

Problemi e di Fisica e Astronomia ed il metodo di Gerberto docente

Costantino Sigismondi

(ICRA/Sapienza Università di Roma and ITIS G. Ferraris)

Abstract

Teaching Physics and Astronomy to pupils of 14-19 years old requires nowadays a continuous upgrade of knowledge as well as a capacity of selecting topics. The art of presenting arguments made Gerbert the teacher *Rogatus a Pluribus* in the end of X century and it is still actual; the proposed series of problems wants to link everyday experiences with the mathematical models of the phenomena, to allow the prediction and explanation of the experimental data. These problems of Physics and Astronomy are “observation oriented”, as the method of Gerbert was to start from the experience to get the theory, and not viceversa. Physics is much more than an “applied Algebra”. In the dispute of Ravenna (980) between Gerbert and Otric from Magdeburg, the primacy of Physics with respect to Mathematics was discussed. In the Italian secondary technical schools there are laboratory activities, while there is nothing similar for Lyceums and for the Astronomy teaching which is limited to a series of notions to be learned without any kind of observation; considered too difficult in polluted skies.

Introduzione: le novità dell'insegnamento scientifico di Gerberto di Aurillac nel X secolo

Gerberto di Aurillac (938 ca. – 1003) fu un celebrato docente del suo tempo, apprezzato per la sua conoscenza nella Musica e nella Matematica già nel 971 da parte del Papa Giovanni XIII e dell'Imperatore Ottone I che lo volevano trattenere a Roma.

Gerberto si era formato ad Aurillac come monaco benedettino e perfezionato in Catalogna verso i suoi trent'anni di età, grazie all'opportunità di seguire il conte Borrell che gli consentì di unirsi alla scuola di Attone vescovo di Vich, esperto in matematica.

Gerberto usufruì della fecondità dell'ambiente mozarabo della marca di Catalogna dove, al confine tra mondo arabo-

spagnolo e mondo latino del regno carolingio dei Franchi, cristiano, avvenivano continui scambi culturali sotto forma di traduzioni di testi scientifici arabi e di penetrazione di strumenti come l'astrolabio e il monocordo.

Gerberto concepì nuovi algoritmi rispetto agli Arabi¹ e un nuovo tipo di abaco basato sui “*gubar*”, le cifre indo-arabe, per velocizzare i calcoli necessari a risolvere alcuni problemi di acustica e geometria, tanto che chi utilizzò quell'abaco nei cinque secoli successivi fu chiamato “*gibertista*” dal nome stesso di Gerberto. Una scuola matematica iniziata da Gerberto continuò in Belgio a Liegi con Notker.

Con l'abaco Gerberto poteva anche fare calcoli che richiedevano la conoscenza del teorema di Pitagora e quindi della radice quadrata, e così risolvere il problema dell'area del triangolo equilatero usando la migliore approssimazione razionale del rapporto tra altezza e lato, anticipando la moderna teoria degli errori.²

Gerberto concepì anche nuovi strumenti in Astronomia per

1 Jorge Nuno Silva ha evidenziato che l'algoritmo per la divisione usato da Gerberto e descritto da Richero non è presente tra quelli arabi coevi: J. N. Silva, *Gerbertus* 4, 2013, p.101.

2 Paolo Rossi nel primo volume di *Gerbertus I*, (2010), 15. ha mostrato come Gerberto conoscesse il risultato della misura dell'area del triangolo equilatero, che presuppone il teorema di Pitagora e quindi l'estrazione della radice quadrata, e lo abbia voluto esemplificare tramite terne di numeri interi, scelti piccoli e che potessero rappresentare con poco errore percentuale il rapporto irrazionale tra base e altezza del triangolo equilatero. Approssimare con un rapporto razionale ($6/7$) con numeri interi il rapporto tra numeri irrazionali ($\sqrt{3}/2$) è un concetto moderno, e al contempo antico, visto che già Tolomeo voleva “*salvare i fenomeni*”, cioè saperli rappresentare con un modello esauriente. Gerberto usò per questo rapporto irrazionale $\sqrt{3}/2=0.86602...$ l'approssimazione razionale $6/7=0.85714...$ in difetto per l'1.025% di precisione, mentre $7/8=0.875$ approssima con l'1.037% per eccesso, ritenendo di non dover ricorrere ad un più accurato $13/15=0.86666...$ poiché *in minoribus numeribus libet exemplificare*.

esemplificare i moti delle sfere omocentriche del sistema tolemaico (descritta nel 998 dal suo biografo Richero di Reims³) e mostrare i luoghi principali dell'orbita del Sole come la Sfera descritta nella lettera del 978 a Costantino di Fleury,⁴ e la loro proiezione sulla sfera terrestre secondo la Geografia tolemaica. Infine di Gerberto ci è stato trasmesso un testo sull'Astrolabio, ed una sulla Geometria.

Le attribuzioni di questi testi a Gerberto erano rimaste a lungo in dubbio durante la seconda metà del Novecento, per via della mancanza di manoscritti abbastanza antichi che lo attestassero, ma è ormai chiaro -anche da un punto di vista statistico- che l'opera di Gerberto, nonostante la sua elevazione a Papa col nome di Silvestro II dal 999 al 1003, è stata sottoposta ad una forte censura anche da parte degli stessi ecclesiastici, fino almeno al 1629 quando fu pubblicata la sua biografia del domenicano polacco Abramo Bzowsky.⁵

3 Marco Zuccato *Gerbert's Islamicate Celestial Globe*, in *Gerberto d'Aurillac-Silvestro II linee per una sintesi*, Archivum Bobiense Studia V (2004), p. 167 ha mostrato che l'aggiunta del cerchio dell'orizzonte, non presente nelle sfere usate dagli Arabi e introdotto da Gerberto su ispirazione di testi latini che egli consultava con grande libertà, anche nello studio della retorica come ci trasmette Richero, è un *hapax*, un *unicum* Gerbertiano, quindi una sua invenzione. Per il testo di Richero di Reims in Italiano cfr. la traduzione di Laura C. Paladino, *La Biografia di Gerberto nella Historia Francorum di Richero di Reims*, Archivum Bobiense 27-28, 167 (2005-6).

4 Costantino Sigismondi la ha descritta in *Gerbertus I*, 1 e nel libro *La Sfera da Gerberto al Sacrobosco*, UPRA, Roma, 2008.

5 Abraham Bzowski (latinizzato Bzovius) (1567-1637), *Siluester 2. Caesius Aquitanus pont. max. F. Abrahami Bzoui Poloni S.T. magistri ord. praedicatorum adiuncta est vita S. Adalberti m. ab eodem Siluestro edita studio eiusdem Bzouij auctori suo uindicata, et notis illustrata*. Romae, typis Vaticanis, 1629. Una copia è alla Biblioteca Casanatense. Negli *Annales Ecclesiastici* di Cesare Baronio (1607) Gerberto è praticamente censurato, dicendo che al suo tempo la *barca di Pietro* stava affondando.

