

L'insegnamento della fisica nelle scuole secondarie di secondo grado: dalla tradizione all'innovazione

*Presentazione del IV volume dei Quaderni
dell'APAV*

Mario Innocenzo Mandrone *

*V. Presidente APAV- V. Presidente Mathesis -sez. Sannio-Irpinia
almavit@libero.it; mandronemarioinnocenzo@gmail.com



DOI : 10.53159 /PdM(IV).v4n2.078

Sunto: *La collana "I Quaderni dell'APAV" si arricchisce di una nuova pubblicazione: L'insegnamento della Fisica nelle scuole secondarie di secondo grado: dalla tradizione all'innovazione. Essa raccoglie il materiale didattico e le relazioni tenute dai docenti durante il corso di formazione che si è svolto presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II nel 2019 ed affronta il tema dell'insegnamento della Fisica ripercorrendo ed analizzando le continue innovazioni che le riforme hanno prodotto sulla metodologia e sui contenuti di questa disciplina, alla luce delle nuove conoscenze scientifiche in un quadro storico e filosofico adeguato. Ampio spazio, inoltre, è stato dedicato alla genesi dei concetti fondamentali e delle teorie, ai protagonisti del progresso scientifico e, in generale, alla storia e all'evoluzione della fisica. L'impostazione*

metodologica proposta è indubbiamente coerente con i più attuali indirizzi pedagogici e didattici e mette in risalto la indubbia valenza culturale e formativa delle discipline scientifiche in generale e della fisica in particolare.

Parole Chiave: *Meccanica quantistica, Teoria della Relatività, Fisica atomica, Supersimmetria.*

Abstract: *The series "I Quaderni dell' APAV" is enriched with a new publication: The teaching of Physics in secondary schools: from tradition to innovation. It collects the teaching material and the reports held by the teachers during the training course that took place at the Department of Architecture of the University of Naples Federico II, in 2019 and proposes the teaching of Physics by retracing and analyzing the continuous innovations of the reforms on methodology and contents of this discipline from the historical and epistemological point of view. The genesis of fundamental concepts and theories, the protagonists of scientific progress and, in general, the history and evolution of physics is very well cared for.*

The methodological approach is certainly consistent with the most important pedagogical and didactic itineraries and emphasizes the cultural and educational value of physics in particular, and of scientific disciplines in general.

Keywords: *Quantum Mechanics, Theory of Relativity, Atomic Physics, Supersymmetry.*

1 - Introduzione

Il corso di formazione "L'insegnamento della Fisica nelle scuole secondarie di secondo grado: dalla tradizione all'innovazione" rivolto ai docenti di matematica e fisica, si è svolto presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II, nei giorni 1-8-15-22 Marzo; 5-12 Aprile; 3-10 Maggio 2019. La direzione del corso è stata affidata alla prof. Renata Santarossa, membro del Consiglio Direttivo dell'APAV. Il tema non è nuovo, ma è un tema che rientra in quella che è la preoccupazione principale dei sistemi scolastici

di tutto il mondo. L'interrogativo ricorrente nei progetti di ricerca e nei convegni che si celebrano a livello nazionale e internazionale, difatti, riguarda la presentazione delle tematiche affrontate dalla fisica del '900 e le sue interrelazioni con la matematica. È una questione che attiene, quindi, alla cultura e alla gestione dei saperi. Il corso realizzato dall'APAV - Accademia di Scienze, lettere, arti e tecnologie, in collaborazione con la sezione Mathesis "A. Morelli" di Napoli, ha affrontato tematiche che vanno dalla fisica classica alla fisica moderna e contemporanea. Il programma prevede relazioni di docenti, attività laboratoriali, occasioni in cui i docenti possano riflettere e confrontarsi sulla effettiva attività didattica realizzata in classe, al fine di rafforzare e migliorare insegnamento ed esiti dell'apprendimento. L'itinerario didattico proposto si sviluppa trattando il tema dell'insegnamento della fisica nelle scuole secondarie di secondo grado e percorrendo le continue innovazioni che le riforme hanno prodotto sui metodi e sui contenuti di questa disciplina. Il testo che presentiamo si pone, quindi, due obiettivi fondamentali: a) Ridare valore culturale alla fisica dedicando un'attenzione particolare alle grandi sintesi teoriche; b) stimolare la naturale curiosità degli studenti e sviluppare in loro, progressivamente, la capacità di osservare e descrivere il mondo fisico con strumenti interpretativi, anche matematici, sempre più generali e raffinati. Ciò vuol dire dedicare, nell'ultimo anno, molto spazio alla teoria della relatività, alla meccanica quantistica, allo studio dell'atomo e delle particelle elementari, all'astrofisica e alla cosmologia. Sarà, poi, compito del docente elaborare, attraverso scelte anche coraggiose, percorsi didattici innovativi ma coerenti. Il

