

### **Premessa**

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 relativo 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 cinque Capitoli, seguiti da una Conclusione, e in quattro Documenti.

**Il primo capitolo** descrive, senza alcuna pretesa di sostituirsi agli studi specializzati, i caratteri generali della formazione secondaria in Italia.

**Il secondo capitolo** entra nello specifico delle indicazioni ministeriali relative ai quadri orario degli ordinamenti secondari e dei programmi previsti per l'insegnamento della Fisica.

**Il terzo capitolo** 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.

**Il quarto capitolo** 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.

**Il quinto capitolo** 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.

I quattro Documenti contengono informazioni dettagliate che giustificano quanto esposto nei capitoli e sono così intitolati:

**Documento 1:** Quadri orario

**Documento 2:** Programmi di insegnamento

**Documento 3:** Contenuti proposti nei manuali presi in considerazione e relativo numero di pagine

**Documento 4:** Indici esemplificativi di alcune tematiche

Segnaliamo che una esposizione sintetica del contenuto di questo lavoro è stata pubblicata, con titolo simile, in *Giornale di Fisica*, Dicembre 2009.

## CAPITOLO 1

### STRUTTURA E OBIETTIVI DELLA SCUOLA SECONDARIA

#### **Introduzione**

Non è negli obiettivi di questo capitolo ripercorrere il cammino, spesso intricato, delle varie riforme del sistema scolastico italiano che furono attuate nel periodo preso in considerazione <sup>1</sup>; tuttavia, per comprendere meglio l'ambiente culturale entro il quale si collocava l'insegnamento scientifico e, in particolare, della Fisica, riteniamo opportuno descrivere, anche se in forma molto sintetica, la struttura di quel sistema nonché le finalità sociali e culturali che ne giustificavano l'esistenza.

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:

- 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);
- 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).

#### **1.1 La Legge Casati**

Gli storici concordano nello stabilire che, nel periodo in cui si andava strutturando lo stato italiano, solo un italiano su dieci fosse in grado di leggere e scrivere correttamente e solo il 2,5% della popolazione fosse italofona.

Si può quindi comprendere che gli obiettivi della legge Casati fossero anzitutto quelli di contribuire a ridurre l'analfabetismo, 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.

Per comprendere meglio questa scelta va tenuto presente che non pochi studiosi dell'Ottocento italiano sono giunti alla conclusione che la borghesia italiana di quell'epoca si caratterizzava più per

---

<sup>1</sup> In proposito si veda, ad esempio: [2], [3], [4], [5]. Da alcuni di questi volumi abbiamo tratto alcune tabelle relative alla struttura scolastica riportate nel presente capitolo. I quadri orario ed i programmi sono stati invece rilevati direttamente dalle Gazzette Ufficiali.

la sua adesione ai valori e alla tradizione culturale umanistica che non per la correlazione con la categoria del profitto<sup>2</sup>. E' facile comprendere perciò che in un contesto di questo tipo il canale del Ginnasio e del Liceo Classico rappresentasse la corsia preferenziale per la formazione dei figli della nuova borghesia italiana.

Decisamente limitata è invece l'attenzione che la Legge Casati rivolge all'istruzione tecnica. Rinviando a testi specifici l'analisi completa di questo canale, ci limiteremo qui a ricordare che esso era articolato in più sezioni distinte per i loro obiettivi specifici e dotate di uno specifico quadro orario.

In questo indirizzo di studi 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.

Al di fuori dell'Istruzione Tecnica, ma pur sempre nell'ambito di uno studio tecnico-professionale, si collocava l'Istituto Nautico. Fino al 1860 questo Istituto dipendeva dal Ministero della Guerra ma poi passò, insieme alle scuole professionali (delle quali non faremo alcun cenno) sotto la giurisdizione del ministero dell'Agricoltura Industria e Commercio.

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.

La Legge Casati subì non pochi rimaneggiamenti nei decenni successivi alla sua promulgazione ma, nella sostanza, il quadro strutturale da essa delineato, nonché lo spirito che la informava, rimasero pressoché immutati fino alla Riforma Gentile. Unica eccezione significativa fu l'istituzione di un Liceo Moderno (1911), le cui caratteristiche verranno presentate nel Capitolo 2.

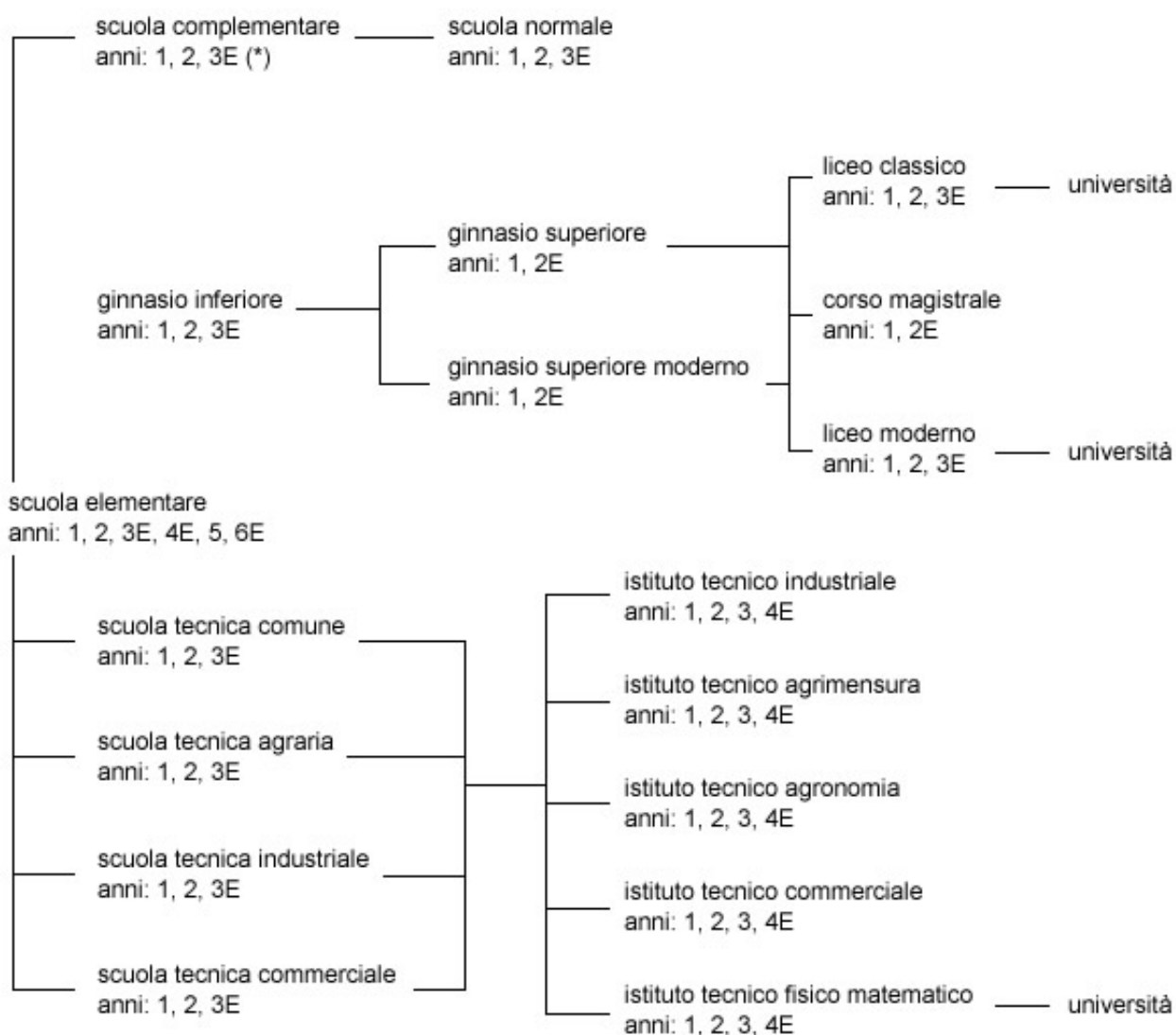
L'ordinamento scolastico relativo al periodo 1861-1923 può quindi essere schematizzato come indicato dalla Tabella 1<sup>3</sup>.

TABELLA. 1. ORDINAMENTO SCOLASTICO PRIMA DELLA RIFORMA GENTILE (1861-1923)

---

<sup>2</sup> In proposito si veda [6].

<sup>3</sup> Si veda [4], pag. 252.



(\*) E = esame finale

## 1.2 La Riforma Gentile

Nel 1923, Giovanni Gentile traduceva nella concretezza della Riforma della Scuola Italiana la sua lunga battaglia ideologica contro la visione laica e positivista della scuola che, a suo parere, fin dalla costituzione dello Stato italiano, si era limitata a proporre un'analisi scientifica dei fatti sostanzialmente estranea ad una visione unitaria del mondo e dell'uomo <sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Si veda ad esempio [7], in particolare il Cap. II: "Parabola dell'idealismo".

## Secondo Gentile:

“[la scienza] in quanto rappresenta in una delle sue forme tutta la vita e l’esistenza dell’uomo, è una forma della personalità, come assoluto valore del mondo, dell’universo”<sup>5</sup>

“Non è il mondo della natura la culla della scienza (...) non è in quel mondo che germoglia l’albero della scienza. (...)”

L’uomo che pensa, e ricerca la verità, non ha, e non è possibile che abbia od avverta un altro mondo all’infuori di quello in cui gli si addentra, perché è lui che, a grado a grado, lo costruisce, il mondo suo, sempre sorreggendolo con la forza della sua attenzione, che è la forza del suo stesso spirito, del suo stesso cuore.” “Il pensiero, dunque, crea le cose, e crea le idee, i sistemi, le teorie che riempiono i libri e che colpiscono la nostra immaginazione.”<sup>6</sup>

La vera scienza, dunque, per l’idealismo gentiliano non è da identificarsi con la scienza intesa in senso tradizionale, che si confronta programmaticamente con una realtà percepita come altro da sé, ma come un valore supremo creato dallo spirito dell’uomo stesso.

Una delle conseguenze di questa visione totalizzante nell’ambito della formazione scolastica è la preminenza assoluta della cultura classica che, secondo Gentile, meglio attrezza i giovani a combattere ogni eventuale riflusso positivista.

“Tendo a concentrare la funzione della scuola media nella scuola classica; la quale, per il suo valore nazionale ed educativo, avrà una netta preminenza su le altre scuole destinate alla formazione dello spirito degli alunni. Di qui, la necessità di dare maggiore importanza allo studio delle lingue classiche, della storia e della filosofia.”<sup>7</sup>

[...della filosofia, soprattutto, che, per Gentile, costituisce quella scienza unica] “che ha per proprio oggetto il soggetto di tutte le altre e di se medesima”<sup>8</sup>

Va inoltre tenuto presente che questo programma formativo si correlava strettamente ad una scuola di elite ( e da questo punto di vista la visione scolastica di Gentile era perfettamente allineata con la visione ottocentesca della cultura e dell’istruzione) e accoglieva pienamente la concezione, diffusa fra gli intellettuali italiani del periodo precedente la prima guerra mondiale, di una cultura elitaria che non doveva contaminarsi con quella della nuova borghesia prorompente o, peggio, con quella popolare.

“Gli studi secondari sono di lor natura aristocratici, nell’ottimo senso della parola; studi di pochi, dei migliori, (...); perché preparano agli studi disinteressati, scientifici [nel nuovo senso gentiliano]; i quali non possono spettare se non a quei pochi, cui l’ingegno destina di fatto, o il censo e l’affetto delle famiglie pretendono destinare, al culto de’ più alti ideali umani. Non gli studi, in verità, possono abbassarsi; ma il popolo, se mai, deve elevarsi. Lo spirito è assoluta necessità; e non soggiace ai bisogni o alle contingenze particolari degli individui. Ora gli studi secondari per la scienza sono quelli che lo spirito richiede che siano; e se così come devono essere, non possono passare per democratici, peggio per la democrazia.”<sup>9</sup>

---

<sup>5</sup> [8], pag. 51.

<sup>6</sup> [8], pag. 50.

<sup>7</sup> [8], pagg. 36, 37.

<sup>8</sup> [9], pag. 27.

<sup>9</sup> [9], pagg. 35,36.

A causa soprattutto del suo classismo elitario, la concezione gentiliana della scuola non coinciderà esattamente con i progetti educativi del fascismo che, di lì a poco, avrebbe condizionato la vita italiana per un ventennio; tuttavia essa venne assunta, almeno per quanto riguarda l'istruzione secondaria liceale e superiore come sua espressione, con la condizione che la cultura diventasse strumento del regime e, alla fin fine, conducesse al predominio dell'azione sul vuoto intellettualismo.

“La vecchia scuola aveva un solo ideale: la scienza, la famosa scienza dell'intellettualismo; [ma questa scienza] non ha fede in valori che non siano il mito del progresso futuro (...) Chi dice scienza dice altresì esperienza, e chi dice esperienza costruisce un mondo nel quale la giovinezza non può avere parte alcuna”. Ecco la fredda scuola dello scientismo e del tecnicismo, che han tanto rimpianto coloro che si domandavano a che serve la filosofia (...) Non si formano uomini nella acquiescenza di ciò che è: “misurarsi con la realtà, sfidarla, superarla, non può essere fatto che in nome della filosofia, in nome cioè di quell'inquietudine spirituale che spregia, o almeno non cura, il quieto bilanciare dell'equazioni scientifiche.”<sup>10</sup>

Non è difficile immaginare che in questo contesto filosofico e pedagogico l'insegnamento di una materia scientifica quale la fisica dovesse essere relegato il più possibile ai margini del processo di formazione scolastica del giovane e sostanzialmente ridotto a sequenza di definizioni, formule, apparati di misura (cioè, appunto, ad un “quieto bilanciare dell'equazioni scientifiche”) giacché il riflettere sulla storia della scienza, sullo sperimentalismo scientifico, sulla sua epistemologia, sul suo metodo di indagine della realtà, di tutta la realtà e non solo di quella naturale, avrebbe potuto costituire un pericoloso elemento di critica nei riguardi degli eventi socio – politici di quel periodo. La Riforma Gentile accentua quindi ulteriormente la separazione fra gli studi non finalizzati ad un utile immediato e gli studi tecnici, riducendo le preesistenti cinque sezioni dell'Istituto Tecnico a due sole (Commerciale e Agrimensura) e facendo confluire la sezione Fisico-Matematica e il Liceo Moderno in un nuovo Liceo Scientifico. In questo nuovo corso, tuttavia, i caratteri spiccatamente scientifico-tecnici venivano dispersi e soffocati dai contenuti umanistici e classici ed esso quindi, al di là del nome ingannevole, assumeva le caratteristiche di un corso liceale storico-umanistico, ben poco differenziato dal tradizionale Liceo Classico.

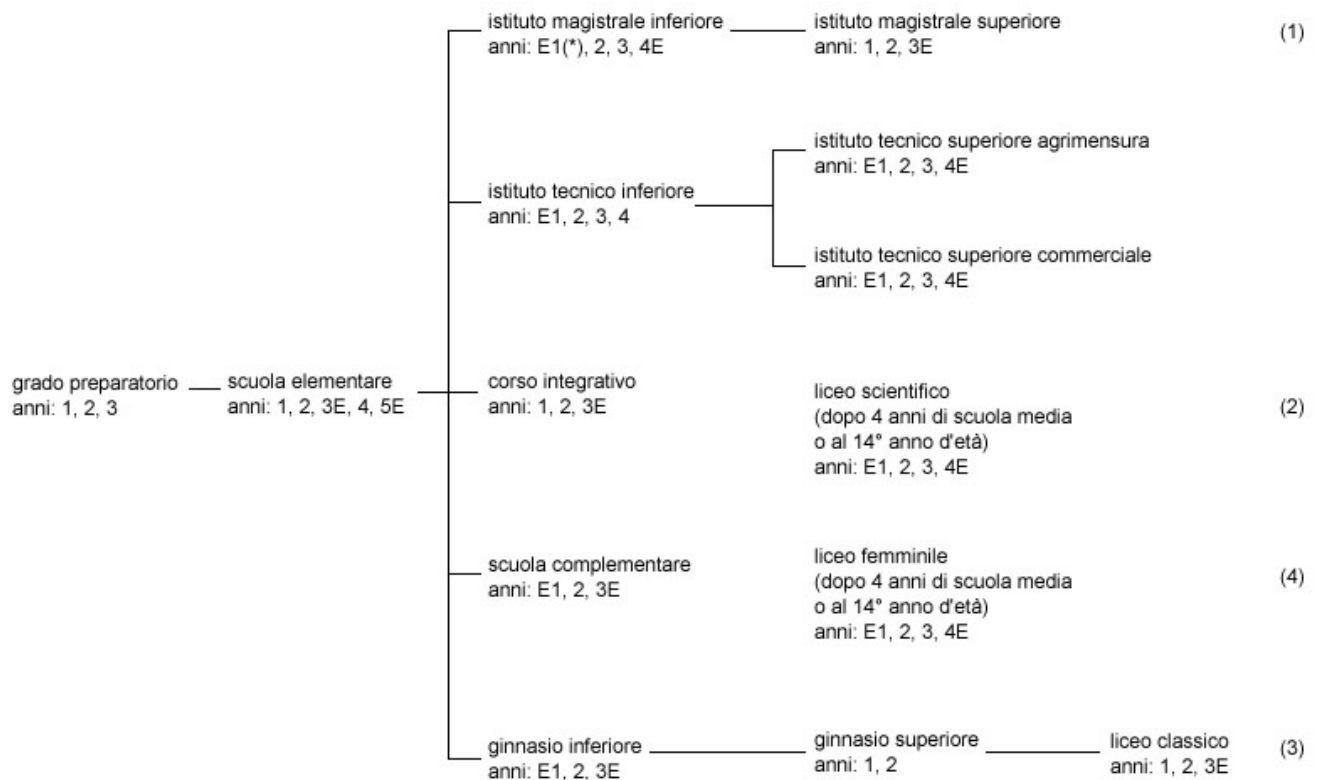
La struttura della scuola italiana da Gentile fino agli anni trenta può essere schematizzata come indicato in Tabella 2<sup>11</sup>.

TABELLA. 2. ORDINAMENTO SCOLASTICO DALLA RIFORMA GENTILE ALLA SECONDA GUERRA MONDIALE

---

<sup>10</sup> [10], pagg. 52, 53.

<sup>11</sup> [4], pag. 253.



(\*) E1 indica che si accede alla classe prima previo esame di ammissione.

(1) Dà accesso all'Istituto superiore di magistero, anni E1, 2, 3, 4; poi Facoltà dal 1935

(2) Dà accesso alle seguenti facoltà: Scienze politiche (4 anni); scienze statistiche (4 anni); Economia e commercio (4 anni); veterinaria (4 anni); Agrarie (4 anni); farmacia (4 anni); Scienze matematiche, fisiche, naturali, (4 anni); Chimica (5 anni); Architettura (5 anni); Ingegneria (5 anni); medicina e chirurgia (6 anni). Il liceo scientifico diventerà quinquennale nel 1940.

(3) Dà accesso a tutte le Facoltà indicate nella nota (2) e, in più, a: Lettere e Filosofia (4 anni); Giurisprudenza (4 anni).

(4) Non dà accesso alle facoltà universitarie.

Durante gli anni trenta verranno apportati notevoli modifiche alla struttura del canale professionale e tecnico; in particolare verrà ristrutturato il quadro orario del corso Inferiore mentre i corsi superiori aumenteranno notevolmente il loro numero, suddividendosi negli indirizzi Agrario, Commerciale a indirizzo amministrativo e mercantile, per Geometri, Industriale (a sua volta articolato in Chimico per coloristi, Chimico industriale, Chimico tecnico per le industrie agricole, Chimico per tintori, Chimico conciario, per Costruttori aeronautici, Edile, Meccanico-elettrico, Minerario, Radiotecnico, Tessile). Da notare che in questi istituti l'insegnamento della Fisica è presente al biennio con modalità diverse che vanno dalle tre ore settimanali in classe prima per l'indirizzo Commerciale a tre ore settimanali in classe prima e in classe seconda per gli indirizzi Industriali.