Dunque l'effetto della censura ha impedito ai manoscritti "antiquiores" di giungere fino a noi; il caso del *Carme Figuratum* a Ottone II, di cui abbiamo solo la copertina è esemplare.⁶

La *Mensura Fistularum* del 980 ha avuto una sorte più favorevole: grazie al ritrovamento di un manoscritto del XI secolo K. J. Sachs ha potuto dimostrare filologicamente l'attribuzione a Gerberto di questo testo di Musica, ovvero acustica pitagorica applicata alle canne dell'organo.⁷

Sempre in Musica il suo contributo è riconosciuto da Richero nell'uso del monocordo, progenitore arabo della chitarra, per l'intonazione del canto e soprattutto per l'esemplificazione delle proporzioni pitagoriche tra le note musicali. Gerberto, che a Bobbio costruì un organo per l'imperatore Ottone II, conoscendone le regole di intonazione, ha composto e musicato anche un inno allo Spirito Santo, andato perduto.

In ogni campo del Quadrivio: Matematica, Musica, Geometria e Astronomia, Gerberto ha saputo rielaborare la scienza latina alla luce delle novità arabe, con contributi personali originali.

Anche nel Trivio: Grammatica Retorica e Dialettica, Gerberto ha offerto soluzioni originali: oltre al trattato *de Rationali et Ratione Uti* che prelude alla Scolastica con un secolo di anticipo?⁸ è ben noto il suo metodo di insegnamento che affiancava gli autori latini profani come Cicerone e Virgilio ai testi sacri e ai Padri della Chiesa.⁹ Le *Universitates* e le scuole

6 Per il *Carme Figuratum* si rimanda a F. G. Nuvolone, *Un giorno del 969 a Elna, Quelques éléments d'introduction au Carmen Figuratum de Gebert d'Aurillac*, in *Culmina Romulea*, UPRA Roma 2008, p. 33.

7 Erminia Santi, *Gerberto e la Musica*, Geografia, 103-104, p. 81 (2003).
C. Sigismondi, *Gerberto e la misura delle canne d'organo*.
In *Archivum Bobiense* 29 (2007), p. 355-396.

Erminia Santi, *Conversazione su Gerberto e la Musica*, Gerbertus 8, 9.

8 cf. Fabio Sigismondi, *Gerberto d'Aurillac Il trattato De Rationali et Ratione Uti e la logica del X secolo*. UPRA, Roma, 2007.

9 Cf. la Biografia di Gerberto scritta da Richero di Reims.

cattedrali di tutta Europa trovarono nell'organizzazione di quella di Reims un'ispirazione per i nuovi *curricula studiorum*.

Le fonti della cultura al tempo di Gerberto

Alla scuola di Reims si sono formati molti futuri abati, Roberto, figlio del re Ugo Capeto e re a sua volta, e molti nobili europei. L'istruzione non era certamente di dominio pubblico, come le fonti della cultura, e cioè i libri. L'intera vita di Gerberto bibliofilo¹⁰ mostra la ricerca incessante delle fonti librerie mancanti a completare il panorama nelle varie scienze oggetto dell'attenzione di Gerberto, che spaziava anche fino alla Medicina,¹¹ come sappiamo dal suo epistolario di cui 230 lettere sono giunte fino a noi.¹²

Gerberto richiedeva le copie dei libri che voleva consultare sia al suo monastero di origine ad Aurillac, sia a Miro Bonfill vescovo di Girona in Catalogna, dove poteva contare sulla attività di traduzione dall'arabo svolta dall'ebreo Giuseppe "Ispano".

Quando Al Mansur, generale fondamentalista dell'esercito arabo, nel 985 giunse a distruggere Barcellona, si chiuse la grande fecondità di scambi culturali tra Cristiani e Arabi in Catalogna iniziata durante il califfato di Al Hakem II, quando a Cordoba esisteva una biblioteca di 700000 volumi; mille volte tanto quelli conservati all'abbazia di Bobbio, che aveva la maggiore dotazione nell'Europa Latina.

Dopo Barcellona anche Santiago de Compostela nel 997 fu distrutta e anche le campane della Cattedrale furono fuse.

10 Flora Parisi, *Libri e Biblioteche per Gerberto Bibliofilo* in Gerbertus 1, 219 (2010).

11 Cosimo Palagiano, *Gerberto e la Medicina*, Geografia, 103-104, p. 76 (2003).

12 Maria Giulia Panvini Carciotto, *Gerberto, Epistolario*, UPRA, Roma, 2009.

Al Mansur, il “Martello di Dio”, distrusse anche i libri, tipico cieco fondamentalismo, e la stessa cultura islamica con le traduzioni di opere classiche come Tolomeo, e i preziosi studi di Astronomia della scuola di Baghdad del nono secolo.

Nel dodicesimo secolo con l'arrivo a Toledo di Gerardo da Cremona le condizioni per una ripresa della collaborazione culturale tra Arabi e Cristiani ritornarono in auge.¹³

Gerardo (1114-1187) si spostò a Toledo con il fine di studiare l'Almagesto di Tolomeo che lì esisteva nelle traduzioni arabe.

Egli, dottore della scuola cattedrale di Cremona, coordinò circa un centinaio di traduzioni di testi classici disponibili in Arabo a Toledo, con una scuola di traduttori che seguivano il metodo “alla lettera”.

La coordinazione nelle traduzioni, possibile nel XII secolo, quando la *Reconquista* Spagnola aveva riattivato gli studi scientifici interculturali, mostra che le fonti delle varie scienze erano note anche in Occidente, ma non consultabili.

Opere classiche di autori citati da Plinio il Vecchio nella *Naturalis Historia*, sono rimasti introvabili per diversi secoli nell'Europa Occidentale, anche negli *scriptoria* dove i monaci trasmettevano il sapere nei manoscritti da far circolare nella rete dei vari monasteri Europei.