testo contiene anche una raccolta dei temi più significativi di Fisica assegnati all'esame di Stato P.N.I (Piano Nazionale per l'Introduzione dell'Informatica) e Progetto Brocca, risolti e commentati in ogni singola parte, nonché le simulazione di Fisica e le prove multidisciplinari di Matematica e Fisica proposte dal MIUR, in accordo con quanto previsto dal Decreto MIUR del 18/01/2019 che prevede, per l'esame conclusivo del corso di studi nei Licei Scientifici, una prova mista di Matematica e Fisica. Si tratta di una verità assoluta visto che la prova in questione ha sempre proposto la sola matematica a partire dal 1923 e fino all'anno scolastico 2017/18.

Per quanto riguarda la formazione in servizio degli insegnanti di fisica (e non solo), è auspicabile una sempre più forte e aggiornata sinergia tra Scuola e Università anche in considerazione del fatto che il mondo della ricerca, della scienza, del lavoro e la stessa comunità scolastica hanno da sempre sollecitato continue revisioni dei programmi e degli ordinamenti della scuola secondaria superiore in relazione agli sviluppi culturali emergenti. Sono stati istituiti, nel tempo, nell'ambito dei piani nazionali d'aggiornamento, seminari, corsi per l'aggiornamento dei docenti di fisica con l'obiettivo di favorire l'acquisizione di conoscenze più complete relativamente ai contenuti di fisica moderna, da approfondire negli aspetti didattici, e di abilità operative riguardo all'attività nei laboratori di Fisica. L'insegnamento della fisica, cristallizzato da decenni di tradizione nella scelta dei contenuti e nei metodi, fu rivitalizzato dalla introduzione della prova scritta obbligatoria negli Istituti che sperimentavano il programma di fisica del PNI con almeno tre

ore settimanali di lezione. Nella prova scritta erano previsti non solo problemi ed esercizi, ma anche saggi brevi, test e relazioni di laboratorio e prevedevano, nel triennio, una massiccia introduzione della fisica moderna. Le Indicazioni Nazionali si sono fatte carico di tutto ciò. Esse rappresentano quei contenuti fondanti e imprescindibili intorno ai quali viene individuato un patrimonio condiviso sia a livello nazionale che europeo. Nelle Indicazioni Nazionali, alla fisica viene riconosciuto un ruolo essenziale in quanto strumento per far comprendere agli studenti le metodologie dell'indagine scientifica e le forti connessioni con il pensiero filosofico. Inoltre, non si sottovaluta il forte valore formativo della pratica sperimentale quale modalità per investigare i fenomeni naturali. È doveroso, però, a questo punto, ricordare che l'insegnamento della Fisica in Italia (e delle scienze in generale) ha avuto un incerto destino: centrale per il ruolo riconosciuto al sapere scientifico e tecnologico nelle società moderne, ma accessorio rispetto ai valori legati alla formazione culturale di cittadini consapevoli e responsabili. A tutt'oggi, nonostante le tante dichiarazioni di principio, permane la frattura, la separazione implicita tra l'istruzione scientifica e tutte quelle abilità trasversali che concorrono alla formazione dello studente. Indubbiamente una delle principali cause di tale disaffezione è da ricercarsi in alcune dinamiche in azione ancora oggi nella scuola reale compatibili, purtroppo, anche col disegno della scuola futura. Per questo motivo, a mio avviso, sebbene i contenuti siano stati periodicamente modernizzati non hanno prodotto alcun rinnovamento, nessun impatto realmente significativo. L'apprendimento scientifico, pertanto, ancora oggi non gode di

buona salute e in nessun paese al mondo è ritenuto adeguato alle esigenze della società moderna. Il problema è ovviamente complesso, molto più complesso di quanto appaia dal dibattito tra gli esperti.

