

Questa è la mia tesi (non ancora corretta),TROVERETE CERTAMENTE DEGLI ERRORI E MAGARI ALCUNE FRASI NON PROPRIO COMPRESIBILI. DA SOTTOLINEARE L'USO DEI SOFTAWRE DIDATTICI E IL LABORATORIO DI INFORMTICA (PENSATA PER UN PNI)

Ci sono 4 UD

Gravitazione

Relatività generale

Campo elettrico

Le coniche con cabrì

INDICE

Premessa	3
La legge di gravitazione universale, relatività generale e campo elettrico nei programmi scolastici	3
Valore didattico degli argomenti trattati	4
Problematiche ed ausili didattici	5
Analisi critica dei testi	6
Individuazione della scuola e dei destinatari	6
UNITA' DIDATTICA 1: Campo gravitazionale e la legge di gravitazione universale	9
Prerequisiti	10
Obiettivi generali	11
Obiettivi specifici, competenze, conoscenze, capacità	11
Contenuti- Strumenti utilizzati	12
Tempi dell'intervento didattico	12
Metodologia, verifica e valutazione	12
Contenuti	13
- Cenni sull'evoluzione dell'astronomia	13
- Newton, una mela e la legge di gravitazione universale	14
- Osservazioni	18
- Le leggi di Keplero e la legge di gravitazione universale	19
- Deduzione della legge di gravitazione universale tramite la terza legge di Keplero	22
- Energia potenziale gravitazionale	22
- Le leggi di Newton e la relatività di Einstein nei nostri navigatori e cellulari	26
- Software per la didattica	29
- Verifica sommativa	30
- Biografia e sitografia	
UNITA' DIDATTICA 2: Cenni di relatività generale	31
Prerequisiti	32
Obiettivi generali	32
Obiettivi specifici, competenze, conoscenze, capacità	32
Contenuti- Strumenti utilizzati	33
Tempi dell'intervento didattico	34
Metodologia, verifica e valutazione	34
Contenuti	35
- Teoria della relatività e curvatura spazio-tempo	35
- Punti di equilibrio nello spazio : i punti lagrangiani	38
- Cosa è un buco nero	40
UNITA' DIDATTICA 3: il campo elettrico	43
Prerequisiti	44
Obiettivi generali	44
Obiettivi specifici, competenze, conoscenze, capacità	45
Contenuti- Strumenti utilizzati	45
Tempi dell'intervento didattico	46
Metodologia, verifica e valutazione	46
Contenuti	47

- Introduzione al campo elettrico	47
- Il vettore campo elettrico	47
- Distribuzione di carica	48
- Energia potenziale elettrica e lavoro del campo elettrico	52
- Potenziale elettrico	54
ALLEGATO A	
Un'applicazione delle coniche alla fisica (l'ellisse e la terza legge di Keplero)	57
- Introduzione	58
- Variabilità delle coniche	58
- Definizioni	59
- Descrizione analitica dell'ellisse	60
- Applicazioni alla fisica	61
- Dove e quando usare i software didattici	63
ALLEGATO B	
Appendici integrative all'unità didattica 1	65
- Esperimento di Cavendish	66
- Tabelle dei dati fisici dei pianeti	67
- Laboratorio di fisica e fisica on-line	70
ALLEGATO C	
- Valutazione e docimologia	73
Conclusioni	75
Bibliografia e Sitografia	76

PREMESSA

Lo scopo di questa tesi è presentare un percorso didattico attraverso tre temi che vengono proposti nell'ambito dei programmi ministeriali del Piano Nazionale per l'Informatica (PNI). Si è cercato il modo di inserire quelle che sono state le nozioni, le idee e le strategie che il corso di specializzazione mi ha trasmesso e in larga parte da me condiviso. Si è voluto affrontare il concetto di campo conservativo applicato a due fondamentali argomenti della fisica: il campo elettrico e il campo gravitazionale. Spesso nei testi scolastici è presente l'analogia tra questi due tipi di campo e vengono mostrate, ogni qualvolta se ne presenti l'occasione, le principali sovrapposizioni e differenze. I concetti e le tematiche qui affrontate. In particolare vengono costantemente richiamati temi come il moto dei corpi, le forze e la conservazione dell'energia. Conoscenze fondamentali per la comprensione dei fenomeni naturali. Inoltre si è voluto creare un percorso didattico che possa dare allo studente degli spunti in preparazione della terza prova e dell'orale dell'esame di stato.

