

Proposta di percorso didattico sulla teoria della relatività

Obiettivi:

- ✍ introdurre gli studenti delle scuole superiori alla conoscenza della teoria della relatività e della teoria della gravitazione, nei suoi aspetti teorici e storici.
- ✍ Favorire l'interdisciplinarietà delle materie di studio curricolari
- ✍ Completare la preparazione teorico-scientifica perseguita dai discenti nel corso di studi curricolari

Destinatari: studenti delle classi V delle scuole secondarie superiori di ogni ordine

Durata del percorso: il percorso presenta diverse uscite, per cui la durata è variabile in funzione del grado di approfondimento perseguito (oltre al livello di difficoltà matematica proposto) e delle conoscenze pregresse della classe a cui ci si rivolge. Si può stimare una variabilità tra le 4 ore (valore minimo) e le 10 ore. Il percorso è diviso in varie parti, per cui è possibile trovare diversi percorsi a seconda delle singole esigenze; la durata della varie parti è diversa in funzione del contenuto e della complessità, quindi non è possibile definire meglio le singole durate.

Metodologia utilizzata: in minima parte lezione frontale, da integrare con l'utilizzo di sussidi didattici multimediali e con la proiezione di diapositive realizzate su supporto informatico. È, altresì, possibile prevedere ulteriori percorsi di approfondimento individuali, anche in funzione dell'argomento scelto dagli studenti per la tesina da presentare all'esame di Stato.

Sommario

Proposta di percorso didattico sulla teoria della relatività.....	1
Premessa: le basi della proposta.....	2
Parte prima: Collocazione temporale dell'opera.....	2
Parte seconda: Una questione terminologica	3
Parte terza: un approccio alternativo	3
Parte quarta: La teoria della relatività - analisi delle differenze	4
Parte quinta: Alcuni esperimenti cruciali per arrivare alla nuova teoria.....	4
Parte sesta: Le novità della teoria	5
Per lo spazio	5
Parte settima: La teoria della gravitazione	5
Parte ottava: La questione metodologica	6
Parte nona: La falsificazione.....	7
Bibliografia utilizzata	8
Testi generali di introduzione alla relatività.....	8
Testi a carattere epistemologico	8
Testi di Storia della Fisica.....	8
Biografie	8
Strumenti multimediali.....	8

Premessa: le basi della proposta.

La presente proposta trova la sua collocazione ideale all'interno dell'evoluzione in atto nella scuola, di ogni ordine e grado, a partire dalle proposte dei ministri della Pubblica Istruzione dei governi precedenti, in particolare dall'aumentata autonomia nello svolgimento dei programmi ministeriali in corso di assegnazione alle singole scuole, oltre all'introduzione del lavoro di ricerca personale (tesina) consigliato per l'esame di Stato.

Da un'analisi approssimativa e personale dei problemi esistenti nella scuola di oggi, penso emerga con forza la mancanza (istituzionale) di percorsi di orientamento di tipo trasversale, per gli studenti, infatti prevale ancora un atteggiamento sostanzialmente diffidente (a meno di docenti particolarmente illuminati) rispetto alla contaminazione possibile tra discipline sì diverse, ma afferenti ad aree tematiche sostanzialmente vicine. Ritengo la fisica una dimostrazione particolarmente lampante della possibilità di iniziare percorsi di studio trasversali, per la quasi totalità degli argomenti trattati all'interno di un programma curricolare standard.

Nel caso specifico della presente proposta, analizzando i percorsi curricolari delle discipline di italiano e di fisica, è possibile notare una certa tangenza in alcuni argomenti; in particolare, riferendosi al passaggio tra XIX e XX secolo, ho ritenuto possibile legare le innovazioni filosofiche di Bergson relative al tempo, con le innovazioni, altrettanto fondamentali, del concetto di tempo avvenuto nella fisica a cavallo dei due secoli. In particolare vedo la teoria della relatività come un esempio, o meglio, l'esempio, di tale cambiamento.

Non potendo limitare il campo di intervento alla sola disciplina teorica, ho ritenuto altrettanto importante inserire anche un discorso di metodo della ricerca scientifica; in particolare il presente percorso si presta bene per spiegare quale è la strada (ovviamente non univocamente determinata) seguita da una teoria dal suo nascere fino alla sua conferma/falsificazione. Infatti una parte del percorso è incentrata sulla necessità di imparare a vedere il progresso scientifico come un continuum, per sradicare l'idea dell'esistenza dello scienziato avulso dalla comunità scientifica in grado di costruire teorie totalmente nuove senza basarsi sul lavoro di chi lo ha preceduto.