2 - Le relazioni del corso di formazione

Il corso si apre con la relazione del prof. F. Casolaro dal titolo: Quale geometria per lo spazio fisico? Dal vettore nello spazio piatto al tensore nello spazio curvo secondo il modello di Minkovski. Il lavoro propone un modello di geometria analitica che, partendo dalla teoria dei vettori nell'ambito dello studio della Fisica, possa giungere alla presentazione di equazioni lineari sulla superficie sferica analoghe a quelle che rappresentano la retta nel piano ed il piano nello spazio euclideo (muniti di riferimento cartesiano), rispettivamente, come iperpiani di S_2 e di S_3 . L'autore, dopo una breve analisi storica sul problema della curvatura dell'Universo, fa riferimento allo sviluppo della geometria ellittica (indirizzo metrico-differenziale) di Riemann (1826-1866) di cui la geometria sferica è un caso particolare. Lo stesso propone, pertanto, un percorso didattico che, attraverso le interrelazioni tra Matematica e Fisica, consenta di introdurre nella Scuola Secondaria Superiore concetti che sono oggetto di studio nei corsi universitari di Geometria.

La relazione presentata dai prof. R. Prospero e F. Casolaro, invece, è un invito a riflettere principalmente sulla didattica della Fisica nelle scuole secondarie di secondo grado, in particolare per quanto concerne il primo biennio, in cui si affrontano argomenti di fisica classica che richiedono l'utilizzo

di strumenti matematici non ancora in possesso degli alunni. Nel primo biennio si affronta, difatti, lo studio della statica (anche dei fluidi), della cinematica e della dinamica, giungendo a parlare di leggi di conservazione ed introducendo la quantità di moto, il lavoro e l'energia, lo studio dell'ottica geometrica e dei fenomeni termici. Anche a causa dell'inadeguatezza degli strumenti matematici in possesso degli studenti del biennio, lo studio della fisica va riportato entro due binari fondamentali, che sono:

1. Un percorso coerente che si snoda attraverso gli argomenti della disciplina riuscendo a mostrare l'evoluzione storica e scientifica dei suoi concetti fondanti;
2. Un livello dei contenuti che sia coerente con gli strumenti matematici già in possesso dello studente oppure con quelli che vengono gradualmente acquisiti nel corso parallelo di matematica.

Per tale motivo, secondo gli autori (e non solo) nel primo biennio occorre dare alla disciplina un taglio di tipo esperienziale e pratico, che, gradualmente, potrà convivere con un approccio più formale. Il lavoro contiene alcune proposte su come poter introdurre nei corsi di Matematica, in modo pratico e intuitivo, concetti e strumenti relativi alla Geometria Euclidea nel piano e nello spazio, propedeutici allo studio della Fisica. Tra l'altro, per quanto concerne la didattica della fisica nel primo biennio, le Indicazioni Nazionali prevedono un approccio sperimentale alla disciplina per iniziare a costruire il linguaggio della fisica classica, semplificando e modellizzando situazioni reali, risolvendo

consapevolmente problemi e rielaborando il percorso in maniera critica, proponendo relazioni di sintesi e semplici modellizzazioni. L'impianto teorico e la formalizzazione sono demandate, ovviamente, al secondo biennio.

Il prof. Andrea Lanzillo, docente di Matematica e Fisica presso il Liceo Scientifico Statale "A.M. De Carlo" - Giugliano (Napoli), analizza i cambiamenti che si sono registrati nei contenuti e nella didattica della fisica attraverso la risoluzione delle simulazioni della prova di Matematica e Fisica proposte dal Miur, nonché dei quesiti di Matematica e Fisica assegnati per la prova finale dell'esame di stato nell'anno scolastico 2018-19. I temi proposti per l'esame di stato e risolti dal prof. Lanzillo bene si prestano dal punto di vista didattico a stimolare le strutture cognitive degli studenti in modo da metterli in grado di elaborare in maniera corretta e significativa le richieste dei problemi presenti nei temi scelti, fornendo anche indicazioni metodologiche risolutive e dando senso e applicazione alle interrelazioni tra tutti i contenuti studiati. I vari esercizi e problemi proposti mirano, in particolare, a verificare la comprensione e la padronanza del metodo scientifico, la capacità di argomentare correttamente, di formulare ipotesi esplicative attraverso modelli o analogie o leggi, di formalizzare situazioni problematiche, interpretare e/o elaborare i dati proposti e/o ricavati, anche di natura sperimentale, verificandone la pertinenza al modello scelto, rappresentare e collegare i dati adoperando i necessari codici grafico-simbolici, descrivere il processo risolutivo adottato, la strategia risolutiva, comunicare i risultati ottenuti valutandone la coerenza con la situazione problematica proposta.