Non c'è alcuna pretesa di originalità in questo lavoro, ma solo la volontà di creare una unificazione di alcuni concetti che spesso sono percepiti come sconnessi dagli studenti. L'esposizione cronologica degli argomenti non è da intendersi come fissa, immutabile e discreta, ma piuttosto come un continuo concettuale. Il richiamare i concetti e i prerequisiti e anticipare qualche volta alcune nozioni è un modo di dare continuità alla conoscenza scientifica e fisica della natura e farla percepire quindi come un'unica "massa" del sapere. È chiaro che una trattazione approfondita di tutte le basi necessarie è impensabile, almeno in questo contesto, ecco perché verranno segnalati i prerequisiti necessari alla comprensione di quello che seguirà.

Partirò presentando brevemente le tappe storiche che hanno permesso agli scienziati che ci hanno preceduto di formulare le teorie che oggi conosciamo, convinto del fatto che un'introduzione storico-epistemologica sia necessaria per inquadrare in un contesto culturale e sociale le scoperte e i lavori di ricerca compiuti nei secoli passati. La storia degli avvenimenti scientifici, della curiosità e perizia degli scienziati, affascina e stupisce, perché spesso si sottovaluta l'ingegno e la dedizione che gli uomini hanno riposto nella loro ricerca della verità e della conoscenza. Il percorso della tesi è diviso in tre unità didattiche distinte nelle quali vengono brevemente riassunti i concetti basilari riguardanti la legge di gravitazione universale, la teoria della relatività generale e il campo elettrico. Il fatto che le scoperte e le teorie che sono trattate qui, sono conquiste intellettuali e sociali che sono avvenute in tempi diversissimi e che hanno necessitato di tempo per la completa metabolizzazione o piena comprensione. Ecco perché ho ritenuto di non poter fare una premessa generale di carattere storico che accomunasse i tre argomenti qui trattati. Al contrario invece, dal punto di vista fisico non v'è quasi alcuna distanza tra la relatività di Einstein e la legge di gravitazione universale, così come la distanza che "intercorre" tra il campo elettrico e la legge di gravità è colmabile in pochi passi.

LA GRAVITAZIONE, LA RELATIVITÀ GENERALE E IL CAMPO ELETTRICO NEI PROGRAMMI SCOLASTICI

L'unico programma ministeriale che ammette contemporaneamente tutte e tre le unità didattiche e dove è possibile introdurre l'uso di software è il programma del Piano Nazionale per l'Informatica. Il programma è costituito dai seguenti temi¹ e indichiamo solo le specifiche per ogni tema che interessano il percorso e le unità didattiche presenti in questa tesi, rimandando il lettore all'articolo citato nella nota 1 per maggiori approfondimenti.

- forze e campi;

- campo gravitazionale e campo elettrostatico;
- potenziale ed energia potenziale: campi conservativi;
- moto di masse in un campo gravitazionale;

¹ <http://www.fisica.unige.it/pls/linea2/PNI.htm#FISICA%20PER%20IL%20TRIENNIO>

- sistemi di riferimento e relatività;
 - ipotesi della relatività generale.
- principi di conservazione - processi reversibili e irreversibili;
- onde meccaniche ed elettromagnetiche;
- struttura della materia;
- l'Universo fisico.
 - La curvatura dello spazio-tempo;
 - oggetti celesti;
 - sistema solare;

la suddivisione rispetto agli anni del triennio è la seguente

Classe terza : campo gravitazionale energia potenziale gravitazionale, campo conservativo

Classe quarta : relatività generale e ristretta

Classe quinta: l'universo fisico e curvatura spazio tempo, campo elettrico

È possibile comunque creare un percorso didattico che anticipi al terzo anno la relatività, fatta quindi in concomitanza con la legge di gravitazione universale oppure posticiparla per introdurla quando si parla dell'Universo fisico.