Sia Gerardo che Gerberto dovevano avere abbastanza chiara la consistenza delle biblioteche a loro accessibili e cosa mancasse per completare il panorama del sapere nelle varie scienze superando le trattazioni manualistiche in voga dalla fine dell'Impero Romano d'Occidente di cui i maggiori esponenti erano Boezio, Cassiodoro, Marziano Capella. Di Gerberto addirittura abbiamo una lista, riportata da Ludovico Antonio Muratori, dei libri esistenti a Bobbio, che ci mostra che questo

¹³ Costantino Sigismondi, *Gli antichi orologi tra cosmologia e arte*, Arte e Scienza II, 145 (2014).

tipo di attività di recensione delle fonti librarie fosse sistematica. Sappiamo anche quanto fosse dispendiosa la realizzazione di una copia manoscritta su pergamena, cosa che Gerberto -molto probabilmente del casato dei Visconti di Carlat- non esitava a fare di tasca propria, come hanno mostrato gli studi storici del prof. Flavio Nuvolone.¹⁴

Attualità del metodo di insegnamento di Gerberto

Al tempo di Gerberto accedevano all'istruzione solo i nobili e i chierici. Oggi il numero di ragazzi che accedono all'istruzione è molto più grande sia in percentuale che in assoluto. Basti pensare all'attuale percentuale di alfabetizzazione in Europa. L'altra differenza è nella disponibilità del sapere di base, pressoché totale sia sotto forma di libri stampati che di dati in forma digitale su internet. Infine la disponibilità di maestri capaci di trasferire le conoscenze da una generazione all'altra, non è mai stata numericamente così alta.

Gli studenti oggi possono rivolgersi anche ad altri maestri rispetto a quelli che la scuola pone loro davanti, grazie ad Internet, televisione con canali dedicati alla divulgazione scientifica, riviste specializzate. Rispetto al rapporto docente-discente, queste nuove forme di discepolato virtuale, mancano del momento della verifica delle conoscenze acquisite mediante esercizi, problemi, interrogazioni ed applicazioni alla vita e all'esperienza quotidiana.

Se in ogni tempo e fino ad oggi nella scuola valeva l'adagio dantesco "Scienza non fa senza non lo ritener l'aver inteso" oggi è entrato in crisi anche l'aspetto mnemonico dell'apprendimento della cultura: telefonini, tablet ed internet diventano dei sostituti della memoria.

14 Flavio Giuseppe Nuvolone, *Da Gerberto a Silvestro II: ermeticità di nome, numeri e Croce nell'anno Mille*. Ed. Pontegobbio, Bobbio, 2013.

Forse per rispondere all'ansia di prestazione che i genitori proiettano sui ragazzi in vari campi (troppi per una persona ancora in formazione umana, spirituale e culturale) è diventato naturale il vivere in simbiosi con il grande repository del sapere che è internet, con tutti i limiti del caso, primo fra tutti l'eclissi graduale della memoria, sostituita da quelle digitali, peraltro affidate a pochi motori di ricerca, ognuno con i suoi filtri...

La capacità di memorizzare numeri è stata depressa nell'ultimo quindicennio anche tra gli adulti con le rubriche dei telefoni portatili.

La capacità di organizzare informazioni storiche, dove date e fatti non possono essere separati, è dunque ridotta al minimo perché i metodi mnemonici non si tramandano più.

Conseguentemente anche le formule e le costanti fisiche, al bisogno, vengono consultati su internet, non sui libri, col risultato che le ricerche digitalizzate devono essere validate da chi è esperto e poi i percorsi e i files memorizzati, e la loro reperibilità è solo parzialmente risolta dai computers con le *directories* e la lista dei "preferiti": serve una metodologia che i docenti dovrebbero trasmettere perché gli studenti di oggi possano conseguire una maturità feconda quanto e più di mille anni fa, grazie all'espansione del sapere.

Naturalmente all'offerta formativa deve corrispondere adeguatamente lo studio coscenzioso dei discenti.

Anche Gerberto mille anni fa selezionava gli argomenti, e integrava le fonti disponibili attingendo a quanto di meglio esisteva negli *scriptoria*, anche in campo profano. Oggi bisognerebbe fare la stessa cosa evitando di precipitare nello scientismo di certa divulgazione da un lato e nel fideismo su tutto ciò che compare dopo una ricerca su internet dall'altro.

Allora Gerberto preparava strumenti astronomici per simulare

i moti celesti, oggi esistono programmi ed “applicazioni” che sono in grado di riprodurre gli stessi moti con molta più accuratezza, e possono essere validamente usati per studiare in modo “interattivo” quei fenomeni.¹⁵ Rispetto allo studio fatto solo sui libri i vantaggi di usare queste nuove tecnologie sono evidenti.

Gerberto fu il primo ad insegnare le scienze del quadrivio in modo sperimentale. Integrò i “sacri testi”, limitati ad una scarna manualistica tardo antica, mancando gli originali di Tolomeo e di Aristotele, con l'uso di strumenti che rendessero gli studenti indipendenti dallo stesso docente. Per questo Richero affermava che Gerberto “*suos liberaliter instruxit*”. Dunque Gerberto rielaborò in forma anche sperimentale l'insegnamento delle scienze. La creazione dei Licei delle Scienze Applicate senza i laboratori manca di quell'ispirazione didattica “ascolta e dimentica, guarda e impara, fai e ricorda”. Nell'ottica di mantenere collegata la Fisica alla sperimentazione della natura, alla possibilità di ripetere -non solo in laboratorio- l'esperienza, propongo qui una serie di problemi di Fisica e Astronomia per andare oltre l'aspetto algebrico di una formula, cogliendone il senso fisico.

Gli argomenti studiati per la scuola sembrano scollegati dalla vita di ogni giorno, mentre proprio a cominciare dalla Fisica questi collegamenti dovrebbero diventare evidenti.

Per Gerberto lo studio era una passione, e ciò che apprendeva a sua volta trasmetteva, ma ogni aspetto studiato aveva anche un risvolto pratico come mostrano i “*gibertisti*” o *abacisti*, l'orologio costruito a Magdeburgo e ricordato dal chroniqueur Tietmaro, il trattato sulle canne d'organo “*Rogatus a Pluribus*” e scritto al principio del suo abbaziale a Bobbio nel 980, la costruzione degli *Organa*, l'introduzione dell'astrolabio

15 Ad es. i software *Stellarium* per pc e *Mappa Stellare* per Tablet e cell.

nell'Europa cristiana, la ricerca in Medicina sui calcoli renali e sull'*Ophthalmicus* di Demostene, l'accesso a nuove fonti librerie tramite nuove acquisizioni e nuove traduzioni dall'arabo.

Problemi e Problemata

La tradizione aristotelica e poi scolastica ci ha trasmesso la formulazione del sapere tramite *problemi*, *scholia* e relative soluzioni. Il commento o *scholium* ad un determinato problema poteva fornire lo spunto per un superamento di una conoscenza, che aveva raggiunto una certa maturazione ed era codificata presso autori riconosciuti universalmente.

