmente il discorso geometrico ma non includeva elementi di calcolo infinitesimale. Il Liceo Moderno e il Liceo Scientifico modificherebbero in modo consistente il programma di Matematica ma la tradizione didattica del Liceo Classico potrebbe aver condizionato anche la didattica di questi Licei almeno fino agli anni Cinquanta.

I due seguenti interrogativi rimangono però, a nostro giudizio, un problema aperto.

- perché una didattica di una scienza sperimentale senza esperimenti eseguiti e analizzati?
- perché una scienza della quantità e del numero senza numeri e senza quantità?

La prima domanda è ancora ben attuale, quando si consideri la didattica liceale e, più in generale, dei trienni della Secondaria Superiore; la risposta che si usa dare oggi a tale domanda è che il quadro orario è troppo povero di ore mentre il programma ministeriale troppo ricco di argomenti.

Questa però è una falsa risposta, perché figlia di un progetto didattico fondamentalmente sbagliato, che separa, in una scienza sperimentale come la Fisica, l'ipotesi dal suo controllo, tradendo la sua stessa essenza.

Per quanto riguarda la seconda domanda, si può affermare che (si riveda la sezione 3) le considerazioni presenti nelle prefazioni di alcuni manuali da noi esaminati e in alcune Avvertenze annesse ai programmi ministeriali inducono a pensare che l'applicazione numerica fosse considerata da molti attività "pratica" di secondo ordine, da ridurre all'essenziale, e che solo ben pochi autori ritenessero utile un'applicazione numerica delle leggi. Questo tipo di valutazione oggi ci stupisce, ma, d'altra parte, non dimentichiamo che è solo dagli anni Settanta del secolo scorso che i manuali di Fisica hanno cominciato a proporre in modo sistematico e numericamente significativo esercizi di varia natura a fine capitolo ed esempi numerici nell'ambito del testo; oggi, addirittura, taluni manuali sembrano aver posto l'esposizione dei principi al "servizio" di un insieme esorbitante di test ed esercizi (anche se si deve dubitare fortemente di un loro reale e corretto uso, dal momento che gli esiti della prova di secondo livello delle Olimpiadi della Fisica, centrata sulla risoluzione di problemi teorici, mettono in evidenza che l'uso del problema nel triennio della Scuola Secondaria Superiore resta un'opzione utilizzata in modo efficace da ben pochi docenti).

Qual è dunque il motivo di questa forte disattenzione all'applicazione numerica che ha caratterizzato l'insegnamento della Fisica in passato e che in discreta misura domina ancora oggi?

Del passato si è detto; oggi è consuetudine giustificarla, come per l'attività sperimentale, con i vincoli del quadro orario e del programma, che impedirebbero una adeguata attenzione alle varie forme dell'applicazione numerica. Ma anche questa motivazione è inaccettabile, perché ignora volutamente che la ripetizione mnemonica dell'enunciato di una legge non equivale ancora alla sua completa comprensione e che questa si forma e si arricchisce mediante il suo impiego in una molteplicità di problemi *teorici, sperimentali, numerici*. Anche in questo caso restano quindi irrisolti i dubbi

sui reali obiettivi di una didattica che stabilisce l'equivalenza fra comprensione di una scienza e conoscenza formale dei suoi principi.

*Poco ma bene; sempre di più, non importa come* – I caratteri essenziali della didattica della Fisica del periodo che abbiamo esaminato, sintetizzati in questa conclusione, ci inducono a due ulteriori riflessioni: la prima coinvolge direttamente la didattica e i manuali attuali; la seconda intende proiettarci nella didattica dell'immediato futuro.

Il punto di partenza per la prima riflessione è una considerazione sul livello di difficoltà che, indipendentemente dal valore formativo di ciò che veniva proposto, doveva essere affrontato dagli allievi della Secondaria Superiore italiana nello studio della Fisica a partire dagli anni Dieci del Novecento. Ovviamente tutto può essere reso difficile se le richieste di un docente sono finalizzate alla selezione; inoltre va tenuto presente che gli esami di licenza, nel periodo da noi considerato, richiedevano la conoscenza della materia di *tutto* il corso e non del solo ultimo anno; tuttavia uno studio della Fisica caratterizzato da un modesto livello formale, prevalentemente descrittiva, che non impegna l'allievo nella risoluzione di problemi teorici e sperimentali e che è, conseguentemente, esposta in manuali che, ad eccezione del testo di Murani [34], non superano le cinquecento, seicento pagine per l'intero corso <sup>(86)</sup>, doveva rappresentare un ostacolo notevolmente inferiore a quello che oggi incontra uno studente liceale.