VALORE DIDATTICO DEGLI ARGOMENTI TRATATI

Lo studio della legge di gravitazione universale “apre la mente” ed avvia alla conoscenza dell’immensamente grande, dell’Universo. Spesso, su quasi tutti i testi scolastici e non, è il primo tema della fisica in relazione al quale, appaiono immagini di galassie o di ammassi di galassie. Ci si proietta immediatamente dal contingente terrestre, fatto di piani inclinati e palline che rotolano, alle grandi dimensioni caratteristiche dell’Universo Nella mia esperienza di guida. Nella mia esperienza di guida scientifica nella mostra dal “dal cielo all’Universo” ho potuto constatare che spesso (molto spesso) gli ospiti della mostra non conoscevano la differenza tra una galassia e una stella o per lo meno non riuscivano a collocare questi oggetti nel cosmo. Non c’è la percezione della dimensione o della struttura dell’Universo e questo è assolutamente trasversale rispetto all’età della popolazione. Anche dando uno sguardo agli studi condotti su campioni di popolazione studentesca e non, si evince una profonda mancanza di conoscenze del reale o per lo meno dei meccanismi che regolano la natura². La legge di gravitazione universale o la relatività, a dispetto di molti altri temi della fisica, hanno il pregio di essere per lo meno affascinanti, il che rappresenta un punto a favore per la divulgazione scientifica e per la didattica scolastica. Nondimeno è vero che nelle aule di scuola non siamo chiamati a sponsorizzare la scienza ma ad insegnarla con tutti i problemi che ne possono scaturire. Il fatto che siamo circondati da apparecchiature tecnologiche che funzionano proprio grazie ai principi fisici che insegniamo, non implica che si sia sempre in

² Vedi <http://www.polimetrica.com/download/L100318r0AttiDeIVConvegnoOpenAccess.zip> e <http://www.invalsi.it/invalsi/ricerche.php?page=nazarchivio> .

grado di spiegarne il funzionamento. Cionondimeno è necessario sforzarsi per implementare le lezioni con monografie dedicate alla tecnologia attuale³.

PROBLEMATICHE E AUSILI DIDATTICI

È sempre auspicabile una collaborazione con i colleghi insegnanti di filosofia e storia, lettere, lingue straniere, religione per creare dei percorsi multidisciplinari coerenti e razionali⁴ nel rispetto dei singoli percorsi didattici e dei programmi ministeriali. Non si chiede però, una scuola “fisicocentrica” ma si ricorda che è possibile trovare moltissimi testi in lingua latina o greca che trattano di scienza e non di meno testi scientifici ed articoli in francese ed inglese⁴ che raccontano le nuove scoperte, che quotidianamente avvengono lontano dagli occhi distratti della società e degli studenti. Credo insomma in una integrazione razionale delle discipline, integrazione che non può esistere senza sforzi ed impegno. È noto a tutti che ci sono delle difficoltà intrinseche nella comprensione delle materie scientifiche dettate, nel caso della matematica ad esempio, da un diverso approccio logico e soprattutto da un diverso universo simbolico, che la rende per certi versi o incomprensibile o a detta di quasi tutti gli studenti, completamente inutile. Tutti gli studenti, almeno una volta, si sono chiesti: “...ma a cosa mi serve questo?”. Trovare una risposta è abbastanza facile, solo dopo aver compiuto studi superiori, strada che sempre meno studenti vogliono intraprendere. Allora qualche volta ci si deve chiedere davvero che senso ha ciò che si fa a scuola e ciò che si insegna, e verificare se ciò che si dice ha una valenza, ha un significato e cercare quindi raccordi, nodi e legami con tutto ciò che sta intorno per non isolare una materia, da sempre relegata, nell’immaginario studentesco, nelle menti di folli scienziati. Rendere contingente la fisica e la matematica, sembrerebbe cosa assai facile se non altro per il fatto che viviamo in una società permeata dalla scienza che ne fa un uso continuo, che addirittura ne abusa, una società che però sempre più non si domanda il perché e il come della scienza e della tecnologia. Forse a causa della complicatezza della scienza e ancora più della complicatezza della tecnologia. Siamo tutti possessori di tecnologie di cui non sappiamo nulla, frutto di una raffinatezza tecnologica e scientifica, di cui ignoriamo tutto o quasi. Per un docente quindi risulta forse davvero difficile cercare di riportare al contingente dei fenomeni che necessiterebbero, per una accurata comprensione, di conoscenze che vanno ben al di sopra di quelle richieste dal titolo di studio. Con il rischio, quando ci prova, di risultare incomprensibile o peggio, inutile. Ciononostante si deve cercare di trovare una via che consenta allo studente una maggiore percezione delle cose, far comprendere che quello che si fa in classe rende capaci di capire, comprendere e si spera anche criticare ciò che ci circonda.