Gerberto commentando un passaggio della Matematica di Boezio trova il *saltus Gerberti*, trattando della Musica dello stesso filosofo cristiano a Costantino di Fleury mostra l'uso delle frazioni nella teoria pitagorica.¹⁶

Sui problemi presenti nel panorama culturale classico è di grande importanza il testo di scuola aristotelica dei "*Problemata*".¹⁷ Pur non essendo direttamente disponibile a Gerberto questa raccolta eterogenea di *quaestiones* su argomenti di ogni genere dalla Fisica alla Medicina, all'Ottica alla Meteorologia... mostra l'attitudine speculativa che diventa quella del *medicus* che interpreta le osservazioni alla luce del modello più accreditato per spiegare ogni fenomeno.

Tolomeo nel suo *Almagesto* ca.150 d.C. voleva *salvare i fenomeni*, nel senso di dare un modello semplice ed esaustivo che spiegasse e riproducesse i fenomeni astronomici osservati (moti dei pianeti e delle stelle fisse), Aristotele quattro secoli prima aveva anche lui compiuto una sintesi grandiosa capace di compendiare i fenomeni naturali con pochi principi primi.

16 Marek Otisk e Richard Psík, *Matematické Listy Gerberta z Remeše*, University Karlovy v Praze, 2014.

17 Aristotele, *Problemi*, Bompiani, Milano, 2002.

Nei problemi tutto viene spiegato dai i quattro elementi fondamentali del Timeo di Platone: aria, acqua, terra e fuoco e dai loro moti naturali.

Per Gerberto la codificazione attraverso i numeri interi di queste realtà platoniche è il linguaggio in cui è scritto il libro della Natura.¹⁸

Tuttavia né con Gerberto né con la futura scuola medica di Salerno nata un secolo dopo né con Pietro Ispano, il papa Giovanni XXI, portoghese e medico a Siena, il *background* aristotelico è mai sembrato “invalidante”.

La lettura dei *Problemata*, che al tempo di Pietro Ispano già venivano tradotti ed insegnati da Pietro d'Abano a Padova e conosciuti da molti altri, mostra la grande ricchezza di fenomeni tramandati dal mondo ellenistico insieme alla loro possibile spiegazione, spesso data solo in via ipotetica.

Anche se le lettere di argomento medico di Gerberto sono due¹⁹ e non c'è abbastanza “statistica” per “tastare il polso” alle competenze mediche di Gerberto si vede come di fronte all'*ars longa* che si contrappone alla *vita brevis*,²⁰ l'atteggiamento di Gerberto fosse di studio. Come nello stile giuridico, appreso alla biblioteca della Cattedrale di Reims, con le raccolte di sentenze e decretali tramandate da Hincmaro un secolo prima di Gerberto, è necessario conoscere molte casistiche simili per poi trarre delle conclusioni utili. Le osservazioni fatte in medicina durante lunghi anni possono aiutare a capire meglio una determinata malattia, e di questo Gerberto era cosciente. Sui rimedi da proporre egli non riteneva di avere abbastanza competenza probabilmente proprio perché sapeva quanto

18 È il concetto che esprime Galileo sei secoli dopo Gerberto.

19 Cosimo Palagiano, *Gerberto e la Medicina*, Geografia, 103-104, p. 76 (2003).

20 come Galeno affermava e con lui Giambattista Morgagni che lo lesse all'Università di Bologna.

fosse limitata la disponibilità di testi medici in latino rispetto a quelli in arabo e a quelli che dal mondo classico non erano giunti nei monasteri dell'Europa Occidentale.

La lettura dei *Problemata* oggi mostra i limiti del sistema dei quattro elementi aristotelici a noi che siamo nati quattrocento anni dopo Galileo, ma ci trasmette intatto il tesoro delle osservazioni e dei ragionamenti che la scuola di Aristotele trasmise alla nascente cultura ellenistica che Alessandro Magno, discepolo dello Stagirita, andava instaurando.

Tutta questa capacità di osservare e speculare sulla *physis*, la natura, è presente nel metodo sperimentale con cui Gerberto insegnava, e rischia invece di perdersi in uno sterile nozionismo basato sulla manipolazione di formule e teorie fisiche incapace però di condurre a nuove scoperte, proprio per aver perso il contatto con la *physis*.

Il metodo sperimentale era presente nella scienza sia al tempo di Aristotele, sia di Tolomeo, che con Gerberto.

Galileo riprende il metodo sperimentale in Astronomia con forza, mentre Copernico lo fece timidamente.²¹

Sia Copernico che Galileo restarono ancorati al moto circolare, che soltanto Keplero sostituì con l'ovale e poi con l'ellissi, perché “salvavano meglio i fenomeni” ovvero le osservazioni di Marte fatte da Tycho Brahe.

21 Nella prefazione a Paolo II del *De Revolutionibus Orbium Coelestium* di Copernico Andrea Osiander si esprime in termini di *ipotesi matematiche*. Copernico effettivamente aveva trovato nell'eliocentrismo un modello più semplice di quello tolemaico per rappresentare gli stessi dati osservati dagli antichi e solo in piccolissima parte integrati da Copernico stesso, quindi cercava tra gli scrittori classici coloro che potessero sostenerlo nell'ipotesi eliocentrica. In un certo senso il primo libro del *De Revolutionibus* è un saggio di retorica, proprio nello stile di Gerberto, con citazioni di Virgilio ed altri poeti latini! Il canonico Copernico, seguiva lo stesso metodo oratorio del monaco Gerberto, per introdurre un nuovo concetto come l'eliocentrismo.

L'ellissi kepleriana è ancora un'ipotesi matematica per descrivere meglio i fenomeni, mentre Galileo con la caduta dei gravi ed il cannocchiale comincia ad indagare la natura dei moti e del mondo sopralunare dando una svolta alla Fisica e all'Astronomia, sia con continuità che con discontinuità rispetto al panorama culturale del suo tempo.

Problemi di Fisica e Astronomia per la scuola secondaria

La breve raccolta di problemi che qui propongo ha l'intento di stimolare insegnanti ed alunni a vedere in modo unificato Fisica e Astronomia visto che così è stato nella storia della scienza e di tradurre in termini di "problemi" di vita quotidiana l'applicazione delle leggi fisiche oggetto dello studio scolastico, senza dimenticare che ogni teoria sensata che rappresenti un fenomeno fisico può essere rappresentata mediante un esperimento che per lo meno in analogia ne mostri il significato. Ogni teoria o modello fisico possono dunque essere visti e toccati, in modo da essere capiti e ricordati.

Il contesto dove appaiono è quello degli studi Gerbertiani, che hanno appassionato scienziati Europei fin dal 1846 con Alexandre Olleris, poi nel 1899 con Nicolai Bubnov che curò in particolare l'edizione commentata degli scritti matematici, fino alla rivista GERBERTVS che ospita questo articolo, indicizzata sul sito della NASA/ADS Astronomical Data System quanto ai testi di interesse astronomico, e dalla John Wolbach Library dell'Harvard University Observatory, dove più di nove milioni di articoli scientifici sono conservati nella biblioteca virtuale più vasta al Mondo.