Si consideri anche che quei manuali si rivolgevano a studenti fortemente *selezionati* dai corsi inferiori mentre, oggi, è esperienza di ogni docente che anche la scuola liceale ha acquistato o sta acquistando i connotati della scuola di massa, alla quale accedono studenti con preparazione di base fortemente eterogenea.

La divaricazione fra il “poco ma bene” e il “sempre di più, non importa come” ha cominciato a manifestarsi negli anni Sessanta del secolo scorso e si è lentamente ma inesorabilmente accentuata fino alla proposta di una didattica della Fisica (chiaramente esplicitata dagli obiettivi e dai programmi delle proposte di sperimentazione degli anni Novanta e dalle bozze di programma degli ultimi progetti di riforma della Scuola Secondaria Superiore) che dovrebbe:

- ampliare i contenuti alla relatività, alla meccanica quantistica, alle particelle elementari, alla cosmologia;
- richiedere una buona capacità di applicare i principi alla risoluzione di problemi;
- impegnare l'allievo nella esecuzione di esperimenti, analizzati con i principi della teoria della misura,
- stimolare l'allievo ad approfondimenti di carattere teorico, matematico, tecnologico;
- stabilire connessioni interdisciplinari sia con le altre materie scientifiche sia con l'epistemologia e la storia.

Tutti gli obiettivi ora indicati vengono considerati oggi irrinunciabili; tuttavia, il loro raggiungimento richiederebbe:

<sup>(86)</sup> Si intende numero di pagine “normalizzato” ad una pagina di circa 3500 battute, cioè ad una tipica pagina degli attuali manuali di Fisica per i licei.

- un livello di partenza degli studenti che non può essere fornito dalla attuale scuola dell’obbligo;
- un numero di ore di insegnamento o, più correttamente, di lavoro in classe e in laboratorio, che dovrebbe aggirarsi sulle 20 ore per il quinquennio, onde consentire lo svolgimento di un congruo numero di attività di laboratorio, di esercitazioni alla risoluzione di problemi svolte sotto la guida dall’insegnante, di discussioni in classe relative ai principi generali e agli approfondimenti di varia natura;
- un corpo docente a tempo pieno, competente in ugual misura sia per la Fisica che per la Matematica, posto nella condizione di poter aggiornare la propria preparazione disciplinare e didattica.

In sintesi, occorrerebbe una scuola che oggi non esiste e alla quale ben pochi, sia a livello politico che pedagogico-didattico, sembrano interessati.

Come si è avuto occasione di dire in un precedente lavoro [51], non c’è molto da sperare in radicali revisioni a breve tempo della struttura (quadri orario, formazione dei docenti, attrezzature, ecc.) dell’insegnamento scientifico nell’ambito della Scuola Secondaria Superiore italiana <sup>(87)</sup>; pertanto riteniamo necessario che ci si concentri anzitutto sulla ricerca di *criteri didattici generali* che siano il più possibile indipendenti dal quadro orario e dal contesto strutturale entro i quali essi troveranno attuazione.

In altri termini, secondo chi scrive, il criterio fondamentale che dovrebbe orientare la didattica della Fisica della Scuola Secondaria Superiore in Italia nei prossimi anni non dovrà correlarsi tanto ai contenuti quanto alle *modalità* di insegnamento e queste dovranno *sempre e comunque* assicurare l’obiettivo di una corretta formazione scientifica dello studente.

Alcuni suggerimenti per attuare questo criterio orientativo sono riportati nelle *Riflessioni conclusive* di [51] unitamente a due indici esemplificativi di argomenti relativi, il primo, al movimento di un corpo, il secondo, alle caratteristiche fisiche dell’elettrone. Per evitare poco utili ripetizioni, rimandiamo il lettore interessato al lavoro citato.