Per effetto della evoluzione socio-economica, durante gli anni del fascismo l'espansione scolastica subì un notevole incremento e, per quanto riguarda l'istruzione secondaria, si passò dai circa



150000 iscritti del 1923 agli oltre 600000 iscritti del 1939. La distribuzione degli allievi tra i vari canali di istruzione confermava comunque la prevalenza del Ginnasio-Liceo nel quale, a ridosso della seconda guerra mondiale, erano iscritti circa 200000 allievi mentre solo 13000 frequentavano il Liceo scientifico e 128000 gli istituti tecnici.

Per ulteriori dettagli numerici relativamente al numero degli iscritti nelle scuole superiori e ai finanziamenti per la scuola si vedano le Tabelle 3<sup>12</sup> e 4<sup>13</sup>.

TABELLA 3 ISCRITTI NEI VARI INDIRIZZI DELLE SCUOLE SUPERIORI (fino al 1921 ed esclusa l'istruzione artistica)

Anni	Scuola normale e magistrale	Ginnasi classici e moderni	Licei classici e moderni	Scuole tecniche	Istituti tecnici	Istituti nautici	Scuole industriali e commerciali
1861-2	3742	7221	3005	2200	1231	265	-
1871-2	6130	8269	3773	6189	4849	718	-
1881-2	8865	13785	12390	24833	7858	818	16180
1891-2	18029	57525	15713	34244	9392	1492	26692
1901-2	20373	31289	12938	38874	10004	1598	44466
1911-2	45215	48406	15867	94031	22181	1730	54525
1921-2	64032	73591	20138	147351	38834	5247	-

ISCRITTI NEI VARI INDIRIZZI DELLE SCUOLE SUPERIORI DOPO LA RIFORMA GENTILE (fino al 1941 ed esclusa l'istruzione artistica)

Anni	Ginnasi e licei Classici	Licei scientifici	Istituti magistrali	Insegnamento tecnico e professionale	Istruzione professionale per i contadini
1923-4	93017	4195	38805	-	-
1927-8	82797	6263	27178	149971	94323
1931-2	104781	6619	48155	227768	183012
1935-6	171133	8601	123969	383687	204665
1939-40	225922	15616	169942	-	-

<sup>12</sup> [4], pagg. 228, 230.

<sup>13</sup> [4], pag. 284.

TABELLA 4 SPESA STATALE PER L'ISTRUZIONE (percentuale sul prodotto interno lordo e sulla spesa statale complessiva)

Anni	% sul Pil	% sulla spesa totale
1862	0,14	1,27
1866	0,16	1,06
1870	0,14	1,24
1875	0,21	1,93
1880	0,22	2,01
1885	0,27	1,94
1890	0,34	2,36
1895	0,36	2,39
1900	0,43	3,48
1905	0,54	4,26
1910	0,72	5,75
1915	0,62	1,51
1920	0,89	2,41
1925	0,97	7,05
1930	1,25	6,40
1935	1,50	4,72
1940	1,34	2,62
*1965	4,17	16,5

## CAPITOLO 2

### QUADRI ORARIO E PROGRAMMI MINISTERIALI

#### **Introduzione**

In questo Capitolo presentiamo i caratteri salienti dei quadri orario dei Licei (Classico, Moderno, Scientifico) e di alcuni fra i più importanti corsi degli Istituti Tecnici a partire dal 1860 (legge Casati) e fino al 1936 (modifiche Bottai). L'esposizione avrà carattere sintetico ma i "dati" sui quali si fonda sono riportati nel Documento 1.

Un quadro orario dovrebbe essere definito in modo da consentire la realizzazione di determinati obiettivi contenutistici e/o formativi, e pertanto, in questo stesso capitolo, intrecciati alla presentazione dei quadri orario, verranno descritti anche i caratteri generali dei contenuti di insegnamento previsti dai "Programmi ministeriali" per i corsi di studio sopra indicati (gli indici dettagliati di questi programmi vengono riportati nel Documento 2).

Fatta eccezione per il Liceo Moderno, i riferimenti metodologici che accompagnano questi programmi sono in genere piuttosto scarsi se non addirittura assenti e quindi, per formarsi un'idea più completa delle modalità con le quali essi furono applicati, nonché del rilievo che venne attribuito alle loro diverse parti nella prassi dell'insegnamento, occorre leggere anche il Capitolo 3, dedicato alla trasposizione delle indicazioni ministeriali nei libri di testo.

Facciamo osservare che non vengono presi in considerazione gli Istituti Nautici, sia per la loro minor consistenza numerica, sia per la minore importanza che il loro quadro orario assegnava alla Fisica.

#### **2.1. Il Ginnasio - Liceo Classico**

Il carattere di eccellenza e il ruolo di riferimento che il Liceo Classico ha sempre svolto nella scuola italiana suggeriscono di partire proprio dall'esame del quadro orario di questo tipo di scuola.

Coerentemente alla sua denominazione, fin dal 1860 questo corso di studi appare dominato dalle materie di tipo classico e umanistico. Il quadro orario approvato con Regio Decreto 22 Settembre 1860 (Documento 1, Tabella 1) prevede 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, alla matematica vengono assegnate 17 ore nei cinque anni (con l'assenza della materia nella seconda classe liceale) e all'insegnamento della fisica un totale di 9 ore distribuite nelle due

classi terminali del Liceo. Il peso percentuale delle due materie è quindi 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 considerato che la materia di insegnamento allora denominata Fisica includeva argomenti che oggi vengono attribuiti all'insegnamento di Chimica.

I contenuti dettagliati, previsti per l'insegnamento di Fisica (Documento 2, Programma 1) vengono definiti in relazione agli esami finali del corso liceale che, allora, riguardavano *tutto il programma svolto nel corso Liceale*.

L'indice di questi programmi è estremamente dettagliato ed è suddiviso in Capitoli, dei quali il primo riguarda le *Proprietà generali della materia* e gli altri sono intitolati, nell'ordine: *Statica, Dinamica, Idrostatica, Pneumatica, Azioni molecolari, Acustica, Nozioni elementari di astronomia, Elementi di Chimica, Calorico* (da svolgersi nella classe seconda), *Elettricità, Luce* (da svolgersi nella classe terza).

Facciamo rilevare l'assenza di un capitolo specifico di *Cinematica*; questo argomento, come si vedrà più in dettaglio nel prossimo capitolo, veniva trattato contestualmente alla *Dinamica*.

Da notare anche i due capitoli, consistenti per numero di contenuti, riguardanti le *Nozioni elementari di Astronomia* e gli *Elementi di Chimica*, quest'ultimo riguardante essenzialmente la chimica inorganica.

Il capitolo sul *Calorico* va identificato in pratica con gli attuali contenuti relativi alla termologia e ai passaggi di stato (ma con molta più insistenza sulla descrizione di apparati e strumenti di misura). Limitati invece i riferimenti ai principi della Termodinamica (ne parleremo più in dettaglio nel Capitolo 4), trattati a partire dalla descrizione di alcune macchine termiche.

Per quanto riguarda il capitolo sulla *Elettricità*, vanno segnalati gli ampi riferimenti ai fenomeni elettrochimici e, per contro, il limitato indice relativo ai fenomeni elettromagnetici, nonché l'assenza del concetto di campo (ma siamo nel 1860!).

Nel capitolo sulla *Luce* dominano i fenomeni dell'ottica geometrica, con un solo riferimento finale alle "nozioni elementari su la diffrazione della luce – su la doppia rifrazione – su la polarizzazione". Come si vedrà meglio in un successivo capitolo, i contenuti di Fisica venivano presentati in termini prevalentemente descrittivi, con ampi riferimenti agli strumenti di misura, agli apparati sperimentali e alle macchine e ciò come conseguenza, sia di una certa visione della Fisica diffusa in quell'epoca, sia del bagaglio matematico a disposizione degli allievi. Non intendiamo seguire le modificazioni subite dai programmi di Matematica nel periodo in esame <sup>14</sup>, ma almeno in questa circostanza riteniamo utile segnalare che dalla lettura del programma di Matematica riportato nel medesimo

---

<sup>14</sup> In proposito segnaliamo [11] e [12].

Decreto Regio del 1860 nel quale compare il programma di Fisica (si veda anche Documento\*\*\*\* 2, Programma 2) si può stabilire che, accanto ad una buona preparazione nell'ambito della geometria piana e solida, l'allievo non disponeva di alcuna conoscenza del calcolo infinitesimale e che solo in classe terza acquisiva i concetti fondamentali del calcolo trigonometrico.

Non pochi autori di manuali di Fisica evidenzieranno il forte limite imposto da questo tipo di preparazione in matematica.

Nel 1876 e nel 1881 i quadri orario del Ginnasio e del Liceo subiscono successive modifiche (Documento 1, Tabella 2 e Tabella 3). Per quanto riguarda la Fisica, le variazioni riguardano solo la diversa distribuzione delle ore nell'arco dei tre anni del Liceo (che non modifica però il numero totale di ore, 9, assegnate alla materia) e una denominazione dell'insegnamento (Fisica e Chimica) più aderente ai suoi effettivi contenuti.

Immutati invece i contenuti per l'esame finale, con la precisazione che la prova riguardante l'esam di Fisica dovrà essere solo orale.

“L'esame di licenza liceale per gli alunni della classe III appartenenti a licei governativi o pareggiati, e per candidati provenienti da scuola privata o paterna che abbiano superato l'esame di promozione dalla prima e dalla seconda classe a termini dell'art. 10 del regolamento 22 settembre 1876, consta delle seguenti prove:

- a) di un componimento italiano;
- b) di una versione scritta dall'italiano in latino;
- c) di una versione scritta dal greco in italiano, alla quale potrà il candidato far seguire opportune dichiarazioni grammaticali;
- d) della soluzione scritta di un problema di matematica fra due o più problemi proposti, con facoltà al candidato di scioglierne anche più d'uno;
- e) di una prova orale che avrà luogo sulle tre lingue, la matematica, la fisica e le lettere filosofiche.”

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” (Documento 1, Tabella 4).

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 a una sorta di declassamento del livello dell'insegnamento stesso, come si può desumere dalle Avvertenze che compaiono nel Regio Decreto e che riguardano sia i programmi di Fisica sia quelli di Storia naturale e geografia fisica.

**“Programmi di fisica ed elementi di chimica – Storia naturale e geografia fisica**

- 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."

Notevole questo riferimento ai dati numerici, che spiega l'assenza, nei manuali dell'epoca, di esercizi e di riferimenti a ordini di grandezza.

Molto interessanti anche alcune avvertenze relative al programma di Fisica che meritano di essere lette con attenzione (e che saranno in parte riprese nell'ultimo capitolo).

"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.

XLIII. - L'insegnante della chimica sia tutto sperimentale e si restringa a far conoscere i corpi e i fenomeni più comuni. Di teorie chimiche si parli il meno possibile, bastando un cenno alla fine delle esperienze.

XLIV. - Al programma di meccanica non si dia maggior svolgimento di quanto è necessario per ben comprendere le altre parti della fisica. Esso si spieghi tutto nella classe II, l'elettrologia nella III, la cosmografia e la meteorologia, che ora fanno parte del programma di geografia fisica, saranno insegnate nei luoghi opportuni dal professore di fisica."

Il quadro orario del 1888 rimarrà in vigore fino alla riforma Gentile, nel cui ambito si avrà una ulteriore marginalizzazione dell'insegnamento di 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 (Documento 1, Tabella 5), criticato con forza, anche se senza effetti, più e più volte nel tempo, come indicano chiaramente le due citazioni seguenti.

"Penso che nessun cultore di Fisica o pur anche di matematica in Italia dubiti del reale decadimento dell'insegnamento della Fisica nelle nostre Scuole Secondarie. I fisici si rammaricano della mancanza di preparazione sperimentale dei docenti a cui è affidato tale insegnamento; poiché ben pochi sono i laureati in Fisica pura in confronto di quelli in matematica pura o con indirizzo misto; od almeno ritengono che anche i volonterosi o competenti (fra cui può trovarsi qualche docente di pura origine matematica) sono sopraffatti dalle 22 ore di insegnamento settimanale promiscuo. I matematici, che in un primissimo tempo erano favorevoli all'abbinamento, hanno in genere finito per riconoscere la gravità del provvedimento. E fra di essi i più obiettivi (e sono la maggioranza) vorrebbero augurarsi, insieme con i fisici, un ritorno all'antico. (...)"<sup>15</sup>

"Sono passati quarant'anni da quando con la riforma Gentile si è vibrato un fiero colpo, non so se a tutta la scuola italiana, ma certo all'insegnamento delle scienze, e nell'insegnamento delle scienze il colpo più forte è stato vibrato alla Fisica. E' opinione predominante che una grossa crisi si sia aperta nella scuola il giorno in cui, o meglio la mattina in cui i professori di matematica si sono svegliati anche professori di Fisica e i professori di Fisica si sono trovati ad essere anche professori di matematica. Da quel giorno, il quadro generale della scuola presentò le discipline sperimentali in una situazione culturalmente subordinata, in una situazione di imbozzolamento (per usare un termine che è stato autorevolmente usato). Si trovò in particolare in difficoltà proprio la Fisica, la quale richiede non solo impegno di uomini, ma anche di mezzi a livello tecnico adeguato nei gabinetti e nei tecnici addetti ai gabinetti stessi. I risultati di

---

<sup>15</sup> [13], pagg. 410, 411.

questo grave errore che la cultura italiana ha commesso nel quadro di una giustificazione ideologica e filosofica che non sta qui a noi oggi discutere, sono stati denunciati dalle cose più che dalle persone.”<sup>16</sup>

Ma non furono solo i fisici a protestare per l’abbinamento della fisica con la matematica ma anche i docenti di questa materia che si vedevano obbligati ad insegnare contenuti marginali per il loro corso di studi e acquisiti con modalità esclusivamente teoriche e formali.

Per quanto riguarda i programmi di insegnamento, non si rilavano novità sostanziali rispetto a quelli del 1860 (Documento 2, Programma 3). L’esposizione dei contenuti mantiene il suo carattere descrittivo ed enciclopedico che non intende avvalersi (né potrebbe farlo con il quadro orario previsto) dello strumento sperimentale, che ignora i riferimenti agli ordini di grandezza e il valore formativo della risoluzione di un problema. Le uniche variazioni sono quindi di natura contenutistica: un maggior rilievo al concetto di energia e ai principi della Termodinamica, una marginalizzazione degli aspetti applicativi, un più ampio spazio dedicato all’Elettromagnetismo, alle applicazioni elettrotecniche e alle onde elettromagnetiche.

Da segnalare anche il riferimento alla corrente nei gas, ai raggi catodici, ai raggi X e alla radioattività, unificati in una sola voce dell’indice.

La marginalità del ruolo culturale e formativo che la riforma Gentile assegnava all’insegnamento della Fisica appare evidente dalle Avvertenze (molto limitate) che accompagnano il programma.

“Per la fisica l’esame dovrà fornire la prova che il candidato conosce i vari argomenti indicati nel programma – sia in loro stessi e sia nell’eventuale loro rapporto – ma, soprattutto, che egli ha ben chiari i concetti fondamentali che dominano nella fisica – come quelli di forza e massa, di lavoro, di conservazione della energia nelle sue trasformazioni, ecc. Dovrà inoltre dimostrare che gli è familiare l’uso delle unità proprie alle varie grandezze e la interpretazione delle equazioni fra le variabili di un fenomeno e che possiede l’abito della osservazione e sa inquadrare i fenomeni – specialmente quelli più comuni – nelle teorie generali.”

Ulteriori, ma limitate, modifiche al quadro orario del Liceo Classico furono apportate nel 1936 dall’allora ministro Bottai (Documento 1, Tabella 6). 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 (Documento 2, Programma 4) dai quali, però, scompaiono i contenuti di Cosmografia e Meteorologia mentre compare la voce seguente: “Cenno sulla costituzione della materia, molecole, atomi, nuclei, elettroni.”

Di seguito riportiamo un passo tratto dalle “Avvertenze generali” riguardante in modo specifico la Fisica (capoverso 15), ove si raccomanda, fra l’altro, l’uso di esperienze dimostrative, e le “Avvertenze specifiche” che seguono il programma di Fisica. In queste si noti il riferimento

---

<sup>16</sup> [4], pagg. 22 – 25.

nazionalistico e la sollecitazione a trattare “problemi che maggiormente interessano la scienza, la vita della Nazione e la sua efficienza bellica.”

“15. Per la Fisica, l’insegnamento abbia carattere sperimentale. Si abitui l’alunno a osservare i fatti e a rendersene conto; a farne cioè l’analisi obiettiva, a scoprirne le correlazioni, a comprendere il valore delle ipotesi necessarie per poter procedere a una sintesi dei fatti stessi, e accettabili alla prova dell’esperienza. In tal modo, se pure particolari concetti fisici restano sempre difficili a definirsi, almeno la essenza ne viene stabilita con criteri analogici e differenziali.

L’esperienze illustrative delle lezioni debbono essere fatte tempestivamente e preparate con molta cura: a seconda dei casi precederanno o seguiranno l’enunciazione delle leggi fisiche, ma sempre dovranno servire a facilitare il compito dell’insegnante e dell’alunno.”

#### Avvertenze specifiche.

“Nell’impartire l’insegnamento si abbia cura di far conoscere gli argomenti sopra indicati sia in loro stessi sia nell’eventuale loro rapporto; ma soprattutto si chiariscano i concetti fondamentali che dominano la fisica, come quelli di forza e massa, di lavoro ed energia, ecc.

Nello svolgimento del corso si cerchi, ogni volta che sia possibile, di mettere in evidenza le connessioni delle leggi fisiche coi fenomeni che più facilmente cadono sotto i sensi, e coi problemi che maggiormente interessano la scienza, la vita della Nazione e la sua efficienza bellica. Il docente metta anche nel dovuto rilievo le figure di quei sommi, particolarmente italiani, che hanno dato grande impulso al progresso della fisica.”

## 2.2 L’Istituto Tecnico

Il Regio Decreto 1860, n° 4315 stabiliva la ripartizione degli Istituti Tecnici in quattro sezioni: amministrativa commerciale; agronomica; chimica; fisico – matematica. Quest’ultima, che prevedeva contenuti di carattere più generale, consentiva l’accesso alle facoltà di scienze matematiche, fisiche e naturali di qualunque Università del Regno. In questo indirizzo la Fisica veniva insegnata sia in un corso di fisica generale che in uno specifico corso di “Meccanica”.

Dal 1861, tuttavia, la competenza per gli Istituti Tecnici fu sottratta al Ministero della Pubblica Istruzione ed affidata al Ministero dell’Agricoltura, Industria e Commercio che operò immediatamente e più volte in seguito, sostanziali modifiche del suo quadro orario. Infine, dal 1876, gli Istituti Tecnici tornano sotto il controllo del Ministero della Pubblica Istruzione, che si limita ad apportare variazioni non sostanziali del quadro orario. La più rilevante è lo sdoppiamento della sezione Agronomica nelle sezioni Agrimensura ed Agronomia. Questa struttura rimarrà pressoché immutata fino alla Riforma Gentile.

Nell’ordinamento del 1871 (approvato con Regio Decreto del 1872), l’insegnamento dell’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 (Documento 1, Tabella 7).

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 (Documento 2, Programma 5). Più specifico il programma di Meccanica (Documento 2, Programma 6), chiaramente finalizzato ad approfondire gli aspetti tecnico pratici del movimento traslatorio e rotatorio degli organi meccanici e della trasmissione del moto stesso, della valutazione del lavoro e della potenza prodotta dalle macchine e dei principi delle macchine idrauliche.

Il quadro orario precedentemente presentato (1871) subì una drastica modifica nel 1876, con il passaggio della gestione degli Istituti Tecnici al Ministero della Pubblica Istruzione (Documento 1, Tabella 8). 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 con le seguenti finalità:

“Regio decreto 5 novembre 1876, n° 3511

### XIII – FISICA

#### corso I

Il programma di fisica fu ordinato in guisa da soddisfare alla condizione degli alunni che proseguono i loro studi nelle università e nelle scuole di applicazione per gli ingegneri.