Si consiglia di conservare nel proprio quaderno di Fisica le soluzioni di questi problemi cercando di spiegare tutti i passaggi con parole appropriate.

a) Esercizi su Meccanica Quantistica Relativistica

Si tratta di esercizi progressivi per arrivare a padroneggiare la Relatività Speciale, in cui la difficoltà sta nel passare da un sistema di riferimento ad un altro solidale con un corpo che si muove a velocità costante prossima a quella della luce.

Il caso esemplare è quello del muone dell'esercizio 14 che entra nell'atmosfera e decade. Il fattore gamma serve a quantificare la velocità rispetto a c , a *celeritas* della luce.

1) il raggio di azione di una forza è dato dal prodotto della velocità della luce per a) b) c) oppure d)?

a) lo spazio nel sistema a riposo con la particella b) l'energia della particella c) il tempo di vita della particella d) la massa della particella

2) il raggio d'azione di un uomo che viaggia a piedi è pari alla sua velocità media moltiplicata per cosa?

3) Il principio di indeterminazione dice che la conservazione dell'energia $E_{\text{finale}} = E_{\text{iniziale}}$, cioè $\Delta E = 0$, si può violare in un tempo Δt tale che $\Delta E \cdot \Delta t = h$. Durante il decadimento beta di un neutrone (massa 1 GeV) si forma un bosone W di circa 100 GeV, quanto può vivere il bosone? Che distanza percorre?

4) la formula di Einstein $E = mc^2$ dice che anche i fotoni di massa nulla hanno una massa capace di gravitare. Quanto vale la massa di un fotone di $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ nel Sistema Internazionale? Quanto vale la massa di un fotone di 100 GeV.

5) Una particella elementare di massa 100 GeV/ c^2 quanta energia a riposo ha?

6) Possono le particelle di massa 100 GeV/ c^2 come i bosoni W e Z della forza debole, raggiungere la velocità della luce durante il loro tempo di vita?

7) Se i protoni e gli antiprotoni accelerati da LHC, il Large Hadron Collider del CERN raggiungono il 99% della velocità della luce quanto vale la loro velocità?

8) Il fattore gamma per una velocità pari al 99% di c quanto vale?

- 9) Quanto è lungo per i protoni relativistici a $\gamma=50$ di LHC l'anello di 28 Km dell'acceleratore?
- 10) In un urto in LHC con $\gamma=100$ una particella nuova decade lasciando una traccia lunga 1 cm nel rivelatore ATLAS; quanto è stato il suo tempo di vita nel nostro sistema di riferimento?
- 11) Sapendo che γ vale 100, quale tempo di decadimento avrebbe la particella nel sistema di riferimento della particella stessa se lascia una traccia lunga 1 cm?
- 12) Quale velocità ha un protone a $\gamma=100$?
- 13) L'energia cinetica di una particella relativistica è pari a $E=mc^2\gamma$, quanto vale l'energia di un protone relativistico a $\gamma=100$, sapendo che la massa del protone è 1837 volte quella dell'elettrone che ha una massa a riposo di 511 KeV?
- 14) Un muone decade in un centomillesimo di secondo nel sistema di riferimento solidale con esso, i muoni dei raggi cosmici, «vedono» lo spazio che loro attraversano contrarsi, e così riescono ad attraversare quasi alla velocità della luce tutta l'atmosfera terrestre (30 Km). Quanto vale il fattore γ per quei raggi cosmici?
- 15) Che cosa ha dimostrato circa il vento d'etere l'esperimento di Michelson e Morley del 1887?
- 16) Le deduzioni di Olaus Roemer sulle misure di Giandomenico Cassini delle eclissi dei satelliti di Giove riguardano la velocità della luce misurata su quale base?
- 17) Fizeau ha misurato su una base di 8 km la velocità della luce pari a 315 mila Km/s, che errore percentuale ha commesso rispetto al valore di c ?
- 18) Nell'esperimento di Fizeau la luce percorre avanti e indietro un tratto di 8 Km; quanto tempo impiega?
- 19) Nell'esperimento di Fizeau il tempo di andata e ritorno della luce deve uguagliare il tempo di passaggio di due denti consecutivi della ruota occultatrice. Ammesso che la ruota abbia 360 denti, quale dovrebbe essere la velocità angolare della ruota?

- 20) Quanta energia è necessaria per accelerare un protone fino al 99.9% della velocità della luce?
- 21) I raggi cosmici estremi hanno energie fino a 10^{21} eV. Trattandosi di protoni quale è il loro fattore gamma? Se invece sono nuclei di Ferro 26 qual è il loro gamma?
- 22) I campi magnetici delle pulsar sono talmente intensi che possono accelerare le particelle a enormi velocità: l'energia cinetica di una sola particella elementare equivale a quella acquisita da una mela che cade da una quota di un metro. Quanto vale?
- 23) L'indice di rifrazione dell'acqua è $n=1.33$, significa che la velocità della luce nell'acqua è $v=c/n$; quanto vale la velocità della luce in acqua. E in aria dove $n=1,000297$?
- 24) Una particella che ha $\gamma=3$ a che velocità va?
- 25) I neutrini della Supernova 1987A sono arrivati 5 ore dopo i fotoni, dopo un viaggio di 187mila anni luce: a che velocità viaggiavano?
- 26) Dal CERN al Gran Sasso i neutrini dell'esperimento OPERA sono arrivati 10 ns dopo di quando sarebbero arrivati i fotoni su un percorso di 700 Km. Quale velocità avevano?
- Formulario:** $\gamma = 1/(1-v^2/c^2)^{1/2}$ costante di Planck
 $h=6.625 \cdot 10^{-34}$ J*s $1 \text{ eV}=1.6 \cdot 10^{-19}$ J $1 \text{ GeV}= 10^9$
eV sviluppo di Taylor della potenza $(1+x)^\alpha \sim 1+\alpha x$
Energia a riposo $E=mc^2$ Energia relativistica $=mc^2 \gamma$
 $c=299792458$ m/s velocità della luce nel vuoto

b) Esercizi di Fluidi, Eletticità, Termodinamica e Onde

Si tratta di quesiti legati all'esperienza quotidiana, con qualche semplice applicazione algebrica di formule fisiche. A dispetto dell'apparente complessità del quesito, spesso la soluzione è il risultato di puro ragionamento più che di grandi calcoli.

Le unità di misura "tradizionali" aiutano a fissare meglio la spiegazione fisica dei vari fenomeni, per questo qui vengono preferite al Sistema Internazionale.