<sup>(87)</sup> Ne è conferma l’attuale proposta di “Riforma della Scuola Superiore” che dovrebbe iniziare nel 2010 ma della quale, al momento della correzione di questa bozza, non esiste ancora un documento ufficiale. Secondo questa proposta: 1) nel Liceo Classico l’insegnamento della Fisica si sviluppa in 6 ore (distribuite in 2+2+2 ore settimanali per ogni classe del triennio), nel Liceo Scientifico (che prevede ancora l’insegnamento del Latino) si articola in 2+2+3+3+3 ore settimanali per il quinquennio; 2) il numero di ore per l’insegnamento della Fisica nel primo biennio degli ITI passa da 8 a 6 e, per di più, non è seguito da alcun altro corso di Fisica nel successivo triennio; 3) la sperimentazione del Liceo Scientifico Tecnologico, attualmente caratterizzata da un Laboratorio di Fisica e Chimica di 10 ore per il biennio, seguito da un corso triennale di Fisica di 11 ore, di cui 6 di laboratorio, viene sostituito da un Liceo Scientifico delle scienze applicate dotato del medesimo quadro orario del Liceo Scientifico con Latino, 4) non sono previste ore di laboratorio istituzionali né nei Licei Classico e Scientifico, né nel Liceo Scientifico Tecnologico.

\* \* \*

Un sentito ringraziamento a GIUSEPPE GIULIANI, che, come sempre, ha seguito il mio lavoro con stimolanti discussioni sui temi affrontati e con una attenta rilettura critica del medesimo. Ringrazio inoltre il revisore per i suggerimenti che hanno condotto ad una più agile struttura del testo.

### Bibliografia

- [1] MARAZZINI P., *L'insegnamento della Fisica: 1945-1965*, nel volume: *Per una storia della fisica italiana, 1945-1965*, a cura di Giuseppe Giuliani (La Goliardica Pavese) 2002, pp. 193-331.
- [2] <http://fiscavolta.unipv.it/percorsi/storiadidattica.asp>.
- [3] RAGAZZINI D., *Storia della Scuola Italiana, Linee generali e problemi di ricerca* (Le Monnier) 1983.
- [4] TONELLI A., *L'istruzione Tecnica e Professionale di stato nelle strutture e nei programmi da Casati ai giorni nostri* (Giuffrè Editore) 1964.
- [5] ZUMINO P. G. e MUSSO S., *Scuola e Istruzione*, in *Guida all'Italia contemporanea*, Vol. III (Garzanti) 1998.
- [6] PAGELLA M., *Storia della Scuola* (Cappelli, Bologna) 1980.
- [7] SCOTTI DI LUZIO A., *Il liceo classico* (Il Mulino, Bologna) 1999.
- [8] BERTONI JOVINE D., *La scuola italiana dal 1870 ai giorni nostri*, in particolare il Cap. II: "Parabola dell'idealismo".
- [9] GENTILE G., *La riforma della scuola in Italia*, a cura di Hervé A. Cavallera (Casa Editrice Le Lettere, Firenze) 1989.