Nel lavoro presentato dal prof. Mandrone si discute dell'evoluzione dell'insegnamento della fisica in Italia prendendo spunto dai temi più significativi proposti agli esami di stato di liceo scientifico sperimentale P.N.I e Progetto Brocca. I problemi presentati sono stati risolti adottando le strategie del "Problem Solving" che, in sostanza, suddividono la risoluzione di un problema in tre parti: 1. Analisi del testo; 2. Strategia risolutiva ovvero a) ricerca delle variabili da trattare analiticamente; b. ricerca del modello matematico atto alla risoluzione; 3. Analisi dei risultati. L'applicazione del secondo punto, cioè la ricerca di un modello matematico per un sistema che evolve nel tempo, richiede una certa abilità concettuale. Un modello matematico è: a) la rappresentazione di un fenomeno; b) tale rappresentazione non è descrittiva o discorsiva, ma formale, espressa cioè in linguaggio matematico; c) non esiste una via diretta dalla realtà alla matematica. In altri termini il fenomeno specifico studiato non determina la sua rappresentazione matematica. Quindi, per modello matematico deve intendersi la rappresentazione formale di idee e conoscenze relative ad un fenomeno.

Questa definizione comprende in sé sia quanto affermato dalla scuola positivista di Copenaghen (N. Bohr), sia dalla scuola realista (A. Einstein).

Durante l'attività laboratoriale sono stati proposti e risolti, a cura del prof. Mandrone, alcuni temi di Fisica, tra i più significati assegnati all'Esame di Stato nei Licei Scientifici sperimentali-Progetto Brocca, quali : 1) Esame di Stato di Liceo Scientifico Sperimentale- Anno 1983-Tema n° 3; 2) Prova scritta di Fisica-Esame di Stato-Liceo Scientifico Sperimentale- Anno 1984-Tema n°1; 3) Esame di Stato di Liceo Scientifico-

Indirizzo Scientifico-Tecnologico Progetto Brocca-Anno 1999 ;
4) Esame di Stato- Liceo Scientifico-Corso Sperimentale-Anno
2000-Progetto Brocca; 5) Esame di Stato di Liceo Scientifico-
Tecnologico-Anno 2010- Corso Sperimentale- Progetto Brocca;
6) Esame di Stato di Liceo Scientifico-Tecnologico-Anno 2014-
Corso Sperimentale- Progetto Brocca. I problemi affrontati
vertono sulle tematiche di seguito specificate.

1. Esame di Stato di Liceo Scientifico Sperimentale- Anno
1983-Tema n° 3

Il problema riguarda il moto di particelle cariche in un campo magnetico uniforme e le possibili applicazioni in ambito scientifico e tecnologico. Si chiede, inoltre, di descrivere le caratteristiche fondamentali delle macchine acceleratrici di particelle. I primi acceleratori di particelle risalgono agli anni 1920/30 e furono realizzati per studiare i costituenti microscopici della materia. I metodi per accelerare particelle sono basati sull'uso congiunto di campi elettrici e magnetici. I primi forniscono energia alle particelle cariche accelerandole, mentre i secondi servono eventualmente a curvarne la traiettoria sfruttando la forza di Lorentz (ad es. negli acceleratori circolari: ciclotrone e sincrotrone) o a correggere dispersioni spaziali e di impulso dei fasci accelerati.

2. Prova scritta di Fisica-Esame di Stato-Liceo Scientifico
Sperimentale- Anno 1984-Tema n°1

Il tema proposto rientra nell'ambito della analisi dei circuiti in corrente alternata. In particolare si chiede di esporre la teoria dei circuiti R-L-C, contenenti resistenza, induttanza e

capacità in serie, in corrente alternata. Le richieste del problema non presentano di per sé difficoltà, ma sono relative ad un argomento- i circuiti R-L-C con alimentazione in alternata- che raramente viene affrontato in un corso di Fisica nei Licei Scientifici. Si tratta, infatti, di un argomento alquanto specialistico.