Infine, si è pensato di concludere il percorso con un escursus in campo prettamente epistemologico, addentrandosi all'interno della scoperta del processo di falsificazione, indicandolo come linea guida per l'accettazione di ogni nuova teoria fisica.

Parte prima: Collocazione temporale dell'opera

"Non dobbiamo quindi stupirci se tutti, o quasi tutti, i fisici del secolo scorso videro nella meccanica classica la base sicura e definitiva di tutta la fisica, e anzi, addirittura, di tutte le scienze naturali, e se insistettero instancabilmente nel tentativo di basare sulla meccanica anche la teoria elettromagnetica di Maxwell, che si stava lentamente affermando."

Per iniziare il percorso di avvicinamento alla teoria della relatività, può essere opportuno far precedere il cammino vero e proprio da una definizione dei protagonisti della teoria stessa, dal suo primo apparire nel XV secolo, fino allo stato attuale della teoria, maturato tra il 1905 e il 1917. Si procede, quindi, con la presentazione della relatività galileiana e la sua collocazione temporale corretta, per proseguire con la conoscenza di Isaac Newton accompagnata dalla specificazione del suo contributo all'opera di cui ci si sta occupando, per terminare con la conoscenza di principale protagonista del percorso, Albert Einstein.

Questa prima parte può essere utilizzata anche per iniziare ad introdurre un concetto da sviluppare nel proseguo della presentazione, concetto secondo cui il lavoro di Einstein trova le sue basi sul lavoro degli studiosi suoi predecessori; al contempo, riportando quanto segue, è possibile evidenziare le enormi difficoltà, anche psicologiche, in cui si imbatte la comunità scientifica nei momenti di grande cambiamento, come è certamente stato il passaggio di secolo di cui siamo ad occuparci:

Per proseguire nell'opera di comprensione del lavoro di Einstein, dopo aver capito quali sono stati i lavori a cui si è, in particolare, riferito, risulta interessante addentrarsi in quello comunemente chiamato "L'esperimento mentale di Einstein", riportato di seguito:

"[...] esempio della termodinamica. Il principio generale era [...] che è impossibile costruire un perpetuum mobile. Ma come trovare un siffatto principio universale?"

Dopo dieci anni di riflessione, un siffatto principio risultò da un **paradosso nel quale m'ero imbattuto all'età di 16 anni**: se io potessi seguire un raggio di luce a velocità c (la velocità della luce nel vuoto), il raggio di luce mi apparirebbe come un campo elettromagnetico oscillante nello spazio, in stato di quiete. [...]. Fin dal principio mi sembrò intuitivamente chiaro che, **dal punto di vista di un tale ipotetico osservatore, tutto debba accadere secondo le stesse leggi che valgono per un osservatore fermo rispetto alla Terra**. Altrimenti, come farebbe il primo osservatore a sapere, cioè come potrebbe stabilire, di essere in uno stato di rapidissimo moto uniforme?"

Parte seconda: Una questione terminologica

Nel proseguire l'introduzione alla teoria della relatività un punto estremamente importante è giocato dalla questione terminologica legata al nome assegnato alla teoria stessa. Nella comune dizione, infatti, si intende indicare con RELATIVITÀ RISTRETTA e RELATIVITÀ GENERALE le due distinte teorie venute alla luce nel 1905 e nel 1917; è opinione diffusa la non totale correttezza di tale dicitura, per due motivi: in primo luogo, proprio in quanto proseguimento del lavoro iniziato da Galilei, chiamato semplicemente relatività, il lavoro del 1905 è meglio indicato se accompagnato dallo stesso nome, senza ulteriori specificazioni; inoltre, differenziare le due teorie indicandole una come RISTRETTA (particolare) e una come GENERALE, può portare a vedere la seconda come naturale completamento della prima, mentre sappiamo bene non essere così. Potrebbe essere più corretto chiamare la teoria dedotta dall'articolo di Einstein del 1905 come *teoria della relatività* (evoluzione della teoria di Galilei), e la teoria proposta nel 1917 come *teoria della gravitazione*, sottolineando, così, i forti legami di questo lavoro con le questioni cosmologiche.

A sostegno della presente tesi può essere utile ricordare quali sono stati i nomi assegnati alla teoria della relatività di Einstein da alcuni fisici suoi contemporanei.

