



## ***La seconda prova di Fisica nell'Esame di Stato***

### **Premessa**

La bozza di regolamento sull'Esame di Stato del 26 novembre 2014 ha introdotto la Fisica tra le materie caratterizzanti il corso di studio del Liceo Scientifico in tutte le sue opzioni. Nello stesso regolamento si prevede che anno per anno tali discipline possano essere oggetto, su decisione autonoma del Ministro, della seconda prova.

Tale decisione, pur non costituendo una novità assoluta poiché la seconda prova di Fisica era presente ad anni alterni per esempio nel Liceo Scientifico ad indirizzo Brocca, sicuramente pone una serie di problemi nuovi legati a:

- la diffusione di tale indirizzo nel panorama italiano, non più limitato ad un piccolo numero di scuole ma molto diffuso su tutto il territorio nazionale;
- l'importanza che la disciplina viene ad avere, passando dal ruolo di ancella della matematica a insegnamento chiave;
- una serie di circostanze, legate alle normative di riferimento (quadri orari dell'offerta formativa, Indicazioni Nazionali, tipologia della prova).

Problemi che riguardano anche la necessità di innovare la didattica per essere all'altezza della nuova sfida.

Posto che l'A.I.F. è favorevole all'introduzione della seconda prova di fisica, ove siano confermate le anticipazioni emerse di una seconda prova di fisica basata sulla soluzione di problemi e/o quesiti, è necessario sottolineare alcune criticità, anche alla luce della simulazione del 25 febbraio 2015.

Questo documento raccoglie alcune osservazioni, che sono proposte all'attenzione del Ministero con il fine di una collaborazione sinergica come auspicato dall'articolo 4 del regolamento sulle Indicazioni Nazionali e dall'articolo 12 del Regolamento dei Licei

### **Art. 4**

*1. Ai sensi dell'articolo 12, comma 2, del decreto del Presidente della Repubblica 15 marzo 2010, n.89, le Indicazioni nazionali di cui al presente decreto sono aggiornate periodicamente in relazione agli sviluppi culturali emergenti, nonché alle esigenze espresse dalle università, dalle istituzioni di alta formazione artistica, musicale e coreutica e dal mondo del lavoro e delle professioni.*



### Art. 12 (comma 2)

*Il profilo educativo, culturale e professionale dello studente a conclusione del secondo ciclo del sistema educativo di istruzione e di formazione per il sistema dei licei, nonché le indicazioni di cui all'articolo 13, comma 10, lettera a), sono aggiornati periodicamente in relazione agli sviluppi culturali emergenti nonché alle esigenze espresse dalle università, dalle istituzioni dell'alta formazione artistica, musicale e coreutica e dal mondo del lavoro e delle professioni.*

### Il quadro orario e le Indicazioni Nazionali

Un primo dato di cui tenere conto è la necessità di prevedere nel quadro orario dedicato all'insegnamento della Fisica un congruo numero di ore da dedicare all'esercitazione degli studenti nella soluzione di problemi e quesiti sui cinque anni di curriculum.

Qui emerge il primo problema. Nella tabella sottostante è riportato il numero di ore di insegnamento sul quinquennio dedicate alle discipline oggetto di seconda prova nei Licei Scientifici e Classici.

Indirizzo	Disciplina	Ore di insegnamento totali nel quinquennio
Liceo Classico	Lingua e cultura latina	$165 + 165 + 132 + 132 + 132 = 726$
	Lingua e cultura greca	$132 + 132 + 99 + 99 + 99 = 561$
Liceo Scientifico	Matematica	$165 + 165 + 132 + 132 + 132 = 726$
	Fisica	$66 + 66 + 99 + 99 + 99 = 429$
Liceo Scientifico S.A.	Matematica	$165 + 132 + 132 + 132 + 132 = 693$
	Fisica	$66 + 66 + 99 + 99 + 99 = 429$
	Scienze Naturali	$99 + 132 + 165 + 165 + 165 = 636$

Si osservi che delle discipline riportate, Fisica è quella per cui si prevede il numero di ore inferiore. Solo l'insegnamento di Lingua e cultura greca prevede tre ore settimanali nel secondo biennio e quinto anno (le altre un numero maggiore), ma per quest'ultima per contro sono previste nel primo biennio, cioè negli anni in cui si pone il fondamento della disciplina, quattro ore settimanali, contro le due ore a disposizione per la Fisica.



Di questa circostanza è necessario tener conto specialmente alla luce delle Indicazioni Nazionali. Queste ultime, previste dall'art.13 c. 10 del Regolamento per i Licei riguardano *“gli obiettivi specifici di apprendimento con riferimento ai profili di cui all’articolo 2, commi 1 e 3, in relazione alle attività e agli insegnamenti compresi nei piani degli studi previsti per i percorsi liceali di cui al presente regolamento”* e fissano *“Gli obiettivi specifici di apprendimento, con riferimento ai profili di cui all’articolo 2, commi 1 e 3, del decreto del Presidente della Repubblica 15 marzo 2010, n. 89, in relazione alle attività e agli insegnamenti compresi nel piano degli studi previsto per ciascuno dei licei”*.

Pur non essendo riducibili ai vecchi programmi ministeriali in virtù della normativa sull'autonomia, giocano in questo ambito un ruolo analogo in quanto *“La seconda prova scritta, che può essere anche grafica o scrittografica, ha lo scopo di accertare il possesso delle conoscenze specifiche del corso di studi frequentato dal candidato”*, (D.M. 41 del 23 aprile 2003), conoscenze specifiche fissate appunto dalle Indicazioni Nazionali: *“Le Indicazioni nazionali degli obiettivi specifici di apprendimento per i licei rappresentano la declinazione disciplinare del Profilo educativo, culturale e professionale dello studente a conclusione dei percorsi liceali. Il Profilo e le Indicazioni costituiscono, dunque, l’intelaiatura sulla quale le istituzioni scolastiche disegnano il proprio Piano dell’offerta formativa, i docenti costruiscono i propri percorsi didattici e gli studenti raggiungono gli obiettivi di apprendimento e maturano le competenze proprie dell’istruzione liceale e delle sue articolazioni.”* (Allegato A del D.P.R. 15 marzo 2010 n. 89).

In questo contesto appare di dubbia interpretazione il *“Percorso curricolare per il V anno”* di Fisica pubblicato con la Nota Ministeriale 4846 del 21 luglio 2014 che riprende, specifica e in parte modifica le Indicazioni Nazionali.

In primo luogo, esso non è previsto da alcuna normativa, da cui il ruolo di indicazione per le scuole non vincolante per il Ministero e l'impossibilità che esso si discosti dalla norma (appunto le Indicazioni Nazionali) e in secondo luogo pone la seconda prova del Liceo Scientifico in una luce completamente diversa da tutte le altre seconde prove per cui tale percorso non è contemplato.

E' necessario porre attenzione al fatto che il raggiungimento di tali obiettivi di conoscenze e competenze ad un livello tale da consentire ad uno studente di affrontare serenamente una seconda prova appare molto difficile avendo a disposizione nell'arco del quinquennio un numero così esiguo



di ore per l'insegnamento della disciplina, a fronte della valenza culturale e formativa della disciplina stessa, della sua difficoltà oggettiva e dei tempi necessari all'apprendimento da parte dei discenti, e considerata la necessità di procedere allo sviluppo nello studente di altre competenze, quali ad esempio la capacità di argomentare propriamente utilizzando un linguaggio tecnico opportuno, necessaria per affrontare il colloquio previsto dalla normativa sull'Esame di Stato.

Anche lo sviluppo di queste competenze ha un costo non indifferente in termini di tempo scuola. Consideriamo una classe di V anno, di 20 studenti, e supponiamo di dedicare a ciascuno di essi 15 minuti nel corso dell'anno per quest'aspetto (un tempo abbastanza limitato). Il totale risulta di 5 ore. Se supponiamo di dedicare alla verifica altre 12 ore (3 verifiche a quadrimestre, ciascuna di un'ora con una addizionale ora di correzione restituzione della prova) vediamo il nostro monte ore scendere a 82 ore.

Prendiamo per esempio uno degli argomenti del "Percorso Curricolare di Fisica", la Fisica quantistica, che pesa nel suddetto curricolo per il 30% del carico totale. Per svolgere questo argomento il docente deve prevedere quindi circa 25 ore, di cui ragionevolmente diciamo 8 dedicate all'esercitazione (circa un terzo) vediamo che il nostro docente ha a disposizione 17 ore nelle quali deve trattare:

- emissione di corpo nero e l'ipotesi di Planck
- esperimento di Lenard e spiegazione di Einstein dell'effetto fotoelettrico
- effetto Compton
- modello di Bohr e interpretazione degli spettri atomici
- esperimento di Franck-Hertz
- lunghezza d'onda di de Broglie
- dualismo onda-particella
- diffrazione/interferenza di elettroni
- principio di indeterminazione.

Senza dubbio una bella corsa contro il tempo, tenuto conto che bisognerebbe, per quanto possibile, fare riferimento ad esperimenti di laboratorio, su argomenti con cui lo studente ha scarsa familiarità, e pochi elementi personali da utilizzare nella costruzione del proprio quadro di conoscenze.



Senza perdere di mira la competenza attesa di *“saper riconoscere il ruolo della fisica quantistica in situazioni reali e in applicazioni tecnologiche”*.

Al di là di questi calcoli relativi al solo quinto anno, le Indicazioni Nazionali presentano una caratteristica ancora più significativa a monte: esse appaiono estremamente vaste.

Per il primo biennio, ad esempio, esse pongono come obiettivi specifici di apprendimento, oltre le competenze metodologiche sul comportamento da tenere in laboratorio e le modalità di base di trattamento dei dati sperimentali,

1. *... lo studio dell'ottica geometrica, tramite i quali lo studente sarà in grado di interpretare i fenomeni della riflessione e della rifrazione della luce e il funzionamento dei principali strumenti ottici;*
2. *lo studio dei fenomeni termici definirà, da un punto di vista macroscopico, le grandezze temperatura e quantità di calore scambiato introducendo il concetto di equilibrio termico e trattando i passaggi di stato;*
3. *lo studio della meccanica riguarderà problemi relativi all'equilibrio dei corpi e dei fluidi;*
4. *... i moti saranno affrontati innanzitutto dal punto di vista cinematico giungendo alla dinamica con una prima esposizione delle leggi di Newton, con particolare attenzione alla seconda legge.*
5. *Dall'analisi dei fenomeni meccanici, lo studente incomincerà a familiarizzare con i concetti di lavoro ed energia, per arrivare ad una prima trattazione della legge di conservazione dell'energia meccanica totale.*

Il tutto tenendo conto che *“l'attività sperimentale lo accompagnerà lungo tutto l'arco del primo biennio, portandolo a una conoscenza sempre più consapevole della disciplina anche mediante la scrittura di relazioni che rielaborino in maniera critica ogni esperimento eseguito.”*

Questo in un totale di 132 ore nel biennio, cioè in media 26 ore per ciascuno dei temi, esercizi e verifiche comprese!

