

1) INTRODUZIONE

Riflessione sui concetti di Spazio, Tempo, evento, simultaneità.

2) PROBLEMI APERTI ALL'INIZIO DEL 1900

- A. *Lo spazio assoluto*: la visione di Newton e le critiche di Mach – sostanzialisti vs relazionisti
- B. *Principio di relatività* di Galileo.
- C. L'esito nullo dell'*esperimento di Michelson e Morley* – le teorie di Lorentz e Stokes.
- D. *Asimmetrie interne all'elettromagnetismo* – elettromagnetismo ed *etere*

3) EINSTEIN E L'ARTICOLO DEL 1905:

- A. Introduzione biografica di Einstein.
- B. *I due postulati* alla Relatività Ristretta.
- C. *L'esperimento di Bertozzi* – *la velocità limite*.

4) RELATIVITÀ E TEMPO:

- A. Il problema della *simultaneità* di *eventi*
- B. *La relatività della simultaneità* – i *diagrammi di Minkowski*.
- C. Messa in discussione dell'esistenza di un *tempo assoluto* e costruzione, osservatore per osservatore, del *reticolo di orologi sincroni* – *definizione operativa di durata temporale* di un *fenomeno* – l'effetto di *dilatazione dei tempi* – la *taratura* dei diagrammi di Minkowski ed il loro utilizzo per lo studio dell'effetto relativistico di dilatazione dei tempi – riflessioni sulla *realtà-apparenza* dell'effetto di dilatazione temporale: *esperimento di Rossi e Hall* – *Frisch e Smith* (muoni) - trattazione dell'*effetto gemelli*.
- D. Riflessioni sul *significato della Relatività Ristretta* (non come “teoria” ma come “legge-quadro”) e sulla necessità di *riscrivere tutte le leggi fisiche* affinché fossero coerenti con i suoi postulati.

5) RELATIVITÀ E LUNGHEZZE:

Definizione operativa di lunghezza di un oggetto – effetto di *contrazione delle lunghezze* – i diagrammi di Minkowski per lo studio dell'effetto relativistico di *contrazione delle lunghezze*.

6) RELATIVITÀ E VELOCITÀ:

Introduzione al problema della *composizione delle velocità* (ordinarie).

7) LE TRASFORMAZIONI DI LORENTZ:

- A. Le *trasformazioni di Lorentz* – le *relazione tra gli intervalli* – la *composizione relativistica delle velocità* (non quelle trasverse al moto relativo degli osservatori);
- B. L'*invarianza del quadri-intervallo* – la *differenziazione tra quadri-intervalli di tipo tempo, di tipo spazio e di tipo luce* – la *definizione di grandezza propria (lunghezza e tempo)*;

8) IL DIBATTITO TRA SOSTANZIALISTI E RELAZIONASTI

9) IL QUADRI-IMPULSO:

Riflessioni sui concetti: *costanza, invarianza e conservazione* – riflessioni sul legame *Energia ed Inerzia* – il *quadri-impulso* (enermoto) – l'*unificazione dei principi di conservazione* – la *relazione $E = m c^2$* .

IL PERCORSO NELLO SPECIFICO

Il presente *percorso didattico* si propone di partire dall'evidenziazione dei *problemi aperti* e delle incongruenze che risiedevano in seno alla fisica all'inizio del '900 per poter passare poi alla formulazione della *relatività ristretta*. Lungo il percorso ci si propone di presentare sia previsioni che relative conferme sperimentali, sia la risoluzione ai problemi aperti che l'apertura di nuovi problemi (contrapposizione di diverse interpretazioni alla teoria stessa: RELAZIONISTA, di Einstein, contro SOSTANZIALISTA, di Minkowski).

1) INTRODUZIONE:

Preliminarmente si consiglia di effettuare una raccolta di idee sui concetti di spazio, tempo, evento e simultaneità invitando gli alunni a definirli per iscritto.

Le finalità di questo primo *step* sono molteplici:

- si vuole “sondare il terreno” cercando di capire sia i paradigmi che le convinzioni radicate nel gruppo classe per poter calibrare le successive lezioni ed i successivi interventi;
- si vuole “mettere la pulce nell'orecchio” degli studenti nei confronti di quello che sarà l'argomento centrale del ciclo di lezioni previste nel presente progetto didattico: lo spazio-tempo e la simultaneità di eventi;
- si vogliono cercare “spunti” per colorire le lezioni successive (attraverso citazioni di frasi estrapolate dagli elaborati stessi o attraverso l'evidenziazione di eventuali “centri di discussione” che diano la possibilità di aprire verso gli argomenti che saranno trattati successivamente);
- si vuole cercare, eventualmente, segnali che permettano di calibrare, ricalibrare o soppesare la prova di valutazione dell'appreso;