- 1) La portata della Corrente del Golfo è di 1 sv (Sverdrup) cioè $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. Sapendo che la sua velocità è pari a 2 m/s di fronte a Capo Hatteras, qual è la sezione di questo fiume d'acqua marino?
- 2) La resistenza elettrica per unità di lunghezza di un superconduttore di sezione unitaria è $10^{(-23)} \text{ Ohm/m}$. Quanto dovrebbe essere lungo il superconduttore per avere una resistenza di 1 Ohm?
- 3) Una goccia di liquido rosso di 1 grammo affonda nell'acqua alla velocità di 5 cm/s. Quanto vale il coefficiente di attrito beta e la sua unità di misura nel Sistema Internazionale? $F = \beta \cdot v$.
- 4) La velocità delle onde in acqua bassa dipende dalla profondità dell'acqua $v^2 = (2gh)$. Quanto vale la velocità di onde con $h = 1 \text{ cm}$? Se la loro lunghezza d'onda è 3 cm quanto vale la frequenza delle onde?
- 5) La luce del Sole raccolta su un metro quadrato a mezzogiorno d'estate fornisce una potenza di 1000 W: se ho un corpo di un m^2 perfettamente nero, che temperatura raggiunge?
- 6) Un tubo a sezione costante e portata costante di 1 litro al secondo si alza di un metro e poi ritorna alla quota iniziale, qual è la velocità dell'acqua nel tratto in basso e quella nei tratti in salita?
- 7) La carica di un Coulomb, 1C, è molto grande, circa 10^{19} elettroni. Sapendo che il Ferro ha numero atomico 26, con 26 elettroni per atomo, quanti atomi di Fe si dovrebbero completamente ionizzare per fare 1C? Quale sarebbe la massa in grammi di questo ferro completamente ionizzato?
- 8) L'automobile è frenata dall'attrito dell'aria: a 30 m/s consuma 1 litro di gas per ogni 15 km. Se il potere calorico del gas è 33 MJ/litro e il lavoro dell'attrito è $F \cdot s = \beta \cdot v \cdot s$ con s lo spazio percorso, calcola beta; il lavoro fatto dall'attrito uguaglia l'energia spesa per mantenere il corpo in moto.
- 9) La luce verde ha velocità $c = 300 \text{ mila Km/s}$, lunghezza d'onda 540 nm, qual è la sua frequenza:?

- 10) Un termosifone contiene 50 litri d'acqua, che a regime sta a 60 °C. Partendo da 15 °C quanta energia si deve somministrare all'acqua per scaldarla?
- 11) Dell'acqua scorre lungo un pendio di quota $h=1000$ metri. La velocità di arrivo è 20 m/s; quanto dovrebbe essere la velocità raggiunta se non ci fosse attrito?
- 12) Ai capi di un circuito con una resistenza R si registra tensione 10 V e intensità $I=2$ Ampère: qual è il valore di quella resistenza?
- 13) Un tubo di portata 6 litri al secondo ha tre diramazioni di sezione 1, 2 e 3 cm², qual è la portata dei tre tubi a valle delle diramazioni?
- 14) La superficie di un liquido se perturbata da una goccia oscilla con frequenza 2 Hz, la velocità delle onde in quel liquido vale 1 cm/s, qual è la lunghezza d'onda?
- 15) La pentola a pressione scalda le vivande fino a 120 °C sfruttando una trasformazione isocora del vapore d'acqua. Qual è la pressione interna se a 100 °C vale una atmosfera?
- 16) La pressione di una ruota di bicicletta è 5 atm, quanto volume riempirebbe l'aria in essa contenuta ad 1 atmosfera?
- 17) La velocità di sfogo dell'aria da una valvola dipende dalla differenza di pressione tra dentro e fuori. Se dentro ci sono 5 atmosfere e fuori 1, se la sezione è un cm² qual è la velocità di uscita?
- 18) La potenza dissipata da un circuito è data da $P=V \cdot I$, se il circuito è Ohmico ($V=R \cdot I$) quanto vale la potenza dissipata dalla corrente di 2 Ampere passanti su una resistenza di 1 Ohm?
- 19) Le onde di densità nelle nuvole hanno lunghezza d'onda di 200 m e velocità relativa al sistema delle nuvole pari a 2 m/s: quale frequenza hanno?
- 20) Una tazza di thè a 60°C tiene 200 g di liquido. La raffreddo con dei cubetti di ghiaccio fino a raggiungere 30 °C. Sapendo che il ghiaccio ha un calore latente di 80 cal/g e l'acqua un calore specifico di 1 cal/g/°C quanto ghiaccio ho usato?

- 21) Nella convezione il calore è trasportato da bolle calde che salgono contro la forza di gravità (spinta di Archimede) in modo più o meno veloce della conduzione nello stesso materiale? L'irraggiamento rispetto a conduzione e convezione è più o meno rapido per smaltire calore?
- 22) Il calore nell'Ottocento veniva studiato come un fluido, il fluido calorico, che si sposta da una sorgente calda ad una fredda. Quale flusso di calore avviene tra un litro d'acqua a 90°C e due litri a 10°C? Quale sarà la temperatura di equilibrio delle due masse d'acqua mescolate?
- 23) Una resistenza $R=10000$ Ohm disperde su una superficie di 100 cm² tutta la potenza di una corrente di intensità $I=2$ Ampere. Che temperatura ha quella superficie?
- 24) Le onde di densità della nostra Galassia sono distanti tra loro 10mila anni luce; l'orbita solare è lunga 120mila anni luce ed è percorsa in 240 milioni di anni, qual è la frequenza e la velocità di queste onde? E la velocità orbitale del Sole nella Galassia?
- 25) La pressione di radiazione vale $P=I/c$ dove I è l'intensità misurata in W/m² e c la velocità della luce. Un laser ha 3 mW di potenza su un mm², quanto vale P ?
- 26) Un casco cade da 2 metri e rimbalza a 60 cm, quale percentuale di energia meccanica assorbe nell'urto col suolo? Quale percentuale restituisce?
- 27) Quanto vale l'energia cinetica di una sfera di 2 Kg a 50 Km/h?
- 28) La sfera dell'esercizio 2) rappresenta la testa, e la velocità iniziale è di 30 km/h, dopo l'urto in cui il 70% dell'energia cinetica è assorbito dal casco, a quale velocità la testa sbatte? Spiegare perché si può usare l'equazione $v^2=0.3v_{in}^2$.
- 29) La libbra carolingia, o *pondus Caroli*, è un peso campione in piombo usato nell'alto medioevo, di 406 g a forma di cilindro alto 1.5 cm, di densità 11 g/cm³. Qual è il diametro del cilindro?
- 30) Una clessidra è un vaso cilindrico che consente di misurare il tempo dal livello dell'acqua al suo interno. Pieno

contiene 3 litri, 30 cm e dura 12 ore ed il buco è stretto tanto da non essere influenzato dalla pressione che cambia col livello dell'acqua. Qual è il livello dopo 5 ore? Quanta acqua rimane?