L'insegnamento deve essere impartito in due corsi. Sono riservati al primo gli argomenti che riguardano specialmente la meccanica elementare. L'insegnamento di questa parte del programma dovrà essere limitato alle cognizioni necessarie per l'intelligenza dei fatti fisici, senza dare con vietati metodi dimostrazioni di leggi e di fatti le quali troveranno luogo con metodi appropriati nell'insegnamento superiore.

Nel trattare delle *azioni molecolari*, l'insegnante si limiterà a dire delle forze operanti fra le molecole dei corpi secondo ciò che è chiarito dall'osservazione dei fatti, senza entrare nel campo controverso delle ipotesi.

Parimenti l'insegnamento sull'acustica dovrà essere impartito col concetto di chiarire solo i fatti fondamentali, senza addentrarsi in soverchi particolari.

Il programma del secondo corso comprende l'insegnamento sulle energie fisiche propriamente dette. In questa parte del programma, affinché l'insegnamento riesca, quanto meglio è possibile uniforme, sono partitamente chiariti gli argomenti delle successive trattazioni. Non occorrono quindi osservazioni speciali. Però l'insegnante dovrà porre ogni cura che la terminologia e le locuzioni usate in queste trattazioni siano coordinabili colle nuove dottrine dipendenti dal principio della convertibilità delle energie fisiche in energia dinamica. Tuttavia dovrà restringersi all'esposizione dei fatti a cui si reggono quelle dottrine, senza entrare in discussioni teoriche sui modi per cui possono avvenire queste conversioni reciproche delle energie fisiche, argomento sul quale la scienza non ha ancora pronunciato, e che non potrebbe trovar luogo nell'insegnamento medio senza condurre a nozioni vaghe, se non erronee."

Dalla lettura dell'indice (Documento 2, Programma 7) si può notare che esso non differisce sostanzialmente da quello dei Licei ma i pochissimi testi specifici per gli Istituti Tecnici indicano che la sua esposizione doveva essere meno approfondita e meno fondata su aspetti formali.

Al termine degli anni ottanta anche i programmi degli Istituti Tecnici vengono sottoposti a revisione (Documento 2, Programma 8).

Non si notano variazioni di rilievo nei contenuti proposti rispetto ai programmi degli anni settanta, eccezion fatta per l'eliminazione della Cosmografia e per alcune modifiche nell'ordine degli argomenti (l'Acustica dopo il Calore, subito seguita dall'Ottica; la Meteorologia proposta al termine del Calore e non al termine dell'Elettromagnetismo). Per la sezione Fisico - Matematica, la variante di maggior rilievo è costituita invece dal fatto che gli argomenti fondanti (Meccanica, Calore, Ottica, Eletticità e Magnetismo) vengono ripresi anche in classe quarta per approfondirne la conoscenza mediante l'analisi di Esercizi e Problemi.

Alla luce della didattica attuale si potrebbe considerare questa proposta come una innovazione più che valida ma, come si vedrà nei capitoli successivi, lo svolgimento di Esercizi e Problemi era allora considerato come "attività pratica" di secondo ordine e questo spiega perché questi elementi didattici non compaiono mai nei manuali liceali. Considerando poi che, a quell'epoca, i manuali per la scuola superiore non erano, in genere, differenziati per ordine di studi, si può ritenere che l'indicazione ministeriale sopra ricordata dovesse essere per lo più disattesa.

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 (Documento 1, Tabella 9) e in due soli corsi superiori di quattro anni (denominati Sezione Commerciale e Sezione Agrimensura) (Documento 1, Tabella 10).

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. Non riportiamo i programmi corrispondenti che, comunque, declassano la Fisica a materia puramente informativa.

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

### **2.3 Il Liceo Moderno**

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 ha in comune con l'indirizzo classico tradizionale le prime tre classi ginnasiali ma si diversifica poi nettamente nelle seguenti (Documento 1, Tabella 11).

Dal confronto con il quadro orario del Liceo Classico approvato nel 1888 (Documento 1, Tabella 4) si rileva quanto segue.

- a) L'eliminazione dell'insegnamento del Greco.
- b) La consistente diminuzione delle ore dedicate all'insegnamento liceale dell'Italiano e del Latino, che passano rispettivamente da 24 e 20 nelle classi IV e V del Ginnasio classico e nelle classi I, II, III del Liceo classico a 7 e 18 nelle corrispondenti classi del Liceo Moderno.
- c) L'inserimento dell'insegnamento di due lingue moderne (Francese obbligatoriamente e, a scelta, Tedesco e Inglese) per un totale di 10 e 17 ore.
- d) Il passaggio da 7 a 10 ore per l'insegnamento della Fisica e degli elementi di Chimica e Geografia fisica ed astronomica.
- e) Quasi invariato invece il numero di ore assegnate alla Matematica che, sempre considerando le classi IV e V del Ginnasio e le tre classi liceali passa da 13 a 14 ore; tuttavia i programmi di matematica del terzo anno liceale includono anche i tipici argomenti dell'analisi infinitesimale: limiti, derivate di funzioni di 1° e 2° grado, cenni agli integrali definiti (Documento 2, Programma 9).

Quanto agli obiettivi del nuovo Liceo e ai mezzi per perseguirli, questi sono indicati in modo molto esplicito nelle "Istruzioni generali" che compaiono nel suo Decreto attuativo.

"Il ginnasio-liceo moderno non ha fine diverso da quello del ginnasio-liceo classico: formare l'uomo civile, imprimergli un carattere morale, fortificare ed affinare la sua attività fisica e spirituale per i grandi interessi nazionali e umani. Nessuna preoccupazione d'immediati scopi pratici e utilitari; nessun diretto riferimento alla professione o al genere di attività che l'alunno si sceglierà nella vita.

Se il fine dei due istituti è identico, i mezzi, cioè le materie di insegnamento, con cui detto fine si vuole raggiungere, è alquanto diverso. Il ginnasio-liceo moderno da un lato, mentre mantiene un sobrio e vivo contatto colle nostre tradizioni nazionali, classiche e italiane, che non sia assorbente come nel liceo classico; dall'altro si vale della conoscenza delle

principali lingue e letterature straniere e della rafforzata cultura scientifica per aprire la mente del giovane alle idealità più vive e rinnovatrici dell'anima moderna.”

Segue una lunga giustificazione della mancata introduzione del Greco e l'avvertimento a non perdere di vista il riferimento della cultura classica.

“Quanto al metodo, sempre che sia possibile (ed è possibile quasi sempre), esso deve essere l'induttivo; dall'osservazione del particolare il giovane sia guidato alla concezione delle leggi generali e dei principi.”

“A impedire appunto il sovraccarico s'è fatto il sacrificio dello studio del greco, si è diminuito lo studio del mondo antico, si è persino ridotto l'orario per l'italiano, e si raccomanda vivamente di risparmiare agli alunni ogni lavoro superfluo, specie riassunti, trascrizioni, ricopie in pulito; mentre si rinnova l'avvertimento che non si dettino lezioni, né appunti di materia già svolta nei libri di testo, ma questi si scelgano bene e si adoperino veramente.”<sup>17</sup>

Un capoverso specifico è dedicato alle materie scientifiche.

“Per le materie scientifiche giova aggiungere qualche osservazione particolare. Nello stabilire l'ordine con cui devono essere esposti gli elementi di fisica, chimica e storia naturale, si è avuto cura, per quanto è stato possibile, che l'allievo venga a trovarsi gradatamente preparato a comprenderli, sia per lo sviluppo di ciascuna di queste scienze, sia per quello della matematica, e si è distribuita la materia non solo per classi, ma anche, talvolta, per trimestri, ad indicare i limiti di sviluppo che devono avere le singole parti in relazione alla varia importanza loro.

L'insegnamento sarà essenzialmente sperimentale, nel senso che gli allievi dovranno essere messi in condizione di osservare direttamente gli oggetti ed i fenomeni, dei quali il professore li intrattiene. L'insegnante dovrà, come si è detto, usare il metodo induttivo, ma con ciò non si vuole intendere che, specie nei capitoli più progrediti della fisica, egli non abbia mai a ricorrere al metodo deduttivo; ma non trascurerà allora di sottoporre ad osservazione o ad esperimento la previsione, cui sarà pervenuto col ragionamento, per constatare se essa corrisponda alla realtà, e metterà sempre bene in evidenza come le leggi siano state ricavate, con processo inverso, appunto da constatazioni di questa specie, e come ogni nuova conferma venga a conferire maggior valore alle leggi stesse.”

“E per l'insegnamento delle lettere e per quello delle scienze non si dimentichi mai che si sa bene solo quello che si sa fare o applicare.”

“Nel descrivere le specie naturali o gli apparecchi dimostrativi l'insegnante sia sempre sobrio di particolari per non sviare l'attenzione dei giovani da ciò che è veramente essenziale.”

Decisamente innovativa l'introduzione delle “esercitazioni pratiche” per gli insegnamenti scientifici.

“Rispetto ai programmi dei licei classici è una innovazione l'obbligo di esercitazioni pratiche tanto di fisica e di chimica, quanto di storia naturale.”

“Necessità di orario rendono ristretto il tempo assegnato alle esercitazioni, ma si vedrà in seguito se ad esse potranno essere assegnate altre ore come facoltative. Intanto questo è un buon principio.

Ai professori di scienze sperimentali viene lasciata piena libertà intorno alla scelta delle esercitazioni, poiché queste devono essere un complemento dei corsi svolti da ciascun insegnante e sono di necessità subordinate ai mezzi disponibili. Va però tenuto presente che esse non devono consistere mai in misure di alta precisione, ma essere di regola osservazioni qualitative di fenomeni e, se quantitative, ristrette in modesti limiti di approssimazione, così da non richiedere né troppo tempo, né strumenti delicati.”

---

<sup>17</sup> Avvertenze di questo tenore si trovano più volte nelle “raccomandazioni” o nelle “avvertenze generali” che accompagnano i vari Decreti di approvazione di nuovi quadri orario o di nuovi programmi.

L'introduzione delle esercitazioni per gli allievi e il riferimento specifico alla risoluzione di Problemi appaiono come gli elementi più innovativi del corso; tuttavia la vastità del programma di Chimica e Fisica (Documento 2, Programma 10), da svolgersi nelle 10 ore previste dal quadro orario crea forti dubbi sulla reale possibilità che venisse svolto con i nuovi criteri.

Per quanto riguarda la Chimica va infatti rilevato che i contenuti previsti dal programma si estendono ben oltre l'Inorganica, per abbracciare consistenti riferimenti alla Chimica Industriale e, soprattutto, alla Chimica Organica.

Per quanto riguarda la Fisica, facciamo notare che:

- a) in classe I, nel solo primo trimestre, con 4 ore settimanali, si prevede una panoramica su *quasi tutti* i concetti di fisica;
- b) in classe II, con sole 3 ore settimanali, è previsto l'approfondimento dei concetti di Meccanica, Termologia, termodinamica (teoria cinetica e primo e secondo principio), Acustica, Ottica (inclusa l'interferenza e la polarizzazione della luce);
- c) in classe III, in due soli trimestri di tre ore settimanali, tutti i concetti di elettromagnetismo (trattato ora anche dal punto di vista campista) fino alle applicazioni elettrotecniche e includendo lo studio dei raggi catodici, dei raggi X e delle emissioni radioattive, con la indicazione specifica di approfondire gli argomenti trattati mediante la risoluzione di problemi.

Di seguito riportiamo il pensiero dell'estensore dei suddetti programmi relativamente al modo e ai tempi per svolgerli adeguatamente.

“Nel primo trimestre del I° corso di liceale l'insegnante esporrà quegli elementi di meccanica, di termologia e di elettrologia, dei quali l'allievo ha bisogno per poter trarre profitto adeguato del corso di chimica. (...)

Nel 2° corso l'insegnante di fisica, traendo partito dalle allargate cognizioni matematiche degli allievi e da quelle che essi andranno acquistando nel suo corso stesso, nonché della descrizione che il suo collega di storia naturale avrà già data, degli organi dei sensi, riprenderà a trattare della meccanica e della termologia ed esporrà le nozioni di acustica ed ottica.”

“Della fisica è assegnato al 3° corso, nei primi due trimestri e con tre ore settimanali d'orario, il programma relativo alla elettricità ed al magnetismo. Il tempo assegnato alla trattazione di questa parte non sembrerà sproporzionato a quello concesso alle altre, quando si consideri la importanza assunta dall'elettromagnetismo non solo nelle innumerevoli applicazioni pratiche delle quali si giova la vita moderna, ma ancora nella concezione stessa dell'Universo.

Contemporaneamente saranno proposti e risolti problemi riguardanti le varie parti della fisica e della chimica, tratti dalla considerazione di casi reali, dando così il modo ai giovani di apprezzare la portata pratica delle varie teorie apprese.

Nel 3° trimestre, delle tre ore d'orario settimanale, una sarà dedicata all'insegnamento degli elementi della geografia astronomica e fisica. La legge che ha istituiti i ginnasi-licei moderni, affidando tale insegnamento al professore di fisica, ne ha implicitamente determinato l'indirizzo.

Si raccomanda che ogni gabinetto di fisica venga provvisto di un cannocchiale che serva a rendere manifesti agli alunni gli anelli di Saturno, le fasi di Venere, ecc. (...)

Nello stesso 3° trimestre le altre due ore settimanali saranno impiegate in esercitazioni pratiche di fisica.”

Non abbiamo individuato manuali specifici per l’insegnamento della Fisica nel Liceo Moderno e questo conferma i nostri dubbi relativamente alla possibilità che le novità metodologiche previste da questo nuovo indirizzo di studi venissero effettivamente applicate. D’altra parte, la sua vita fu molto breve e scomparirà una decina di anni dopo la sua istituzione ad opera della riforma Gentile.

## **2.4 Il liceo scientifico**

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 (Documento 1, Tabella 12) 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.

Talmente limitata è la differenziazione degli obiettivi del Liceo Scientifico da quelli del Liceo Classico per quanto riguarda gli insegnamenti scientifici che, a proposito dell’esame finale di Fisica, consistente in “un esame orale della durata di non meno di 20 e non più di 30 minuti” si stabilisce che:

“Valgono gli stessi programmi e le stesse avvertenze che per il liceo classico; solo che ai candidati del liceo scientifico si richiederà una conoscenza più approfondita delle varie teorie ed una maggiore familiarità nell’uso dei mezzi matematici.”

In effetti, ciò che differenzia maggiormente i due Licei è proprio la Matematica, per il cui esame finale sono richieste una prova scritta e una prova orale nelle quali si deve dimostrare la conoscenza degli elementi fondamentali del calcolo infinitesimale (si confrontino Documento 2, Programma 11 con Documento 2, Programma 12).

Il quadro orario del Liceo Scientifico viene ritoccato dal Decreto Bottai del 1936 (Documento 1, Tabella 13) 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. Anche in questo caso risultano minimali le differenze del programma di Fisica per gli indirizzi Scientifico e Classico. Nelle Avvertenze, infatti, si legge quanto segue:

“Valgono le stesse avvertenze che pel Liceo classico; soltanto gli alunni del Liceo scientifico, servendosi delle loro maggiori cognizioni matematiche, debbono acquistare una conoscenza più approfondita delle varie teorie e mettersi in grado di saper risolvere, con sufficiente prontezza, esercizi di semplice applicazione delle cose studiate con particolare riguardo a quanto si riferisce alle unità di misura.”

Per i dettagli si veda Documento 2, Programma 13; segnaliamo soltanto che il programma si chiude con un riferimento agli effetti termoionico e fotoelettrico.

Si confermano invece le maggiori differenze del programma di Matematica, che assegna al quarto anno di corso la trattazione del calcolo infinitesimale e combinatorio (Documento 2, Programma 14).

Chiudiamo il Capitolo ricordando che anche il Decreto del 1936 prevede un esame finale di Fisica di tipo esclusivamente orale e riguardante gli argomenti studiati durante i tre anni di corso. Nel Programma 15 del Documento 2 si riporta il programma d'esame di Fisica, identico per l'indirizzo Classico e Scientifico.

## CAPITOLO 3

### 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>18</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 (Roiti, 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. Per tutte riportiamo la seguente:

“A impedire appunto il sovraccarico s'è fatto il sacrificio dello studio del greco, si è diminuito lo studio del mondo antico, si è persino ridotto l'orario per l'italiano, e si raccomanda vivamente di risparmiare agli alunni ogni lavoro superfluo, specie riassunti, trascrizioni, ricopiate in pulito; mentre si rinnova l'avvertimento che non si dettino lezioni, né appunti di materia già svolta nei libri di testo, ma questi si scelgano bene e si adoperino veramente.”

Una raccomandazione del genere, più volte ripetuta, 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 questo Capitolo è quindi quello di fornire una panoramica generale dei contenuti effettivamente esposti nei manuali. La fonte delle informazioni è costituita dai manuali indicati nel primo paragrafo del Capitolo; da questi si sono tratte le tabelle di contenuti e gli indici esemplificativi riportati rispettivamente nelle Appendici 3 e 4 alle quali faremo riferimento in seguito.

---

<sup>18</sup> [19], Vol. I, Prefazione.



### 3.1 I manuali utilizzati

La ricerca delle fonti, eseguita quasi esclusivamente nelle Biblioteche di Milano e Pavia,<sup>19</sup> ha consentito l'esame dei manuali che, di seguito, ricordiamo in ordine cronologico di pubblicazione, con il solo nome del loro autore e l'anno di pubblicazione, rimandando per il resto alla Bibliografia.

1) Moratelli Giambattista, 1805, [15], 2) Belli Giuseppe, 1830-1838, [16], 3) Matteucci Carlo, 1850, [17], 4) Ambrosoli Giuseppe, 1854, [18], 5) Cantoni Giovanni, 1871, [19], 6) Palmieri Luigi, 1878, [20], 7) Ròiti Antonio, 1880-1883, [21], 8) Bonmassari Enrico, 1890, [22], 9) Invrea Fabio, 1900, [23], 10) Palagi Ferdinando, 1903, [24], 11) Funaro A., Pitoni E., 1901-1904, [25], 12) Vanni G., Monti V., 1906, [26], 13) Cintolesi Filippo, 1908, [27], 14) Viale G., 1908, [28], 15) Amaduzzi Lavoro, 1912, [29], 16) Dessau Bernardo, 1912-1918, [30], 17) Amaduzzi Lavoro, 1921, [31], 18) Murani Oreste, 1921, [32], 19) Battelli Angelo, 1922, [33], 20) Del Bue Arnaldo, 1924, [34], 21) Murani Oreste, 1925 [35], 22) Corbino Orso Mario, 1925 (incerto), [36], 23) Amerio Alessandro, 1925 (incerto), [37], 24) Fermi Enrico, 1929, [38], 25) Palatini A., Serini R., 1933, [39], 26) Federico Rosario, 1937-1939, [40].

Per l'analisi dettagliata dei testi non sono stati presi in considerazione tutti i volumi sopra indicati, per i motivi seguenti.

I manuali di Moratelli, Belli, Matteucci e Ambrosoli sono troppo al di fuori dei limiti temporali del periodo che si vuole esaminare; essi verranno però ricordati in quanto consentono di comprendere il motivo della presenza di certi argomenti nei manuali di fine Ottocento e lo stretto legame che esisteva a quell'epoca fra la Fisica e la Chimica.

Il manuale di Palmieri sviluppa i propri contenuti con una sequenza piuttosto anomala. Sembra infatti più una raccolta di Lezioni (come dice il suo titolo) il cui ordine non corrisponde ai programmi ministeriali dell'epoca.

Il manuale di Palagi è incompleto in quanto è stato reperito solo il primo volume.

Il volume di Viale non è un manuale ma una raccolta di problemi. Il suo interesse è notevole e, infatti, se ne parlerà ampiamente in uno specifico paragrafo relativo all'uso dei Problemi.

Il manuale di Amaduzzi del 1912 si rivolge alle scuole Normali (per la formazione dei maestri) e quindi il suo livello espositivo è troppo diverso dagli altri manuali, che si rivolgono sempre o ai

---

<sup>19</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.

Licei Classici, o alla sezione di Fisica – Matematica degli Istituti tecnici, o (dopo il 1911) ai Licei Moderni, o (dopo il 1923) al Liceo Scientifico.

Il manuale di Dessau in quanto si rivolge sia ai Licei che agli Istituti superiori (ove il Dessau insegnava) ed è decisamente sbilanciato verso quelli, come dimostrano sia l'anomalo numero di pagine, sia i contenuti proposti, sia la tipologia espositiva.