Si reputa importante però presentare anche una *sintesi* delle idee emerse dall'analisi degli elaborati. In questa fase si evidenzieranno le diverse possibili concezioni di spazio, tempo, evento e simultaneità, sottolineando come ognuna, essendo idea nata dall'esperienza quotidiana e dal vissuto personale, abbia lo stesso “diritto di cittadinanza” delle altre. Dopo una (prevista) discussione collegiale (che si spera, fra l'altro, accenda l'interesse degli studenti) si sottolineeranno le “conclusioni” cui si è giunti (se conclusioni ci saranno) con la promessa di tornare in seguito sull'argomento e con l'invito a rifletterci sopra ancora. Ci si propone inoltre di farli poi loro riflettere in un secondo momento su come tali idee si siano modificate/ristrutturate durante il percorso.

2) PROBLEMI APERTI ALL'INIZIO DEL 1900:

A-B) Incongruenze interne alla meccanica: lo spazio assoluto di Newton, la critica Machiana (con riferimento all'esperimento mentale del “secchio rotante”) e la relatività Galileiana, il principio di relatività (si suggerisce anche la visione del video del PSSC “Sistemi di riferimento”).

C-D) Incongruenze interne all'elettromagnetismo: la teoria di Maxwell e le sue asimmetrie, l'etere e il risultato nullo dell'esperimento di Michelson e Morley [con riferimenti storici quali, per esempio, il "come" effettuarono la seconda misura negli Stati Uniti (fecero fermare il traffico della città, fissarono la strumentazione su un blocco di cemento immerso nel mercurio per farlo ruotare senza vibrazioni, ecc...) e riferimenti-cenni a tentativi di spiegazione *ad hoc* da parte di Lorentz, Stokes, ecc... - *metodo induttivo*. Con queste riflessioni si vuole evidenziare oltre all'importanza dell'esperimento in sé anche come, quando una teoria comincia a dare segni di incongruenze, ci siano scienziati che si schierano a sua difesa e cerchino di "riaggiustarla" per non dover rinunciare a visioni del mondo e strutture formali apprese, consolidate e che si sanno controllare];

Con questa prima fase si vuole far nascere negli studenti, attraverso il richiamo e la risistemazione di argomenti e conoscenze che hanno già in gran parte acquisito, un *senso di disagio* verso una situazione "non lineare" e strutturalmente incoerente e di far nascere, altresì, la relativa *esigenza di "mettere in ordine le cose"*;

3) EINSTEIN E L'ARTICOLO DEL 1905

A) Breve presentazione biografica di Albert Einstein;

[Con particolare riferimento alla mia esperienza personale credo che l'età e l'occupazione di Einstein in quel periodo e pochi altri cenni biografici siano funzionali a far nascere negli studenti interesse e simpatia nei confronti del personaggio e quindi, per riflesso, nei confronti del suo lavoro];

B) Introduzione dei due *postulati fondanti della relatività ristretta*:

I) postulato di relatività;

II) postulato di costanza ed isotropia della velocità della luce;

Riflessioni sulle motivazioni che spinsero Einstein a formulare la sua teoria (asimmetrie nella teoria dell'elettromagnetismo e non necessità di un etere come sistema di riferimento privilegiato) e sul suo "controverso" rapporto con l'esperimento di Michelson e Morley;

C) *Velocità limite*: Introduzione del concetto di velocità della luce come 'limite invalicabile' (a partire da riflessioni sui due postulati), richiamo dell'esperimento di Bertozzi e visione del video del PSSC sulla velocità limite;

[Da questo punto in poi saranno analizzate le conseguenze dei due postulati della relatività ristretta seguendo due prospettive diverse: quella RELAZIONISTA e quella SOSTANZIALISTA].

4) RELATIVITÀ DEL TEMPO:

A) Disquisizione sulla simultaneità e sui concetti di spazio e tempo assoluti – esperimento mentale dei due fulmini [A questo punto si suggerisce anche una riflessione preliminare alla trattazione dell'esperimento mentale insieme agli studenti, con l'aiuto delle informazioni raccolte con gli elaborati del primo step, sulle implicazioni del secondo postulato sino al suo influenzare fortemente il concetto/preconcetto di absolutezza della simultaneità].

B) Introduzione dei diagrammi spazio-temporali di Minkowski (presente, passato, futuro, linea di universo e simultaneità);

C) Evidenziazione della necessità (nella visione Einsteniana) di costruire un sistema di riferimento dotato di orologi sincroni per poter effettuare misure.