31) Durante l'alluvione del 1598 il livello del Tevere è passato da 2 m a 18 m e la sua sezione laterale da 100 m a 600m. La sezione è rettangolare e la velocità dell'acqua è 1 m/s, calcolare la portata prima e durante l'alluvione. Usare l'equazione di Leonardo $S \cdot v = \text{Costante}$.

32) Due pile AA in serie forniscono una ddp di 3 volt. Qual è la differenza di potenziale di ogni pila?

c) Struttura molecolare della Materia

Qui lo scopo è di impratichire lo studente con l'uso del numero di Avogadro, strumento indispensabile per giungere alla comprensione delle dimensioni atomiche e molecolari.

- 1) Calcolare il peso molecolare della molecola di Idrogeno
- 2) Calcolare il peso di una grammomolecola di Idrogeno molecolare
- 3) Sapendo che l'Idrogeno liquido (è Idrogeno molecolare) ha una densità di 71 g/dm³ calcolare il numero di molecole in 1 dm³.
- 4) dal dato del quesito 3 ricavare il volume di una singola molecola di H₂ in m³.
- 5) dal dato del quesito 4 ricavare le dimensioni di molecola di H₂ in m.
- 6) Riempio un volume di 8 metri cubi con 27 cubi rossi, ogni cubo rosso che dimensioni lineari ha?

d) Esercizi di Ottica per il 2015, Anno Internazionale della Luce

Lo scopo di questi esercizi è di introdurre ai concetti di Campo di Vista, Diffrazione della luce e Risoluzione angolare delle foto con zoom digitale.

Il LASER non è esattamente collimato, ma la luce ne esce con una certa divergenza, noi possiamo collimare i raggi del LASER costringendoli a passare attraverso un forellino di 1 mm di diametro posto ad un metro dal nostro LASER. Il Campo di Vista, $CdV[^\circ]=60^\circ \cdot d/F$ sotto cui si vede il diametro d del diaframma posto alla distanza F dal LASER, descrive la divergenza geometrica del fascio LASER.

- 1) Se viene usata la formula approssimata $CdV[^\circ]=60^\circ \cdot d/F$, invece che quella $CdV[^\circ]=57.28^\circ \cdot d/F$ esatta per $d \ll F$, quale errore percentuale si commette?
- 2) disegnare lo schema dell'esperimento appena descritto, schematizzare la divergenza geometrica.
- 3) qual è il campo di vista del fascio LASER diaframmato?
- 4) qual è il diametro di un dischetto luminoso che dovrebbe essere proiettato a 6 m di distanza?
- 5) qual è il campo di vista ricoperto da un dischetto luminoso di diametro $D=2$ cm proiettato a 6 m di distanza attraverso il foro da 1 mm?
- 6) la diffrazione della Luce modifica la divergenza geometrica di un fascio di luce che passa in un diaframma aumentandola di una quantità θ 'theta' inversamente proporzionale al diametro del diaframma d e direttamente proporzionale alla lunghezza d'onda λ 'lambda': $\theta[^\circ]=1.22 \cdot 60^\circ \cdot \lambda/d$.
- 7) se $\lambda=635 \cdot 10^{-9}$ m, rosso, quanto vale l'angolo di diffrazione $\theta[^\circ]$ per un diaframma di 1 mm?
- 8) se $\lambda=540 \cdot 10^{-9}$ m, verde, quanto vale l'angolo di diffrazione $\theta[^\circ]$ per un diaframma di 1 mm?
- 9) a $F=6$ metri di distanza dal diaframma il dischetto di luce rossa che si forma per diffrazione ha diametro $D=F \cdot 1.22 \cdot \lambda/d$, quanto è grande?
- 10) nel caso della luce verde quanto è grande?
- 11) qual è il campo di vista descritto da una stella grande come il Sole con diametro 1.5 milioni di Km posta a 4 anni luce da noi?
- 12) quanto vale l'angolo di diffrazione $\theta[^\circ]$ per un diaframma di

10cm?

e) Ottica geometrica

- 1) Disegnare l'immagine virtuale dritta generata da una lente con fuoco $f=15$ quadretti, quando si osserva una freccia alta 2 quadretti e posta 8 quadretti alla destra della lente sull'asse ottico.
- 2) Calcolare l'ingrandimento dell'immagine virtuale precedente
- 3) Disegnare la nostra pupilla nello schema 1) affinché possa vedere quell'immagine virtuale.
- 4) Disegnare la posizione del rivelatore digitale affinché possa vedere a fuoco l'immagine virtuale dello schema 1.
- 5) Disegnare l'immagine reale generata da una lente con fuoco $f=5$ quadretti, quando si osserva una freccia alta 2 quadretti e posta 15 quadretti alla destra della lente sull'asse ottico.
- 6) Calcolare l'ingrandimento dell'immagine reale del punto 5).
- 7) Disegnare la nostra pupilla e il sensore digitale nello schema 5) affinché possa vedere quell'immagine reale a fuoco.
- 8) Perché se muovo una lente avanti e indietro le immagini ingrandite cambiano dimensioni?
- 9) Perché se osservo oggetti lontani con una lente convergente essi appaiono capovolti?
- 10) La lente di una fotocamera ha una focale di 3 mm, il sensore è fisso a 3 mm dalla lente. Calcolare la posizione dell'immagine q , quando l'oggetto si trova a $p= 10, 50, 100, 1000$ e 10000 mm. Quali immagini sono molto fuori fuoco?

f) Analisi del Sangue ed Errori Assoluto e Relativo

La considerazione dei risultati delle analisi del sangue, che ciascuno prima o poi ha davanti ai propri occhi, invita a porre mente ai concetti di errori assoluti e relativi, un *must* per gli studenti di Fisica alle prime armi.

L'acido urico è il prodotto finale della degradazione delle purine (basi azotate presenti negli acidi nucleici) e viene eliminato dal rene principalmente attraverso le urine. Quando nel sangue vi è

la presenza di acido urico si parla di uricemia che si verifica per difficoltosa eliminazione renale o per eccesso di produzione. Valori nella norma: uomini 3,2-8,1 mg/100 ml; donne 2,2-7,1 mg/100 ml. *Come prepararsi per l'esame:* è consigliabile digiunare nelle 8-10 ore che precedono il prelievo.

