

**Francesco
Marazzi**

*IPSLA "Isaac
Newton", Varese*

Introduzione alla relatività ristretta in un Istituto Professionale serale

(Pervenuto il 2.2.2011, approvato il 23.5.2011)

ABSTRACT

Relativity theory is seldom presented to the Italian highschool pupils. During a Master in Didactics of Physics the author experimented teaching the fundamentals of the theory to adult students in a vocational highschool. The design, the implementation and the results of the experience are described and briefly discussed.

Introduzione

Albert Einstein è stato uno degli scienziati che più ha affascinato non solo gli uomini di cultura e di scienza, ma anche la gente comune. Infatti è bastato cominciare a parlare un po' di argomenti scientifici con i miei alunni perché subito nascessero domande su che cosa diceva Einstein, come viaggiare indietro nel tempo, come si fa ad andare a velocità superiori a quelle della luce etc. Nella loro mente c'era una confusione straordinaria, una miscela di conoscenze scientifiche orecchiate qua e là e di miti della fantascienza, ma in ogni caso per tutti Einstein era una figura che suonava familiare (anche se poi magari non sapevano neppure dire in quali anni fosse vissuto).

Mi pare dunque importante che la relatività venga almeno accennata anche in un istituto professionale serale. Ma cosa implica questo? Ovviamente non è possibile seguire un percorso standard da libro di testo finalizzato a costruire una conoscenza dettagliata della "teoria della relatività": infatti, con solo due ore di lezione a settimana (o meglio, due lezioni consecutive da 50 minuti) bisogna cercare di mettere in luce solo i nuclei principali della disciplina. Inoltre, la fisica viene insegnata solo nelle classi prima, seconda e terza, e, per di più, i primi due anni vengono condensati in un solo anno con il progetto "Monoenni". Si aggiunga che la preparazione generale degli alunni del serale è spesso frammentaria e lacunosa e si capisce come cercare di trattare la relatività in modo esaustivo sarebbe non solo un'utopia, ma anche controproducente.

È quindi necessario trovare un approccio del tutto diverso, basato essenzialmente più su aspetti "culturali" che "formali": le idee-chiave della relatività devono essere selezionate e introdotte limitando quanto più possibile il formalismo matematico e comunque mantenendolo ad un livello elementare. Chi insegna materie scientifiche sa quanto sia difficile tenere lezioni di quel tipo. È spesso molto più semplice trattare in modo dettagliato tutti i calcoli di Michelson e Morley per l'individuazione della variazione di velocità della luce nell'etere ad una classe quinta di liceo scientifico che dare un'idea della relatività che sia significativa, rigorosa e nello stesso tempo comprensibile, senza utilizzare particolari strumenti matematici.

In quello che segue, dopo aver presentato il contesto della classe, illustrerò l'esperienza realizzata, l'approccio seguito e le scelte fatte affinché il tema della relatività potesse risultare significativo anche in un istituto professionale serale.

Descrizione del contesto culturale e delle sfide didattiche

L'esperienza è stata condotta in una classe terza dell'Istituto Professionale Statale per l'Industria e l'Artigianato (IPSLA) serale afferente all'Istituto Statale di Istruzione Superiore (ISIS) "Isaac Newton" di Varese durante l'anno scolastico 2009/10.

L'utenza dei corsi serali si è andata modificando nel corso degli anni. Con particolare riferimento alla provincia di Varese, negli anni passati gli studenti erano

soprattutto adulti lavoratori che, terminata la scuola dell'obbligo, non avevano avuto la possibilità di continuare gli studi principalmente per ragioni economiche. Entrati presto nel mondo del lavoro, raggiunta la sicurezza economica, sentivano il desiderio o la necessità di conseguire un più alto titolo di studio anche per progredire nella carriera. Alla sera non era possibile svolgere lo stesso numero di ore dei corsi diurni, ragion per cui i 5 anni del diurno venivano dilatati in 6 anni al serale.

Oggi l'utenza è radicalmente cambiata. Gli studenti che per motivi economici lasciano la scuola dopo aver adempiuto l'obbligo scolastico sono un'esigua minoranza. La grande maggioranza degli alunni italiani abbandonano la scuola dopo esperienze di bocciature ripetute o comunque per una disaffezione verso il mondo della scuola.