Per confronto la sperimentazione della Fisica nel Piano Nazionale dell'Informatica prevedeva 99+99 ore di lezione nel primo biennio, a fronte delle 66+66 nell'attuale Liceo, e circa il 30% delle ore della disciplina dedicate all'attività di laboratorio.



Tenendo anche presente che, a parere di molti docenti ed esperti di didattica della fisica, alcuni degli obiettivi (per esempio quelli riguardanti la dinamica) appaiono prematuri per lo sviluppo cognitivo e delle capacità di astrazione dei discenti di quella età, alcuni argomenti, previsti nella declinazione degli obiettivi, se devono essere trattati, non possono che essere trattati ad un livello introduttivo, di conseguenza in maniera superficiale, e poi ripresi nel triennio successivo per una formalizzazione più compiuta.

Le cose non migliorano nel biennio successivo, in cui l'impianto teorico (e la soluzione di problemi) acquistano maggiore rilievo, mentre *“l'attività sperimentale consentirà allo studente di discutere e costruire concetti, progettare e condurre osservazioni e misure, confrontare esperimenti e teorie.”*

Un compito decisamente impegnativo. Come impegnativi appaiono i contenuti, meccanica dei sistemi, sistemi di riferimento inerziali e non inerziali, studio della gravitazione, legge del gas perfetto e teoria cinetica, principi della termodinamica, onde meccaniche e ottica fisica, e per finire, *“lo studio dei fenomeni elettrici e magnetici permetterà allo studente di esaminare criticamente il concetto di interazione a distanza, già incontrato con la legge di gravitazione universale, e di arrivare al suo superamento mediante l'introduzione di interazioni mediate dal campo elettrico, del quale si darà anche una descrizione in termini di energia e potenziale, e dal campo magnetico.”*

Si notano due aspetti:

- 1) la struttura dell'organizzazione degli obiettivi specifici di apprendimento molto simile ai vecchi programmi ministeriali e quasi rigorosamente storica in cui lo sviluppo della disciplina conduce al programma del quinto anno, incentrato sulla cosiddetta fisica moderna;
- 2) la mancanza dell'indicazione dei livelli di riferimento a cui il docente deve mirare.

Questo appare particolarmente pericoloso in vista dell'Esame di Stato, a causa della scarsa tradizione di una seconda prova di fisica basata sulla risoluzione di problemi e della assenza di un data base di prove di simulazione.

Per quanto riguarda, infine, la maggior parte degli argomenti lasciati al quinto anno, questi hanno a che fare con una realtà molto lontana dall'esperienza quotidiana dello studente (meccanica quantistica e relatività, per tacere degli sviluppi successivi) con il rischio di ridurre l'apprendimento ad un vuoto formalismo (è per esempio ragionevole proporre agli studenti la sintesi delle equazioni



di Maxwell con inclusione del termine della corrente di spostamento?).

### **Il syllabo/curricolo**

Il syllabo o curricolo (così lo indicheremo nel seguito ma il termine corretto dovrebbe essere “Quadro di riferimento della seconda prova di Fisica per il V anno dei Licei Scientifici”) è stato sviluppato all'interno del progetto LS-OSA da un gruppo di lavoro formato da docenti della scuola secondaria, docenti universitari ed esperti del Ministero coordinati dal prof. Settimio Mobilio del Dipartimento di Scienze dell'Università di Roma 3 e successivamente discusso e modificato nel convegno di Torino organizzato dal Ministero dal 10 al 12 aprile 2014 in una assemblea di docenti provenienti dagli Istituti scolastici di tutta Italia, individuati come rappresentativi delle realtà scolastiche ove è attivato l'indirizzo di Liceo Scientifico delle Scienze Applicate.

Come dice il coordinatore nella sua relazione (Nota Ministeriale 4846 del 21 luglio 2014), il syllabo fissa *“i prerequisiti, cioè conoscenze, abilità e competenze da sviluppare negli anni precedenti che gli studenti dovranno aver acquisito all'inizio del V anno e i contenuti irrinunciabili, le abilità e le competenze che gli studenti dovranno aver acquisito al termine del V anno.”*

Premettiamo che questo curricolo riguarda in linea di principio solo i licei delle scienze applicate, ma essendo le Indicazioni Nazionali identiche per i due indirizzi, come pure il quadro orario, estenderemo queste conclusioni anche all'indirizzo cosiddetto “ordinamentale”.

Esso fissa non solo i contenuti indispensabili, che costituiscono un sottoinsieme delle Indicazioni Nazionali, ma anche le abilità e competenze che si vogliono sviluppare per ciascun argomento.

I contenuti sono divisi in quattro aree, Elettromagnetismo, cui dovrebbe essere riservato il 40% del carico orario, Relatività (20%), Fisica Quantistica (30%) e Approfondimenti di Fisica Avanzata (10%).

Prescindendo dai contenuti è importante fissare alcune questioni relative a questo documento:

1. vuole essere non solo un contributo in vista dell'Esame di Stato (che nella relazione finale è ancora indicato come “esame di maturità”), ma anche una proposta di modifica delle Indicazioni Nazionali stesse, in vista di una loro auspicata rivisitazione;
2. prende atto che alcune libertà concesse dalle Indicazioni ai docenti non sono compatibili con



- la seconda prova di Fisica (per esempio lo spostamento di elettrostatica e magnetostatica al quinto anno);
3. identifica come centrale per quest'ultima la presenza della Fisica Moderna, intesa come Fisica Quantistica e Relatività;
  4. di fatto non indirizza verso un tipo ben definito di seconda prova scritta, come è testimoniato dall'abbondanza di argomenti di cui è richiesta solo una conoscenza qualitativa e descrittiva (nelle abilità vengono utilizzati tredici volte verbi come “discutere”, “illustrare”, “descrivere” e quattordici volte verbi come “calcolare” e “risolvere”), e per giunta crea un grave problema con la presenza dell'ultima area, non specificata e lasciata all'arbitrio del singolo docente, rendendo pertanto i temi che potrebbero confluire in quest'area (ad esempio la radioattività, la fisica dei semiconduttori, ecc.) esclusi dalla prova degli esami di Stato, che deve essere concertata a livello nazionale, quindi deve trattare temi sicuramente affrontati in tutte le scuole.

Venendo invece ai contenuti, che non sono e non possono essere indifferenti al tipo di seconda prova prevista, si possono fare alcune osservazioni:

1. si tratta di argomenti per la maggior parte legati ad un'area di esperienza non comune nella quotidianità degli studenti e del cittadino medio. Ovviamente questo non vuol dire che essi siano estranei alla tecnologia comunemente utilizzata, ma che i fenomeni di cui tratta sono perlopiù limitati all'area microscopica o astronomica e non alle dimensioni tipiche nelle quali lo studente vive e di cui ha esperienza diretta. L'unico argomento (peraltro di notevole attualità) legato alla quotidianità dello studente, costituito dalla gravitazione newtoniana e problematiche connesse, è assente dal quadro.
2. Vero è che nel documento di accompagnamento si sottolinea la necessità di abbandonare una trattazione degli argomenti tradizionale, basata su un approccio pseudo-storico, ma è anche vero che a nostro parere si percepisce una eccessiva insistenza su questioni che, pur se centrali per la fisica (il problema dell'unificazione che porta ad inserire come fondamentali le equazioni di Maxwell, la sottolineatura delle trasformazioni di Lorentz) forse sono poco interessanti per il cittadino comune, anche in vista della mancanza di strumenti matematici, col rischio di dover ridurre l'insegnamento dei vari problemi ad una sterile elencazione per luoghi comuni.
3. Sono del tutto assenti argomenti centrali per l'educazione del cittadino, quali le questioni legate alla radioattività e alla fisica nucleare in generale, il tema delle fonti di energia,



questioni su cui il cittadino è stato chiamato anche in passato a decidere in un referendum e sulle quali viene, per scelta discutibile dei docenti stessi, stesa una cortina di silenzio.

Nel quadro di una seconda prova di Fisica basata su problemi/quesiti, sia di tipo tradizionale, quale noi auspichiamo, che innovativi, gli argomenti scelti non paiono particolarmente indovinati, da un lato per la difficoltà di sviluppare nello studente quegli aspetti legati all'intuizione, spesso guidata dall'esperienza comune, senza i quali la risoluzione di un problema rischia di rimanere un esercizio puramente formale, sia per la difficoltà nel formulare problemi diversificati compatibili con le conoscenze matematiche dello studente.

Prima di chiudere questo argomento sottolineiamo il ruolo poco chiaro di questo documento nel quadro normativo, che pare una sorta di “gentlemen’s agreement” tra due soggetti, il Ministero e i docenti, i cui ruoli sono estremamente diversi.

### **Problemi o problemi esperti?**

Durante la discussione iniziale sulla seconda prova si era dibattuto a lungo, e l'A.I.F. aveva anche presentato una proposta in tal senso, di una prova che andasse a verificare le competenze degli studenti nell'area del problem solving anziché incentrata su una trattazione e che fosse basata su quesiti, quale allora pareva fosse la tendenza prevalente, anziché su problemi.

Siano quesiti o problemi l'A.I.F. ritiene assolutamente irrinunciabile questo approccio e crede siano deleterie altre scelte basate su una fisica raccontata.

La differenza tra problemi e quesiti non è puramente nominale e va tenuta ben presente, distinguendo i quesiti, di solito mono-concettuali, dai problemi, di solito basati sulla contemporanea presenza di una pluralità di situazioni e/o concetti, molto più impegnativa rispetto alla prima.

A tale proposito vorremmo sottolineare che i problemi e i quesiti delle Olimpiadi della Fisica non possono costituire un riferimento per la prova dell'Esame di Stato. Infatti diverse sono le finalità nelle due situazioni: nelle Olimpiadi della Fisica i problemi e gli esercizi sono funzionali alla selezione degli studenti, nell'Esame di Stato sono funzionali alla valutazione degli studenti.

Tuttavia il notevole patrimonio di materiali ed esperienza prodotto dall'A.I.F. nel corso di trenta edizioni delle Olimpiadi della Fisica, liberamente disponibile per le scuole, se opportunamente scelto ed adattato dal docente alla didattica in classe, assume certamente un ruolo di facilitatore per



la preparazione dello studente verso il problem solving e, in ultima analisi, verso l'Esame di Stato.

Nel convegno di Rovigo (29 e 30 settembre 2014) e successivamente si è discusso a lungo di una seconda prova (non solo di Fisica) basata su problemi cosiddetti esperti, cioè problemi in cui *“al candidato è richiesto di formulare e verificare ipotesi. La traccia non deve indicare linee di intervento né passaggi da seguire. ...lo studente deve suggerire varie ipotesi di lavoro e formulare anche possibili gradi di approssimazione.”*

In relazione a tale discussione abbiamo notato che non vi è ancora una condivisione unitaria della nozione di "problema esperto", che viene interpretato anche con altre accezioni rispetto a quella emersa nel convegno citato. Dunque riteniamo utile per la comunità scolastica che si giunga ad una definizione condivisa, specificamente riferita alla Fisica, di tale concetto.