Lo stesso difetto ora segnalato è presentato anche dal manuale di Murani del 1925; tuttavia questo manuale è, almeno ufficialmente, dedicato per i Licei e gli Istituti tecnici e quindi non verrà escluso dall'analisi. In realtà, a differenza del manuale dello stesso autore del 1921, esso risulta fortemente influenzato, per contenuti, per pagine, per modalità espositive, dall'insegnamento che Murani svolgeva al Politecnico di Milano.

Il manuale di Del Bue, in quanto abbiamo potuto reperire solo il primo volume e, d'altra parte, il numero di manuali relativi a quel periodo è comunque consistente.

In definitiva, l'analisi dettagliata dei contenuti riguarda solo i manuali dei seguenti autori:

**Cantoni** (1871, [19]), **Roiti** (1880, [21]), **Bonmassari** (1890, [22]), **Invrea** (1900, [23]), **Funaro/Pitoni** (1901, [25]), **Vanni/Monti** (1906, [26]) **Cintolesi** (1909, [27]), **Amaduzzi** (1921, [31]), **Murani** (1921, [32]), **Battelli** (1922, [33]), **Murani** (1925, [35]), **Corbino** (1925, [36]), **Amerio** (1925, [37]), **Fermi** (1929, [38]), **Palatini/Serini** (1933, [39]), **Federico** (1937/1939, [40]).

L'analisi degli indici dei 16 manuali ora indicati ha consentito di compilare la Tabella 1 del Documento 3, 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.

La tabella si conclude con due colonne nelle quali sono riportati il numero di pagine totali di ciascun manuale e il numero di pagine normalizzato ad una pagina di circa 3500 battute (cioè ad una tipica pagina degli attuali manuali di Fisica per i Licei). Le considerazioni sui numeri riportati in queste due colonne verranno esposte nelle Conclusioni.

Nei paragrafi che seguono riportiamo invece alcune considerazioni generali che scaturiscono da una prima lettura dei manuali e, in particolare, dalla riflessione sui numeri contenuti nella Tabella 1.

### **3.2 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, ad uso delle Università e Licei del Regno*, di Giambattista 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).

Anche il Belli propone alla fine del primo volume del suo manuale un "Compendio di Chimica" (poco più di 50 pagine sulle "Affinità chimiche" e sulle "sostanze semplici e composte")

"... nel quale ho procurato di raccogliere quelle cognizioni di questa scienza che sono indispensabili per un Fisico. Basterà esso per quelle persone che non vogliono interamente dedicarsi alle scienze naturali; e a quelli che vorranno fare uno studio più profondo della Chimica, esso faciliterà l'intelligenza dei Trattati fatti espressamente per questa scienza."<sup>20</sup>

Anche nel volume di Giuseppe Ambrosoli [18] è presente un capitolo specifico di circa 20 pagine intitolato *Fenomeni chimici*. Inoltre, nello stesso manuale sono presenti capitoli specifici sulla pila (di circa 15 pagine), sugli effetti fisiologici e chimici della pila (circa 20 pagine), sulla galvanoplastica e le pile a forza elettromotrice costante (di circa 25 pagine).

La presenza di contenuti tipicamente chimici nei manuali di Fisica delle scuole secondarie dell'epoca trovava una motivazione anche istituzionale nella struttura del quadro orario dell'insegnamento liceale e tecnico degli anni sessanta dell'800. 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 delle due materie in termini ufficiali riconoscendo una loro stretta affinità metodologica e di contenuto, ma la riforma Gentile separerà invece 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.

---

<sup>20</sup> [16], Vol. I, pag. V.

### 3.3 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 in essi 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. La Tabella 1 indica invece che i tre argomenti ora ricordati precedono la trattazione della meccanica solo per alcuni autori del Novecento. In quasi tutti i manuali esaminati, invece, il Capitolo di apertura del manuale 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, ecc.), l'enunciazione di alcune proprietà fondamentali della materia (gravità, densità, viscosità, elasticità, solubilità, ecc.)<sup>21</sup>.

### 3.4. 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>22</sup>

Posto che tutti considerano la Meccanica come tematica preliminare per la trattazione dei contenuti fisici, piuttosto differenziata appare invece la sequenza con la quale i diversi autori espongono tali contenuti 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 (Documento 3, Tabella 2).

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, vorremmo segnalare quanto segue.

---

<sup>21</sup> Per ulteriori dettagli si veda Documento 4, Indice 1.

<sup>22</sup> [19], Vol. I, Introduzione.

*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 – lavoro, gioca sempre un ruolo piuttosto marginale e, da non pochi autori, è esposto in termini puramente discorsivi.

*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.

### **3.5. 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 (Documento 3, Tabella 3).

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 o caratterizzata da un ruolo del tutto marginale (tranne nel caso dei manuali di Invrea, Amaduzzi, Murani 1925, Palatini/Serini) era invece l'ottica fisica, i cui caratteri espositivi verranno precisati nel prossimo capitolo.

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>23</sup>

### **3.6. 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.

---

<sup>23</sup> Si veda ad esempio: Documento 4, Indice 2.

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 nel prossimo Capitolo.

Nell'Indice 3 del Documento 4 si riporta, a titolo di esempio, l'indice dei paragrafi relativi alla tematica del calore tratto dal manuale di Amaduzzi (1921).

### **3.7. 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 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 è riportato nella Tabella 4 del Documento 3. Il suo esame 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 (1900), 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.

Per una prima idea dei contenuti relativi all'elettromagnetismo trattati dopo gli anni venti del Novecento si legga l'Indice 4 del Documento 4 relativo al manuale di Fermi.



## CAPITOLO 4

### ANALISI DI TEMATICHE QUALIFICANTI

#### **Introduzione**

Nel capitolo 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. Nel presente capitolo 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.

#### **4.1 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, effettuate graficamente e mediante l'uso delle componenti, e introducono le definizioni di prodotto scalare e vettoriale, mediante le quali, al momento opportuno, verranno espressi rispettivamente il lavoro di una forza e il momento di una forza, nonché il formalismo dell'interazione fra il campo magnetico e la corrente elettrica e la forza di Lorentz.

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 da noi 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 frecciati (nei manuali di Invrea e di Vanni – Monti, però, si usano segmenti non frecciati) 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 grandezza vettoriale.

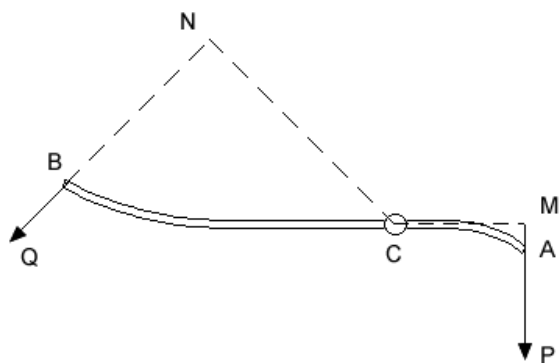
L'unico manuale in cui abbiamo rilevato una modificazione significativa di questa consuetudine è quello di Palatini – Serini [39], nel quale le grandezze vettoriali sono indicate con carattere grassetto, maiuscolo, tondo (nel successivo manuale di Rosario Federico [40], però, queste distinzioni scompariranno nuovamente).

Per quanto riguarda la definizione di momento di una forza, riportiamo di seguito quella che compare nel manuale di Roiti (1880).

“50. Passiamo piuttosto a considerare l'equilibrio di un corpo libero (38) e cominciamo dal caso che abbia fisso uno de'suoi punti, ma che vi possa liberamente girare intorno. Il punto fisso sia  $C$  (fig. 25), e sia applicata in  $A$  la forza  $P$ . La perpendicolare  $CM$ , abbassata da  $C$  sulla linea d'azione  $AP$ , si chiama **braccio della forza** rispetto al punto  $C$ , ed il rettangolo contenuto dalla retta che rappresenta la forza e dal suo braccio misura il cosiddetto **momento di rotazione** di quella forza rispetto al medesimo punto  $C$ .

Il momento, che è quanto dire l'importanza che ha la forza per far ruotare il corpo, è anche misurato dal prodotto dell'intensità pel braccio (EUCLIDE, App. 6).

Comunemente si prendono come positivi quei momenti che tendono a far girare il sistema come gli indici di un orologio, e negativi gli altri. Nel caso della figura sarebbe positivo il momento della forza  $P$  e negativo quello della  $Q$ .”<sup>24</sup>



Fino agli anni venti del Novecento la definizione di momento di una forza rispetto a un punto o rispetto a un asse ricalcherà quella di Roiti. Nel manuale di Amaduzzi (1921) il momento di una

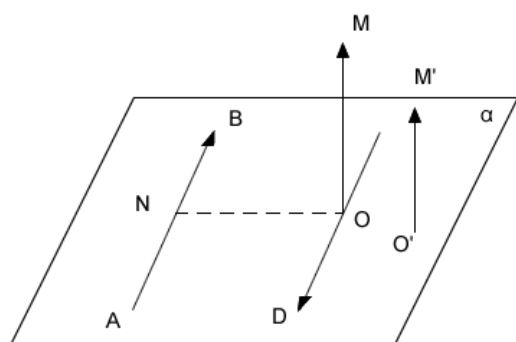
<sup>24</sup> [21]. Vol. I, pag. 33.

coppia di forze, definito sempre come prodotto  $F b$ , verrà denominato “asse – momento” e rappresentato da un segmento frecciato non applicato, disegnato perpendicolarmente al piano della coppia e caratterizzato con il simbolo  $M$  non dotato di freccia soprastante.

“Chiamasi *momento* della coppia il prodotto  $P \times AA'$  del braccio per l'intensità di una delle forze, *piano* della coppia il piano determinato dalle due forze, ed *asse* una retta qualunque perpendicolare a questo piano.

Per i momenti delle coppie si fa, circa il *segno* loro, la medesima convenzione fatta (§ 78) per i momenti della forza. Il valore di una coppia è dato dal suo momento.

Tale valore insieme al segno vengono rappresentati dal cosiddetto *asse – momento*. Si chiama così un segmento dell'asse della coppia proporzionale in lunghezza al suo momento e condotto da quella parte del piano sulla quale l'osservatore vedrebbe avvenire la rotazione in senso positivo ovvero nel senso del moto delle lancette di un orologio (fig. 60).<sup>25</sup>



Questa modalità rappresentativa verrà usata anche da altri autori (Murani 1921, Fermi, Palatini – Serini) 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  $F b$  delle diverse coppie.

## 4.2 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 qui utilizzati sostituiscono i consueti simboli frecciati) viene solitamente verificato con esperimenti realizzati con rotaie a cuscino d'aria; i valori delle grandezze in esso coinvolte sono espressi con le unità del S.I. e

<sup>25</sup> [31], Vol. I, pag. 47.

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 nel Capitolo precedente, non faceva precedere la dinamica dalla cinematica ma alternava le due tematiche nell'ambito di un unico capitolo. Cantoni [19], 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  $s = v t$  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). Riportiamo per intero l'enunciato di Cantoni allo scopo di mettere in chiara evidenza la differenza con gli enunciati attuali.

“... in generale, avendosi due forze motrici, le cui intensità relative siano indicate con  $F$  e  $F'$ , ed operanti su due corpi, le cui masse relative siano  $m$  e  $m'$ , le velocità  $v$  e  $v'$  che questi acquisteranno, saranno tali da soddisfare alla:

$$(2) \quad F : F' = m v : m' v'$$

Ponendo poi  $F' = 1$ ,  $m' = 1$  e  $v' = 1$ , cioè assumendo per unità di misura delle forze motrici istantanee, quella che vale ad imprimere l'unità di velocità al corpo avente tal massa, che è presa per unità di misura delle masse relative de' corpi, si avrà:

$$(3) \quad F = m v,$$

cioè l'intensità relativa d'una forza motrice è data dal prodotto della massa relativa del corpo mosso per la velocità impressagli. Questo prodotto suolsi chiamare *quantità di moto*, impressa dalla forza motrice a tal corpo.

Se nella (2) poniamo  $m' = m$ , cioè, se supponiamo che uno stesso corpo sia successivamente sollecitato al moto da due diverse forze motrici, notando in ciascun caso le velocità da esso acquistate, s'avrà:

$$(4) \quad m = \frac{F}{v} = \frac{F'}{v'}$$

dalla quale si ritrae che la *massa* d'un corpo esprime quella sua condizione fisica per cui riesce costante il rapporto fra le intensità delle forze motrici che separatamente lo determinano al moto e la velocità che ognuna di esse gli imprime. Epperò la massa d'un corpo è manifestazione ed insieme misura di ciò che in esso diciamo *inerzia*.<sup>26</sup>

Cantoni non giunge ad una formulazione del tipo  $F = m a$  e neppure si preoccupa di chiarire con qualche esempio numerico l'aspetto dimensionale, alquanto ambiguo, delle relazioni (2), (3), (4).

Roiti [21] utilizza inizialmente un enunciato newtoniano della seconda legge:

---

<sup>26</sup> [19], Vol. I, pagg. 32,33.

“II. La variazione del moto è proporzionale alla forza agente, ed avviene nella direzione della retta lungo la quale essa forza agisce.”<sup>27</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>28</sup>

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

Roiti non conclude il suo enunciato del secondo principio con una relazione del tipo  $F = m a$ , 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:

$$[1] \quad v = f t \quad \text{“} \quad \text{”} \quad \text{29}$$

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 Roiti 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  $F = m a$  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>30</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 [25], Cintolesi [27], Corbino [36]), ad esempio) seguono un percorso nel quale si confrontano tra loro gli effetti di tre diverse forze. Riportiamo in proposito l’esposizione di Cintolesi.

“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:

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

<sup>27</sup> [21], Vol. I, pag. 54.

<sup>28</sup> [21], Vol. I, pag. 55.

<sup>29</sup> [21], Vol. I, pag. 55.

<sup>30</sup> [23], Vol. I, pag. 32.

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

$$(4) \quad F = m a,$$

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 impressale da questa >>*<sup>31</sup>

Altri autori giungono invece più direttamente alla relazione  $F = m a$ . 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*.

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*

$$(18) \quad f = m a$$

che è di applicazione assai frequente.”<sup>32</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, una commissione del Comitato Elettrotecnico Internazionale aveva proposto l'uso del termine “newton”.

---

<sup>31</sup> [27], pagg. 46, 47.

<sup>32</sup> [37], Vol. I, pag. 57.

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*. Citiamo in proposito Battelli.

“Se il coefficiente  $M$ , che si riferisce al corpo  $B$ , è maggiore di  $m$ , relativo al corpo  $A$ , la (2) ci dice che, impiegando la stessa forza, l'accelerazione  $b$  del corpo  $B$  è minore dell'accelerazione  $a$  del corpo  $A$ : ossia che, sotto l'azione della stessa forza le variazioni che subisce la velocità di  $B$  sono minori di quelle che subisce, nello stesso tempo, la velocità di  $A$ . In altre parole, quando  $M$  è maggiore di  $m$ , il corpo  $B$ , cui si riferisce  $M$ , ha minore attitudine a variare il proprio movimento che non  $A$ ; il che si esprime dicendo che  *$B$  ha una inerzia più grande che  $A$* . (...) Ora l'*inerzia* di un corpo, come risulta anche dai due casi ora citati, è qualche cosa che si conserva in ogni circostanza; cosicché, se un corpo si è manifestato *più inerte* di un altro *in una particolare condizione*, si mostra pure più inerte *in ogni altra condizione*.

L'*inerzia* implica quindi una certa quantità appartenente al corpo, la quale si mantiene inalterata per ogni trattamento finché al corpo non si asporti alcuna sua parte o non gli si unisca qualche altro corpo. Questa certa quantità è appunto ciò che di ordinario si chiama *quantità di materia* del corpo, oppure *massa*.”<sup>33</sup>

Si noti, nella precedente citazione, che l'inerzia di un corpo viene dichiarata identica in qualunque circostanza, senza alcun riferimento ad effetti relativistici; d'altra parte, l'esclusione di concetti relativistici accomuna tutti i manuali da noi esaminati (incluso quello di Fermi!) con due eccezioni: il manuale di Dessau (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 Rosario 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>34</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,<sup>35</sup> 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 altrettanto adeguata preparazione universitaria che, purtroppo, in Italia, mosse i suoi primi passi solo a partire dagli anni cinquanta.

Per quanto non sia importante ai fini della nostra analisi, vogliamo segnalare infine che, a partire dal manuale di Amaduzzi [31], il secondo principio della dinamica viene attribuito (seppure con diversa sottolineatura) da *tutti* gli autori a Galilei. Non vengono portate valide giustificazioni storiche per questa attribuzione che, molto probabilmente, è da ricercarsi nel clima nazionalistico degli anni venti e trenta.

---

<sup>33</sup> [33], Vol. I, pag. 59.

<sup>34</sup> [40], Vol. II, pag. 171.

<sup>35</sup> Si veda per maggiori dettagli [41].

### 4.3 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 [19] 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

$$m v^2 + m' v'^2 = m v_1^2 + m' v'_1^2$$

“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>36</sup>

Osserva poi che

“... nell'urto de'corpi molli, accade sempre una perdita di forza viva”<sup>37</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  $\frac{1}{2} m v^2 = p s$  che, nell'urto, trasforma poi in calore.

“Ora se, come dicemmo, la forza viva d'un corpo in moto non può annientarsi, e se il calore ne'corpi, come già accennammo, e come meglio vedremo innanzi, corrisponde ad un moto delle loro molecole, e se infine ancor questo moto non può ritenersi creato allora dal nulla, si dovrà concludere: che la quantità di calore così promossa nella detta palla sia equivalente alla forza viva perduta. In altri termini potremo dire che *la energia meccanica nell'urto si è trasformata in energia termica, e che queste due energie devono essere tra loro equivalenti.*”<sup>38</sup>

Il manuale di Roiti 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

$$F s = \frac{1}{2} M v^2$$

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 resistenze passive; e si appalesa così l'assurdità del **moto perpetuo**, che ha preoccupato tanti uomini d'ingegno e di poca cultura.”<sup>39</sup>

<sup>36</sup> [19], Vol. I, pag. 64.

<sup>37</sup> [19], Vol. I, pag. 65.

<sup>38</sup> [19], Vol. I, pag. 65.

<sup>39</sup> [21], Vol. I, pag. 95.



Un paio di pagine dopo Roiti 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>40</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*. Gli 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>41</sup>

Dopo Roiti, 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  $\frac{1}{2} m v^2$ , dedotta applicando le leggi della dinamica all’espressione generale del lavoro di una forza:  $L = F s$ .

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  $L = F s \cos \theta$  (Roiti, 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 e poi anche le unità joule e watt.

\* Giustificazione del teorema delle forze vive ( $F s = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$ ).

\* 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 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*  $P h = \frac{1}{2} m v^2$ .

---

<sup>40</sup> [21], Vol. I, pag. 97.

<sup>41</sup> [21], Vol. I, pag. 97.

\* 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. Al termine di un percorso espositivo molto semplice, concluso con il consueto enunciato relativo alla conservazione dell'energia:

“Nell'Universo posson variare le energie nelle varie forme localizzate nelle diverse parti, ma ne è costante la somma totale”<sup>42</sup>

e avendo in precedenza sottolineato che questo principio

“domina tutta la scienza contemporanea, e costituisce la conquista più poderosa e feconda dello spirito umano”<sup>43</sup>

fa ora notare che:

“Nessun fenomeno è stato finora scoperto in contraddizione col principio medesimo; e gli uomini di Scienza son così profondamente convinti della sua illimitata validità, che a ogni apparente eccezione son piuttosto disposti a pensare a qualche forma di energia per il momento ignota, che sia capace di ristabilire il compenso. Così dopo la scoperta del *radio*, che è capace di creare indefinitamente calore, e quindi energia, senza che si possa constatare la diminuzione equivalente di altre energie già possedute, si è pensato alla possibilità che il calore sviluppato sia dovuto alla trasformazione continua dell'atomo di quella sostanza, con la conseguente perdita di una provvista enorme di *energia interatomica*. E appunto di queste trasformazioni interatomiche si sono avute più tardi, per altra via, delle prove molto persuasive, confermandosi così che la fede nell'incrollabilità del principio era ben fondata.”<sup>44</sup>

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.