- [10] GENTILE G., *La nuova scuola media* (Vallecchi Editore) 1925.
- [11] GIACARDI L., (a cura di) *Da Casati a Gentile, momenti di storia dell'insegnamento della matematica in Italia* (Agorà Publishing) 2006.
- [12] VITA V., *I programmi di matematica per le scuole secondarie dall'unità d'Italia al 1986* (Pitagora Editrice, Bologna) 1986.
- [13] MAJORANA Q., "Sull'insegnamento della Fisica in Italia", *Nuovo Cimento*, **13** (1934).
- [14] MORATELLI G., *Corso elementare di Fisica, ad uso delle Università e Licei del Regno d'Italia* (Sonzogno, Milano) 1805; Vol. I, pp. 355; Vol. II, pp. 308; Vol. III, pp. 261 (ITC).
- [15] BELLI G., *Corso elementare di Fisica Sperimentale* (Società Tipografica de' classici italiani) Vol. I (1830), pp. 235; Vol. II (1831), pp. 595; Vol. III (1838), pp. 785 (DFP, FS).
- [16] MATTEUCCI C., *lezioni di Fisica* (Stamperia Pieraccini, Pisa) 1850, Quarta Edizione ampliata di nuove lezioni, Vol. unico, pp. 544 (DFP, FS).
- [17] AMBROSOLI G., *Prime nozioni di Fisica* (Vallardi Editore, Milano) 1854, Vol. I, pp. 592; Vol. II, pp. 596 (ITC).
- [18] CANTONI G., *Elementi di Fisica ad uso dei corsi secondari* (Ed. Vallardi, Milano) 1871 (data non indicata ma probabile); Volume unico di pp. 966 (LF).
- [19] PALMIERI L., *Lezioni di Fisica sperimentale e di Fisica terrestre* (Editore Giovanni Novene) 1878, sesta edizione, Vol. I, pp. 467 (formato ridotto), Vol. II, pp. 566 (ITC).
- [20] RÒITI A., *Elementi di Fisica, libro di testo per i Licei* (Le Monnier, Firenze) Vol. I (1880), pp. 244; Vol. II (1880), pp.176; Vol. III (1881), pp. 197; Vol. IV (1883), pp. 356 (LF).
- [21] BONMASSARI E., *Gli elementi della Fisica* (Ed. Giovanni Fabbri) 1890; Vol. I, pp. 307; Vol. II, pp. 415 (LP).
- [22] INVREA F., *Elementi di Fisica*, (Ed. Unione Tipografico Editrice, Torino) 1900, Vol. I (*Meccanica - Calore*), pp. 344, Vol. II (*Magnetismo ed Eletticità, Ottica*), pp. 390 (1901) (DFP, FS).
- [23] PALAGI F., *Nozioni elementari di Meccanica, Acustica e Cosmografia, per la Classe II dei Licei* (Ed. Loescher) 1903, terza edizione, pp. 253 (LF).
- [24] FUNARO A. e PITONI E., *Corso di Fisica e Chimica, ad uso dei Licei, secondo i programmi governativi* (Ed. Raffaello Giusti, Livorno) Vol. I (1904), pp. 122; Vol. II (1901), pp. 262; Vol. III (1904), pp. 390 (LF).
- [25] VANNI G. e MONTI V., *Corso di Fisica, ad uso dei Licei* (Ed. Vallardi, Milano) 1906, seconda edizione notevolmente ampliata, Vol. I (*Meccanica generale, Meccanica dei liquidi e degli aeri-*