In ogni caso, senza entrare nel merito di cosa si intenda per *problema esperto* e senza mettere in discussione l'opportunità di utilizzare questa categoria di problemi per la preparazione dell'Esame di Stato, noi riteniamo tuttavia che l'idea di problema esperto, così come essa sta prendendo forma nel dibattito culturale più recente e da utilizzare come paradigma sul quale costruire la seconda prova, sia, nel momento attuale:

1. di difficile realizzazione in primo luogo;
2. prematura per la situazione italiana;
3. poco funzionale all'obiettivo di valutare in maniera corretta le competenze degli studenti, distinguendo quindi i due piani della questione, quella legata alla situazione attuale e quella che si pone come obiettivo da conseguire a regime.

1. Riteniamo che essa sia di difficile realizzazione se si presuppone che tale tipologia di prove richieda allo studente di valorizzare la propria esperienza personale, ad aggiungere quegli elementi interpretativi che rendono compiuto (e quindi affrontabile) il problema. Sono proprio i contenuti scelti, come detto precedentemente a rendere difficile questa competenza dello studente. Di difficile realizzazione anche perché questo tipo di abitudini devono essere sviluppate durante un percorso pluriennale che non può essere improvvisato nell'arco di un anno, particolarmente l'ultimo.
2. Riteniamo questa scelta prematura, in una situazione come la nostra ove una seconda prova



di fisica, basata sulla risoluzione di problemi anziché su una trattazione, costituisce una importante (**e positiva**) innovazione. Riteniamo che insistere in tal senso renderebbe ancor più indigesta e dirompente questa scelta e quindi sia in tal senso da evitare.

3. Riteniamo la scelta poco funzionale, in quanto, specialmente in assenza di una griglia di correzione imposta centralmente, o quantomeno di una soluzione ufficiale (perché la seconda prova del Liceo Scientifico non può averla, visto che gode anche dell'eccezionalità di avere un Curricolo che gli altri indirizzi non hanno?) la valutazione delle Commissioni d'Esame rischia di privilegiare quegli studenti che si pongono in modo poco critico rispetto al testo ed effettuano una scelta, la più facile, in modo inconsapevole, penalizzando coloro che si pongono in modo più attento rispetto alle problematiche, valutando le eventuali ambiguità necessariamente sottese dal testo.

Riteniamo che, l'obbiettivo di una prova esperta, ove si ritenga di insistere in tal senso, sia realizzabile con una gradualità maggiore (e con altri contenuti) distinguendo in maniera chiara quello che è auspicabile nel lungo periodo, da quello che è il transiente legato all'immediato. In tal senso la diffusione di un database di problemi e simulazioni ben congegnate per l'immediato può costituire un valido aiuto.

### **La simulazione proposta**

Il 25 febbraio 2015 il MIUR ha proposta agli istituti LS-OSA una simulazione di seconda prova di Fisica basata su due problemi, l'uno di elettromagnetismo ed il secondo con argomento la Relatività ristretta.

Accludiamo qui i commenti ai due problemi proposti da Silvano Sgrignoli, già docente di Fisica e Presidente A.I.F. per due mandati e Elio Fabri, già docente di Fisica dell'Università di Pisa e socio onorario A.I.F.

Dalla lettura dei commenti si deduce in primo luogo l'importanza di una formulazione delle simulazioni (e delle prove d'esame) precisa e priva di elementi ambigui o fuorvianti e inoltre che si presti a valorizzare lo studente che si pone in maniera critica rispetto al problema rispetto a quello che risolve lo stesso utilizzando in maniera pedissequa formule e approssimazioni. Se per esempio assegnassimo il problema *“Dato un condensatore le cui armature hanno superficie  $A$  e la distanza tra esse vale  $d$ , posto nel vuoto si calcoli la capacità dello stesso”* vorremmo fosse valorizzato lo studente che si domanda se l'approssimazione di condensatore ideale a facce piane è verosimile in

quel contesto rispetto allo studente che risponde in maniera acritica applicando tale formula.

### **Conclusioni**

Nei paragrafi precedenti abbiamo passato in rassegna le maggiori difficoltà che si frappongono all'introduzione di una seconda prova di Fisica all'Esame di Stato del Liceo Scientifico (sia esso del Liceo Ordinamentale o delle Scienze Applicate).

Vogliamo ora avanzare alcune proposte volte a risolvere o limitare alcune di queste difficoltà. Prima di questo vogliamo però sottolineare due fatti indiscutibili.

In primo luogo prendiamo atto della disponibilità mostrata dal Ministero a discutere su tale questione, disponibilità raramente riscontrata precedentemente e in virtù della quale crediamo si possa e si debba aprire un confronto vero in cui siano coinvolti tutti coloro che hanno a cuore l'insegnamento della Fisica.

Valutiamo in secondo luogo positivamente l'introduzione di una seconda prova di Fisica purché essa sia centrata sulla soluzione di problemi e sottolineiamo ancora, affinché tale innovazione risulti positiva, la necessità di adottare da subito delle pratiche didattiche corrette, ed anche di procedere con gradualità nell'innovare, tenendo conto della realtà in cui per un secolo o quasi la seconda prova è stata appannaggio della matematica.

Vediamo quindi la necessità di intervenire a tre livelli diversi:

1. nell'immediato mettendo in atto azioni di sostegno ai docenti. Fornendo loro un database il più possibile ricco di buoni problemi e quesiti che possano costituire da riferimento per la didattica, in primo luogo per l'ultimo anno, ma in prospettiva anche per gli anni precedenti poiché la competenza del problem solving va costruita progressivamente durante la carriera scolastica dello studente, particolarmente anche durante il secondo biennio. Favorendo la formazione per quei docenti che a causa del proprio percorso d'istruzione meno sono addentro alle questioni didattiche legate all'insegnamento della fisica per problemi e della fisica moderna. Sottolineiamo che spesso la carenza non va ricercata a livello dei contenuti ma soprattutto a livello delle scelte didattiche; interessa non tanto e non solo fornire ad essi corsi per esempio sulla Relatività o sulla Meccanica Quantistica quanto sul modo corretto per insegnarla a studenti di quella fascia di età. Dando tempo alle scuole di attrezzarsi a tale cambiamento, per esempio rinviando la comparsa della fisica all'Esame di Stato all'anno scolastico 2016/2017.



2. Ad un livello successivo rivedendo le Indicazioni Nazionali per i due bienni e per il quinto anno, e per conseguenza il curriculum, sovrabbondanti rispetto alle risorse di tempo a disposizione. Il criterio guida deve essere quello di lavorare prevalentemente sul metodo piuttosto che sui contenuti. Alcuni tagli vanno necessariamente fatti e devono essere fatti nell'ottica di formare dei cittadini che conoscano il metodo di lavoro della fisica e lo possano applicare anche in altri contesti, non di creare dei fisici in miniatura (nel senso delle conoscenze). Oltre ai tagli è opportuna anche una redistribuzione degli argomenti. Non si vede per esempio perché tutta la fisica moderna debba essere concentrata nell'ultimo anno e non possa essere trattata, si pensi alla Relatività, precedentemente. Questo tipo di intervento richiede una volontà politica maggiore del precedente e deve vedere il coinvolgimento nel dibattito dell'Università, sia per la parte disciplinare che per la parte riguardante la didattica della fisica, ma anche dei docenti e di coloro che come l'A.I.F. da anni si occupano della questione. Come abbiamo detto precedentemente questo tipo di intervento è possibile nel quadro della normativa vigente.
3. L'ultimo livello richiede di mettere mano all'impianto orario della disciplina, portando sicuramente le ore di insegnamento nel primo biennio ad un numero più congruo e compatibile con un insegnamento basato sulla laboratorialità, ma anche considerare attentamente l'opportunità di aumentare le ore anche nel triennio successivo. La questione in prospettiva è di primaria importanza, poiché al di sotto di un numero minimo di ore la differenza non è solo quantitativa ma qualitativa. La differenza tra due e tre ore di insegnamento la settimana è molto maggiore di un'ora, è nel passaggio da un'elencazione superficiale di contenuti alla possibilità di affrontare gli stessi con la metodologia adatta.

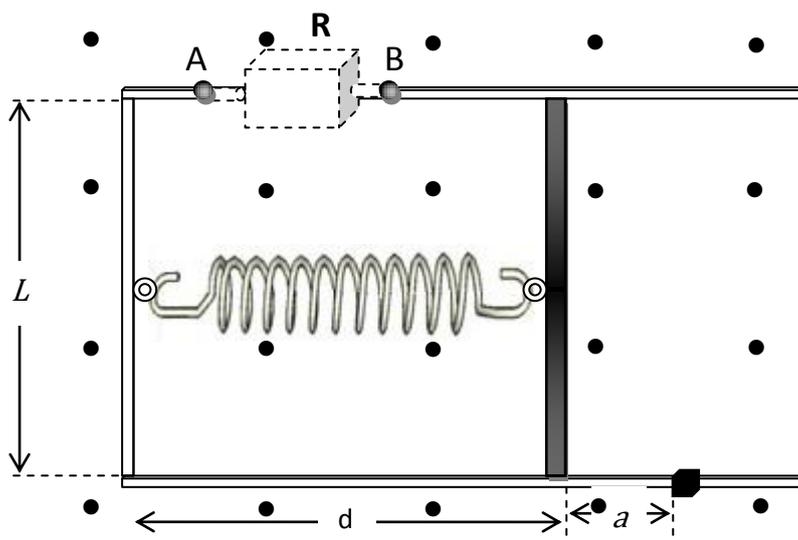
In sintesi possiamo riepilogare questi tre livelli in una sola richiesta, gradualità nel raggiungere gli obiettivi e realismo degli stessi rispetto alle risorse disponibili.

IL DIRETTIVO DELL'ASSOCIAZIONE PER L'INSEGNAMENTO DELLA FISICA

Bologna, 19 settembre 2015

### Problema n. 1: Un generatore "IDEALE"

Il tuo amico Luigi pensa di aver avuto un'idea geniale: ha progettato un generatore di tensione alternata che, una volta avviato, non necessita di ulteriore apporto di energia per il suo funzionamento se non quel poco che serve a vincere gli attriti del dispositivo. Ti mostra la rappresentazione schematica sotto raffigurata descrivendola così:



Una barretta metallica, di massa  $m$ , può scorrere lungo i due binari paralleli di una guida ad U anch'essa metallica. La barretta, di lunghezza  $L$ , è collegata al lato della guida parallelo ad essa mediante una molla fissata con materiale isolante. Il tutto è immerso in un campo magnetico uniforme e costante  $\vec{B}$ , ortogonale al piano della guida.