---

<sup>42</sup> [36], Vol. I, pag. 59.

<sup>43</sup> [36], Vol. I, pag. 58.

<sup>44</sup> [36], Vol. I, pag. 59.

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 l'energia di un corpo o di un sistema e il lavoro da esso compiuto. Ecco alcuni esempi.

Vanni-Monti:

“L'attitudine a compier lavori si chiama energia, ....”<sup>45</sup>

Amaduzzi (1921):

“Si chiama *energia* ogni attitudine a produrre lavoro meccanico”<sup>46</sup>[Vol. I, p.91]

Murani (1921):

“... questo potere di vincere una resistenza è proprio di tutti i corpi che si muovono con notevole velocità. A siffatto potere si dà il nome di *energia*; e siccome una forza che vince una resistenza fa un lavoro, così può dirsi che *l'energia di un corpo in moto consiste nella sua facoltà di produrre lavoro.*”<sup>47</sup>

Battelli:

“A questo qualcosa che conferisce ai corpi l'attitudine ad eseguire un lavoro si dà il nome di *energia*, e si misura dal lavoro che può produrre.”<sup>48</sup>

Corbino:

“Chiamando *energia* l'attitudine di un corpo a eseguire lavoro, noi possiamo dire perciò che un corpo in moto, una molla compressa, un grave sollevato dal suolo possiedono energia; più precisamente si designa col nome di energia *cinetica* o *attuale* quella dei corpi in moto, e con quella di energia *statica*, o *potenziale*, quella posseduta dai corpi per virtù della loro forma o della loro posizione.”<sup>49</sup>

Amerio:

“E poiché si chiama *energia di un sistema* la quantità di lavoro che esso può fare, ...”<sup>50</sup>

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>51</sup>

Federico:

” *Energia è il lavoro che un corpo è capace di compiere*; e si misurerà dal lavoro che sarà prodotto.”<sup>52</sup>

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.

---

<sup>45</sup> [26], Vol. I, pag. 68.

<sup>46</sup> [31], Vol. I, pag. 91.

<sup>47</sup> [32], Vol. I, pag. 121.

<sup>48</sup> [33], Vol. I, pag. 98.

<sup>49</sup> [36], Vol. I, pag. 55.

<sup>50</sup> [37], Vol. I, pag. 85.

<sup>51</sup> [38], Vol. I, pag. 101.

<sup>52</sup> [40], Vol. I, pag. 79.

#### 4.4 I° e II° principio della Termodinamica

“E, ragionando su questo argomento, non dobbiamo dimenticare di considerare la circostanza più notevole, che la sorgente del calore generato per attrito, in questi esperimenti, appariva manifestamente inesauribile.

Non è il caso di insistere sul fatto che qualcosa che un corpo isolato, o un sistema di corpi, può continuare a fornire senza limitazione non può essere una sostanza materiale; e mi pare estremamente difficile, se non del tutto impossibile, formarsi un’idea distinta di una cosa che possa essere eccitata e comunicata nel modo in cui il calore fu eccitato e comunicato in questi esperimenti, a meno che non si tratti di un MOTO.”

[B. Thomson, *Collected works of count Rumford*]

Come è noto, gli storici attribuiscono proprio al lavoro di B. Thomson, conte di Rumford, 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.

E’ quindi perfettamente comprensibile che nei manuali di Matteucci [17], in genere aggiornatissimo, e Ambrosoli [18] 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 oggidi viene dai fisici accettata in luogo dell’antica ipotesi del calorico, considerato come una materia a sé, ossia come uno speciale fluido sottilissimo.”<sup>53</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>54</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*.

---

<sup>53</sup> [19], pagg. 487, 488.

<sup>54</sup> [19], pag. 490.

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 Funaro – Pitoni. Nel manuale di Invrea e di Vanni – Monti la sequenza viene invertita e tale inversione verrà poi mantenuta 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 Roiti 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, Roiti 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 kilogrammetri di lavoro corrispondente ad una chilocaloria.

Dopo avere evidenziato l'invertibilità del ciclo di Carnot, Roiti 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.

“ Da queste considerazioni possiamo arguire che l'energia tende costantemente ad assumere forme via via meno convertibili, o, come si dice, tende a digradarsi: e che ogni trasformazione è accompagnata da una **degradazione**. Andando di questo passo, deve necessariamente arrivare il giorno in cui tutta l'energia di un dato sistema di corpi, purché sottratto alle influenze esterne, abbia raggiunto l'infimo livello. Per ogni dove regnerà una temperatura

uniforme, più o meno alta, poco importa: l'energia sussisterà ancora eternamente senza alcuna diminuzione; ma non potrà più trasformarsi. Non che la vita, qualsiasi altro fenomeno, per quanto semplice, sarà reso impossibile!

Ma non bisogna sgomentarsi, poiché il nostro sistema solare ha ancora tanta energia disponibile da consentire una permanenza di tutti i fenomeni naturali per un tempo rispetto al quale i 6000 anni della storia umana sono un nulla.”<sup>55</sup>

Se si prescinde dal manuale di Bonmassari [22], 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 Roiti è accolta e persino ampliata dagli autori della prima decade del Novecento. Da Invrea anzitutto, 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. Invrea giunge persino alla formulazione esplicita della relazione  $L - JQ + U = 0$ .

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)

$$H V = (1/3) M N V v^2$$

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*):

$$\alpha = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \qquad \alpha = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

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 ma si avvalgono di diversi enunciati, ovviamente tutti equivalenti.

Invrea, sempre molto moderno ed aggiornato, lo fonda sul “*postulato sperimentale*” di Clausius, secondo il quale:

“... il calore non può passare da un corpo ad un altro che abbia temperatura superiore a quella del primo, senza che ci sia simultaneamente o un consumo di lavoro o un passaggio di calore (in quantità maggiore del primo) da un corpo a temperatura alta ad un corpo a temperatura più bassa.”<sup>56</sup>

Per Funaro – Pitoni, il “**secondo principio della termodinamica**” si enuncia nel modo seguente:

---

<sup>55</sup> [21], pagg. 175, 176.

<sup>56</sup> [23], Vol. I, pag. 326.

“... il lavoro che si può ottenere trasformando del calore mediante un ciclo di operazioni reversibili è indipendente dal corpo intermediario, dipende soltanto dalle temperature estreme, ed è massimo quando si operi con un ciclo di Carnot.”<sup>57</sup>

Per Amaduzzi (e qui siamo già negli anni venti) secondo il “principio di Carnot”:

“... una macchina termica non può restituire integralmente, sotto forma di lavoro, tutta l’energia calorifica che riceve. Per quanto perfetta essa sia, solo una parte del calore che riceve viene convertita in lavoro: il resto *necessariamente* mantiene la forma di calore.”<sup>58</sup>

Per Corbino:

“Si è potuto così enunciare un principio universale, detto di Carnot – Clausius, che non è stato finora mai contraddetto dall’osservazione dei fenomeni naturali: *il calore non può mai passare spontaneamente dai corpi freddi ai corpi caldi; e solo sfruttando la sua tendenza a scendere di livello termico, se ne può, in modo indefinito, trasformare una parte in lavoro meccanico.* E’ questo il celebre secondo principio della Termodinamica, la cui portata è vasta almeno quanto quella del principio della conservazione dell’energia, per quanto ciò non possa rendersi evidente in un corso elementare.”<sup>59</sup>

Per Amerio:

“... noi non possiamo trasformare in lavoro tutto il calore che togliamo a una sorgente, ma dobbiamo trasformarne una parte in altro calore a una temperatura minore. In questo consiste il *principio di Carnot*, o *secondo principio della termodinamica.*”<sup>60</sup>

Per Fermi:

“Esiste infatti una limitazione alla possibilità di trasformare calore in lavoro. Questa limitazione viene determinata da un principio che prende il nome di secondo principio della termodinamica. Esso afferma che: *non è possibile in alcun modo ideare un processo, che abbia, come unica conseguenza finale, un passaggio di calore da un corpo freddo a uno caldo.* Un corollario di questo principio è il seguente: *non è possibile ideare un processo che abbia, come unica conseguenza, una trasformazione di calore in lavoro, assorbendo calore soltanto da un corpo che si trovi tutto alla stessa temperatura.*”<sup>61</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 sembrano avere forti dubbi sulla conseguenza estrema di tale degradazione: la morte termica dell’Universo, preconizzata da Boltzmann. Il seguente passo, tratto dal manuale di Amaduzzi è significativo in proposito e fornisce anche una idea del livello e dell’estensione con cui l’argomento veniva trattato.

“**117. La degradazione dell’energia e la morte dell’Universo.** – Il principio suesposto ha suggerito l’idea d’una scala *nobiliare* per le energie; più nobili rispetto ad altre essendo quelle che hanno una maggior possibilità di trasformazione. L’energia meccanica sarebbe più nobile del calore; il calore a temperatura più elevata più nobile del calore a temperatura meno elevata.

---

<sup>57</sup> [25], Vol. III, pag. 95.

<sup>58</sup> [31], Vol. II, pag. 103.

<sup>59</sup> [36], Vol. II, pag.27.

<sup>60</sup> [37], Vol. I, pag. 263.

<sup>61</sup> [38], Vol. I, pag. 226.

Fatalmente nelle trasformazioni di energia, che costituiscono i vari fenomeni spontanei, si passa dalle forme più nobili alle meno nobili; si opera cioè una *degradazione dell'energia*.

Verrà il momento – si è profetizzato con genialità, ma con audacia discutibile per più lati – che tutta l'energia dell'Universo si sarà ridotta a calore a temperatura uniforme sui vari corpi. Nessun fenomeno sarà allora più possibile.

L'Universo avrà raggiunto l'ora estrema.

Direm così: chi vivrà vedrà!"<sup>62</sup>

Come si è rilevato in precedenza, la lezione di Roiti 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 1921 a Battelli, l'esposizione dei principi della termodinamica si spoglia progressivamente degli aspetti formali e si riduce in ampiezza, per divenire 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 dinamico 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

#### **4.5 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

---

<sup>62</sup> [31], Vol. II, pag. 104.



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  $v = \lambda f$ .

Roiti, 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 1921, di cui nell'Indice 4 del Documento 4 si riporta l'elenco dei paragrafi.

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 materia ma, anche in questo caso, non riesce a promuovere una nuova linea didattica. Infatti, ad eccezione del manuale di Palatini (1933), 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 tre punti seguenti.

*Il primo* riguarda la scelta delle prove sperimentali dell'effetto di interferenza. Oggi tutti i manuali presentano l'esperimento della doppia fenditura mentre nei manuali da noi esaminati il primo esperimento proposto è sempre quello degli specchi di Fresnel; in seconda battuta viene presentato l'esperimento del biprisma e il più delle volte neppure si accenna all'esperimento della doppia fenditura.

*Il secondo* 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 terzo* riguarda l'eventuale esistenza di un supporto per la propagazione della luce, cioè dell'etere.

In proposito così si esprime Cantoni:

“La velocità tanto ragguardevole della luce (§ 241) e più la variazione di questa velocità correlativa alla densità del mezzo nel quale la luce si propaga già fanno supporre che questa, piuttosto che una materia irradiata effettivamente da corpi luminosi e caldi, come ammise Newton, esser debba un fluido estremamente sottile ed elastico, chiamato *etere*, il quale, investendo gli spazj celesti, 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. Questa supposizione vien mano mano confermandosi dai fatti della riflessione (§ 244) e della rifrazione (§255) che manifestano analogia sempre maggiore tra i fenomeni delle vibrazioni sonore e quelli delle vibrazioni termo – luminose.”<sup>63</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 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, dal quale riportiamo il passo seguente.

“Fin verso la fine del secolo scorso si pensò, come abbiamo detto, che il mezzo nel quale ha luogo la propagazione delle onde luminose fosse una ipotetica sostanza a cui si dava il nome di etere. Ad essa si attribuiva una densità piccolissima e una grande elasticità e si ammetteva che l'etere riempisse tutto lo spazio, sia quello ove non esiste altra materia, sia quello occupato dai corpi ordinari. I corpi luminosi avrebbero contenuto delle particelle animate da moti vibratorii rapidissimi e queste avrebbero trasmesso all'etere delle scosse che si sarebbero poi propagate in onde sferiche in tutte le direzioni intorno al corpo luminoso. Oggi, invece, le nostre idee sulla natura delle onde luminose si sono alquanto modificate: si ammette infatti che le vibrazioni che costituiscono la luce non siano vibrazioni delle particelle di etere, bensì che si tratti di vibrazioni elettriche e magnetiche. Queste si propagano nel vuoto, per modo che nella nuova teoria resta superfluo il considerare gli spazi interplanetari riempiti di etere. Ritourneremo brevemente sopra questo argomento

---

<sup>63</sup> [19], pag. 953.

nella elettricità. Per il momento possiamo seguire a parlare delle vibrazioni luminose come di vibrazioni delle particelle di etere: si trova infatti che la maggior parte dei fenomeni della luce si possono interpretare secondo questa concezione, che presenta anche il vantaggio di fornirci una idea della propagazione delle onde di luce, più facilmente accessibile all'intuito.”<sup>64</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 dichiara prima che:

“Questo moto vibratorio viene trasmesso non dall'aria, come per il suono (perché la luce si propaga anche nel vuoto interplanetare); ma *da un mezzo sottilissimo, imponderabile, perfettamente elastico*, chiamato l'**etere cosmico**, che esiste dappertutto, fra gli astri, fra le molecole dei corpi, in un'ampolla vuota d'aria, ecc.”<sup>65</sup>

e mezza pagina dopo:

“In seguito (§323) accenneremo alle odierne vedute sulla natura della luce; che permettono di considerare le vibrazioni luminose, non come vibrazioni delle particelle dell'etere, bensì come vibrazioni elettromagnetiche, che si propagano nel vuoto (**teoria elettromagnetica della luce**). In tal modo non vi è più bisogno di supporre l'esistenza dell'etere cosmico, che è ciò che rende più difficoltosa a concepire la teoria delle ondulazioni. Nelle considerazioni seguenti continueremo tuttavia a parlar di vibrazioni delle particelle dell'etere.”<sup>66</sup>

#### 4.6 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 del 1873). Non meraviglia quindi il fatto che nel manuale di Cantoni sia assente il termine di campo elettrico (e magnetico) e il concetto di potenziale appaia ancora con la terminologia voltiana di tensione.

“Dicesi *carica elettrica* d'un corpo la quantità di elettricità (valutata semplicemente come una quantità di energia delle sue molecole) che in esso si manifesta operativa, cioè in istato di tensione. Chiamasi poi *tensione elettrica* lo sforzo col quale un corpo od una sua parte tende a diffondere nei corpi circostanti la propria carica elettrica. E dicesi *capacità elettrica* d'un corpo la sua attitudine relativa a ricevere una data carica (dipendente, come vedremo innanzi, dalla estensione e figura della sua superficie) attitudine che si deduce dal rapporto fra la carica  $q$  trasmessagli e la tensione media  $t$  che esso manifesta, ritenendosi la capacità  $c$  espressa dalla relazione

$$c = q/t$$

La *tensione elettrica* esprime adunque e misura la mutua repellenza manifestata dalle parti di un corpo o di un insieme di corpi aventi un medesimo stato elettrico; e perciò la si può argomentare o dalla divergenza suscitata in un elettrometro a pagliette od a fogliette, o dalla deviazione prodotta in un *elettrometro* a torsione unifilare o bifilare (...) oppur anche dalla distanza per cui scocca la scintilla fra il corpo stesso ed un conduttore comunicante col suolo per mezzo d'uno *spinterometro*.

---

<sup>64</sup> [38], Vol. II, pag. 52.

<sup>65</sup> [40], Vol. II, pag. 103.

<sup>66</sup> [40], Vol. II, pag. 104.

Volta, che molto s'occupò d'elettrometria, prendeva per unità fondamentale la tensione corrispondente alla carica esplosiva fra due sferette di un pollice (27 mm) di diametro e discoste di due linee (mm 4,5), colle loro superfici affacciate.”<sup>67</sup>

Meraviglia semmai il fatto che il termine campo elettrico compaia già nel manuale di Roiti (1880), anche se con modalità che lo rendono poco significativo. Infatti, dopo aver definito il potenziale in un dato punto come

*“il lavoro eseguito dalle forze elettriche, mentre una particella materiale caricata dell'unità di elettricità positiva passa da quel punto all'infinito, sottraendosi così all'azione di tali forze.”*<sup>68</sup>

così aggiunge mezza pagina dopo:

“E prendiamo a considerare due punti *A, B* dello spazio entro il quale sono sensibili le azioni dovute a quei corpi, o, come si dice, prendiamo a considerare due punti *A, B* del **campo elettrico** dovuto a que'corpi; e supponiamo che un corpuscolo coll'unità di carica possa trasportarsi da *A* in *B* senza che vengano alterate sensibilmente le proprietà di esso campo. A tale trasporto corrisponderà un certo lavoro che, per quanto si è detto, sarà espresso dalla differenza dei potenziali in *A* e in *B*; e risulterà indipendente dal cammino percorso fra questi due punti.”<sup>69</sup>

Qualche riga dopo verrà definito “il valore medio della forza elettrica” che si esercita su un “corpuscolo coll'unità di carica” che si porta da un punto all'altro nella forma

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

senza però specificare che tale forza rappresenta l'intensità del campo e, poco più avanti, aggiungerà anche che

*“... si chiama linea di forza quella curva che incontri 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>70</sup>

Sul concetto di campo, nel manuale di Roiti, 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 Roiti 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

---

<sup>67</sup> [19], pagg. 545, 546.

<sup>68</sup> [21], Vol. IV, pag. 26.

<sup>69</sup> [21], Vol. IV, pag. 27.

<sup>70</sup> [21], Vol. IV, pagg. 27, 28.

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:

“... a queste forze scambievoli di attrazione o di repulsione daremo il nome di *azioni elettriche*. E chiameremo poi *campo elettrico una regione dello spazio nella quale siano sensibili delle azioni elettriche*.”<sup>71</sup>

“... 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>72</sup>

c) La trattazione delle proprietà del campo è ridotta al minimo. Cintolesi (1908) formula il teorema di Gauss partendo dall'esame del caso particolare di una carica puntiforme; Amaduzzi (1921) 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:

“In generale si chiama *campo vettoriale*, o, in particolare, *campo di forza* ogni regione dello spazio nella quale per ciascun punto si debba considerare un valore determinato per il vettore, o, in particolare, giacché la forza è un vettore, si faccia sentire una determinata forza. Così intorno al nostro globo si ha il campo di forza della gravità che perciò si dice campo gravifico. Per esso *l'intensità*, cioè il valore della forza, è vario da punto a punto e la direzione è, per ogni punto, verticale; quindi diversa per due punti qualsivogliano che non appartengano alla stessa verticale. Nel caso particolare in cui intensità e direzione si mantengono costanti dappertutto, il campo si dice *uniforme*.”<sup>73</sup>

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 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

---

<sup>71</sup> [33], Vol. II, pag. 305.

<sup>72</sup> [38], Vol. II, pag. 78. Come vedremo tra poco, Fermi preciserà meglio questa sua prima definizione di campo ma così non farà la maggior parte degli altri autori.

<sup>73</sup> [31], Vol. III, pag. 12.

(anche se poi non descriverà i passaggi necessari per giungere al modulo del campo elettrico risultante).

Precisa la definizione 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>74</sup>

Ma appena qualche riga dopo, compare la relazione  $F = q E$  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.”*<sup>75</sup>

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 diversi manuali una maggior confidenza e il discorso relativamente a tale grandezza viene sviluppato in modo da farne emergere chiaramente il significato fisico. A titolo di esempio riportiamo l'introduzione al concetto di potenziale e la definizione di questa grandezza che compare nel manuale di Corbino.