Il numero degli alunni stranieri è oggi molto consistente. Si tratta di persone provenienti dalle più svariate esperienze scolastiche venute in Italia per cercare condizioni di lavoro e di vita migliori che nei loro paesi di origine.

L'Istituto si è quindi attivato per rispondere in modo più puntuale a tali mutati bisogni attivando in un primo tempo i corsi sperimentali serali del "Progetto Sirio" (si veda per una descrizione dettagliata www.edscuola.it/archivio/norme/programmi/sirio.pdf) caratterizzati da un monte ore ridotto e articolati su 5 anni. Successivamente sono state introdotte anche le classi cosiddette "Monoennio".

Il "Progetto Monoenni" prevede lo svolgimento delle classi prima e seconda in un unico anno scolastico. Il numero delle ore a disposizione per ciascuna materia risulta quindi, complessivamente, quasi dimezzato e alcune materie sono state eliminate. Il programma deve quindi essere ridotto ai suoi nuclei essenziali e fondanti, anche tenendo conto che un progetto di scuola serale si rivolge oggigiorno in particolare a soggetti che sono usciti dal percorso scolastico magari da alcuni anni e per i quali può essere faticoso riprendere gli studi. Dal momento che il progetto si propone anche come obiettivo una riduzione della dispersione scolastica è necessario interessare e motivare gli studenti aiutandoli a superare le inevitabili difficoltà di un rientro nel ciclo dell'istruzione. Si tratta di percorsi serali a segmenti modulari su "Progetto integrato per il rientro nell'istruzione superiore".

La classe oggetto della sperimentazione era di ordinamento, ma è necessario tenere in considerazione che una parte degli alunni proveniva da una classe di monoennio. Gli studenti erano in totale 8, con un'età media di circa 25 anni.

Come per le altre classi dei corsi serali, si trattava di una classe molto eterogenea sotto molteplici punti di vista. Senza pretese di completezza, basti dire che la classe era così composta:

- un alunno che, conseguita la maturità scientifica, ha frequentato un anno di corso della facoltà di ingegneria e da qualche anno lavora come meccanico;
- un alunno che ha frequentato il quinto anno di liceo scientifico, ma non ha sostenuto l'esame di maturità e da una decina d'anni lavora come meccanico;
- un alunno di origine sud-americana proveniente dalla classe di primo monoennio con grosse lacune in tutte le materie e difficoltà con la lingua italiana;
- una alunna di origine eritrea proveniente dalla classe di primo monoennio;
- un alunno di origine marocchina proveniente dalla classe quinta geometra abbandonata a metà anno qualche anno fa;
- un alunno di origine bulgara proveniente dalla terza ragioneria;
- un alunno di origine albanese che aveva interrotto gli studi per diversi anni, dopo la licenza media;
- un altro alunno di origine albanese già in possesso di un diploma di scuola superiore triennale nel settore dei servizi sociali.

Gli alunni arrivavano spesso con qualche minuto di ritardo per problemi di lavoro e a volte dovevano uscire da scuola qualche minuto in anticipo per poter prendere i mezzi pubblici di trasporto. Per tutti questi motivi sono state necessarie continue riprese degli argomenti trattati.

In alcune materie di indirizzo la classe si presentava poi articolata in due indirizzi di specializzazione: TIM (Tecnico Industrie Meccaniche) e TSE (Tecnico dei Sistemi Energetici). In considerazione del carattere tecnico della scuola, gli alunni erano per la maggior parte più inclini ai lavori manuali (la grande maggioranza lavora nel settore metalmeccanico o dell'edilizia) che non alla teorizzazione. L'argomento doveva essere quindi affrontato senza prerequisiti specifici (al serale le ore di fisica sono poche e non è neppure previsto l'uso del laboratorio).

Scelte operate per affrontare le sfide

Il fatto che la relatività non sia normalmente insegnata durante il corso di fisica di ordinamento non costituiva, a priori, un fattore pro o contro tale sperimentazione, mentre, certamente, l'assenza di ricadute nelle materie di indirizzo avrebbe potuto destare un interesse molto modesto.