La barretta viene spostata di un tratto  $a$  e poi bloccata in modo da mantenere la molla allungata. Una volta tolto il blocco la barretta inizierà ad oscillare generando tra i poli A e B una differenza di potenziale alternata che potrebbe essere utilizzata, ad esempio collegando ai poli una resistenza  $R$ , fin quando la barretta si muove.

Volendo presentare la sua idea in un concorso scolastico, Luigi chiede a te di:

**1. preparare una descrizione qualitativa e quantitativa del fenomeno fisico che determina la differenza di potenziale tra i poli A e B, e calcolando il valore della costante elastica della molla che consente di produrre una tensione di frequenza pari a quella della rete domestica di 50,0 Hz, nell'ipotesi che la massa  $m$  abbia il valore  $2,0 \cdot 10^{-2}$  kg.**

**2. valutare il valore massimo  $f_{\max}$  della forza elettromotrice indotta  $f_{e.m.}$  che tale generatore produce nel caso  $a=1,0 \cdot 10^{-2}$  m,  $L=1,0 \cdot 10^{-1}$  m,  $B=0,30$  T.**

Tu non sei convinto che il generatore ideato da Luigi una volta avviato possa fornire per sempre energia elettrica ad una utenza, senza ulteriore apporto di energia; per capire meglio cerchi di ottenere energia dal generatore e colleghi la resistenza elettrica  $R$ , come mostrato in figura, tra i poli A e B, misuri la differenza di potenziale tra i poli in funzione del tempo e ne tracci un grafico.

**3. Che tipo di grafico ottieni?**

**4. Che tipo di moto ha la barretta e perché?**

**5. Come spiegheresti a Luigi cosa avviene dal punto di vista energetico e perché la sua idea non è poi così geniale come lui immagina?**

### **Problema n. 2: Una missione spaziale**

Nel 2200 il più moderno razzo vettore interplanetario costruito dall'uomo può raggiungere il 75,0 % della velocità della luce nel vuoto. Farai parte dell'equipaggio della missione che deve raggiungere un pianeta che orbita intorno alla stella Sirio, che dista 8,61 anni-luce e si avvicina con velocità di 7,63 km/s al sistema solare, effettuare ricerche lì per 2,00 anni e poi rientrare sulla Terra. Devi contribuire alla programmazione di tutti i dettagli della missione, come ad esempio le scorte di cibo e acqua; prendendo come istante di riferimento  $t=0$  il momento della partenza dalla Terra, considerando che viaggerai sempre alla massima velocità possibile e trascurando tutti gli effetti dovuti alla accelerazione del moto nella fase di partenza e di arrivo, fatte tutte le ipotesi aggiuntive che ritieni necessarie, devi valutare:

- 1. quanto tempo durerà la missione per un osservatore sulla terra;**
- 2. quanto tempo durerà il viaggio di andata e quello di ritorno secondo i componenti dell'equipaggio;**
- 3. quanto tempo durerà complessivamente la missione secondo i componenti dell'equipaggio.**

Alcuni test effettuati nei laboratori della Terra sui componenti elettronici simili a quelli utilizzati sull'astronave, indicano che è necessario effettuare alcuni interventi di manutenzione sull'astronave. Dopo 1,00 anni dalla partenza (tempo terrestre) viene quindi inviato un segnale alla navicella. Quando il capitano riceve il segnale,

- 4. quanto tempo è trascorso sulla navicella dall'inizio del viaggio?**

Ricevuto il segnale, il capitano invia immediatamente la conferma alla Terra;

- 5. dopo quanto tempo dall'invio del segnale alla navicella la base terrestre riceve la conferma della ricezione?**

Durante il viaggio di andata, il ritardo nelle comunicazioni con l'astronave aumenta con l'aumentare della distanza; per illustrare al pubblico questo effetto

- 6. disegna su un piano cartesiano i grafici che mostrino rispetto al riferimento terrestre la distanza dalla Terra dell'astronave e dei due segnali di comunicazione, in funzione del tempo.**

Il responsabile della sicurezza della missione ti comunica una sua preoccupazione: teme che, a causa della contrazione relativistica delle lunghezze, il simbolo della flotta terrestre riportato sulla fusoliera del razzo, un cerchio, possa apparire deformato agli occhi delle guardie di frontiera, che potrebbero quindi non riconoscerlo, e lanciare un falso allarme. **Pensi che sia una preoccupazione fondata?**

- 7. Illustra le tue considerazioni in merito a questa preoccupazione e dai una risposta al responsabile della sicurezza, corredandola con argomenti quantitativi e proponendo una soluzione al problema.**

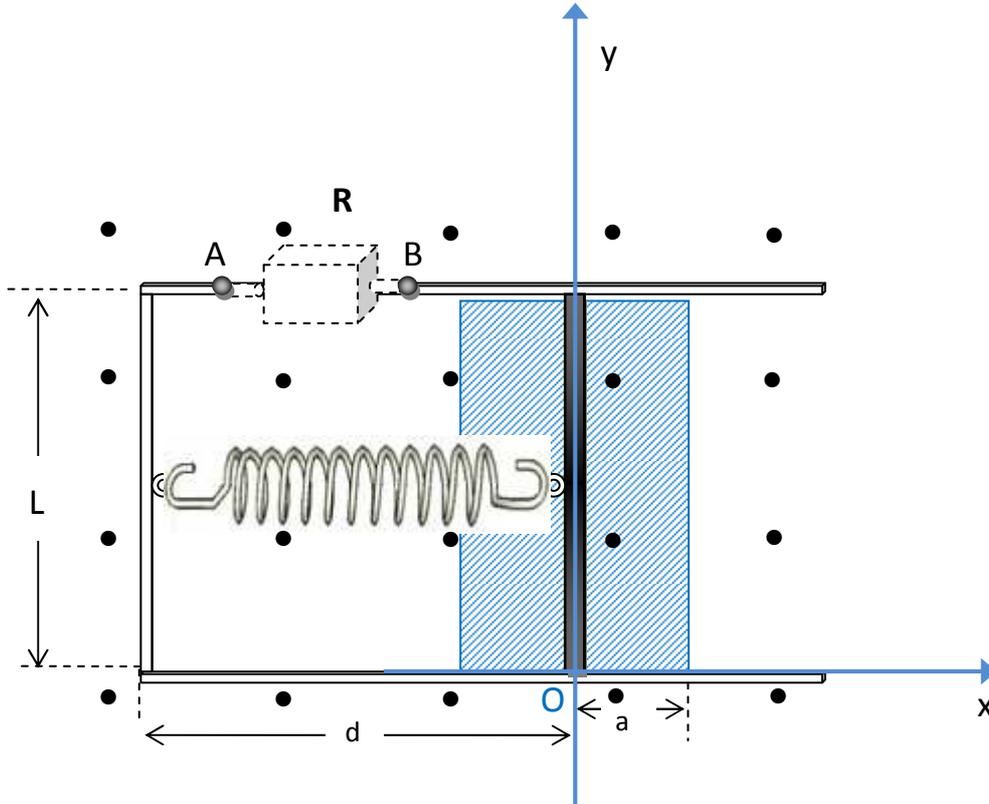
Problemi di simulazione della seconda prova dell'esame di maturità di Fisica  
11 marzo 2015

Lo studente deve svolgere un solo problema a sua scelta  
Tempo massimo assegnato alla prove tre ore

Indicatori di valutazione portati a conoscenza dello studente:

- **Osservare criticamente i fenomeni e formularne ipotesi esplicative utilizzando modelli, analogie e leggi.**
- **Formalizzare situazioni problematiche e applicare gli strumenti matematici e disciplinari rilevanti per la loro risoluzione.**
- **Interpretare e/o elaborare i dati proposti, anche di natura sperimentale, secondo un'ipotesi, valutando l'adeguatezza di un processo di misura e/o l'incertezza dei dati, verificando la pertinenza dei dati alla validazione del modello interpretativo.**

Soluzione del problema "Un generatore IDEALE"



Prima di collegare la resistenza \$R\$ tra i due poli \$A\$ e \$B\$, nel circuito non circola corrente; la barretta è soggetta alla sola forza elastica e quindi si muove di moto armonico; indicando con \$x\$ la posizione della barretta, il moto è descritto dall'equazione:

$$x = a \cos(2\pi f t)$$

con \$a\$ ampiezza del moto; la frequenza del moto armonico è data dall'espressione:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Dovendo essere \$f = 50\$ Hz, si ottiene per \$k\$:

$$k = 4\pi^2 f^2 m = 4 \cdot \pi^2 \cdot 50^2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 1,97 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Per la presenza del campo magnetico, il moto della barretta genera una forza elettromotrice indotta pari al flusso del campo \$B\$ tagliato nell'unità di tempo dalla barretta stessa; esso è anche eguale alla variazione di flusso attraverso la superficie delimitata dalla guida e dalla barretta. Assumendo il campo magnetico uscente dal foglio del disegno (asse \$+z\$), il flusso \$\Phi\$ del campo \$B\$ attraverso la superficie delimitata dalla guida e dalla barretta è:

$$\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{L} \cdot (\mathbf{d} + \mathbf{x}) = \mathbf{B} \cdot \mathbf{L} \cdot (\mathbf{d} + \mathbf{a} \cos(2\pi \mathbf{f} \mathbf{t}))$$

Per la legge di Faraday-Neumann-Lenz la forza elettromotrice indotta  $f_{em}$  sarà:

$$f_{em} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\mathbf{B} \cdot \mathbf{L} \cdot \frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{L} \cdot 2\pi \cdot \mathbf{f} \cdot \mathbf{a} \cdot \sin(2\pi \mathbf{f} \mathbf{t})$$

Il valore massimo  $f_{max}$  si ottiene quando la funzione seno assume il valore 1 e varrà:

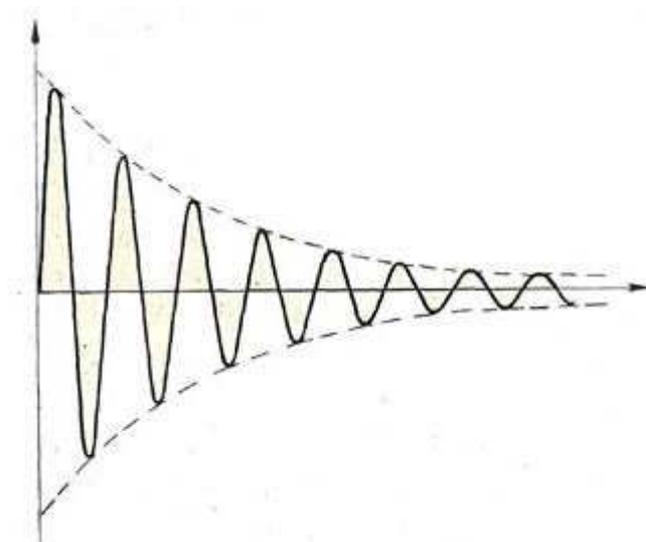
$$f_{max} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{L} \cdot 2\pi \mathbf{f} \cdot \mathbf{a} = 94,2 \text{ mV}$$

Collegando la resistenza R, nel circuito scorre la corrente indotta:

$$i = \frac{f_{em}}{R}$$

La sbarretta subisce quindi l'azione di una forza magnetica data dall'espressione  $\vec{F} = i \vec{L} \times \vec{B}$  il cui effetto è quello di una forza frenante in quanto il verso è opposto a quello della velocità istantanea; infatti nell'ipotesi fatta per il verso di B (lungo +z), quando v è >0 la forza elettromotrice farà circolare la corrente in senso orario; la corrente nella sbarretta sarà lungo -y e quindi la forza F lungo -x, cioè in verso opposto alla velocità; poiché il modulo della forza F è proporzionale alla velocità, si tratta di una forza di resistenza viscosa.