**“ 79. Potenziale elettrico.** – Durante il movimento della pallina lungo la linea di forza essa è sempre sollecitata nella direzione del moto dalle forze elettriche, che l'accompagnano nel movimento, pur cambiando poco a poco d'intensità. Supponiamo invece che, partendo da un punto A del campo, la pallina si allontani *seguendo una linea qualsiasi*, fino a portarsi fuori del campo, a tale distanza, cioè, che esso abbia un'intensità trascurabile; in totale le forze elettriche, che hanno sempre agito durante il moto, sebbene con intensità e direzioni variabili, *avranno eseguito un certo lavoro*. Ora, si dimostra che *questo lavoro è sempre lo stesso, qualunque sia il cammino seguito dalla pallina per portarsi dal punto A fino a un punto qualunque fuori del campo*.

A questo lavoro compiuto dalle forze elettriche, quando la pallina è carica dell'unità positiva di elettricità, e che dipende solo dalle cariche agenti e dalla posizione del punto A, si dà il nome di *potenziale* nel punto A. In un punto si avrà perciò il potenziale 1, se, trasportando da quel punto a distanza grandissima l'unità elettrostatica di elettricità, le forze elettriche fanno il lavoro di un ergon.”<sup>76</sup>

Si noti l'ambiguità derivante dal definire il potenziale come lavoro; questa ambiguità sarà tuttavia presente in quasi tutti i manuali esaminati, aggravata dalla mancanza di esempi numerici che consentano di distinguere chiaramente fra le due grandezze lavoro e potenziale, anche se corretta parzialmente dalla *successiva* proposta della relazione  $L = q (V_1 - V_2)$ .

---

<sup>74</sup> [38], Vol. II, pag. 78.

<sup>75</sup> [38], Vol. II, pagg. 78, 79.

<sup>76</sup> [36], Vol. II, pagg. 120, 121.

Anche relativamente al potenziale gli aspetti formali sono molto limitati. In genere, infatti, viene presentata solo la relazione sopra indicata e solo un certo numero di autori presenta anche la relazione  $V = k q/r$ , 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 di questi concetti, si limita a proporre i due Esercizi seguenti.

“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>77</sup>

#### 4.7 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 (per altro già ben delineata da Faraday) nel 1834. La formalizzazione delle leggi sull'induzione sono frutto del contributo di diversi fisici fra i quali Neumann, Weber, Felici (anni quaranta) e Maxwell (anni sessanta e settanta), i primi tre secondo la visione dell'azione a distanza, Maxwell all'interno del concetto faradayano di campo, tutti con un formalismo non proponibile al livello della 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 il dovuto rilievo, pur senza ricorso ad alcun formalismo. A titolo di esempio riportiamo la sintesi di Cantoni sulla legge dell'induzione.

“59. Le leggi dell'induzione elettro-dinamica, dietro gli studii di Faraday, Lenz, Abria, Weber, Matteucci e Felici si possono così riassumere: a) l'intensità delle correnti indotte è proporzionale a quella delle correnti induttrici; ed è pure proporzionale al prodotto delle lunghezze dei due circuiti, l'induttore e l'indotto. b) La forza elettromotrice prodotta per induzione da una determinata quantità d'elettricità riesce costante, qualunque sia la natura del corpo coibente interposto fra l'inducente e l'indotto, e qualunque sia la natura del conduttore che subisce l'induzione, e sia poi questo in istato naturale, oppure percorso da altra corrente elettrica, od anche sotto l'induzione magnetica d'una calamita, se è corpo magnetico. c) Le correnti indotte, inverse e dirette, prodotte nelle stesse condizioni, danno un eguale lavoro: però la corrente inversa ha un'intensità minore di quella diretta, la quale invece ha una minor durata.”<sup>78</sup>

---

<sup>77</sup> [40], Vol. II, pag. 139.

<sup>78</sup> [19], pagg. 696, 697.

Nel passo precedente non compare alcun riferimento al campo magnetico e alla sua variazione o al taglio delle linee di forza magnetiche. Questa lacuna interpretativa caratterizzerà anche l'esposizione di Roiti, anche se all'argomento questo autore dedicherà una ventina di pagine.

Il primo manuale nel quale compare l'aspetto interpretativo è quello di Bonmassari che, nel proporlo, segue il criterio faradayano delle linee di forza magnetiche tagliate.

“Un campo magnetico può essere prodotto da una calamita, da una elettro-calamita, ed anche da una corrente elettrica. In qualunque caso l'intensità di esso è determinata dalla fittezza delle linee di forza (§ 470). Introducendo il concetto delle linee di forza, l'esprimere le condizioni necessarie per avere delle correnti d'induzione diventa semplicissimo. Si può, in fatti, enunciare che: *ogni volta che un conduttore, formante un circuito chiuso, muovendosi in un campo magnetico venga a tagliare rapidamente un numero di linee di forza che vada aumentando o diminuendo, si produce una corrente d'induzione; diretta in un verso, se il numero di esse cresce, diretta in verso contrario, se diminuisce. Se poi questo numero né cresce né diminuisce, come sarebbe quando il conduttore stesse fermo in un dato campo magnetico qualunque, oppure quando lo si facesse scorrere nel senso della lunghezza di un filo percorso da una corrente, ovvero, disposto in un piano perpendicolare alle linee di forza di due poli affacciati di una calamita o d'una elettro-calamita, lo si trasportasse parallelamente a se stesso più vicino ad un polo che ad un altro, nessuna corrente d'induzione si produce.*”<sup>79</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 seguendo il criterio che si era andato affermando a partire dai lavori di Heaviside e Hertz. Riportiamo in proposito un passo del manuale di Fermi.

“... la legge di NEUMANN stabilisce che: *la forza elettromotrice che si genera per induzione è proporzionale al rapporto  $n/\tau$  tra la variazione del numero delle linee di forza magnetica che attraversano il circuito e il tempo  $\tau$  durante il quale è avvenuta tale variazione.*”<sup>80</sup>

e appena sotto, in corpo minore, dopo aver definito

“*flusso di forza magnetica* che traversa un circuito una grandezza  $\phi$  proporzionale al numero  $N$  delle linee di forza che attraversano il circuito.”

“Per mezzo del concetto di flusso di forza magnetica, la legge di NEUMANN può precisarsi ulteriormente, dicendo che la forza elettromotrice di induzione, è misurata, in unità elettromagnetiche, dal rapporto

$$e = \phi/\tau$$

tra la variazione  $\phi$  del flusso di forza magnetica che attraversa il circuito e il tempo  $\tau$  durante cui tale variazione ha avuto luogo.”<sup>81</sup>

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 che il formalismo che correde gli enunciati relativi

---

<sup>79</sup> [22], Vol. II, pag. 355.

<sup>80</sup> [38], Vol. II, pag. 179.

<sup>81</sup> [38], Vol. II, pag. 179.



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 al tema 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). Nessuno, invece, descrive l'esperimento del disco di Faraday che ruota fra due espansioni polari, 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. Roiti 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.

“415. **Induzione elettromagnetica.** – Il lavoro meccanico che si ottiene col mezzo di un motore elettrico, è certamente una trasformazione dell'energia chimica spesa nella pila; e però questa energia è impiegata, parte a fornire il detto lavoro, parte a riscaldare la resistenza passiva del circuito.

L'intensità della corrente è pertanto più debole di quella che si avrebbe se il circuito si riducesse alla sola resistenza passiva; e nel motore elettromagnetico, dove l'energia della corrente è utilizzata, deve perciò stabilirsi una caduta del potenziale nel medesimo senso della corrente. (...) le medesime forze elettromotrici si desteranno poi naturalmente anche nel caso che il moto di quel conduttore, anzi che all'azione del campo magnetico, sia dovuto a una forza esterna; poiché il fenomeno dipende unicamente dal flusso d'induzione attraversato dal conduttore e non dalla corrente che lo percorre, è naturale che quelle forze elettromotrici si destino nel conduttore che si sposta, anche quando non sia attiva in esso altra corrente e l'esperienza conferma il fatto.”<sup>82</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.

## 4.8 Onde elettromagnetiche

---

<sup>82</sup> [32], pagg. 830, 831.

La prima trattazione delle onde elettromagnetiche che abbiamo individuato nei manuali a disposizione è quella di Invrea, come al solito ben articolata e completa (si veda eventualmente Documento 4, Indice 6). 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 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, con i seguenti termini:

"Finché un campo elettrostatico è costante, esso può esistere indipendentemente da qualsiasi forza magnetica. Ma appena esso subisce una variazione, si dà origine per ciò stesso ad un determinato campo magnetico. Similmente un campo magnetico può esistere in uno spazio ove non si hanno forze elettriche, solo alla condizione di essere costante col tempo. Appena esso venga a cambiare, si produrrà per ciò stesso un determinato campo elettrostatico. Più generalmente: *In uno stesso spazio possono coesistere un campo elettrostatico ed un campo magnetico: questi campi rimangono fra loro indipendenti fino a che entrambi si mantengono costanti. Ma se variano le condizioni di uno di essi, si producono delle variazioni anche nell'altro, e cessa la loro indipendenza.*

Dalla sovrapposizione che così si ottiene di un campo elettrostatico e di un campo magnetico dipendenti l'uno dall'altro risulta ciò che si chiama un *campo elettromagnetico*." <sup>83</sup>

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) le formule  $T = 2\pi \sqrt{CL}$  per caratterizzare il periodo di oscillazione del circuito o la relazione  $2\sqrt{L/C}$  per stabilire 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 1921: 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).

---

<sup>83</sup> [23], Vol. II, pagg. 203, 204.

Il primo autore che non fa riferimento all'etere è Fermi, poi imitato da Palatini – Serini e Federico (con le ambiguità già rilevate nel paragrafo 4.5).

Tutti gli autori trattano con ricchezza di dettagli i classici esperimenti di Hertz (ed altri 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 del Regime che ne ha favorito la diffusione.

“Chi non conosce l'enorme sviluppo odierno delle radiotrasmissioni? nessuna altra invenzione ha avuto una affermazione così rapida e completa come la *Radio*. Essa oggi non serve soltanto per la trasmissione dei dispacci da un punto all'altro della Terra, per invocare aiuto da una nave pericolante nell'oceano; per mantenere in comunicazione con la patria l'esploratore sperduto nei gelidi deserti del polo o negli sconfinati deserti equatoriali. La *Radio* presentemente è un poderoso mezzo di cultura e di educazione. Ben lo ha compreso il nostro Governo nazionale, che con grande interessamento e con modernità di vedute, ha voluto concedere a questa nuova branca di applicazioni elettriche, protezione ed aiuti, ha voluto che sia universalmente diffusa nel regno la radiotelegrafia, favorendo l'impianto di numerose stazioni trasmettenti, tra le quali alcune tra le più moderne e le più potenti del mondo.”<sup>84</sup>

“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>85</sup>

“Gli sforzi dei tecnici sono diretti alla *Radiomeccanica*; cioè al comando a distanza di meccanismi azionati dalle radioonde. Dai primi tentativi del 1918, in cui si riusciva a far volare per quasi un'ora un aeroplano senza pilota, guidato da terra con le onde elettromagnetiche, anche in questo campo se n'è fatta della strada; negli Stati Uniti, e recentemente anche in Italia, una corazzata, senza una sola persona di equipaggio, ha compiuto difficili evoluzioni; andando avanti, indietro ... docile al comando che le veniva con le radioonde, da una nave a parecchi chilometri di distanza. (...)

“Che avverrà allorquando si riuscirà a trasmettere con le onde, non la infinitesimale energia che impressiona la valvola di un ipersensibile ricevitore radiofonico moderno, ma addirittura energie industriali, capaci di far girare un motore, di spingere un radioveicolo, di muovere un radiotreno, di trasportare sull'oceano una radionave? Non si troverà forse nella *Radio* la forza spaziale che condurrà un veicolo sulla Luna? Cose da romanzo! ma quante utopie di ieri non sono oggi la realtà?”<sup>86</sup>

“Le onde misteriose che in tutti i sensi s'incontrano, s'intersecano, s'inseguono nell'atmosfera sconfinata, cingono già la terra di una cintura di energie, invisibile eppure stranamente viva, che meglio di ogni altra ingentilisce le genti e affratella i popoli. L'influenza della *Radio* nella civiltà mondiale è la più grande che si sia finora avuta nella storia dell'uomo. Né per le radioonde si prevedono limiti di spazio, nulla può arrestare nello spazio la fulminea corsa dell'elettricità radiante; forse ancora oggi esse hanno sorpassato l'involucro gassoso che circonda la Terra, ed hanno varcato gli enormi spazi interplanetari; se non l'hanno fatto oggi, lo faranno certamente domani. Pensate al momento in

---

<sup>84</sup> [40], Vol. II, pag. 319.

<sup>85</sup> [40], Vol. II, pag. 320.

<sup>86</sup> [40], Vol. II, pag. 322.

cui riceveremo i segnali che ci invieranno gli abitatori dei mondi astrali lontani? Cos'è dunque che non dovremo attenderci dalla *Radio*?”<sup>87</sup>

#### 4.9 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 Roiti nel 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, e si contano sessantacinque specie di atomi. Un determinato aggruppamento d'atomi, omogenei ed eterogenei, costituisce la cosiddetta **molecola**.”<sup>88</sup>

Nell'ultima decade dell'Ottocento 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 prudenziale 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>89</sup>; erano stati pubblicati alcuni volumi sull'argomento e riferimenti specifici cominciavano a comparire nei manuali universitari di Murani [42], Battelli A, Stefanini A. [43], Roiti A. [44], Righi A. [45].

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

---

<sup>87</sup> [40], Vol. II, pagg. 322, 323.

<sup>88</sup> [21], Vol. I, pag. 3.

<sup>89</sup> Si veda in proposito: [41], pagg. 19 – 68.

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

I passi che seguono, tratti dal manuale di Vanni – Monti, rendono più evidente quanto appena affermato e mostrano che gli autori non esitavano a trasferire nelle loro esposizioni anche tutti i punti incerti di una teoria che costituiva a quell'epoca il fronte della ricerca.

“254. TEORIA ELETTRICA DELLA MATERIA. – ELETTRONI. – Quanto precede ci pone in grado di dare un'idea della cosiddetta *teoria elettrica* della materia, della quale daremo qui un brevissimo cenno; per intenderla è necessario dire anzitutto qualche cosa sulla natura della elettricità.

Abbandonata l'antica ipotesi che la elettricità sia un fluido materiale *continuo* di due specie, positivo e negativo, si ammette oggi che l'elettricità sia, come la materia, *discontinua* e formata da particelle piccolissime aventi una massa migliaia di volte minore di quella degli atomi materiali. Queste particelle, veri atomi elettrici, si chiamano *elettroni* e si ammette che ve ne siano di due specie *negativi* e *positivi*, quantunque la esistenza dei soli elettroni negativi possa ritenersi come dimostrata. [Ricordiamo che in Italia ebbe notevole diffusione la teoria duale della carica elettrica, derivata dal Drude e sostenuta, durante gli anni dieci del Novecento, da Corbino] Un atomo neutro di un elemento sarebbe un aggregato, in equilibrio stabile, di un certo numero di elettroni negativi e di un ugual numero di elettroni positivi, i quali neutralizzano la carica dei primi. (...) E' bene poi notare che gli elettroni costituenti l'atomo non sono immobili ma, come i corpi di un sistema stellare, sono animati da moti rapidissimi di vibrazione, rotazione e traslazione; e siccome sono estremamente piccoli rispetto alle dimensioni dell'atomo, così, ben lungi dall'essere addossati gli uni agli altri, essi sono disseminati nello spazio occupato dall'atomo stesso, precisamente come i corpi di un sistema stellare.”<sup>90</sup>

“Questi fenomeni [l'autore sta ora descrivendo le scariche nei gas a bassa pressione] sono dovuti a ciò, che dal catodo o elettrodo negativo vengono emessi quelli che si chiamano *raggi catodici*. Questi raggi non sono luminosi per sé e si ammette che siano costituiti da *elettroni* liberi (§254) uscenti dal catodo, vale a dire da atomi elettrici, di massa migliaia di volte minore di quella dell'atomo di idrogeno, e aventi una forte carica negativa. La velocità con cui si muovono gli elettroni costituenti i raggi catodici, è variabile secondo le condizioni, ma è sempre grandissima, e può essere di poco inferiore a quella della luce.”<sup>91</sup>

---

<sup>90</sup> [26], Vol. II, pagg. 204, 205.

<sup>91</sup> [26], Vol. II, pag. 258.

“ 320. RAGGI X O DI ROENTGEN – I raggi  $X$  si producono tutte le volte che i raggi catodici colpiscono un corpo solido. Per conseguenza, la parete di vetro anticatodica di un tubo di Crookes emette, insieme con la luce di fluorescenza, anche dei raggi  $X$ .”<sup>92</sup>

Queste le loro proprietà:

“2° Si propagano in linea retta, senza provare in modo sensibile, riflessione, rifrazione o diffrazione, e senza essere deviati dai campi magnetici. (...) 4° Attraversano molte sostanze opache alla luce ordinaria, come il legno, il carbone, i muscoli e, in generale, i tessuti organici, e le lastre di metalli leggeri.(...) Secondo ogni probabilità, i raggi  $X$  sono vibrazioni trasversali dell’etere analoghe a quelle che costituiscono i raggi luminosi, ma di lunghezza d’onda assai più breve di quella dei raggi violetti ed ultra – violetti (pag. 151). Per questa ragione, essi sono affatto invisibili e costituiscono delle onde eteree estremamente corte e rapide.”<sup>93</sup>

Subito dopo segue il paragrafo intitolato “Raggi uranici – Radio – attività” nel quale si descrivono i lavori dei Curie, si elencano i tre tipi di emissione caratterizzandole secondo le conoscenze dell’epoca (raggi  $\alpha$ : “costituiti da ioni positivi (...) di massa paragonabile a quella degli atomi materiali” devianti “mediante l’azione di campi elettrici o magnetici”; raggi  $\beta$ : “analoghi ai raggi catodici e, come questi, costituiti da *elettroni negativi*”; raggi  $\gamma$ : “analoghi ai raggi  $X$  (§320); come questi, risulterebbero da vibrazioni trasversali dell’etere estremamente rapide e di piccolissima lunghezza d’onda.”) e si tenta una interpretazione della loro esistenza.

“Si può dire, in tesi generali, che questi differiscono dai corpi ordinari in ciò, che mentre gli atomi di questi sono sistemi *stabili* di elettroni e quindi, per dissociarli, occorrono le varie cause di ionizzazione accennate al § 257, gli atomi dei corpi radio – attivi sarebbero, invece, sistemi *instabili* di elettroni, i quali si separano e si staccano con facilità, senza bisogno di cause esterne, riunendosi poi in altri gruppi per formare altri atomi di specie diversa dai primi. Queste modificazioni sono necessariamente accompagnate da trasformazione e sviluppo di energia luminosa, calorifica, elettrica, ecc.”<sup>94</sup>

La sequenza espositiva di Vanni – Monti rimarrà, come s’è già detto, 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 1921 troviamo così il primo riferimento all’atomo nucleare.

“L’atomo sarebbe dunque, secondo Rutherford, 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). Gli elettroni possono, sotto l’azione di certe forze perturbatrici appropriate, abbandonare il loro nucleo o spostarsi isolatamente: l’atomo si trova allora in *deficit*, il che porta per esso uno stato elettrico positivo.”<sup>95</sup>

Ma nel manuale di Murani, pubblicato nello stesso anno, così si legge ancora:

“Questi fenomeni [l’autore ha appena finito di descrivere le proprietà dei raggi catodici] fanno penetrare il nostro sguardo nell’interno dell’atomo, il quale oggi non è più considerato come un’entità indivisibile, ma invece quale un

<sup>92</sup> [26], Vol. II, pag. 259.

<sup>93</sup> [26], Vol. II, pagg. 258, 261.

<sup>94</sup> [26], Vol. II, pag. 263.

<sup>95</sup> [31], Vol. III, pag. 44.

sistema assai complesso di elettroni: propriamente un atomo *neutro* si concepisce come 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 (lord Kelvin).

Ordinariamente gli elettroni sono trattenuti nelle loro orbite dalle azioni elettriche; ma può avvenire anche per certe sostanze che gli atomi si sfascino gradatamente perdendo uno o più elettroni. Sono queste le *sostanze radioattive*: uranio, torio, polonio, radio, attinio, ecc. delle quali parleremo in appresso.”<sup>96</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’dea 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>97</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>98</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 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>99</sup>

Nei manuali del 1925 e degli anni successivi compariranno anche termini nuovi. In quello di Amerio, i termini di protone e di isotopo.