In realtà, la scelta del tema da affrontare si è rivelata molto appropriata in quanto la maggior parte degli alunni ha mostrato vivo interesse per tale argomento, confermato anche dal fatto che durante il periodo in cui è stato realizzato il percorso di relatività la presenza degli studenti è stata alta.

Due scelte metodologiche molto importanti sono state quelle di non assegnare alcun lavoro per casa e di introdurre e concludere sempre la lezione con esempi il più possibile tratti dall'esperienza quotidiana. La prima scelta nasce dal fatto che gli studenti, in quanto lavoratori, hanno pochissimo tempo per il lavoro scolastico. La seconda scelta deriva dalla necessità di mantenere vivo l'interesse e garantire un'attenzione costante da parte degli allievi, nonostante fosse chiaro fin dall'inizio che non avrei assegnato un vero e proprio voto. A questo proposito, avevo comunicato loro che avrei valutato prevalentemente l'interesse verso l'argomento trattato, sul quale avevano avuto solo qualche cenno durante lo studio della meccanica, a proposito dei sistemi di riferimento.

Al fine di permettere agli studenti una significativa comprensione di concetti chiave della relatività ristretta, ho ritenuto opportuno riprendere in dettaglio la relatività galileiana che era stata trattata dal collega di fisica durante il monoennio. Ho quindi preparato le prime due lezioni su tale argomento avendo cura anche di riprendere insieme a loro i principi della dinamica. Il programma di terza prevede, infatti, sostanzialmente lo studio dettagliato dell'elettromagnetismo e della termodinamica, argomenti questi molto importanti per le materie di indirizzo. Per permettere agli alunni di seguire meglio il filo del discorso, le lezioni si sono appoggiate su materiale da me fornito di volta in volta come fotocopie che, una volta raccolte, avrebbero formato una dispensa molto schematica. La scelta è stata quindi quella di attingere da vari libri di testo per preparare un paio di fogli per ogni lezione sugli argomenti trattati. Si è attinto dal Taylor e Wheeler [1], dall'Amaldi [2] per il triennio di scuola superiore, da alcuni documenti trovati su Internet (in particolare per alcuni disegni o schemi esplicativi). Abbiamo così ottenuto una raccolta di piccoli brani che poi abbiamo analizzato assieme.

Si è scelto inoltre di non effettuare alcuna verifica formale sia orale sia scritta relativa alla comprensione e all'apprendimento del tema trattato. Tale scelta è stata motivata da diversi fattori:

- per prima cosa non si voleva che tale attività risultasse in qualche modo un aggravio del lavoro scolastico degli studenti, ma ci si prefiggeva di aumentare il

loro interesse per la fisica e la ricerca scientifica. Una verifica formale avrebbe sicuramente creato un motivo per disertare le lezioni, piuttosto che per frequentarle con più impegno;

- il secondo motivo, che è anche il preponderante, è che in una classe così poco numerosa e che partecipa così attivamente alle lezioni è del tutto inutile effettuare verifiche formali. Infatti è possibile tenere sotto costante controllo tutti gli studenti, girare tra i banchi a rispondere alle loro domande, farli intervenire con domande e richieste di chiarimenti, lasciarli venire uno alla volta alla lavagna. I compiti in classe di matematica che svolgo mensilmente sono, infatti, solo un adempimento burocratico e hanno l'unica utilità di mostrare agli alunni stessi quale sia il loro grado di comprensione dell'argomento appena trattato, secondo una scala "standard" di valutazione.

Posso comunque dire che, seppur non per tutti gli alunni allo stesso modo, le lezioni sono state efficaci e proficue sia dal punto di vista dei contenuti, sia soprattutto dal punto di vista dell'interesse verso le discipline scientifiche.

Descrizione del percorso seguito

Nodi disciplinari e di apprendimento

I principali nodi disciplinari che ho scelto di trattare sono stati:

- la relatività galileiana;
- la relatività della simultaneità;
- la contrazione delle lunghezze e la dilatazione dei tempi;
- l'invarianza dell'intervallo spazio-temporale.

Tali nodi disciplinari sono stati sviluppati come riportato nel paragrafo seguente. Per quanto riguarda i primi punti, la trattazione è stata fortemente influenzata dal fatto che era necessario porre delle solide basi per proseguire coerentemente, dal momento che gli alunni erano abbastanza "arrugginiti" sotto tali aspetti.