Rispondere alle seguenti domande con i risultati numerici, unità di misura e brevi spiegazioni

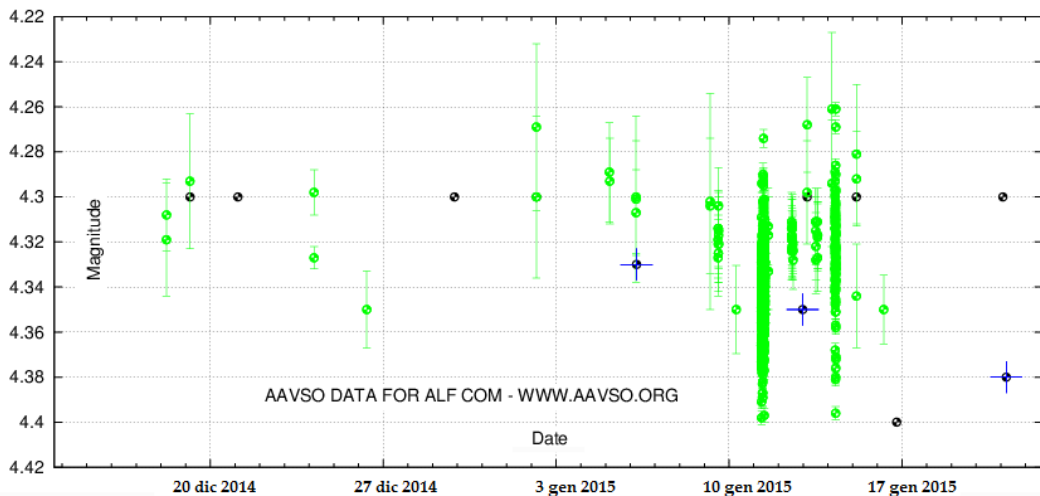
- 1) Qual è l'errore assoluto nei valori di riferimento per l'acido urico nel sangue?
- 2) Quanti mg di acido urico stanno all'incirca in 100 ml di sangue?
- 3) Qual è la sensibilità, espressa in mg, con cui valutiamo la massa di acido urico presente nel sangue, che deduciamo dai valori nella norma?
- 4) Quanto vale l'errore relativo se usiamo provette da 2,5 ml?
- 5) Quanto vale il contenuto medio di acido urico in una provetta da 2,5 ml?
- 6) Nel cibo ingerisco 5 g di purine, supponendo che vadano a finire nel sangue sotto forma di acidi urici e sapendo che ho 5 litri di sangue qual è la loro concentrazione media nel sangue?
- 7) Perché è opportuno digiunare prima dell'esame?
- 8) Qual è il tempo di smaltimento dell'acido urico nel sangue?
- 9) Quali sono i valori medi della concentrazione di acido urico nel sangue umano?

g) Misura della luminosità (magnitudine) delle stelle ed errori assoluti

Lo scopo di questo esercizio è quello di esaminare attentamente una figura al fine di trarne tutte le informazioni possibili, anche se non sono state scritte nella didascalia relativa. Le figure, i grafici, sono parti essenziali del linguaggio di un fisico tanto quanto la gestione delle formule algebriche e della loro descrizione in termini di fenomeni fisici. Bisogna imparare a creare ottime figure e a saperle leggere.

Le seguenti misure della luminosità stellare di *Diadem*, la alfa (cioè la più brillante) della costellazione della Chioma di Berenice, sono state fatte con diversi metodi: i pallini ad occhio nudo e le altre con immagini digitali. Durante le misure la stella non ha variato la sua luminosità nella banda V=parte visibile dello spettro elettromagnetico, che nel catalogo SIMBAD (Set of Identifications, Measurements, and Bibliography for Astronomical Data) dell'università di Strasburgo vale $m_V=4.32$

[<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=alf+com&NbIdent=1&Radius=2&Radius.unit=arcmin&submit=submit+id>]



The following observers have contributed to this light curve:

BJFA	BRANDIE, JON	CN, AAVSO	BPAD	BENNI, PAUL	US, AAVSO	GALB	GAROFIDE, ALEXANDRU	RO, AAVSO
MFR	MELILLO, FRANK	US, AAVSO	PVA	PETRIEW, VANCE	CA, RASC	SGQ	SIGISMONDI, COSTANTINO	IT, AAVSO
SNJ	STRITOF, NIKOLAJ	SI, AAVSO	VOL	VOLLMANN, WOLFGANG	AT, AAVSO			

Obs by SGQ +

- 1) calcolare valore medio ed errore assoluto per le misure ad occhio nudo di SGQ (+)_____±_____
- 2) tracciare sul grafico il valore della magnitudine di alfa Comae nel catalogo SIMBAD
- 3) calcolare valori medi ed errori assoluti delle due «strisciate» verticali dell'11 __±__e del 14 gennaio__±__
- 4) per ogni giorno con osservazioni calcolare il valore medio delle misure e compilare una tabella
- 5) fare la media di tutti i valori giornalieri e calcolare il loro errore assoluto_____±_____
- 6) confrontare la media di tutti i valori giornalieri con il dato di SIMBAD
- 7) valuta l'errore assoluto tipico per le misure a occhio nudo (pallini neri) e per le misure digitali (tutte le altre)_____±_____
- 8) calcola l'errore statistico associato alla media di tutti i valori giornalieri_____±_____

Conclusioni: Fisica e senso comune

Di tutti gli argomenti presentati si dovrebbe sempre evidenziare come possano essere sperimentati nella vita quotidiana, dove ciò sia possibile, per evitare di cadere nel tranello di considerare il “senso comune” e quindi i nostri sensi come naturalmente erronei.

Una divulgazione scientifica non priva di derive scientiste ha da tempo sfruttato lo stratagemma retorico di andare contro il senso comune, per comunicare dei risultati, con l'effetto duplice di stupire e screditare tutti i risultati precedenti.

Se lo stupore contribuisce alla fissazione di un concetto nella memoria di chi ascolta, lo screditamento del mondo antico crea un rapporto schizofrenico con gli scienziati del passato, come se essi avessero inspiegabilmente gli occhi foderati di prosciutto mentre solo nei nostri tempi finalmente possiamo capire certe cose.

I nostri sensi non sono erronei, come non è erroneo il nostro pensiero e il nostro giudizio, altrimenti sarebbe erronea anche ogni formulazione scientifica, che nasce dal pensiero umano.

Il dubbio metodico Cartesiano nasce proprio dal dubitare che i sensi ingannino, e la retorica scienziata continua ad usare questo dubbio per mostrare che all'uomo, sprovvisto di ogni sicurezza, può venire in aiuto solo la scienza con le sue verità. Salvo poi scoprire che i paradigmi scientifici sono tutti falsificabili... e giusti per l'epoca in cui vigono.

Ogni teoria sensata che spieghi o rappresenti un fenomeno fisico può essere rappresentata mediante un esperimento che, per lo meno in analogia, ne mostri il significato, e può dunque essere vista e toccata, in modo da essere capita e ricordata.