La sbarretta si muove quindi sotto l'azione della risultante di una forza elastica e di una forza di resistenza viscosa e il moto risultante è un moto armonico smorzato. La differenza di potenziale tra i terminali A e B è proporzionale alla velocità  $v = dx/dt$  e ha un andamento temporale analogo a questa, come mostrato in figura.



Dal punto di vista energetico la forza  $F$  agente sulla barretta fa un lavoro negativo, essendo opposta alla velocità; di conseguenza l'energia cinetica della barretta diminuisce nel tempo e così anche la velocità; di conseguenza diminuisce anche la forza elettromotrice indotta e quindi la corrente indotta: a tempi lunghi la barretta si ferma e la forza elettromotrice indotta si annulla.

Quantitativamente il lavoro fatto dalla forza  $F$  nell'unità di tempo (potenza) è eguale alla potenza dissipata per effetto joule dalla corrente indotta nella resistenza  $R$ .

Infatti la potenza dissipata dalla forza  $F$  risulta:

$$|w| = |\vec{F} \cdot \vec{v}| = iLBv$$

E la potenza dissipata nella resistenza  $R$ :

$$|w| = i \cdot f_{em.} = iLBv$$

Quindi il generatore di Luigi non funziona in modo ideale per la produzione di corrente alternata, ma si limita a dissipare per effetto joule l'energia inizialmente fornita alla barretta: non c'è quindi alcuna violazione del principio di conservazione dell'energia.

**Una missione spaziale: soluzione**

Indichiamo con  $t$  e  $\Delta t$  i tempi e gli intervalli di tempo misurati da un osservatore sulla terra e con  $t'$  e  $\Delta t'$  quelli misurati dall'equipaggio della navicella.

La durata della missione è la somma della durata del viaggio di andata  $\Delta t_a$  ( $\Delta t'_a$ ) del tempo trascorso su Sirio per effettuare le ricerche  $\Delta t_{\text{sosta}}$  ( $\Delta t'_{\text{sosta}}$ ) della durata del ritorno  $\Delta t_r$  ( $\Delta t'_r$ ).

Per un osservatore sulla terra, il viaggio di andata ha una durata pari a:  $\Delta t_a = \frac{8,6}{0,75} = 11,6$  anni;

il tempo trascorso su Sirio per effettuare le ricerche è di due anni, cioè è eguale al tempo della sosta misurato dall'equipaggio in quanto la velocità di Sirio è trascurabile rispetto alla velocità della luce; il viaggio di ritorno ha una durata pari a quello di andata; pertanto la durata complessiva della missione  $t_{\text{totale}}$  è:

$$t_{\text{totale}} = \Delta t_a + \Delta t_{\text{sosta}} + \Delta t_r = 11,6 + 2,00 + 11,6 = 25,2 \text{ anni.}$$

Per i componenti dell'equipaggio, la durata del viaggio di andata e del viaggio di ritorno è:

$\Delta t'_a = \Delta t'_r = \frac{\Delta t_a}{\gamma} = \Delta t_a \sqrt{1 - \beta^2} = 11,6 \sqrt{1 - 0,75^2} = 7,67$  anni; il tempo trascorso per effettuare le ricerche  $\Delta t'_{\text{sirio}} = 2,00$  anni. Il tempo totale della missione per i componenti dell'equipaggio risulta quindi:

$$t'_{\text{totale}} = \Delta t'_a + \Delta t'_{\text{sosta}} + \Delta t'_r = 7,67 + 2,00 + 7,67 = 17,3 \text{ anni.}$$

Nel sistema di riferimento della terra, l'evento "invio del segnale" avviene nel punto  $x_0 = 0,00$  al tempo  $t_0 = 1,00$  anni. Per le trasformazioni di Lorentz, nel sistema di riferimento della navicella lo stesso evento avviene nel punto di coordinate spazio-temporali  $x'_0 = \gamma(x_0 - vt_0) = -\gamma vt_0 = -1,13$  anni - luce e al

tempo  $t'_0 = \gamma(t_0 - \frac{vx_0}{c^2}) = \gamma t_0 = 1,51$  anni.

Per i componenti dell'equipaggio il segnale luminoso raggiungerà la navicella dopo un tempo:

$$\Delta t'_1 = \frac{|x'_0|}{c} = \frac{\gamma vt_0}{c} = 1,13 \text{ anni}$$

Il tempo totale trascorso per l'equipaggio sarà quindi:

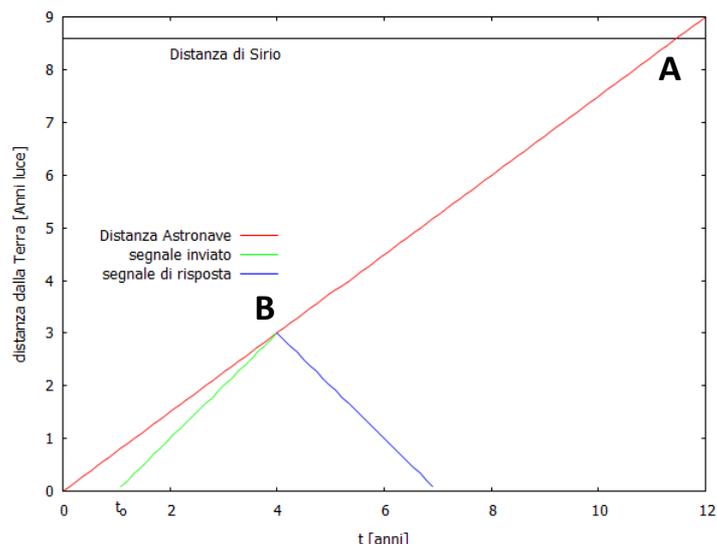
$$t'_{\text{totale}} = t'_0 + \Delta t'_1 = \gamma t_0 + \frac{\gamma vt_0}{c} = \gamma(1 + \beta)t_0 = 2,64 \text{ anni.}$$

Per la base terrestre il segnale giunge alla navicella al tempo  $t_{\text{totale}} = 4,00$  anni dopo l'inizio della missione,

infatti:  $c(t_{\text{totale}} - t_0) = vt_{\text{totale}} \Rightarrow t_{\text{totale}} = \frac{c}{c - v} t_0 = 4,00$  anni

Impiega quindi 3,00 anni a raggiungere la navicella. Al tempo  $t_{\text{totale}}$ , la navicella si trova ad una distanza di 3,00 anni luce dalla Terra; per tornare indietro la risposta impiega quindi altri 3,00 anni e la base a Terra riceverà la conferma della ricezione 6,00 anni dopo l'invio del segnale.

Problemi di simulazione della seconda prova di Fisica  
Esame di Maturità Liceo Scientifico 11 marzo 2015



Il grafico illustra al pubblico la tempistica della missione e dei due segnali; esso mostra la distanza astronave-Terra in funzione del tempo; la pendenza della retta è pari alla velocità dell'astronave. Il segnale inviato al tempo  $t=t_0$  si allontana dalla Terra con velocità  $c$ . Il segnale inviato dall'astronave si avvicina alla Terra con velocità  $c$ . I punti di incrocio delle rette sono gli istanti in cui la navicella raggiunge Sirio (A) e l'istante in cui il segnale raggiunge la navicella (B) e riparte verso la terra.

La preoccupazione del responsabile della sicurezza è fondata, in quanto la contrazione di Lorentz avviene nelle direzioni longitudinali del moto e non in quella trasversale; il cerchio del simbolo della flotta appare più o meno deformato a seconda di come esso è orientato rispetto alla velocità del moto. Infatti un raggio del cerchio diretto come la velocità apparirà contratto del fattore relativistico  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = 1,51$  mentre un raggio ad esso perpendicolare apparirà non contratto.

Per evitare la deformazione del cerchio occorre che la navicella diriga il suo moto sempre verso il posto di guardia della frontiera e che il piano che contiene il simbolo sia sempre perpendicolare alla direzione del moto della navicella in modo che tutti i raggi del simbolo siano perpendicolari al moto e non risentano della contrazione di Lorentz.

## Prova simulata di Fisica. Soluzione del problema 1

a cura di *Silvano Sgrignoli, Bergamo* [sisgri@iol.it](mailto:sisgri@iol.it)

Qualche considerazione, innanzitutto, sul *realismo* del dispositivo.

È difficile immaginare la costruzione concreta di un apparato come quello descritto, che resista bene alle sollecitazioni meccaniche – molla e barretta devono oscillare a 50 Hz con ampiezza non modesta, che presenti “esigui attriti” e che abbia resistenza elettrica di contatto trascurabile tra le parti mobili (di questo ultimo aspetto gli autori non si sono preoccupati, ma le circostanze sembrano doverlo implicare). La molla, inoltre, dovrebbe essere realizzata con un materiale non ferromagnetico, per evitare che l’interazione con il forte campo magnetico la fletta, aumentandone l’instabilità laterale.

Infine, come vedremo presto, non è realistico pensare che la molla abbia massa trascurabile, altra circostanza della quale gli autori non si sono preoccupati affatto.

Quello proposto, insomma, è in tutto e per tutto un *oggetto del mondo di carta*. Nulla di male in questo, se non fosse che la pretesa di “autenticità” fa parte delle premesse sulle quali si vorrebbe fondare la prova.

**1a.** Cominciamo ad occuparci della molla. Supponendo, per il momento, che la sua massa sia trascurabile rispetto a quella della barretta e ammettendo che, a circuito aperto, possano essere ignorati gli effetti elettromagnetici, si tratta di determinare il valore della costante elastica  $k$  dalla relazione:

$$\omega^2 = \frac{k}{m}. \quad (1)$$

Da questa si ricava facilmente:

$$k = 4\pi^2\nu^2m = 4\pi^2 \cdot 50^2 \cdot 0,02 \text{ N/m} = 1974 \text{ N/m} \approx 2000 \text{ N/m}. \quad (2)$$

(Qui sopra abbiamo indicato con  $\omega$  la pulsazione dell’oscillatore e con  $\nu$  la sua frequenza; abbiamo mantenuto soltanto due cifre del valore calcolato, in quanto con la stessa precisione è assegnato il valore di  $m$ ).