Si è inoltre cercato di dissipare i dubbi più ricorrenti e di chiarire i problemi di comprensione più frequenti.

Anche dopo che si è cercato di illustrare agli studenti modelli e prospettive accreditate di interpretazione della realtà, è noto che molto spesso persistenti difficoltà riemergono sotto altre forme, segno che il concetto stesso non è mai stato compreso a fondo [3]. D'altra parte la relatività costringe ad avere ben chiari i concetti fondamentali della fisica classica.

Il percorso didattico

Le dispense, fornite agli alunni di volta in volta, sono state utilizzate come base su cui impostare le lezioni, ma durante la spiegazione si sono portati ulteriori esempi e soprattutto si è cercato di rispondere alle domande e alle curiosità che di volta in volta venivano espresse dagli alunni. Il percorso didattico progettato è riassunto nella seguente scaletta:

- richiami di relatività galileiana;
 - enunciazione del principio di relatività galileiana. Tale principio è stato esemplificato e spiegato con la lettura di diversi brani e altri mezzi, qui di seguito descritti:
 - testo tratto dal "Dialogo sui massimi sistemi del mondo" (1623), di Galileo. Il brano riporta le riflessioni di Galileo su quello che si osserverebbe stando in una nave che si muove di moto rettilineo uniforme "Riserratevi con qualche amico...";

- brano tratto dal Taylor e Wheeler [1] che riporta la previsione di Jules Verne riguardo al comportamento dei corpi in assenza di gravità. Tali considerazioni sono illustrate nel suo romanzo "Dalla terra alla luna";
 - video di un astronauta all'interno della base spaziale europea ISS - International Space Station - in cui si vede come non esista in realtà un sopra e un sotto nell'astronave e come un oggetto messo in movimento continui a muoversi in linea retta ed a velocità costante, rispetto ad un osservatore inerziale;
 - esempi nel campo delle arti figurative di immagini che possono essere interpretate in maniera diversa a seconda del punto di vista dell'osservatore, come quella di Hill. Si tratta di una ben nota "figura ambigua" nella quale è possibile riconoscere i volti di una vecchia o di una fanciulla. Essa viene attribuita solitamente al disegnatore W. E. Hill che la pubblicò nel 1915. Spesso viene indicata anche come "figura di Boring", dal nome di un famoso psicologo della percezione http://www.psychologie.tudresden.de/i1/kaw/diverses%20Material/www.illusionworks.com/html/perceptual_ambiguity.html. Tali immagini hanno avuto il solo scopo di stimolare gli studenti a considerare la possibilità che uno stesso fenomeno possa avere spiegazioni anche molto diverse tra loro, nonostante ciascuna di esse sia internamente coerente;
 - trasformazione delle velocità in accordo con il principio di relatività galileiana. Alcune figure tratte dall'Amaldi [2] permettono di capire tale trasformazione;
 - esempi tratti dal quotidiano con treni, auto e altri oggetti in moto relativo tra loro;
 - un semplice calcolo di trasformazione delle velocità. In questo caso, oltre al discorso qualitativo, esistono anche degli esempi numerici che permettono di comprendere meglio il fenomeno;
- esempi di cosa si credeva prima di Galileo sui moti (richiami sulle idee di Aristotele);
 - introduzione ai problemi di non accordo di alcuni dati sperimentali con la teoria basata sulla relatività galileiana:
 - l'etere e l'esperimento di Michelson e Morley;
 - discussione sul fatto che i muoni prodotti dai raggi cosmici nell'alta atmosfera non dovrebbero in teoria arrivare sulla Terra prima di decadere;
 - i principi della relatività ristretta. Il testo usato è quello di Amaldi, dove si sottolinea che, pur andando contro il senso comune, tali principi sono in realtà in grado di spiegare in modo più esauriente quanto osservato nella realtà;
 - riflessione sulla presenza di diverse teorie di filosofia della scienza che analizzano come evolve la scienza, il suo carattere problematico, il ruolo necessario del controllo sperimentale delle leggi fisiche etc. Tale riflessione non era stata preparata ma si è ritenuto opportuno accennarla quando alcuni studenti sono apparsi disorientati dal fatto che non si giunga mai ad una teoria che spieghi in modo completo e definitivo tutti i fenomeni naturali;
 - la relatività della simultaneità. Questo è stato un altro dei nodi concettuali su cui ci si è soffermati maggiormente. A tal proposito si è riportato nelle dispense sia la trattazione dell'Amaldi sia quella del Taylor e Wheeler in modo da ribadire come tale concetto fosse una prima conseguenza dell'invarianza della velocità della luce (secondo postulato). Per fare questo sono stati anche discussi gli esempi che descrive Einstein stesso, in particolare l'esempio del treno di Einstein. Fortunatamente i treni non sono cambiati molto dai tempi di Einstein e il suo esempio è ancora attuale e comprensibile dagli alunni;
 - contrazione delle lunghezze e dilatazione dei tempi. Tali fenomeni sono stati trattati con gli alunni sottolineando ancora una volta che sono conseguenza