“L’atomo è neutro quindi deve possedere tanta elettricità positiva quanta negativa. Quest’ultima sotto la forma dei ben noti *elettroni*. In quanto all’elettricità positiva si pensa, *per ora*, che essa sia condensata in tante quantità eguali in valore assoluto alla carica di un elettrone, su dei nuclei materiali aventi la massa di due atomi di idrogeno. Questi gruppi si chiamano *protoni* e forse provengono dall’unione di due nuclei di idrogeno.

Un atomo, escluso quello dell’idrogeno, sarebbe quindi costituito da un nucleo contenente tanti *protoni* quanto è il peso atomico diviso per due, con un numero minore di elettroni, sicché questo nucleo è elettrizzato positivamente; intorno al nucleo girerebbero tanti elettroni da neutralizzare la carica.”<sup>100</sup>

---

<sup>96</sup> [32], pag. 943.

<sup>97</sup> [35], Vol. II, pag. 1055.

<sup>98</sup> In proposito si veda: [41], pagg. 115 – 148.

<sup>99</sup> [36], Vol. II, pag. 201.

<sup>100</sup> [37], Vol. III, pag. 239.

Su questi termini ancora in formazione non interverrà invece Fermi, la massima autorità italiana in quel campo.

Altri termini nuovi compaiono invece 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:

“Ma d’altra parte, da dove provengono gli elettroni liberi dei raggi catodici e dei corpi radioattivi? Eccoci nella necessità di ammettere che essi facciano parte della costituzione dell’atomo. Si affaccia così l’ipotesi che l’atomo sia costituito da *un nucleo* neutro, a cui sono aggregati uno o più positroni; il nucleo così diviene elettrizzato positivamente; (...) L’atomo d’idrogeno, come vedremo in seguito, è il più semplice di tutti; ed è costituito da un nucleo con *un solo* positrone, e da *un solo* elettrone. (...) il nucleo dell’idrogeno senza carica positiva, si chiama il *neutrone*, e rappresenta la più piccola parte di materia, (si ricordi che l’elettrone non è materia <sup>101</sup>), il neutrone con un positrone forma il *protone*.

Il neutrone può supporre ottenuto o da un protone che perda il suo positrone; o da un protone a cui si unisca un elettrone (detto *elettrone nucleare*), che neutralizzi la carica positiva del protone.” <sup>102</sup>

Nel manuale di Federico troviamo tuttavia 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>103</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 (evidentemente mal capita dall’autore!).

“ L’energia emessa da un corpo irradiante, varia adunque secondo un certo numero di *quanti*, proporzionale alla lunghezza d’onda della radiazione emessa; cioè tale emissione avviene per proiezioni di gruppi, di pacchetti tutti uguali di quanti; ed Einstein (1905) affermava che queste quantità fisse e finite di energia radiante, mantengono la loro personalità lungo tutto il loro viaggio, dal momento dell’emissione a quello dell’assorbimento. Con ciò abbiamo

---

<sup>101</sup> Diversi autori espongono questa tesi, sostenendo, come fa Corbino nel suo manuale, che: “... il risultato essenziale, dovuto alle ricerche di Abraham e Kaufmann, è quello per cui venne dimostrato che l’elettrone è soltanto una particella di elettricità negativa, non associata a un nucleo di vera materia. Adunque è ben vero che dagli atomi dei vari elementi chimici si può ricavare un comune costituente, l’elettrone; però questo non è più materia, ma pura carica elettrica.” ([36], Vol. III, pagg. 199, 200.)

<sup>102</sup> [40], Vol. II, pag. 173.

<sup>103</sup> [40], Vol. II, pag. 176.



scoperto in conclusione anche *l'atomo di energia*, e che la materia irradia solo per quanti, che portano nello spazio una energia finita.”<sup>104</sup>

Si osservi però che, ancora una volta, accanto all'ottimismo 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 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>105</sup>

---

<sup>104</sup> [40], Vol. II, pagg. 178, 179.

<sup>105</sup> [40], Vol. II, pagg. 181, 182.

## CAPITOLO QUINTO

### CARATTERI ESPOSITIVI

#### **Introduzione**

Nei due Capitoli 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.

#### **5.1 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, Roiti) 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 m.

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 sua struttura tipografica. La materia è in genere suddivisa in Capitoli (talvolta in Parti), a loro volta suddivisa 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.

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 sono 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>106</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 (si vedano in proposito le figure seguenti).

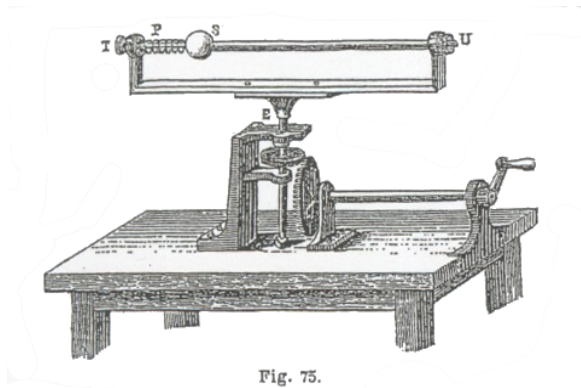


Fig. 75.

Sopra, macchina per lo studio delle forze nel moto circolare<sup>107</sup>. A destra, macchina termica con volano<sup>108</sup>.

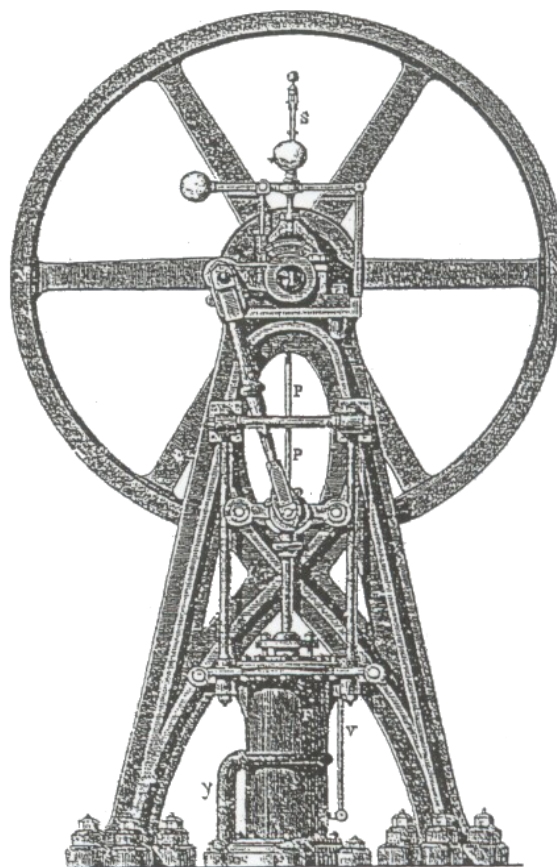


Fig. 264.

<sup>106</sup> [22], Vol. I, Prefazione.

<sup>107</sup> [21], Vol. I, pag. 79.

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  $n^\circ$  figure/ $n^\circ$  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.

Il primo ed unico manuale ove compaiono fotografie (e non solo disegni fotografici) 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.

## 5.2 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 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 a questa raccomandazione è certamente il Bonmassari, che così scrive:

---

<sup>108</sup> [32], pag. 490.

“I più valenti insegnanti sono d’accordo nell’asserire che un libro di testo riesce veramente proficuo quando, smessa ogni idea di far sfoggio di dottrina e di voler approfondire tutte le diverse questioni attinenti ad un dato scibile, sia invece ridotto a poco più di una serie coordinata di note prese in scuola. Nell’insegnamento della fisica poi, questa veste dimessa, che per altre scienze può riuscire utile, diventa, quasi direi, necessaria. (...)”

(...) Si troverà pure qua e colà qualche nuovo concetto, qualche dimostrazione non comune, fatta solo nell’intento di riuscire più chiaro, e facile, tenendo più che altro alla razionalità della stessa, e valendomi della matematica solo nei casi di necessità, affin di escludere il non frequente equivoco che, alle volte, si tratti d’un esercizio algebrico e geometrico, e non di più.”<sup>109</sup>

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 occorreva. Sembrerà forse ancora soverchia nei 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>110</sup>

“Le cognizioni di matematica richieste sono tra le più elementari, cosicché da questo lato non può aversi difficoltà di sorta.”<sup>111</sup>

“Desidero fare un’altra considerazione, rivolta specialmente agli egregi Colleghi, che avendo fatto delle matematiche pure il loro studio principale [si ricordi che, a partire dal 1923, la riforma Gentile aveva unificato gli insegnamenti di Matematica e Fisica], vorrebbero ritrovare nella Fisica i concetti, il rigore, le definizioni e il linguaggio della matematica. Ora ciò non è possibile, né conveniente. 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 né sperimentale.

Di tutto ciò desidero che i Colleghi tengano conto nel giudicare questo libro; e desidero che tengano conto del fatto, che 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>112</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 ambizioso [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

---

<sup>109</sup> [22], Vol. I, Prefazione.

<sup>110</sup> [25], Vol. I, Prefazione.

<sup>111</sup> [32], Prefazione.

<sup>112</sup> [40], Vol. I, Prefazione.

giustificazione approfondita delle stesse e, soprattutto, senza fornire qualche ordine di grandezza che orienti lo studente relativamente alle caratteristiche quantitative del fenomeno in esame.

Esemplifichiamo il livello espositivo 2 con un passo tratto dal manuale di Battelli.

“§ 294 – **Sonometro**. – Lo studio sperimentale delle vibrazioni delle corde si fa con l’aiuto di un apparecchio detto *sonometro*, il quale consiste [seguono cinque righe di descrizione con figura] (...)

Mediante il sonometro si è trovato che *il numero delle vibrazioni compiute in un dato tempo da una corda è proporzionale direttamente alla radice quadrata del peso tensore, e inversamente alla lunghezza della corda, al suo raggio, ed alla radice quadrata della sua densità.*

Più semplicemente, il numero  $n$  delle vibrazioni per ogni secondo, relativo alla nota fondamentale, è dato dalla formula:

$$n = \frac{1}{2lr} \sqrt{\frac{Pg}{d\pi}}$$

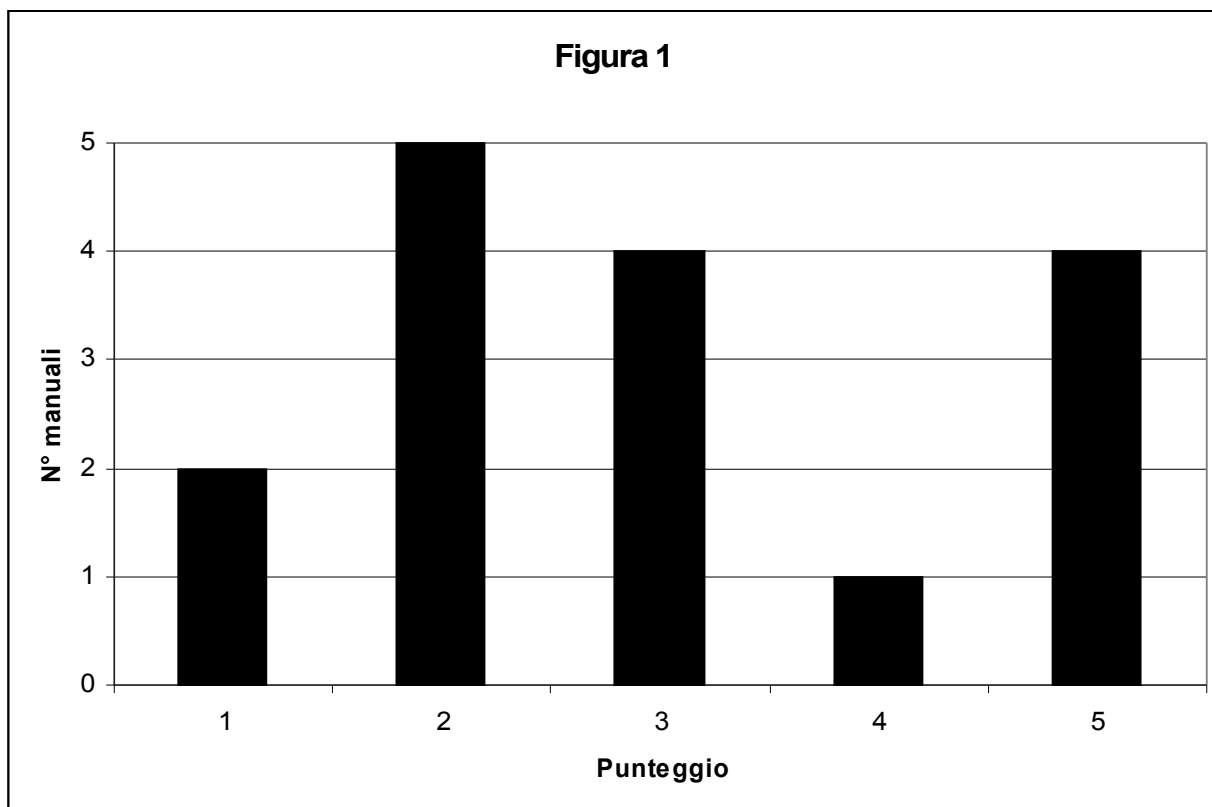
dove  $l$ ,  $r$ ,  $d$  sono la lunghezza, il raggio, e la densità della corda,  $P$  è il peso tensore,  $g$  l’accelerazione della gravità,  $\pi$  il rapporto della circonferenza al diametro.” (termine del paragrafo) <sup>113</sup>

Ne è emersa la valutazione riportata in Tabella 1, alla quale corrisponde il grafico della figura 1.

TABELLA 1

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

<sup>113</sup> [33], Vol. I, pagg. 246, 247.



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.

Già Roiti, 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 primo, doveva, suo malgrado, constatare che solo pochi gli avevano indirizzato qualche lode mentre, "molti altri" avevano trovato il suo "trattatelo" "troppo difficile".

In effetti Roiti 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 superiori italiane, rischia di venir considerato da molti un elegante esercizio di logica, mentre è ausilio poderoso di tutte le scienze fisiche e tecniche.”<sup>114</sup>

Concludiamo il paragrafo 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.

### **5.3 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

---

<sup>114</sup> [46], Prefazione.



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, così scriveva Enrico Persico.

“Perché questa ragazza [si tratta di una studentessa che sta sostenendo l'esame di Fisica 2], che non è stupida, ma che trova tanto difficile descrivere un condensatore, una volta messa sul binario delle formule corre come una locomotiva? Sono sicuro che era in buona fede quando, avendo scritto  $E = R i$ , sosteneva di conoscere la legge di Ohm, ma perché poi non ha saputo calcolare la corrente in quella tale lampadina? E perché non trovava nulla di strano nell'inverosimile risultato? [la studentessa aveva candidamente calcolato che in una lampadina elettrica passasse una corrente di 20000 A] E quello sgorbio informe che era stata la stentata risposta alla richiesta di disegnare un elettroscopio a foglie, era proprio dovuto a inesperienza nel disegno, come lei sosteneva, o a mancanza di qualsiasi immagine mentale dell'oggetto da disegnare? Il guaio è che questo sarà, sì, un caso estremo, ma la stessa malattia, in forma più o meno grave, è diffusissima in quasi tutti i nostri studenti universitari di Fisica e di Matematica e fisica. E' una malattia che ha diversi aspetti, così che è difficile designarla con una sola parola, ma che in sostanza denota tutto un atteggiamento errato e innaturale dell'allievo di fronte alla Fisica.

L'aspetto più evidente di questa malattia è 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>115</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*) nell'ambito della sola Elettrologia.

“Tenendo presente l'aureo principio di Lord Kelvin che “non si conosce bene un fenomeno se non quando si sa tradurlo in numeri”, si è corredata tutta la parte riguardante l'Elettrologia di esercizi numerici opportunamente scelti, i quali valgono, oltre che a chiarire e precisare le idee, a rendere gli allievi famigliari con i concetti quantitativi delle grandezze

---

<sup>115</sup> [47], pagg. 64, 65.

elettriche (ampère, volt, ohm, ecc.) la cui importanza è capitale nelle applicazioni che, della Elettrologia, si fa nella vita comune.”<sup>116</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  $Q = 1 \text{ coulomb}$  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  $Q = 1 \text{ coulomb} = 3 \cdot 10^9$  unità teoriche (§ 252) e  $V_1 - V_2 = 100 \text{ volt} = 100/300 = 1/3$  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

$$L = Q (V_1 - V_2) = 1 \text{ coulomb} \times 100 \text{ volt} = 100 \text{ joule} .”<sup>117</sup>$$

“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  $i = 2 \text{ ampère}$ .

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.

$$\phi = H S = 25.14 \times 10 = 251.4 \text{ maxwell} .”<sup>118</sup>$$

Prima di Vanni/Monti, solo Roiti e Palagi [24] riportano esempi numerici nei propri manuali. Nel primo dei due questi esempi sono in numero *limitatissimo* e vengono proposti senza alcuna evidenziazione grafica e senza alcuna sistematicità. Ecco un esempio:

“Possiamo dunque ritenere senza scrupoli che ciascun corpo abbia un peso indipendente dall'altezza, e quindi che, cadendo liberamente, cioè senz'incontrare la resistenza dell'aria, da pochi metri, concepisca un moto uniformemente accelerato. In questo caso l'accelerazione si suole indicare con la lettera  $g$ , e per essa si è trovato coll'esperienza all'incirca il valore di  $9^m,8$  nei nostri paesi (...): ciò significa che, se dopo un secondo di libera caduta, un corpo cessasse di venire attratto dalla terra, continuerebbe a muoversi per la prima legge (73) colla velocità costante di  $9^m,8$  al secondo.

Alla fine di  $2^s$  avrebbe la velocità di  $2 \times 9,8 = 19^m,6$  e in generale alla fine di  $t^s$  la velocità:

$$[7] \quad v = g t,$$

e lo spazio percorso in quel tempo sarebbe dato per la [4] del § 74, ove si faccia  $u = 0, f = g$ , da:

$$[8] \quad s = 1/2 g t^2,$$

la quale ci dice che nella libera caduta gli spazi sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli, e precisamente, partendo dalla quiete,

in secondi:	1	2	3	4	.....
metri percorsi:	4,9	4×4,9	9×4,9	16×4,9	.....

<sup>116</sup> [26], Prefazione.

<sup>117</sup> [26], Vol. II, pag. 226.

<sup>118</sup> [26], Vol. II, pag. 327.

Dalle due formole precedenti risulta come conseguenza l'altra, analoga alla [6] del § 74:

$$[9] \quad v = \sqrt{2gs} \quad \text{'' }^{119}$$

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>120</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. 19.* – Due mobili soggetti alla stessa accelerazione diretta dal secondo al primo, partono uno contro l'altro colla stessa velocità iniziale e sulla stessa retta. Dopo quanto tempo e a qual distanza dai punti di partenza s'incontreranno? (pag. 14)

*Probl. 50.* – Un mobile pesante è lasciato cadere da un'altezza di  $40^{\text{m}}$ , mentre nello stesso istante, dal punto infimo, un secondo mobile pesante è lanciato verticalmente dal basso verso l'alto. I due mobili si incontrano a metà altezza. Con quale velocità iniziale venne lanciato il secondo mobile? (pag. 74)

*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 formole del § 24 e ricordando che  $m = p/g$ ). (pag. 77)

*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>121</sup>

“ - 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)

- Una lente divergente di  $10 \text{ cm}$  di distanza focale, riceve un fascio cilindrico di raggi, di  $3 \text{ cm}$  di diam. A quale distanza dalla lente si deve collocare uno schermo, per osservarvi un cerchio di luce di  $30 \text{ cm}$  di diametro? (pag. 75)

- 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)

- Due sfere uguali  $A$  e  $B$  giacciono su un piano isolante; la distanza dei loro centri è di  $cm$   $30$ ;  $A$  è elettrizzata,  $B$  no. Si tocca  $A$  con una terza sfera  $C$  eguale ad esse, e con  $C$  si tocca poi  $B$ . In qual punto del segmento  $AB$  occorre collocare il centro di  $C$ , perché le azioni ripulsive di  $A$  e  $B$  su di essa si facciano equilibrio? (pag. 132).