Una molla con questo valore della costante elastica è piuttosto “dura”; inoltre, per poter lavorare sia in estensione che in compressione, deve avere un sufficiente passo tra le spire. Consultando i cataloghi dei produttori<sup>1</sup>, si può fare una stima di circa 9 g per la massa di una molla adatta; considerando che tale massa entra per 1/3 a determinare la massa efficace dell’oscillatore, si capisce che ciò comporta una piccola, ma non trascurabile, modifica nel calcolo fatto sopra. Il valore di  $m$  non può più considerarsi assegnato con la precisione di due cifre; il risultato per  $k$  cambia un poco ( $2270 \text{ N/m} \approx 2300 \text{ N/m}$ ).

**1b.** Il testo chiede di “preparare una descrizione qualitativa e quantitativa del fenomeno fisico che determina la differenza di potenziale tra i poli A e B”. A questa richiesta, la soluzione “ufficiale” risponde discutendo delle linee di flusso del campo tagliate dalla barretta nel suo moto e calcolando la *f.e.m.* indotta tramite la legge di Faraday-Neumann-Lenz. In realtà, il “fenomeno fisico” da considerare è l’azione della forza di Lorentz sugli elettroni della barretta in moto e, riferendoci a questo, risulta anche più diretto il calcolo della *f.e.m.* indotta.

2. Nella logica appena detta e indicando con  $\varepsilon$  la forza elettromotrice, la si può esprimere semplicemente come:

$$\varepsilon = BLv \quad (3)$$

e, tenuto conto che il valore massimo della velocità della barretta che si muove di moto armonico con frequenza  $\nu$  e ampiezza d'oscillazione  $a$  è dato da  $2\pi\nu a$ , si ottiene subito:

$$\varepsilon_{\max} = 2\pi\nu BLa = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,3 \cdot 0,1 \cdot 0,01 \text{ V} = 94,2 \text{ mV} \approx 94 \text{ mV}. \quad (4)$$

(È un valore piuttosto modesto per un generatore elettrico! Immaginando un carico di  $1 \Omega$  e nessuno smorzamento, se ne ricaverebbe una potenza minore di  $5 \text{ mW}$  e la *f.e.m.* sarebbe comunque insufficiente per alimentare qualunque apparato di uso comune).

3. Vi è una ragione molto fondamentale per ritenere impossibile che il generatore “una volta avviato possa fornire per sempre energia elettrica ad una utenza”, e si chiama *prima legge della termodinamica*. È strano che gli autori della soluzione “ufficiale” non lo ricordino subito esplicitamente e, soltanto come frase conclusiva di tutta la discussione (dopo i punti 4 e 5), si risolvano a dire: “non c'è quindi alcuna violazione del principio di conservazione dell'energia”.

Comunque, “per capire meglio”, la premessa alla domanda 3 suggerisce di collegare un resistore a chiudere il circuito e indica: “misuri la differenza di potenziale tra i poli in funzione del tempo e ne tracci un grafico”.

Come sarebbe possibile effettuare questa misura? Si tenga conto che la tensione dovrebbe oscillare con una frequenza di  $50 \text{ Hz}$ : soltanto un sistema di acquisizione dati collegato a un sensore voltmetrico potrebbe rispondere alla richiesta. Si presumeva che lo studente pensasse a questo?

In verità, dalla risposta fornita nella risoluzione “ufficiale” si capisce che il parlare di “misura” non voleva essere altro che una forma retorica per chiedere quale andamento di massima della tensione ci si debba attendere ai capi del resistore, senza alcun riferimento concreto all'esecuzione di misure. Tant'è che si dichiara serenamente: “il moto risultante è un moto armonico smorzato” e si mostra un diagramma corrispondente per la d.d.p. ai capi del resistore (senza alcuna indicazione né di grandezze sugli assi, né di scale, né di unità di misura).

Però, anche considerando che la domanda posta miri soltanto a far tracciare un andamento approssimativo, rimane un problema: il testo non indica di che ordine debba essere il valore della resistenza  $R$ . Di conseguenza, a priori, non è scontato che l'andamento sia quello descritto: l'oscillazione potrebbe essere critica o sovrasmorzata!

Forse gli autori del testo hanno ritenuto che lo studente, non avendo presumibilmente esaminato a scuola l'argomento dell'oscillatore armonico smorzato, non si sarebbe neppure posto la questione, ma... e se, invece, a qualche studente fosse venuto in mente un dispositivo concreto come un chiudiporta a molla, oppure la sospensione di una moto? “Per fortuna” un rapido calcolo<sup>2</sup> (che però lo studente non poteva ragionevolmente svolgere) assicura che, anche con un valore molto piccolo di  $R$ , si ricadrebbe sempre nel caso dell'oscillatore sottosmorzato.

In definitiva, la domanda è formulata in modo poco “onesto”; sarebbe stato forse più opportuno chiedere di valutare la percentuale di energia che si suppone dissipata in un'oscillazione e quindi, dopo aver verificato che si tratta comunque di un valore piccolo, di ragionare sull'andamento dell'oscillazione.

4. In risposta a questo punto, come già accennato, i solutori “ufficiali” si limitano a dichiarare che la barretta si muove di moto armonico smorzato. In questo modo i due quesiti 3 e 4 si riducono a uno solo, salvo forse per la considerazione che la differenza di potenziale fra i terminali A e B è proporzionale *alla velocità del moto*. In realtà qui si potrebbe dire di più e, cioè, si potrebbe determinare in funzione di  $R$  il tempo di smorzamento dell'oscillazione – ma, siccome chi ha proposto/risolto il quesito (a quanto pare) non lo chiedeva, rimandiamo questo aspetto a un'appendice.

5. Da un punto di vista energetico, il sistema viene inizialmente “caricato” ponendo in tensione la molla, che acquista in tal modo un'energia potenziale  $\frac{1}{2}ka^2 = 99 \text{ mJ}$ . Durante il moto, tramite il lavoro della forza esercitata dalla molla sulla barretta, le si fornisce energia cinetica e, contemporaneamente, energia “elettrica” (che è poi dissipata dal circuito per effetto Joule); il dispositivo eroga in totale 99 mJ.

Il solutore “ufficiale” parla di “lavoro negativo” della forza magnetica, assimilandola a tutti gli effetti a un attrito viscoso. È vero che l'interazione con il campo magnetico sottrae energia meccanica alla barretta, il cui moto cambia esattamente come con una resistenza viscosa, ma *l'energia corrispondente non è dissipata*: la si ritrova, invece, come energia “elettrica” nel circuito, disponibile per alimentare un carico utile (benché, nel caso specifico, il resistore semplicemente la dissipi *scaldando il mondo*). Insomma, la discussione energetica “ufficiale” appare un po' confusa...

Considerando l'andamento periodico (anche se smorzato) della *f.e.m.* indotta, può invece essere utile esprimere il bilancio energetico in riferimento a un ciclo dell'oscillazione. Indicando con  $a_0$  l'ampiezza iniziale del moto, con  $a_T$  l'ampiezza alla fine del periodo, si può scrivere:

$$\frac{1}{2}ka_0^2 = \frac{1}{2}ka_T^2 + \frac{\varepsilon_{\text{eff}}^2 T}{R} \quad (5)$$

(si è considerato il valore efficace della *f.e.m.*:  $\varepsilon_{\text{eff}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \varepsilon_{\text{max}}$ ).

Come accennato al punto 4, da questo bilancio è possibile ricavare il tempo di smorzamento dell'oscillazione (vedi appendice). Confrontando il primo membro dell'equazione con l'ultimo termine del secondo membro, si può avere un'idea di quanto sia piccola la frazione di energia erogata (e dissipata) in ogni oscillazione.

### Considerazioni finali

Che cosa chiedeva, in definitiva, questo esercizio? Di norma, per rispondere a una domanda simile basta una lettura del testo. Qui, invece, è raccomandabile, se non indispensabile, “leggere la soluzione”!

Stringendo: era necessario ricordare la “legge” (1) che caratterizza l'oscillatore massa-molla nonché l'espressione (3) della forza elettromotrice cinetica. La vera difficoltà stava nel considerare gli effetti elettromagnetici come una piccola “perturbazione” sovrapposta al comportamento elastico del sistema; chi ha formulato i quesiti ha assunto che questa fosse una visione ovvia e naturale delle cose (ma abbiamo visto che la cosa non è così assoluta).

Quanto alla discussione energetica, potrebbe risolversi con il richiamo alla prima legge della termodinamica; volendo, però, approfondire i dettagli si rischia di far confusione e, per evitarlo, è consigliabile tener ben presente che l'energia resa disponibile dall'apparecchio “IDEALE” proviene tutta soltanto da quella immessa all'inizio, quando è stata allungata la molla.

## APPENDICE

Per comodità indicheremo di seguito con  $a_0$  l'ampiezza iniziale dell'oscillazione (che, nel testo, è detta  $a$ ). Tenendo conto della relazione (5), cerchiamo di esprimere la legge del moto nella forma:

$$x = a_0 \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \cdot \cos(\omega t) = a(t) \cdot \cos(\omega t). \quad (6)$$

Dalla (5), usando l'espressione di  $\varepsilon_{\max}$  ricavata nella relazione (4), si ottiene:

$$\frac{1}{2} k a_T^2 = \frac{1}{2} k a_0^2 - \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 2\pi v \cdot B L a_0\right)^2 \cdot \frac{T}{R} \quad (7)$$

e da qui, con qualche passaggio algebrico:

$$a_T = a_0 \left(1 - \frac{4\pi^2 v B^2 L^2}{kR}\right)^{\frac{1}{2}}. \quad (8)$$

Confrontando ora la (6) con la (8), si ha:

$$\exp\left(\frac{-T}{\tau}\right) = \left(1 - \frac{4\pi^2 v B^2 L^2}{kR}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

e si può ricavarne  $\tau$ :

$$\tau = \frac{-2}{v \log\left(1 - \frac{B^2 L^2}{vmR}\right)} \cong \frac{2mR}{B^2 L^2} \quad (10)$$

(si sono espressi  $T$  come  $1/v$ ,  $k$  come  $4\pi^2 v^2 m$  e si è poi usata l'approssimazione:  $\log(1-x) \cong -x$ ).