dell'invarianza della velocità della luce. Si è però completamente ignorato il problema di come sincronizzare gli orologi (ma gli alunni non si sono posti neppure tale problema). Dei fenomeni di contrazione delle lunghezze e di dilatazione dei tempi, dopo averne analizzato il concetto ragionando sugli esperimenti mentali, sono state fornite le equazioni introducendo il fattore di dilatazione. Già questo formalismo matematico cominciava a risultare troppo difficile per molti alunni e non si è quindi insistito troppo;

- invarianza dell'intervallo spazio-temporale. Si è trattato questo concetto in modo molto intuitivo. La parabola degli agrimensori tratta dal Taylor e Wheeler ha permesso loro di comprendere meglio come tutte le grandezze varino da un sistema di riferimento ad un altro, ma come alcune proprietà metriche dello spazio rimangano invarianti.

Valutazione della sperimentazione

Il coinvolgimento degli studenti è stato molto alto fin dal momento in cui ho proposto loro il tema della relatività ed è continuato durante tutta la fase di svolgimento. Alcuni studenti già dall'inizio dell'anno formulavano talvolta richieste di approfondimento sulle tematiche più diverse (gli studenti hanno a volte l'ingenuità di pensare che i loro professori sappiano tutto!), tra cui anche alcune domande del tutto generiche su Einstein, in particolare se fosse davvero uno scolaro pessimo in matematica, sulla dimostrazione dell'esistenza di Dio, su un generico "tutto è relativo per Einstein?". È quindi stato semplice convincerli che, nonostante l'esame di qualifica in vista per la fine dell'anno, potevamo dedicare qualche ora di lezione ad una breve panoramica sul tema della relatività.

Mi ha fatto poi molto piacere vedere come questi studenti non fossero prevenuti e non avessero paura di trattare argomenti troppo difficili per loro. Forse si potrebbe in questo caso parlare di "beata ingenuità" in quanto le conoscenze di base non permettevano loro di ipotizzare quanto potesse essere complessa tale teoria, ma fa comunque piacere trovare persone che non escludano a priori la possibilità di capire, almeno a grandi linee, un argomento complesso. Spesso, infatti, di fronte ad un nuovo argomento mi sono sentito dire frasi del tipo "tanto io, prof., non ho mai capito e non lo capirò mai!" oppure: "lasci stare, prof., è troppo complicato per me!", mentre in questo caso c'è stata piena fiducia che l'argomento da me proposto sarebbe stato alla loro altezza. Ed infatti così è stato, a dimostrazione che la relatività può essere trattata a vari livelli ed essere affrontata anche con un taglio comprensibile da tutti.

In definitiva non mi aspetto che i miei alunni ricordino nei dettagli per i prossimi anni quanto ho loro cercato di trasmettere sulla relatività, ma sono sicuro che resterà loro il ricordo di aver affrontato l'argomento e di averlo compreso nei suoi aspetti principali. Ciò sarà un positivo precedente che stimolerà la loro curiosità.