- Einstein parla di Principio di Relatività
- 1906, Plank: Relativtheorie
- 1907, Einstein: Relativitätstheorie
- Per parecchi anni, Einstein: Relativitätsprinzip
- 1910, Felix Klein: Invariantentheorie

Parte terza: un approccio alternativo

Arrivando alle questioni metodologiche relative al tipo di percorso seguito per introdurre la teoria vera e propria nel percorso in oggetto, si propone di seguire un approccio alternativo al percorso storico classicamente inteso.

Partendo dal 1963 e dall'esperimento eseguito da Bertozzi e dal suo gruppo di lavoro è possibile mettere in evidenza la correttezza della teoria in base a dati sperimentali. I vantaggi di un tale percorso sono da ricercarsi nella semplicità della lettura dei risultati dell'esperimento proposto, vantaggi ritenuti superiori rispetto al possibile disagio legato al salto temporale netto compiuto. Inoltre, avendo come riferimento i risultati di un esperimento eseguito da una delle massime istituzioni nel campo (i laboratori del M.I.T.), la teoria della relatività esce, senza dubbio, rafforzata dal confronto. Infine, si riesce ad arrivare, così operando, ad introdurre uno dei cardini della nuova teoria (l'esistenza della velocità limite)

in modo sostanzialmente indolore e maggiormente digeribile, fornendo una motivazione sperimentale a quanto, altrimenti, introdotto come postulato.

Parte quarta: La teoria della relatività – analisi delle differenze

Conviene ora addentrarsi nei meandri della nuova teoria, partendo proprio da un confronto tra i postulati della teoria della relatività di Galileo e i postulati della nuova teoria della relatività. Il passaggio risulta particolarmente utile anche per sottolineare la maggiore ampiezza del dominio di validità della nuova teoria rispetto alla precedente, evidenziando il passaggio dalla validità per esperimenti meccanici alla validità per esperimenti di qualunque tipo in fisica.

<u>Galileo Galilei</u>	<u>Albert Einstein</u>
<u>PRINCIPIO DI RELATIVITÀ</u>	<u>POSTULATO 0</u>
Rispetto agli esperimenti meccanici , tutti i sistemi inerziali sono equivalenti, ossia nessuno di essi è privilegiato	Deve esistere in natura almeno un sistema di riferimento inerziale
	<u>POSTULATO 1</u>
	Le leggi della fisica sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali. Non esiste un sistema di riferimento privilegiato (Principio di relatività)
	<u>POSTULATO 2</u>
	La velocità della luce nello spazio vuoto ha lo stesso valore in tutti i sistemi di riferimento inerziali (Principio della costanza della velocità della luce)

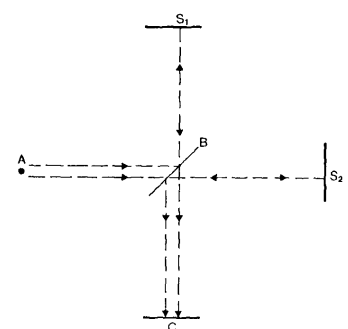
Ripensando al percorso fino ad ora seguito, si può notare come, con la lettura e la spiegazione dei principi della relatività di Einstein ci si può sia ricollegare all'esperimento da cui si è partiti (Bertozzi) per introdurre la nuova teoria, sia avvicinare all'analisi delle differenze tra le due teorie. In particolare, confrontando il principio di relatività di Galilei con il primo principio della relatività di Einstein è possibile evidenziare chiaramente le novità della teoria del 1905; infatti, se nel più vecchio principio il riferimento è ad esperimenti meccanici, nel più nuovo principio la sottolineatura meccanici non compare. Ci si trova davanti ad uno dei nodi concettuali principali della teoria, da analizzare profondamente.

Parte quinta: Alcuni esperimenti cruciali per arrivare alla nuova teoria

Nel proseguo del percorso in oggetto, si arriva ora all'analisi di alcuni esperimenti fondamentali per far comprendere la difficoltà in cui si venne a trovare il mondo fisico nel periodo tra XIX e XX secolo; in particolare diventa possibile mettere in evidenza sia le difficoltà teoriche, sia le difficoltà psicologiche legate alla necessità di abbandonare una teoria fino a quel momento adatta per spiegare ogni avvenimento naturale.