Da qui il tempo di dimezzamento  $t_{1/2}$ :

$$t_{1/2} = \tau \log(2) = 2 \log(2) \cdot \frac{mR}{B^2 L^2} \quad (11)$$

Resta ora da calcolare qualche valore:

$R$ ( $\Omega$ )	1	10	100	1000
$t_{1/2}$ (s)	30,8	308	3080	30800

La tabella mostra chiaramente che, anche con piccoli valori di  $R$ , l'ampiezza dell'oscillazione si attenua in tempi piuttosto lunghi. Del resto, grosso modo, in ogni oscillazione dovrebbe essere dissipato circa 1/1000 dell'energia iniziale se la resistenza è di 1  $\Omega$ , e una frazione proporzionatamente minore al crescere di  $R$ . Ma, tornando a un po' di realismo, è ben difficile immaginare che un effetto così debole possa essere prevalente sulle resistenze e gli attriti meccanici...

**Note** <sup>1</sup> Per es. <http://www.vanel.com/>

<sup>2</sup> Si tratta di calcolare il fattore di merito  $Q$  dell'oscillatore e determinare per quali valori di  $R$  risulta maggiore di 1/2.

## Prova simulata di Fisica. Soluzione del problema 2

a cura di Elio Fabri, già Dipartimento di Fisica, Università di Pisa  
elio.fabri@tiscali.it

### Premessa

Verrà qui proposta una soluzione al problema n. 2 della simulazione di fisica pubblicata il giorno 11-3-2015.<sup>1</sup> Nella soluzione sono inclusi anche alcuni commenti sul testo. Questo scritto è stato redatto senza conoscere la soluzione “ufficiale” del problema. Solo alla fine ho aggiunto qualche commento alla soluzione pubblicata.

### Sui dati del problema

La prima considerazione riguarda il modo come sono forniti i dati. Hanno tutti 3 cifre significative, il che fa pensare – anche se non è detto esplicitamente – che lo stesso grado di approssimazione sia richiesto nei risultati.<sup>2</sup> Meno evidente, e si sarebbe dovuto dirlo, è che si possano trascurare effetti di ordine inferiore a  $10^{-3}$ . Vedremo che cosa questo implica per la soluzione.

I dati astronomici (distanza e velocità di Sirio) non corrispondono a ciò che si trova nei cataloghi. Per es. in SIMBAD<sup>3</sup> è data per Sirio una parallasse ( $379.21 \pm 1.58$ ) mas (1 mas = 1 millesimo di secondo d’arco) pari a una distanza ( $8.601 \pm 0.014$ ) a.l., poco diversa da 8.61 data nel problema (che comunque rientra nell’incertezza del dato di catalogo). Però per la velocità radiale SIMBAD dice ( $-5.50 \pm 0.04$ ) km/s (negativa significa avvicinamento) contro i 7.63 del problema. Per fortuna la differenza è priva d’importanza, visto che la velocità radiale andrà trascurata (v. appresso).

Suona curioso che la durata della missione venga data come 2.00 anni, invece che in un numero intero di giorni. Anche più avanti si legge “Dopo 1.00 anni dalla partenza ...”. Si può forse supporre che questo sia un implicito suggerimento (insieme con la distanza di Sirio, data in anni-luce) ad assumere l’anno come unità di misura del tempo? Così faremo.

### La velocità del razzo

Si legge all’inizio del problema:

*Nel 2200 il più moderno razzo vettore interplanetario costruito dall’uomo può raggiungere il 75.0% della velocità della luce nel vuoto.*

Qui la rigida adesione alle tre cifre significative appare ancor meno giustificata.

Si può forse pensare che quel 75% sia un limite invalicabile? E perché? Se ci fosse una limitazione al combustibile (o altro materiale necessario fra un secolo per un razzo interplanetario) questa potrebbe solo essere all’incirca, perché sarebbe sempre possibile compensare la massa e lo spazio occupato dal combustibile con quello del carico utile.

Se si pensa invece al tempo necessario per raggiungere quella velocità con un’accelerazione tollerabile, anche questo può essere dato solo all’incirca: un po’ di tempo in più o in meno, un’accelerazione un po’ maggiore o un po’ minore, non sono certo intollerabili, e verrebbero decisi caso per caso in base alle esigenze della missione e ad altri parametri.

Sarebbe quindi sembrato più ragionevole presentare il dato, che serve come velocità dell'astronave nei viaggi di andata e ritorno, in una forma diversa. Per es. scrivendo "tenuto conto delle possibilità tecnologiche e di altri parametri della missione, si è stabilito che questa si svolge alla velocità di ..."

### A proposito di accelerazione

Il testo del problema dice:

*... trascurando tutti gli effetti dovuti alla accelerazione del moto nella fase di partenza e di arrivo ...*

Vediamo che cosa questo significa. Se si assume che l'accelerazione propria dell'astronave non debba superare  $g$ , per raggiungere una velocità  $0.75 c$  occorre quasi un anno.<sup>4</sup> Non sarebbe certo trascurabile rispetto alla durata totale della missione, che calcoleremo in seguito.

Si può obiettare che fra un secolo forse esisteranno sistemi antigravità, capaci di rendere tollerabile all'equipaggio anche un'accelerazione  $\gg g$  ... Tutto è possibile se ci mettiamo in uno spirito fantascientifico; ma non sarebbe stato meglio evitare uno pseudotravestimento realistico che obbliga a simili sforzi di fantasia?

### Velocità di Sirio e velocità della Terra

La missione parte dalla Terra, che orbita attorno al Sole, e deve raggiungere non Sirio, ma "un pianeta che orbita intorno" alla stella. Questo fa nascere dei problemi, per fortuna irrilevanti:

- Quale sistema di riferimento si deve intendere quando si parla di "osservatore sulla Terra"?
- Com'è definito il riferimento dell'equipaggio, quando questo soggiorna per due anni sul pianeta?

Si noti che la velocità di Sirio, come si trova nei cataloghi, è riferita al Sole. Non potrebbe essere diversamente, visto che la velocità orbitale della Terra è di circa 30 km/s, quindi ben maggiore della velocità radiale di Sirio. Ciò significa tra l'altro che nel corso di un anno, vista dalla Terra, Sirio appare alternativamente in avvicinamento e in allontanamento... Peggio ancora per il pianeta di Sirio, che avrà presumibilmente una velocità orbitale non molto diversa da quella della Terra.<sup>5</sup>

Per fortuna la velocità orbitale della Terra è solo  $10^{-4} c$  e quindi può essere trascurata in tutti gli effetti del primo ordine in  $v/c$  e superiori. Lo stesso potremo fare per la velocità radiale di Sirio e per la velocità orbitale del pianeta.

È però un difetto dell'enunciato che le velocità orbitali siano state dimenticate: se quella di Sirio, che viene data con tre cifre, avesse importanza, ne avremmo anche le altre. Se nessuna ha importanza, si sarebbe dovuta porre esplicitamente la questione, e non si sarebbe dovuta dare la velocità di Sirio, se non come valore approssimato, solo per giustificare perché viene trascurata.

### I primi tre quesiti

Per tutto il problema assumerò un unico rif. inerziale: quello della Terra (o del Sole, o del sistema solare: per le ragioni già dette non c'è motivo di distinguere).

Dovremo poi individuare gli eventi rilevanti. Per i primi tre quesiti essi sono:

- A: partenza dell'astronave dalla Terra.

- B: arrivo sul pianeta di Sirio.
- C: inizio del viaggio di ritorno.
- D: arrivo sulla Terra.

L'evento A è preso come origine delle coordinate. Le coordinate nel rif. inerziale della Terra di tutti gli eventi, inclusi quelli che introdurrò in seguito, saranno indicate con  $x_A$ ,  $t_A$ , e simili. Gli intervalli di tempo tra due eventi saranno abbreviati come segue:

$$\Delta t_{AB} = t_B - t_A, \text{ ecc.}$$

Gli intervalli di tempo proprio lungo la linea oraria dell'astronave saranno invece indicati come  $\Delta\tau_{AB}$  ecc.

Indicherò con  $D = 8.61$  a-l la distanza di Sirio (costante, per quanto già detto); con  $v$  il modulo della velocità dell'astronave nel rif. terrestre.  $\Delta\tau_{BC} = 2$  anni è la durata del soggiorno sul pianeta (che sto considerando fermo rispetto alla Terra);  $T_{\text{tot}}$  è la durata della missione nel rif. della Terra,  $\Delta\tau_{\text{tot}} = \Delta\tau_{AD}$  (ossia il tempo proprio totale lungo la linea ABCD: v. figura) è quella misurata dall'equipaggio.

Ciò posto, è tutto molto semplice.

$$\Delta t_{AB} = D/v = \frac{D/c}{v/c} = \frac{8.61 \text{ anni}}{0.75} = 11.48 \text{ anni}$$

$$T_{\text{tot}} = 2D/v + \Delta t_{BC} = 25.00 \text{ anni}$$

$$\Delta\tau_{AB} = \Delta t_{AB}/\gamma = 7.59 \text{ anni}$$

$$\Delta\tau_{\text{tot}} = 2\Delta\tau_{AB} + \Delta t_{BC} = 17.19 \text{ anni}$$

Solo la terza riga richiede un minimo di spiegazione.

Il passaggio da  $\Delta t_{AB}$  al tempo proprio  $\Delta\tau_{AB}$  è l'inverso della dilatazione del tempo; quindi  $\Delta\tau_{AB}$  si ottiene da  $\Delta t_{AB}$  dividendo per  $\gamma$ , che si ricava dal dato  $v/c = 0.75$ .

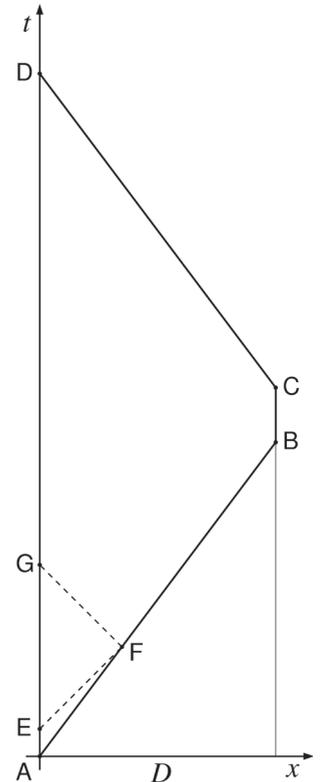
#### I quesiti 4 e 5

Occorre introdurre altri 3 eventi:

- E: partenza del segnale dalla Terra.
- F: arrivo del segnale all'astronave
- G: arrivo alla Terra della conferma.

Anche questi eventi sono rappresentati nella figura, dove le linee orarie dei segnali appaiono tratteggiate.