3. Esame di Stato di Liceo Scientifico- Indirizzo Scientifico-Tecnologico Progetto Brocca-Anno 1999

Si chiede al candidato di determinare il rapporto e/m tra carica e massa di un elettrone in cui gli elettroni sono emessi per effetto termoelettronico (noto anche come effetto termoionico). Successivamente si chiede di descrivere e spiegare l'effetto termoelettronico, di determinare la traiettoria di un elettrone in moto con velocità v in un campo di induzione magnetica, di ricavare e commentare la formula che permette di calcolare il raggio della traiettoria in funzione della velocità dell'elettrone e dell'induzione magnetica stessa.

4. Esame di Stato- Liceo Scientifico-Corso Sperimentale-Anno 2000- Progetto Brocca

Il tema proposto vuole che il candidato affronti la discussione sulla meccanica ondulatoria di Schrodinger, sulla dualità onda-corpuscolo, che rifletta e discuta dell'effetto fotoelettrico spiegato da Einstein nel 1905 in base all'ipotesi dei quanti di luce, già avanzata in altra forma da Planck cinque anni prima a proposito del problema del corpo nero e su alcune applicazioni per la cui soluzione si richiede la conoscenza del principio di indeterminazione di Heisenberg (1901-1976).

5. Esame di Stato di Liceo Scientifico-Tecnologico-Anno 2010- Corso Sperimentale- Progetto Brocca

Nel tema proposto si invita il candidato a “prestare particolare attenzione al corretto uso della terminologia scientifica, alle cifre significative e alle unità di misura nella presentazione dei risultati numerici.” Successivamente si chiede di descrivere l’interpretazione ondulatoria del comportamento dell’elettrone, secondo l’ipotesi di Louis De Broglie; di spiegare i concetti fondamentali della meccanica ondulatoria, soffermandosi in particolare sull’interpretazione probabilistica della funzione d’onda e sul principio di indeterminazione di Heisemberg.

6. Esame di Stato di Liceo Scientifico-Tecnologico-Anno 2014- Corso Sperimentale- Progetto Brocca

Il candidato è invitato a descrivere l’effetto Compton ed analizzare le equazioni che lo caratterizzano, ad esporre il concetto di lunghezza d’onda di Compton soffermandosi in particolare sul motivo per cui l’effetto in esame è considerato una delle più importanti prove sperimentali dell’interpretazione quantistica delle radiazioni elettromagnetiche. Si chiede, infine, di esporre cosa si intende per aspetto corpuscolare delle radiazioni elettromagnetiche.

Per ogni problema risolto, nella discussione preliminare dei temi affrontati viene riportata una tabella delle leggi fondamentali afferenti allo specifico problema con l’indicazione di quelle leggi che, con maggiore probabilità, ad una analisi preventiva del testo, appaiono come quelle che permetteranno la soluzione del problema. Naturalmente l’approccio indicato per la soluzione dei temi vuole essere una

proposta di metodo, non unica ma un esempio di “come procedere”. I problemi si concludono con considerazioni di ordine generale sia relative a possibili campi di applicazione, sia relative a modi alternativi di affrontare la soluzione dello stesso problema. Infine, nella discussione teorica dei problemi proposti si è sempre focalizzata l’attenzione su alcuni obiettivi irrinunciabili a cui l’insegnamento della Fisica deve tendere, che sono:

1. riconoscere l’ambito di validità delle leggi scientifiche;
2. definire operativamente le grandezze fisiche;
3. analizzare fenomeni individuando le variabili che li caratterizzano;
4. conoscere, scegliere e gestire strumenti matematici adeguati e interpretarne il significato fisico;
5. utilizzare il linguaggio specifico della disciplina;
6. comunicare in modo chiaro e sintetico le procedure seguite nelle proprie indagini, i risultati raggiunti e il loro significato;

Per quanto riguarda gli aspetti metodologici, l’impostazione proposta, sia nei temi della versione PNI che in quelli del Progetto Brocca, è certamente condivisibile non solo perché coerente con i più attuali indirizzi pedagogici e didattici ma anche perché mette in risalto la indubbia valenza culturale e formativa delle discipline scientifiche in generale e della fisica in particolare.