In particolare può essere utile porre l'accento sia sull'analisi della teoria dell'elettrone di Lorentz, sia sulla perdita della simultaneità degli eventi, sia sui risultati dell'esperimento di Michelson – Morley per la determinazione dell'esistenza dell'etere luminifero (uno schema dell'apparecchiatura utilizzata è riprodotto nella precedente figura).

Utilizzando le parole di Michelson – Morley (il cui apparato sperimentale è schematizzato a fianco), possiamo affermare quanto segue:

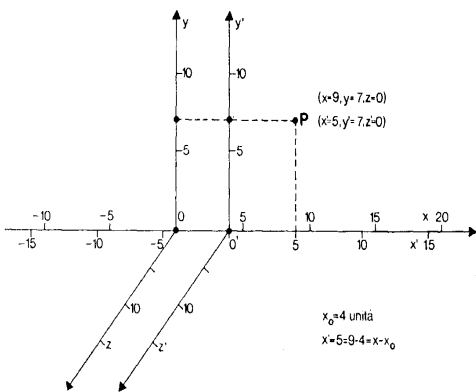


« ragionevolmente sicuro che se c'era moto relativo tra la Terra e l'etere luminifero » esso doveva « essere piccolo »,

È possibile analizzare questo esperimento anche per le valenze extra-scientifiche presenti nel suo risultato; infatti, penso sia innegabile, il senso di smarrimento in cui venne a cadere la comunità degli scienziati nel momento in cui, dalla lettura dei risultati dell'esperimento in questione, risultava chiara la non-esistenza dell'etere. Si trovarono davanti un dato incontrovertibile: la necessità di passare ad una teoria quantomeno diversa dalla meccanica classica.

Parte sesta: Le novità della teoria

Si entra, adesso, nella parte teorica propria della nuova teoria, per andare ad analizzare come quantificare i cambiamenti concettuali fino ad ora discussi. In particolare, verranno messi in evidenza il nuovo concetto di spazio – tempo introdotto per sostituire il concetto di spazio assoluto di Newton, il passaggio dalle trasformazioni di Galileo alle trasformazioni di Lorentz partendo da considerazioni di carattere teorico ottenute utilizzando due sistemi di riferimento in moto relativo, la nuova formula di addizione relativistica delle velocità, da legare all'esistenza della velocità limite e, infine, verrà introdotto un concetto fondamentale nella nuova teoria: quello di osservatore proprio da distinguere dall'osservatore improprio.



Trasformazioni di Lorentz

Per lo spazio	Per il tempo
$x' = \gamma(v) (x - vt)$ $x = \gamma(v) (x' + vt')$	$t' = \gamma(v) (t - \frac{v}{c^2} x)$ $t = \gamma(v) (t' + \frac{v}{c^2} x')$
$\gamma(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	

Formula classica di addizione delle velocità

$$u = u' + v.$$

Formula relativistica di addizione delle velocità

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

Dilatazione del tempo

Dalla formula risulta che il TEMPO PROPRIO t' misurato con un solo orologio nel sistema solidale con S' assume un valore minore rispetto al tempo t misurato con due orologi nel sistema S .

Contrazione lunghezze

In questo caso si ha che la lunghezza l del corpo vista dal sistema S è minore della LUNGHEZZA PROPRIA l' vista dal sistema S' , solidale con il corpo misurato.

È naturalmente importante evidenziare, utilizzando proprio la formula di addizione relativistica delle velocità, la corretta collocazione della teoria di Newton rispetto alla teoria di Einstein; dovrebbe risultare abbastanza agevole collocare la teoria newtoniana all'interno della teoria relativistica, come limite per valori di velocità dell'oggetto piccolo rispetto alla velocità della luce.

Parte settima: La teoria della gravitazione

A questo punto può essere possibile inserire una breve digressione sulla teoria della gravitazione, analizzata almeno nei suoi effetti principali e maggiormente affrontabili, come la definizione di nuovi sistemi di riferimento inerziali secondo la nuova teoria, oppure il fenomeno del red shift gravitazionale, ovvero il nuovo ruolo giocato dalle masse nell'interazione con lo spazio. Il presente punto non è particolarmente approfondito a causa delle chiare difficoltà teoriche legate ai concetti che si vorrebbe introdurre; è quindi consigliabile, in funzione sia del grado di preparazione dei discenti sia della loro disponibilità a introdurre complicazioni teoriche, prevedere appositi percorsi di introduzione alla teoria della gravitazione.