Seguendo le notazioni già viste,  $t_E = 1$  anno è il tempo d'invio del segnale (nel rif. della Terra).  $\Delta t_{EF} = \Delta t_{FG}$  è il tempo di andata (e di ritorno) del segnale da Terra all'astronave. È facile cal-



Diagrammi orari dell'astronave e dei segnali. Gli eventi A-G sono descritti nel testo.

colarlo (la relatività non c'entra): la legge oraria dell'astronave è

$$x = vt$$

quella del segnale è

$$x = c(t - t_E) \quad (1)$$

Le coordinate dell'evento F sono la coppia  $(x_F, t_F)$  che soddisfa entrambe le equazioni; quindi, eliminando  $x_F$ :

$$t_F = \frac{c}{c-v} t_E$$

$$t_{EF} = t_F - t_E = \frac{v}{c-v} t_E = \frac{v/c}{1-v/c} t_E = 3 \text{ anni.} \quad (2)$$

Il quesito 4 richiede

$$\Delta\tau_{AF} = t_F/\gamma = \frac{1}{\gamma}(t_E + \Delta\tau_{EF}) = 2.65 \text{ anni.} \quad (3)$$

La risposta al quesito 5 è semplicemente  $\Delta t_{EF} = 6$  anni.

### Il quesito 6 ...

... non brilla certo per chiarezza. In primo luogo si dice "in funzione del tempo". Questo è chiaro per la distanza dell'astronave, che è banalmente  $vt$ . Ma poi?

Già non capisco l'italiano. Debbo intendere "distanza di ciascuno dei due segnali di comunicazione dalla Terra", oppure "distanza dei due segnali tra loro"? Assumo che i segnali di comunicazione siano quelli di cui si parla nei quesiti precedenti; ma la distanza di un segnale che cos'è?

Interpretazione: un segnale è un breve impulso di radiazione e.m. che viaggia a velocità  $c$ , nello stesso verso dell'astronave o in verso opposto. In questo caso, per il segnale Terra-astronave ho già scritto la legge oraria (1); per il segnale di conferma avremo invece

$$x = x_F - c(t - t_E).$$

Il grafico fa parte della figura.

Però sono ancora al buio a causa della premessa:

*Durante il viaggio di andata, il ritardo nelle comunicazioni con l'astronave aumenta con l'aumentare della distanza; per illustrare al pubblico questo effetto ...*

e poi si chiedono i grafici "in funzione del tempo". Non capisco in che senso le tre linee orarie descritte sopra risponderebbero alla richiesta. Si potrebbero inventare altri approcci, ma non credo sia compito né mio, né tantomeno di un candidato all'esame, di "leggere nel pensiero" di chi ha scritto il problema.

Tra l'altro, mi sembra molto ottimista che dei diagrammi del genere possano servire per "illustrare al pubblico" alcunché. Evidentemente gli autori del testo non hanno alcuna esperienza di ciò che rimane delle conoscenze di fisica e matematica (e anche di altre materie, temo) in un adulto che abbia lasciato la s.s.s. da un po' di anni e non abbia approfondito certi argomenti in uno studio universitario...

### Il quesito 7

Per discutere questo quesito è utile riportarne il testo integrale:

*Il responsabile della sicurezza della missione ti comunica una sua preoccupazione: teme che, a causa della contrazione relativistica delle lunghezze, il simbolo della flotta*

*terrestre riportato sulla fusoliera del razzo, un cerchio, possa apparire deformato agli occhi delle guardie di frontiera, che potrebbero quindi non riconoscerlo, e lanciare un falso allarme. Pensi che sia una preoccupazione fondata?*

*Illustra le tue considerazioni in merito a questa preoccupazione e dai una risposta al responsabile della sicurezza, corredandola con argomenti quantitativi e proponendo una soluzione al problema.*

Non mi è stato facile capire che cosa avessero in mente gli estensori di questa prosa, tanto trovavo assurdo il racconto...

Siamo nel 2200, e la funzione delle "guardie di frontiera" viene descritta come se si trattasse di quelli che sono presenti (quando si esce dall'area Schengen) nei gabbiotti sulle autostrade. A loro si deve mostrare il passaporto; similmente, quelli del problema procedono a un'identificazione *a vista* del simbolo sulla fiancata di un'astronave che viaggia a 225 000 km/s!

Basterebbe aver visto una puntata di "Star Trek", che ormai ha quasi 50 anni, per conoscere metodi più realistici per il controllo di un'astronave sconosciuta. Oppure essersi qualche volta informati sui sistemi IFF ("identification friend or foe") basati su transponder e codici d'identificazione, in uso da decenni sugli aerei civili e militari di tutto il mondo.

Il problema è che queste cose i ragazzi le sanno...

Poi un'illuminazione: l'idea dev'essere che la contrazione di Lorentz è solo longitudinale e non modifica le distanze trasversali. Quindi una "guardia di frontiera" che si veda passare accanto l'astronave dovrebbe vedere deformato il cerchio. Però le cose sono più complicate ... (v. più avanti). Non riesco comunque a immaginare che cosa ci si aspetti dai ragazzi come "argomenti quantitativi" e come "proposta di soluzione".

### **La soluzione "ufficiale"**

Sgombriamo subito il campo da alcune divergenze numeriche: ho già detto che il dato sulla distanza di Sirio non è esatto. Nella soluzione si usa 8.6, che è più vicino a quello di catalogo; è però strano che ci sia scritto  $8.6/0.75 = 11.6$ , quando dovrebbe essere 11.47. Errore che si propaga nei calcoli successivi.

Per inciso, osservo che il solutore non deve essere la stessa persona che ha scritto l'enunciato, visto che non tiene in alcun conto le 3 cifre significative del testo. Non sarò io a dolermene, ma non è bene che la mano destra non sappia ciò che fa la sinistra...

Venendo a una questione più seria, nella soluzione leggo:

*Per un osservatore sulla terra [...] il tempo trascorso su Sirio per effettuare le ricerche è di due anni, cioè è eguale al tempo della sosta misurato dall'equipaggio in quanto la velocità di Sirio è trascurabile rispetto alla velocità della luce*

Piano! Anche se concordo con la conclusione, non posso concordare col modo acritico di arrivarci. Intanto, non c'è solo la velocità di Sirio, come ho già osservato. Poi non ha senso dire che qualcosa è trascurabile rispetto a qualcos'altro, se non si dà un limite di tolleranza nel risultato.

Nel nostro caso, anche se teniamo conto della velocità orbitale della Terra, che è circa  $10^{-4}c$ , l'effetto sul tempo nei due rif. è  $5 \cdot 10^{-9}$  in termini relativi, quindi davvero trascurabile se abbiamo una tolleranza di  $10^{-3}$ . Ma questo andava detto.

La risposta ai quesiti 4 e 5 è data in un modo inutilmente contorto, usando una trasformazione di Lorentz per il quesito 4 e invece un procedimento diretto per il quesito 5. La soluzione che ho data sopra è molto più diretta e perciò preferibile, anche perché quante meno formule si scrivono, tanti meno errori si possono fare... Tra l'altro, la dilatazione del tempo è già stata usata per i quesiti 2 e 3. Perché prendere ora una strada diversa?

La figura risponde ai miei dubbi d'interpretazione sul quesito 6, e i commenti all'enunciato li ho già fatti.

E veniamo al famigerato quesito 7. Scrive il solutore:

*La preoccupazione del responsabile della sicurezza è fondata, in quanto la contrazione di Lorentz avviene nelle direzione longitudinale del moto e non in quella trasversale; il cerchio del simbolo della flotta appare più o meno deformato a seconda di come esso è orientato rispetto alla velocità del moto. Infatti un raggio del cerchio diretto come la velocità apparirà contratto del fattore relativistico  $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2} = 1.51$  mentre un raggio ad esso perpendicolare apparirà non contratto.*

Sbagliato! Evidentemente chi ha scritto queste righe ignora la "rotazione di Terrell".<sup>6</sup> Non posso entrare in dettagli, ma il fatto essenziale è che la contrazione di Lorentz si riferisce alla lunghezza di un segmento in moto, misurata fra le posizioni occupate *simultaneamente* dagli estremi del segmento. Invece quando la guardia di frontiera "guarda" (gioco di parole voluto) riceve luce dall'oggetto guardato, e la luce impiega un tempo diverso a seconda della distanza dei diversi punti dell'oggetto. Quindi l'osservazione *non è simultanea*, nel senso che se consideriamo luce proveniente dai diversi punti dell'astronave, e ricevuta simultaneamente, i vari eventi "emissione della luce" non sono in generale simultanei e quindi la contrazione di Lorentz si trasforma in qualcosa di ben diverso.

Quanto all'idea che

*Per evitare la deformazione del cerchio occorre che la navicella diriga il suo moto sempre verso il posto di guardia della frontiera e che il piano che contiene il simbolo sia sempre perpendicolare alla direzione del moto della navicella in modo che tutti i raggi del simbolo siano perpendicolari al moto e non risentano della contrazione di Lorentz.*

c'è da dire che il testo parla di "simbolo [...] riportato sulla fusoliera del razzo" ossia (interpreto io) sulla fiancata. Come si fa a metterlo perpendicolare alla direzione del moto?

### Commento finale

Mi sono chiesto: che cosa c'è di relatività in questo problema?

Risposta: i quesiti 2 e 3, che sono in sostanza lo stesso, e il quesito 4, che a parte il calcolo di  $t_F$  – non legato alla relatività, come già visto – è di nuovo la stessa domanda dei quesiti 2 e 3, ossia la relazione fra  $\Delta t$  e  $\Delta \tau$ . Vorrebbe essere

relativistico anche il quesito 7, ma ho già spiegato quanto sia insoddisfacente nell'idea di base, nell'enunciato, e nella soluzione. Pur negli stretti vincoli posti dal Syllabus, si sarebbe potuto escogitare un problema più significativo.

Bisogna però riconoscere che è ben più difficile costruire un problema che si debba in qualche modo collegare col mondo reale, rispetto all'uso classico secondo cui la situazione descritta è dichiaratamente fittizia, e ha il solo scopo di portare il candidato a far uso delle "giuste" leggi fisiche, e a svolgere calcoli col minimo di errori...

Meglio non aggiungere altri commenti. Però al MIUR dovranno programmare quanto prima un corso di aggiornamento sulla preparazione dei problemi di fisica (e di matematica, tanto che ci siamo ...) e/o procedere a un veloce ricambio del personale addetto.

- Note**
- <sup>1</sup> <http://questionariolsosa.miur.carloanti.it/pdf/fisica-problema2.pdf>
  - <sup>2</sup> Per una discussione più approfondita sull'uso dei dati numerici nei problemi, rimando a <http://www.sagredo.eu/articoli/problemi92.pdf> specialmente alle pagg. 14-15.
  - <sup>3</sup> <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic?Ident=sirius&submit=SIMBAD+search>
  - <sup>4</sup> Il calcolo va fatto col "moto iperbolico": v. ad es. <http://www.sagredo.eu/lezioni/irg/irg04.pdf> pag. 6 e seguenti.
  - <sup>5</sup> In realtà non sono noti pianeti di Sirio (anche se non si può escludere che vengano scoperti entro un secolo). È noto viceversa che Sirio è un sistema binario: Sirio B è il primo esempio osservato di "nana bianca".
  - <sup>6</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Terrell\\_rotation](http://en.wikipedia.org/wiki/Terrell_rotation)