<sup>119</sup> [21], Vol. I, pag. 58.

<sup>120</sup> [24], le pagine sono indicate al termine del testo di ciascun Problema.

<sup>121</sup> [40], Vol. II, le pagine sono indicate al termine del testo di ciascun Problema.

- 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  $3 \text{ mm}$  di spessore, per caricarla al potenziale di  $6000 \text{ V}$ ? (pag. 146)
- Si vuole ricoprire una lastra rettangolare di  $20 \times 10 \text{ cm}$ , con uno strato di argento di  $0,1 \text{ mm}$  di spessore; la corrente ha densità di  $2 \text{ amp}$  per  $\text{dm}^2$ . Per quanto tempo dovrà passare? (pag. 215)
- Calcolare l'intensità del campo di un rocchetto lungo  $20 \text{ cm}$ , con 5 strati di filo del diametro (compreso l'isolante) di  $0,8 \text{ mm}$  con la corrente di  $4 \text{ amp}$ . (pag. 233)
- A quale temperatura occorre riscaldare un filo di carbone del diametro di  $0,2 \text{ mm}$  lungo  $12 \text{ cm}$ , 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  $125 \text{ V}$ ,  $50 \text{ ~}$ , 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 volumetto di *Problemi di Fisica, con la risoluzione*, di G. Viale [28], 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>122</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 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 riportato nel volume *Problemi di Fisica della Scuola Normale* [48], edito nel 1984, anche il livello di queste prove scritte non fu particolarmente elevato fino al secondo dopoguerra.

A titolo esemplificativo riportiamo i testi delle prove proposte negli anni 1918, 1920, 1921, 1922.

"Anno 1918 (a questa prova partecipò Enrico Fermi)

---

<sup>122</sup> [28], Prefazione.

Una corrente elettrica costante circola in una bussola delle tangenti il cui avvolgimento è orientato nel piano del meridiano magnetico; si produce perciò una deviazione del breve ago posto al centro (segue figura dell'apparato).

Diametro del cerchio su cui sono avvolte le spire: 50,2 cm

Numero delle spire: 5

Deviazione dell'ago:  $35^\circ$

Componente orizzontale del campo magnetico (c g s): 0,2356

Si richiede di calcolare la misura dell'intensità della corrente in unità assolute (c g s).

Anno 1920.

Si deve, mediante una lente, proiettare l'immagine di un oggetto luminoso sopra uno schermo, distante da esso metri 3,20. Sono a disposizione tre lenti sottili aventi rispettivamente le distanze focali di cm 95, 80 e 45. Quali saranno utilizzabili e come?

Anno 1921

Una pila a f.e.m. costante fornisce la corrente a un voltmetro a solfato ramico, avente un anodo di rame e per catodo una medaglia che si vuol ramare su di una faccia.

Forza elettromotrice della pila 1,12 V

Resistenza interna 3,15  $\Omega$

Resistenza del circuito esterno 2,10  $\Omega$

Diametro della medaglia 6,0 cm

Si domanda quanto tempo sarà necessario per ottenere uno strato dello spessore di mm 0,1, ricordando che la carica portata da un grammo equivalente è di 96490 Coulomb, che il peso atomico del rame è 63,57, e che la sua densità è 8,83. (segue la figura del voltmetro)

Anno 1922

In una pentola di alluminio del peso di kg 0,512 sono contenuti kg 1,753 di acqua bollente; vi si gettano kg 0,112 di ghiaccio fondente e si agita con un grosso cucchiaino di ferro pesante kg 0,342 preso alla temperatura ambiente di  $15^\circ$ , mantenendo il tutto abbastanza ben riparato dalle perdite di calore per il breve tempo che dura l'operazione.

(segue figura del recipiente e degli oggetti che vi vengono introdotti)

Si domanda: quale sarà la temperatura finale comune a tutti questi corpi.

Calore specifico dell'acqua  $C = 1 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$

Calore specifico dell'alluminio  $C_{\text{Al}}: 0,217 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$

Calore specifico del ferro  $C_{\text{Fe}}: 0,113 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$

Calore di fusione del ghiaccio  $l: 79,7 \text{ cal/g}$  “

Un confronto con le attuali prove regionali delle Olimpiadi della Fisica consente di stabilire che, pur essendo rivolte a studenti di levatura intellettuale superiore alla 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 posto in evidenza in una “Istruzione” che compare al termine del programma di Fisica del Liceo Moderno (Regio Decreto del 1913):

“Contemporaneamente [allo svolgimento degli argomenti del programma] saranno proposti e risolti problemi riguardanti le varie parti della fisica e della chimica, tratti dalla considerazione di casi reali, dando così il modo ai giovani di apprezzare la portata delle varie teorie apprese.”

Ma, come si è detto, il Liceo Moderno fu cancellato solo dopo una decina d’anni di vita 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, già troppo limitato anche solo per lo 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.

#### **5.4 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 termologia. 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 1921 (che riproduce in termini pressoché identici quella proposta da Roiti 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 per il 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>123</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.

---

<sup>123</sup> [31], Vol. II, pag. 53.

Anche in questo caso saranno gli obiettivi del Liceo Moderno a tentare una inversione di rotta. Nelle “Istruzioni generali” che compaiono nel Regio Decreto 28 Settembre 1913 così si legge infatti:

L’insegnamento sarà essenzialmente sperimentale, nel senso che gli allievi dovranno essere messi in condizione di osservare direttamente gli oggetti ed i fenomeni, dei quali il professore li intrattiene. (...)

Rispetto ai programmi dei licei classici è una innovazione l’obbligo di esercitazioni pratiche tanto di fisica e di chimica, quanto di storia naturale. (...)

Necessità di orario rendono ristretto il tempo assegnato alle esercitazioni, ma si vedrà in seguito se ad esse potranno essere assegnate altre ore come facoltative. Intanto questo è un buon principio.

Ai professori di scienze sperimentali viene lasciata piena libertà intorno alla scelta delle esercitazioni, poiché queste devono essere un complemento dei corsi svolti da ciascun insegnante e sono di necessità subordinate ai mezzi disponibili. Va però tenuto presente che esse non devono consistere mai in misure di alta precisione, ma essere di regola osservazioni qualitative di fenomeni e, se quantitative, ristrette in modesti limiti di approssimazione, così da non richiedere né troppo tempo, né strumenti delicati.”

Come si è già detto in precedenza, il Liceo Moderno ebbe vita troppo breve per riuscire ad incidere su una tradizione didattica consolidata da troppo tempo e, d’altra parte, 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 comincia a pensare che la ricerca Fisica non debba essere solo di tipo sperimentale.

Una conferma indiretta di questa situazione 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* [49], 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>124</sup>

Nella Prefazione a questo volume così osserva Perucca.

“E’ 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.”

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 [50] nei Licei.

---

<sup>124</sup> [49], Presentazione dell’opera.



## 5.5 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>125</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>126</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 epoca 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

“... copiose note storiche; in modo che, se pur queste non costituiscono una storia della scienza, la quale, anche se breve, avrebbe nel volume ecceduto, il giovane più non debba ignorare lo svolgimento di una teoria, l’autore di uno strumento. S’intese così di soddisfare ai desideri espressi anche in recenti e pregevoli relazioni ministeriali.”<sup>127</sup>

A titolo di esempio riportiamo una di queste note, riferita alla formula della forza centripeta..

“(1) Data da HUYGENS, *De Motu et vi centrifuga*, 1703; le leggi che se ne deducono erano però già state indicate in *Horol. oscill.*, 1673. La prima indicazione sulla reazione centrifuga è dovuta a G. Benedetti (cfr. POGGENDORF, *Hist. de la phys.*, pag 75).”<sup>128</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 coinvolgerà 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 dei futuri insegnanti di Fisica delle Scuole Secondarie alle prove di Concorso, in particolare per quelli (ed erano la maggioranza) che provenivano dalla facoltà di Matematica.

---

<sup>125</sup> [19], Vol. I, Prefazione.

<sup>126</sup> [51], Prefazione, pag. 5.

<sup>127</sup> [25], Vol. I, Prefazione.

<sup>128</sup> [25], Vol. I, pag. 65.

## 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.

A) 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 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).

B) Assente fino alla metà degli anni Trenta qualunque riferimento alla Relatività 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.

C) 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”.

D) 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.

E) 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.

F) 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.

G) 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 modificheranno 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 fundamentalmente 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 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 non superano le cinquecento, seicento pagine per l'intero corso (si veda la Tabella 2), doveva rappresentare un ostacolo notevolmente inferiore a quello che oggi incontra uno studente liceale.

Tabella 2.

Numero di pagine totali di ciascun manuale e corrispondente numero di pagine "normalizzato" ad una pagina di circa 3500 battute, cioè ad una tipica pagina degli attuali manuali di Fisica per i Licei.

autori, anno di pubblicazione	pagine del manuale	pagine normalizzate
Cantoni [18] 1871	996	682
Roiti [20] 1880	973	632
Bonmassari [21] 1890	722	459
Invrea [22] 1900	734	609
Funaro/Pitoni[24] 1901/4	774	688
Vanni/Monti [25] 1906	684	503
Cintolesi [26] 1908	389	329
Amaduzzi [30] 1921	700	708
Murani [31] 1921	994	500
Battelli [32] 1922	652	457
Murani [34] 1925	1895	1542
Corbino [35] 1925	404	300
Amerio [36] 1925	559	473
Fermi [37] 1929	481	412
Palatini/Serini [38] 1933	803	580
Federico [39] 1937/39	606	580

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:

- 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 già occasione di dire in un precedente lavoro [52], 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>129</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 [52] 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>129</sup> I quadri orario recentemente proposti nell'ambito della riforma della Scuola Superiore, che dovrebbe trovare attuazione a partire dal 2010, e la mancanza di una istituzionalizzazione dell'attività di laboratorio per l'insegnamento delle materie scientifiche in ambito liceale ne sono una chiara conferma!

## Ringraziamenti

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.

## Bibliografia

- [1] Marazzini Paolantonio, *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, pagg. 193-331.
- [2] Ragazzini Dario, *Storia della Scuola Italiana, Linee generali e problemi di ricerca*, Le Monnier, 1983.
- [3] Tonelli Aldo, *L'istruzione Tecnica e Professionale di stato nelle strutture e nei programmi da Casati ai giorni nostri*, Giuffrè Editore, 1964.
- [4] Zumino Pier Giorgio, Musso Stefano, *Scuola e Istruzione*, in *Guida all'Italia contemporanea*, Vol. III, Garzanti, 1998.
- [5] Pagella M., *Storia della Scuola*, Cappelli, Bologna, 1980.
- [6] Scotti di Luzio Adolfo, *Il liceo classico*, Il Mulino, 1999.
- [7] Bertoni Jovine Dina, *La scuola italiana dal 1870 ai giorni nostri*, in particolare il Cap. II: "Parabola dell'idealismo".
- [8] Gentile Giovanni, *La riforma della scuola in Italia*, a cura di Hervé A. Cavallera, Casa Editrice Le Lettere, Firenze, 1989.
- [9] Gentile Giovanni, *La nuova scuola media*, Vallecchi editore, 1925.
- [10] Volpicelli Luigi, *Tra la scuola d'oggi e quella di domani*, Paravia, 1935, pagg. 52, 53.
- [11] Giacardi Livia, a cura di, *Da Casati a Gentile, momenti di storia dell'insegnamento della matematica in Italia*, Agorà publishing, 2006.
- [12] Vita Vincenzo, *I programmi di matematica per le scuole secondarie dall'unità d'Italia al 1986*, Pitagora Editrice, Bologna, 1986.
- [13] Majorana Quirino, Sull'insegnamento della Fisica in Italia, *Il nuovo Cimento*, 1934, Vol.13.
- [14] Castagnoli Carlo, Discorso del Prof. Carlo Castagnoli dell'Università di Torino, *Museoscienza*, 1965, n° 2, pagg. 22 – 25.
- [15] Moratelli Giambattista, *Corso elementare di Fisica, ad uso delle Università e Licei del Regno d'Italia*, Sonzogno, Milano, 1805; Vol. I, pagg. 355; Vol. II, pagg. 308; Vol. III, pag. 261 (ITC)
- [16] Belli Giuseppe, *Corso elementare di Fisica Sperimentale*, Società Tipografica de' classici italiani; Vol. I (1830), pagg. 235; Vol. II (1831), pagg. 595; Vol. III (1838), pagg. 785 (DFP, FS)
- [17] Matteucci Carlo, *lezioni di Fisica*, Stamperia Pieraccini, Pisa , 1850, Quarta Edizione ampliata di nuove lezioni, Vol. unico, pagg. 544 (DFP, FS)
- [18] Ambrosoli Giuseppe, *Prime nozioni di Fisica*, Vallardi editore, 1854, Vol. I, pagg. 592; Vol. II, pagg. 596 (ITC)
- [19] Cantoni Giovanni, *Elementi di Fisica ad uso dei corsi secondari*, Ed. Vallardi, Milano, 1871 (data non indicata ma probabile); Volume unico di pagg. 966 (LF)
- [20] Palmieri Luigi, *Lezioni di Fisica sperimentale e di Fisica terrestre*, Editore Giovanni Novene, (1878), sesta edizione, Vol. I, pagg. 467, Vol. II, pagg. 566 (ITC)
- [21] Ròiti Antonio, *Elementi di Fisica, libro di testo per i Licei*, Le Monnier, Firenze, Vol. I (1880), pagg. 244; Vol. II (1880), pagg.176; Vol. III (1881), pagg. 197; Vol. IV (1883), pagg. 356 (LF)

- [22] Bonmassari Enrico, *Gli elementi della Fisica*, Ed. Giovanni Fabbri, 1890; Vol. I, pagg. 307; Vol. II, pagg. 415 (LP)
- [23] Invrea Fabio, *Elementi di fisica*, Ed. Unione Tipografico Editrice, Torino, 1900, Vol. I (*Meccanica – Calore*), pagg. 344, Vol. II (*Magnetismo ed Elettività, Ottica*), pagg. 390 (1901) (DFP, FS)
- [24] Palagi Ferdinando, *Nozioni elementari di Meccanica, Acustica e Cosmografia, per la Classe II dei Licei*, Ed. Loescher, 1903, terza edizione, pagg. 253 (LF)
- [25] Funaro A., Pitoni E., *Corso di Fisica e Chimica, ad uso dei Licei, secondo i programmi governativi*, Ed. Raffaello Giusti, Livorno, Vol. I (1904), pagg. 122; Vol. II (1901), pagg. 262; Vol. III (1904), pagg. 390 (LF)
- [26] Vanni G., 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 aeriformi, Acustica e Cosmografia*), pagg. 240; Vol. II (*Termologia, Meteorologia, Ottica, Elettività e Magnetismo*), pagg. 444 (LF)
- [27] Cintolesi Filippo, *Elementi di Fisica, ad uso delle scuole secondarie*, Ed. Raffaele Giusti, Livorno, 1908, Volume unico, pagg. 389 (il volume è indirizzato in modo specifico al terzo anno degli istituti tecnici, indirizzo Fisico-Matematico) (LF)
- [28] Viale G., *Problemi di Fisica, con risoluzione*, Ed. Raffaello Giusti, Livorno, 1908, pagg. 140, (LF)
- [29] Amaduzzi Lavoro, *Nozioni di Fisica (secondo il programma per la seconda classe normale)*, Ed. Zanichelli, Bologna, 1912, pagg. 422 (DFP, FS)
- [30] Dessau Bernardo, *Manuale di fisica, ad uso delle scuole secondarie e superiori*, Società editrice libraria, Milano, Vol. I (*Meccanica*) (1912), pagg. 500; Vol. II (1915), pagg. 612; Vol. III (1918), pagg. 760 (PM)
- [31] Amaduzzi Lavoro, *Elementi di Fisica, ad uso dei Licei e degli Istituti tecnici*, Zanichelli, Bologna, 1921, Vol. I (*Meccanica e Cosmografia*), pagg. 259; Vol. II (*Termologia*), pagg. 107; Vol. III (*Acustica e Ottica*), pagg. 159; Vol. IV (*Elettività, Magnetismo, Meteorologia*), pagg. 175 (LF)
- [32] Murani Oreste, *Fisica*, Ed. Hopli, Milano, undicesima edizione, 1921, pagg. 991, (LVV)
- [33] Battelli Angelo, *Corso di Fisica, per i Licei*, Ed. Zanichelli, Bologna, 1922, Vol. I (*Meccanica dei solidi, dei liquidi e dei gas, Cosmografia, Acustica*), pagg. 262; Vol. II (*Calore, Ottica, Elettività e Magnetismo*), pagg. 390 (LF)
- [34] Del Bue Arnaldo, *Lezioni di Fisica generale, per i Licei*, Ed. A. Signorelli, Roma, 1924, Vol. I, pagg. 288; manca il volume II (ITC)
- [35] Murani Oreste, *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*), pagg. 808; Vol. II (*Ottica ed Elettività*), pagg. 1087 (LVV)
- [36] Corbino Orso Mario, *Nozioni di Fisica per le scuole secondarie*, Ed. Remo Sandron, 1925 (?); quinta edizione; Vol. I (*Meccanica – Acustica – Cosmografia*), pagg. 144; Vol. II (*Calore – Ottica – Elettività e Magnetismo*), pagg. 260 (DFP, FS)
- [37] Amerio Alessandro, *Elementi di Fisica, ad uso dei Licei scientifici, conforme ai programmi governativi [del 1923]*, Ed. Principato, 1925 (?), Vol. I, pagg. 280; Vol. II, pagg. 279 (CG)
- [38] Fermi Enrico, *Fisica, ad uso dei Licei*, Ed. Zanichelli, Bologna, 1929, Vol. I, *Meccanica, Acustica, Calore*, pagg. 238; Vol. II, *Ottica, Elettività*, pagg. 243 (DFP, FS)
- [39] Palatini A., Serini R., *Elementi di Fisica, per i Licei Scientifici*, Ed. A. Mondatori, Milano, 1933; Vol. I, *Meccanica generale*, pagg. 207; Vol. II, *Meccanica dei fluidi, Astronomia, Acustica, Termologia*, pagg. 272; Vol. III, *Ottica, Elettrologia*, pagg. 324 (DFP, FS)



- [40] Federico Rosario, *Elementi di Fisica ad uso dei licei classici e di altre scuole medie superiori*, Lattes Editori, Torino, Vol. I, Meccanica, Termologia, 1937, Terza edizione, pagg. 272; Vol. II, Acustica, Ottica, Eletticità e magnetismo, 1939, Quinta edizione, pagg. 334. (I° volume, Biblioteca civica di Cremona, II° volume, dono della famiglia Giulotto)
- [41] Marazzini Paolantonio, *Nuove radiazioni, quanti e relatività in Italia, 1896-1925*, in Percorsi della Fisica, a cura di G. Giuliani, La Goliardica Pavese, 1996
- [42] Murani Oreste, *Luce e raggi Röntgen*, Milano, 1898
- [43] Battelli A, Stefanini A., *Esposizione critica della teoria della dissociazione elettrolitica*, Lucca, 1899
- [44] Roiti Antonio, *Elementi di Fisica 2*, Firenze, 1903
- [45] Righi Augusto, *La moderna teoria dei fenomeni fisici (radioattività, ioni, elettroni)*, Bologna, 1904
- [46] Perucca Eligio *Fisica generale e sperimentale*, Editrice UTET, 1932
- [47] Persico Enrico, Che cos'è che non va?, *Giornale di Fisica*, 1957
- [48] Bassani F., Foà L., Pegoraro F., *Problemi di Fisica della Scuola Normale*, Ed. Zanichelli, 1984
- [49] Perucca Eligio, *Guida pratica per esperienze didattiche di Fisica sperimentale*, Zanichelli, Bologna, 1937
- [50] PSSC, I edizione italiana, Zanichelli, Bologna, 1963
- [51] Perucca Eligio, *Fisica generale e sperimentale per l'Università*, 1942
- [52] Marazzini P., Riflessioni su alcuni obiettivi dell'insegnamento della Fisica nella Scuola Secondaria Superiore italiana, *Giornale di Fisica*, Aprile – Giugno 2008, pagg. 59-71