Si giunge, in questo modo, al termine del percorso teorico intrapreso per introdurre la teoria della relatività e della gravitazione; è possibile, a questo punto, avviarsi nella discussione delle questioni più strettamente metodologiche, ovvero nell'analisi epistemologica di una parte del percorso seguito da Einstein nello sviluppo delle due teorie in oggetto.

Parte ottava: La questione metodologica

Lo scopo principale di questa parte del lavoro è da ricercare nella necessità di saldare la parte teorica di uno studio con le sue basi epistemologiche; in particolare risulta interessante analizzare quali sono i pensieri di Einstein rispetto al lavoro dei suoi predecessori, in particolare Newton. Dalla lettura dell'Autobiografia scientifica di Einstein è possibile riprendere alcuni interessanti ragionamenti, come i seguenti:

"[...] E ora basta. Newton, perdonami; tu hai trovato la sola via che, ai tuoi tempi, fosse possibile per un uomo di altissimo intelletto e potere creativo. I concetti che tu hai creato guidano ancora oggi il nostro pensiero nel campo della fisica, anche se ora noi sappiamo che dovranno essere sostituiti con altri assai più discosti dalla sfera dell'esperienza immediata, se si vorrà raggiungere una conoscenza più profonda dei rapporti fra le cose. "

Da questa prima lettura si evincono chiaramente alcuni importanti passaggi; anzitutto, la riconoscenza di Einstein verso Newton resa evidente dall'affermazione dell'altissimo valore del suo lavoro ("la sola via che ai tuoi tempi fosse possibile..."); inoltre è opportunamente sottolineato come la nuova teoria trovi le sue fondamenta sulle teorie precedenti, richiedendo, al contempo, un grado di astrazione molto maggiore, fatto, questo, di estrema importanza, in quanto segna il passaggio fondamentale dalla fisica come interpretazione di fenomeni naturali della quotidianità, alla fisica come analisi ancora di fenomeni naturali, ma non più legati all'esperienza quotidiana.

"Vediamo ora come si presentava a quel tempo (il tempo di Newton, n.d.r.) il campo delle scienze fisiche. Nonostante il rigoglio delle ricerche particolari, in materia di principi predominava una rigidità dogmatica : in origine (se origine vi fu) Dio creo le leggi del moto di Newton insieme con le masse e le forze necessarie. Questo è tutto; ogni altra cosa risulta deduttivamente attraverso lo sviluppo di metodi matematici appropriati."

Dalla lettura di questo secondo brano è possibile evidenziare i limiti di una teoria (quella newtoniana) affetta da "rigidità dogmatica" esplicitata dall'associare alle leggi del moto di Newton un carattere esoterico, quasi divino.

Come seconda parte della questione metodologica risulta interessante analizzare il principio della falsificazione, al fine di comprendere anche l'ultima parte del percorso seguito da una qualunque disciplina scientifica, dal suo nascere, fino al suo essere contraddetta, ovvero confermata.

Possiamo riassumere i due principi della falsificazione in base ai quali cercare le conferme necessarie alla validazione di una qualsiasi teoria scientifica.

Il **primo principio** è ovvio: **la teoria non deve contraddire i fatti empirici**. Per quanto a tutta prima questa esigenza possa sembrare evidente, la sua applicazione risulta molto delicata, poiché spesso, forse anche sempre, è possibile accettare una base teorica generale assicurando l'aderenza della teoria ai fatti per mezzo di ipotesi aggiuntive artificiali. (**conferma esterna**)

Il **secondo principio** [...], bensì le **premesse della teoria stessa**, o ciò che brevemente, se pur vagamente, potrebbe definirsi "naturalità" o "semplicità logica" delle premesse [...] Inoltre, fra teorie le cui premesse siano ugualmente "semplici", deve essere considerata **superiore quella che definisce più nettamente le qualità dei sistemi** in astratto (**perfezione interna**)

Particolarmente pregnante è la sottolineatura di una caratteristica evidenziata nel secondo principio, secondo cui, nel caso di più teorie egualmente semplici, è sempre preferibile scegliere la teoria con una maggiore definizione rispetto alle qualità astratte dei sistemi.

Parte nona: La falsificazione

Al fine di completare il percorso seguito dalla teoria nel suo cammino storico, e al fine di rendere concreto quanto affermato nel precedente punto, si passa ora all'analisi degli esperimenti eseguiti per cercare conferme alla nuova teoria, ovvero esperimenti provanti il principio di falsificazione.