- formi, *Acustica e Cosmografia*), pp. 240; Vol. II (*Termologia, Meteorologia, Ottica, Eletticità e Magnetismo*), pp. 444 (LF).
- [26] CINTOLESI F., *Elementi di Fisica, ad uso delle scuole secondarie* (Ed. Raffaele Giusti, Livorno) 1908, Volume unico, pp. 389 (il volume è indirizzato in modo specifico al terzo anno degli istituti tecnici, indirizzo Fisico-Matematico) (LF).
- [27] VIALE G., *Problemi di Fisica, con risoluzione* (Ed. Raffaello Giusti, Livorno) 1908, pp. 140, (LF).
- [28] AMADUZZI L., *Nozioni di Fisica (secondo il programma per la seconda classe normale)* (Ed. Zanichelli, Bologna) 1912, pp. 422 (DFP, FS).
- [29] DESSAU B., *Manuale di fisica, ad uso delle scuole secondarie e superiori* (Società editrice libraria, Milano) Vol. I (*Meccanica*) (1912), pp. 500; Vol. II (1915), pp. 612; Vol. III (1918), pp. 760 (PM).
- [30] AMADUZZI L., *Elementi di Fisica, ad uso dei Licei e degli Istituti tecnici* (Zanichelli, Bologna) 1921, Vol. I (*Meccanica e Cosmografia*), pp. 259; Vol. II (*Termologia*), pp. 107; Vol. III (*Acustica e Ottica*), pp. 159; Vol. IV (*Eletticità, Magnetismo, Meteorologia*), pp. 175 (LF).
- [31] MURANI O., *Fisica*, undicesima edizione (Ed. Hoepli, Milano) 1921, pp. 991, (LVV).
- [32] BATTELLI A., *Corso di Fisica, per i Licei* (Ed. Zanichelli, Bologna) 1922, Vol. I (*Meccanica dei solidi, dei liquidi e dei gas, Cosmografia, Acustica*), pp. 262; Vol. II (*Calore, Ottica, Eletticità e Magnetismo*), pp. 390 (LF).
- [33] DEL BUE A., *Lezioni di Fisica generale, per i Licei* (Ed. A. Signorelli, Roma) 1924, Vol. I, pp. 288; manca il volume II (ITC).
- [34] MURANI O., *Trattato elementare di Fisica, compilato ad uso de' Licei e degli Istituti tecnici* (Ed. Hoepli, Milano) 1925, Vol. I (*Meccanica dei solidi e dei fluidi, Acustica, Energia termica*), pp. 808; Vol. II (*Ottica ed Eletticità*), pp. 1087 (LVV).
- [35] CORBINO O. M., *Nozioni di Fisica per le scuole secondarie* (Ed. Remo Sandron) 1925 (?); quinta edizione; Vol. I (*Meccanica - Acustica - Cosmografia*), pp. 144; Vol. II (*Calore - Ottica - Eletticità e Magnetismo*), pp. 260 (DFP, FS).
- [36] AMERIO A., *Elementi di Fisica, ad uso dei Licei scientifici, conforme ai programmi governativi [del 1923]*, (Ed. Principato) 1925 (?), Vol. I, pp. 280; Vol. II, pp. 279 (CG).
- [37] FERMI E., *Fisica, ad uso dei Licei* (Ed. Zanichelli, Bologna) 1929, Vol. I, *Meccanica, Acustica, Calore*, pp. 238; Vol. II, *Ottica, Eletticità*, pp. 243 (DFP, FS).
- [38] PALATINI A. e SERINI R., *Elementi di Fisica, per i Licei Scientifici* (Ed. A. Mondatori, Milano) 1933; Vol. I, *Meccanica generale*, pp. 207; Vol. II, *Meccanica dei fluidi, Astronomia, Acustica, Termologia*, pp. 272; Vol. III, *Ottica, Elettrologia*, pp. 324 (DFP, FS).
- [39] FEDERICO R., *Elementi di Fisica ad uso dei licei classici e di altre scuole medie superiori* (Lattes Editori, Torino) Vol. I, *Meccanica, Termologia*, 1937, terza edizione, pp. 272; Vol. II, *Acustica, Ottica, Eletticità e magnetismo*, 1939, quinta edizione, pp. 334. (I volume, Biblioteca civica di Cremona, II volume, dono della famiglia Giulotto).
- [40] MARAZZINI P., *Nuove radiazioni, quanti e relatività in Italia, 1896-1925*, in *Percorsi della Fisica*, a cura di G. Giuliani (La Goliardica Pavese) 1996.
- [41] MURANI O., *Luce e raggi Röntgen* (Milano) 1898.
- [42] BATTELLI A. e STEFANINI A., *Esposizione critica della teoria della dissociazione elettrolitica* (Lucca) 1899.
- [43] ROITI A., *Elementi di Fisica 2* (Firenze) 1903.
- [44] RIGHI A., *La moderna teoria dei fenomeni fisici (radioattività, ioni, elettroni)* (Bologna) 1904.
- [45] PERUCCA E., *Fisica generale e sperimentale* (Editrice UTET) 1932.
- [46] PERSICO E., Che cos'è che non va?, *G. Fis.*, **1** (1956) 64.
- [47] BASSANI F., FOÀ L. e PEGORARO F., *Problemi di Fisica della Scuola Normale* (Zanichelli, Bologna) 1984.
- [48] PERUCCA E., *Guida pratica per esperienze didattiche di Fisica sperimentale* (Zanichelli, Bologna) 1937.
- [49] PSSC, I edizione italiana (Zanichelli, Bologna) 1963.
- [50] PERUCCA E., *Fisica generale e sperimentale per l'Università* (UTET, Torino) 1942.
- [51] MARAZZINI P., "Riflessioni su alcuni obiettivi dell'insegnamento della Fisica nella Scuola Secondaria Superiore italiana", *G. Fis.*, **49** (2008) 59-71.