Orologio a luce ed esperimento mentale “sulla” *dilatazione dei tempi*. Definizione di tempo proprio.

Introduzione dell’esperimento di Hafele-Keating. Richiamo al funzionamento dei Gps [Tutto ciò a conferma dell’effetto di dilatazione].

Riflessione *sull’effetto gemelli* e sua rappresentazione sui diagrammi di Minkowski.

D) Riflessioni sul *significato della Relatività Ristretta* (non come “teoria” ma come “legge-quadro”) e sulla necessità di *riscrivere tutte le leggi fisiche* affinché fossero coerenti con i suoi postulati.

5) RELATIVITÀ E LUNGHEZZE:

Introduzione dell’esperimento mentale “sulla” *contrazione delle lunghezze*. Definizione di lunghezza a riposo. L’esperimento di Frisch-Smith (muoni).

6) RELATIVITÀ E VELOCITÀ:

Introduzione al problema della *composizione delle velocità*.

7) LE TRASFORMAZIONI DI LORENTZ:

A) *Le trasformazioni di Lorentz – le relazione tra gli intervalli* – la composizione relativistica delle velocità (non quelle trasverse al moto relativo degli osservatori);

B) *L’invarianza del quadri-intervallo – la differenziazione tra quadri-intervalli di tipo tempo, di tipo spazio e di tipo luce – la definizione di grandezza propria (lunghezza e tempo) – interpretazione dell’effetto gemelli* tramite i diagrammi di Minwowki

8) IL DIBATTITO TRA SOSTANZIALISTI E RELAZIONISTI:

Interpretazione degli *effetti* relativistici attraverso i diagrammi spazio-temporali di Minkowski. Messa a confronto delle due interpretazioni, ad opera di Einstein e Minkowski, della relatività ristretta: RELAZIONISMO contro SOSTANZIALISMO.

9) IL QUADRI-IMPULSO:

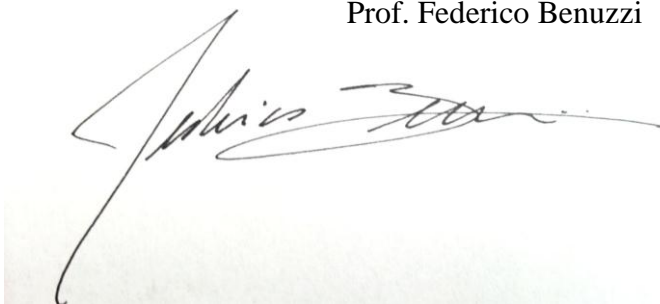
Partendo da attente riflessioni su quali siano i nuclei fondanti della fisica classica (*spazio e tempo* da un lato e principi di conservazione di *massa ed energia* dall’altro), sugli effetti relativistici indotti dai due postulati (primo fra tutti il confondersi in uno (spazio-tempo) di due dei pilastri poc’anzi enunciati “classicamente” distinti nel modo più rigoroso in spazio assoluto e tempo assoluto) e sull’esperimento di Bertozzi portare gli studenti ad intuire (almeno) la possibilità di una fusione dei due principi di conservazione in uno unico.

Relatività ristretta – un percorso didattico – Prof Federico Benuzzi

Una volta introdotta la relazione si suggerisce da una lato di fare una carrellata delle applicazioni-conferme che si sono susseguite nella storia [a partire dall'*interpretazione dell'esperimento di Bertozzi* per passare alla *fisica nucleare*, quando il francese Langevin spiega i “difetti di massa” dei nuclei, alla *fisica delle grandi energie*, con la creazione di coppie elettrone-positrone, alla scoperta della *fissione nucleare*, ad opera di Hahn ed altri, attraverso la “pila” di Fermi, sino ad Hiroshima (6 agosto 1945)] e dall'altro di evidenziare il collegamento fra elettromagnetismo e gravitazione che la relazione $E=mc^2$ induce.

Riflessione conclusiva: Si è convinti, con questa “doppia trattazione” portata avanti su due piani fortemente differenziati (uno intuitivo, prima, ed uno formale, poi) e cronologicamente invertiti rispetto al consueto (generalmente si affronta prima una introduzione formale e poi una evidenziazione dei legami con esperimenti, effetti e caratteristiche quadrivettoriali delle grandezze caratterizzanti la relatività), di ravvivare l'interesse dei ragazzi rispetto ad un argomento forse troppo pesante, di dare luogo ad un insegnamento più incisivo di quello tradizionale e di vedere se la sola trattazione intuitiva possa essere sufficiente o cosa la trattazione formale aggiunge all'appreso.

Prof. Federico Benuzzi

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Federico Benuzzi', written in a cursive style.