Il prof. Ferdinando Di Martino del Dipartimento di Architettura dell’Università degli Studi di Napoli Federico II ha proposto riflessioni ed approfondimenti sulla storia della Meccanica Quantistica e della Teoria della Relatività. In

questo studio sono analizzate le onde gravitazionali e le recenti prove sperimentali della loro esistenza. E' inoltre compiuta una breve trattazione dei processi evolutivi stellari che danno luogo alla formazione di oggetti massicci quali stelle di neutroni e buchi neri e sono analizzati i rilevatori interferometrici di onde gravitazionali. La scoperta dei fenomeni quantistici e la loro rappresentazione nel quadro di una teoria sufficientemente completa e coerente, fa parte della visione scientifica da così lungo tempo e con così tante applicazioni pratiche da essere da tutti ammessa la necessità di una sua adeguata presentazione agli alunni della scuola secondaria di secondo grado. Il secondo intervento del prof. Di Martino è focalizzato sull'analisi delle motivazioni che hanno condotto alla nascita nel ventesimo secolo della Meccanica Quantistica con la produzione di modelli sempre più complessi dell'atomo di idrogeno, fino ai modelli di Bohr e di Bohr-Sommerfeld. Vengono, inoltre, esplorati i concetti base della moderna meccanica quantistica con cenni a scoperte e teorie recenti, quali il bosone di Higgs e la teoria delle stringhe. L'intervento del prof. Di Martino si chiude con considerazioni e riflessioni sulla relatività ristretta e cenni di relatività generale. In tale proposta vengono esplorate le principali problematiche che hanno condotto alla nascita della relatività ristretta e le conseguenze fisiche della teoria. Inoltre è descritta una introduzione alla teoria della Relatività Generale e sono analizzate le sue conseguenze sullo studio dei modelli di universo. L'obiettivo è quello di:

1. riconoscere i limiti della fisica classica nello spiegare alcuni particolari effetti (radiazione di corpo nero, effetto fotoelettrico, effetto Compton);

2. riconoscere il dualismo onda-corpuscolo in alcuni specifici fenomeni (diffrazione degli elettroni e dei neutroni, esperienza di Janossy-Naray), acquisire familiarità con le proprietà ondulatorie e corpuscolari dei fotoni e capire che tutte le particelle in moto hanno proprietà ondulatorie (onde di de Broglie).
3. Desumere da alcuni esperimenti (diffrazione di un fascio di elettroni, osservazioni al microscopio) le relazioni di indeterminazione di Heisenberg;
4. Acquisire familiarità con il formalismo della meccanica quantistica, almeno riconoscendo come lo stato del sistema è descritto da funzioni d'onda e le osservabili misurabili (quantità fisiche) da operatori;
5. Saper distinguere tra la teoria classica, che è deterministica, e quella quantistica, che è probabilistica.

Il corso si chiude con l'intervento dei docenti F. Casolaro e A. Trotta che hanno presentato un interessante lavoro dal titolo "*Il modello standard ed oltre.....Il bosone di Higgs*". In tale proposta si discute del Modello Standard che descrive con successo le interazioni tra le particelle elementari e fornisce una descrizione delle forze fondamentali agenti tra particelle, in particolare dell'interazione elettromagnetica e dell'interazione debole, entrambe manifestazioni di un'unica forza che prende il nome di forza elettrodebole. Tale modello è basato sulla teoria quantistica dei campi ed è, a tutt'oggi, ritenuto coerente sia con la meccanica quantistica che con la relatività ristretta. Purtroppo il modello standard funziona molto bene in determinati range energetici, quelli al sotto dei

TeV, ma evidenzia i suoi limiti quando viene messo alla prova delle alte energie, tipiche dei nuovi acceleratori. Il lavoro presenta anche una riflessione sulla scoperta di una particella di tipo Higgs a circa 125 GeV avvenuta il 12 Luglio 2012, in seguito ai risultati degli esperimenti ATLAS e CMS a cui è stato dato il nome di bosone di Higgs, dal nome del fisico scozzese Peter Higgs che, per primo, ne teorizzò l'esistenza fin dagli anni Sessanta. Gli autori, successivamente focalizzano l'attenzione sulla Grant Unified Theory (G.U.T.), elaborata nel 1974 da Glashow e poi completata da Salam e Weinberg. (Per le ricerche teoriche sulla unificazione delle forze fondamentali S. Glashow, A. Salam e S. Weinberg nel 1979 furono insigniti del premio Nobel per la fisica). Anche se, indubbiamente, la GUT rappresenta un passo avanti rispetto al modello standard, essa non è ancora in grado di coinvolgere pure l'interazione gravitazionale. In altre parole la meccanica quantistica è incompatibile con la teoria gravitazionale di Einstein formulata nella Relatività Generale. Gli autori, nella loro presentazione, evidenziano, perciò, la necessità di andare oltre la GUT. Ciò porta a postulare l'esistenza di nuove leggi di simmetria; ci si riferisce in particolare alla cosiddetta "Supersimmetria" (detta brevemente SuSy, dalle iniziali inglesi) introdotta già da alcuni anni dai fisici teorici S. Ferrara, J. Wess e B. Zumino. La ricerca è appena iniziata; il futuro, però non è dietro l'angolo.