Riflessioni finali

L'esperienza descritta suggerisce alcune riflessioni:

- 1) L'interesse mostrato dalla classe demolisce l'idea che la complessità dei contenuti demotivi gli studenti, anzi, può essere spesso uno stimolo, una sfida ad andare un po' oltre i cosiddetti "obiettivi minimi". Naturalmente è opportuno che il docente chiarisca bene agli studenti il livello di approfondimento e dettaglio con cui si sta affrontando l'argomento, ma è molto importante per gli alunni capire come la stima che il professore ha nei loro confronti li porti a ritenere che possono affrontare tale argomento.
- 2) Classi "complicate" impongono agli insegnanti di inventare percorsi e strategie adeguate e non di abbassare il tiro. Gli "obiettivi minimi" possono al più

essere un riferimento per valutare velocemente la possibilità di cambiare sezione o scuola oppure per decidere della promozione o bocciatura di un alunno, ma non devono mai essere un comodo (primario?) obiettivo. Se si mira al minimo, si nega poi alla gran parte degli alunni di una classe di partecipare a lezioni più interessanti e motivanti. In questo senso, nonostante parecchi libri di testo presentino ancora percorsi molto tradizionali, la fisica (e la relatività in particolare) si presta a operazioni di ricostruzione anche molto profonda.

- 3) La fisica moderna può avere un ruolo formativo importante. Assodata infatti la sua importanza dal punto di vista motivazionale, l'insegnamento della fisica moderna permette anche di educare al pensiero scientifico contemporaneo e alle visioni del mondo da esso aperte. E di questo gli alunni hanno bisogno anche in classi difficili e di scuola professionale.

Ringraziamenti L'autore ringrazia sentitamente la dott.ssa Olivia Levrini del gruppo di Didattica della Fisica dell'Università di Bologna e la prof.ssa Anna De Ambrosis del gruppo di Didattica della Fisica dell'Università di Pavia per la loro supervisione durante la sperimentazione condotta nell'ambito del Corso di Perfezionamento in Innovazione Didattica in Fisica e Orientamento 2 - (IDIF02) [4,5]. Le loro osservazioni durante la stesura del presente articolo sono state molto apprezzate.

Un ringraziamento particolare al Preside del "Newton" prof. Giuseppe Carcano che ha consentito lo svolgimento della sperimentazione.

- Bibliografia**
- [1] TAYLOR E.F., WHEELER J.A., *Fisica dello Spazio-Tempo*, Zanichelli, Bologna 1996.
 - [2] AMALDI U., *La fisica di Amaldi*, Zanichelli, Bologna 2007.
 - [3] ARONS A.B., *Guida all'insegnamento della fisica*, Zanichelli, Bologna 1992.
 - [4] http://www.uniud.it/didattica/post_laurea/master/corsi_di_perfezionamento
 - [5] DE AMBROSIS A., LEVRINI O., "Insegnare relatività ristretta a scuola: esigenze degli insegnanti e proposte innovative", *Il Giornale di Fisica*, XLVIII, 4, (2007), 255-276.

LA COPERTINA

50 anni fa, il 12 aprile 1961, Yuri Gagarin a bordo della navicella Vostok 1 compì un'intera orbita ellittica attorno alla Terra. Il volo ebbe la durata di circa 108 minuti. Chi volesse "rivivere" il volo di Gagarin può vedere (collegandosi al sito <http://www.firstorbit.org>) *First Orbit*, un film girato dall'astronauta Paolo Nespoli, nel gennaio scorso, dalla cupola panoramica della Stazione Spaziale Internazionale che ha ripercorso l'orbita della Vostok, il più fedelmente possibile, a partire dal momento del sorvolo su Bajkonour. Il film può anche essere scaricato dallo stesso sito dopo essersi registrati.

Un altro sito dedicato a Gagarin e alla sua impresa è: <http://www.yurigagarin.it/>

Anche il sito ospitato dalla NASA, *Astronomy Picture of the Day* nella sua pagina del 12 aprile 2011 (<http://apod.nasa.gov/apod/ap110412.html>) non manca di ricordare il lancio del primo uomo nello spazio e, contestualmente, quello del primo astronauta US, Alan Shepard, che, a bordo della navicella Freedom, compì un volo suborbitale di 15 minuti, nemmeno un mese dopo, il 5 maggio 1961 (<http://apod.nasa.gov/apod/ap110505.html>).

Due anni dopo, il 16 giugno del 1963, toccò alla prima donna: Valentina Tereshkova che oggi ha 73 anni e vive in una cittadina poco fuori Mosca.