In particolare è possibile trattare due esperimenti noti, dei quali uno riportato, in diverse occasioni, con definizioni non particolarmente precise. Mi riferisco all'esperimento legato alla rilevazione dei muoni sulla superficie terrestre, e al paradosso dei gemelli, spesso conosciuto con il nome di Effetto gemelli. Per quanto riguarda il primo (esperimento dei muoni) il ricorso ad esso è particolarmente significativo per specificare due effetti caratteristici della teoria della relatività di Einstein; in primo luogo si riesce ad evidenziare la valenza reale degli effetti di contrazione delle lunghezze e di dilatazione dei tempi; in secondo luogo è possibile utilizzare l'esperimento come amplificatore della reversibilità degli effetti, sottolineando l'importanza di definire in modo corretto l'osservatore proprio, distinguendolo da quello non proprio. In questo caso è possibile anche ricorrere all'utilizzo dello strumento multimediale, in particolare all'uso di filmati didattici molto adatti per spiegare il fenomeno.

Rispetto al Paradosso dei gemelli risulta fondamentale introdurre il fenomeno specificando come si sia davanti ad un esperimento mentale (riportabile realmente ricorrendo alla verifica effettuata da Hafele e Keating nel 1971/72 con aerei di linea e orologi atomici) non utilizzabile per cercare conferme della teoria della relatività di Einstein, in quanto non rientra nei dettami della teoria stessa, essendo affetto dalla presenza di accelerazione nelle fasi di decollo, inversione della rotta e di atterraggio della navetta spaziale. Anche in questo caso, come nel precedente, è possibile e utile ricorrere a supporti multimediali, nel caso specifico all'uso di filmati didattici, in alcuni casi anche divertenti.

Terminata la trattazione degli esperimenti di cui sopra, si arriva alla fine del percorso, avendo attraversato anche la fase della falsificazione della teoria.

Bibliografia utilizzata

Indicazioni bibliografiche

Testi generali di introduzione alla relatività

- ? G. Cortini, *La relatività ristretta*, Loescher editore, Torino, 1981 – (fuori commercio)
- ? A. Einstein, *Autobiografia scientifica*, Universale scientifica Boringhieri, Torino, 1981 – volume doppio
- ? R. Resnick, *Introduzione alla relatività ristretta*, Casa editrice Ambrosiana, Milano 1979
- ? S. Bergia, *Einstein, quanti e relatività, una svolta nella fisica teorica*, da I grandi della scienza, collana distribuita come supplemento a Le Scienze, dicembre 1998
- ? H. Bondi, *La relatività e il senso comune*, Zanichelli Bologna 1965
- ? A. Einstein, L. Infeld, *L'evoluzione della fisica (dai concetti iniziali alla relatività e ai quanti*, Bollati Boringhieri, Torino 1965
- ? J. Stachel (a cura di), *L'anno memorabile di Einstein*, Edizioni Dedalo, 2001

Testi a carattere epistemologico

- ? B. Russell, *L'abc della relatività*, TEA 1993
- ? G. Boniolo (a cura di), *Filosofia della Fisica*, Bruno Mondadori, Milano 1997

Testi di Storia della Fisica

- ? E. Bellone, *Caos e armonia*, UTET, Torino 1990
- ? E. Segrè, *Personaggi e scoperte della fisica*, Oscar saggi Mondadori, 1996
- ? L. Motz, J.H. Weaver, *La storia della fisica*, Cappelli editore, Bologna 1991

Biografie

- ? A. Pais, *Sottile è il Signore*
- ? R.W. Clark, *Einstein, la vita pubblica e privata del più grande scienziato del nostro tempo* (fuori commercio)

Strumenti multimediali

- ? Video didattici del P.S.S.C. o della Esso relativi, in particolare, all'esperimento dei muoni e al Paradosso dei gemelli

Come indicazione di bibliografia proposta per l'utilizzo diretto in classe, mi sembra opportuno indicare, oltre al ricorso agli strumenti multimediali, il testo di Cortini (per la parte generale); il testo di Resnick per la parte teorica più strettamente intesa; il testo di Russell per gli aspetti epistemologici della teoria; uno qualunque dei testi indicati come testi di storia della fisica. Entrambe le biografie di Einstein indicate presenta il problema dell'elevata lunghezza, oltre alla difficoltà di reperimento per la biografia di Clark.