3 - Conclusioni

I primi trent'anni del secolo scorso, i cosiddetti anni d'oro della fisica, sono stati caratterizzati da un continuo succedersi

di scoperte e di teorie fra le quali primeggiano, indubbiamente, la relatività einsteiniana e la meccanica quantistica. I fenomeni radioattivi evidenziati da Becquerel, i lavori teorici di Planck e di Einstein, gli esperimenti di Rutherford, Millikan e Bohr, le sconvolgenti idee di De Broglie e di Heisenberg sconvolsero dalle fondamenta le certezze della fisica classica. E così, verso la fine dell'800 il programma meccanicista entrò in una crisi che assunse connotati sempre più gravi e poi addirittura drammatici. Con le teorie della Relatività Speciale e Generale di A. Einstein si mise in discussione tutto l'edificio newtoniano relativo allo spazio, al tempo fisico e alla forma stessa della descrizione matematica dei fenomeni relativi alla gravitazione universale. La crisi provocata poi dalle teorie quantistiche fu ancora più grave. Con il principio di indeterminazione di Heisenberg, infatti, secondo il quale non è possibile determinare simultaneamente posizione e velocità di una particella, si colpiva al cuore la base di ogni determinismo classico mettendo in crisi la visione illuministica laplaciana e minando alle fondamenta una certezza deterministica che durava da più di tre secoli. La scoperta principale è che regole e leggi perfettamente deterministiche possono produrre un moto completamente caotico e assolutamente imprevedibile. Ci vollero, però, circa 50 anni per giungere a nuove teorie, capaci di studiare più ampiamente il sistema come quelle dei sistemi dinamici non lineari e del caos deterministico. È questa la terza grande rivoluzione scientifica del secolo scorso dopo la teoria della Relatività e la Meccanica Quantistica.

La portata culturale di queste tre grandi teorie, che seguono, comunque, un ciclo di studi durato più di 300 anni,

impone che esse siano patrimonio culturale comune anche perché le implicazioni filosofiche e le conseguenze epistemologiche da esse introdotte hanno cambiato completamente il nostro modo di concepire la realtà e, quindi, la “visione del mondo” che da esse può derivare.

Oggi siamo ancora alla ricerca di una teoria unitaria, ma il quadro delle scienze sta cambiando profondamente. Da un lato si sta perseguendo la strada dell’unificazione aperta dalla Relatività e dalla Teoria Quantistica dei campi, oggi impegnata nell’impresa non facile di quantizzare la gravitazione, dall’altro ci si è imbattuti nel problema della non linearità, ormai inevitabile anche a causa della stessa Relatività Generale che l’ha introdotta per prima con la comparsa della instabilità, del caos deterministico e della complessità e non sappiamo ancora quale sarà l’esito di tutto questo.

Bibliografia

ASHETEKAR A., 1998, «Geometric Issues in Quantum Gravity», in *The Geometric Universe. Science, Geometry, and the Work of Roger Penrose*, ed. by S.A. Hugget, P. Tod, L. J. Mason, Oxford, Oxford University Press, pp. 172-194.

BARONE V. (2004). *Relatività. Principi ed applicazioni*. Torino: Bollati Boringhieri

DIRAC P.A.M. (1959). *I principi della meccanica quantistica*. Torino: Bollati Boringhieri

HEISENBERG W. (2016). *I principi fisici della teoria dei Quanti*. Torino: Bollati Boringhieri

LIGO Caltech (2016). What are Gravitational Waves? Available on line at: <https://www.ligo.caltech.edu/page/what-are-gw>

MANDRONE M. (2014) Mathematics and Relativity: Reflections between history and epistemology. *Scienze and Philosophy Pescara: APAV*

MANDRONE M. (2015) History and epistemology of mathematical analysis: from the method of exhaustion to the defined integral. Overview on non-standard analysis. *Science and Philosophy. Pescara: APAV*

TAYLOR J. H. , Weisberg J.M. (1982). A new test of general relativity: Gravitational radiation and the binary pulsar PSR 1513-16. *Astrophysical Journal* 253, 908-920 DOI: 10.1086/159690