Per *bypassare* questo problema, che è un problema reale della scuola, l’insegnante ha a disposizione una grande quantità di strumenti didattici che possono essere utilizzati e che spesso risultano di grande efficacia. L’uso dei software o di proiezioni filmate non può che essere un ottimo supporto alle lezioni di tipo tradizionale, che rimangono insostituibili.

In questo percorso ricorrerò spesso all’uso di questi ausili didattici perché credo nella loro efficacia, nella loro interattività e praticità d’uso.

ANALISI CRITICA DEI TESTI E DEL MATERIALE REPERIBILE IN RETE

Testi per le scuole superiori.

³ In tal caso è utile consultare riviste scientifiche (o meglio di divulgazione scientifica) che spesso dedicano articoli per spiegare il funzionamento degli apparati tecnologici. Qualche volta può però capitare che queste riviste si prendano delle licenze che sfiorano la fantascienza.

⁴ Ricordiamo che quasi il 100% della letteratura scientifica mondiale (Nature, Astronomy & Astrophysics, Science, etc.) parla inglese, e che spesso le traduzioni sono scarse, insoddisfacenti o in ritardo.

“Physica”, Antonio Caforio, Aldo Ferilli. Editrice Le Monnier per i licei scientifici edizione 1991

Certamente questo testo è stato ed è tuttora (nelle nuove edizioni) tra i più utilizzati nelle scuole superiori ed in particolar modo nei licei scientifici. È un testo assai completo e spesso molto rigoroso nella presentazione dei concetti fisici. La vastità degli argomenti trattati è paragonabile in alcuni casi a ciò che si trova in testi universitari. Molti sono affezionati a questo libro di scienza proprio per la sua impostazione classica. Credo che sia un ottimo testo da adottare in un liceo scientifico con programmazione PNI o anche di ordinamento. Il vantaggio di avere un testo completo ed esauriente sta nel fatto che può lasciare al docente la libertà di scegliere cosa approfondire e cosa invece trascurare. Può essere imputata una scarsa attenzione agli esercizi che spesso sono difficoltosi e con una gradualità incostante, mentre la parte teorica è molto esauriente e ben fatta. Sono presenti molte informazioni e curiosità con schede di approfondimento e una grande quantità di immagini e grafici. Il testo dedica un capitolo intero (Volume 1, Meccanica) alla spiegazione dell'Universo fisico, del moto dei pianeti e delle leggi di Keplero e Newton, oltre a presentare il concetto di campo gravitazionale in modo semplice ed efficace. Nel terzo volume dedica i primi due capitoli, molto completi alla trattazione della legge di Coulomb e del campo elettrico, rispettivamente. In definitiva un ottimo testo da “maneggiare” con perizia.

“Il mondo della fisica”, Ugo Amaldi. Editrice Zanichelli, edizione 1995

Questo testo è ad ora tra i più utilizzati nelle scuole superiori, ne esistono diverse versioni con specifiche particolari a seconda della destinazione d'uso ed anche possibile trovare la versione modulare, composta cioè di molti tomi. La versione da me analizzata è composta da un tomo unico che quindi è utilizzato per tutto il triennio (in un liceo scientifico ad esempio). Si divide in sei sottosezioni: Meccanica, Termologia, Acustica, Ottica, Elettromagnetismo, Fisica atomica e subatomica. Anche questo testo quindi è completo e ben equilibrato nell'esposizione dei concetti, inoltre è molto più fornito, rispetto al Caforio-Ferilli, per quanto riguarda le note storiche e le curiosità. Mette a disposizione dei riassunti finali per ogni capitolo e le parole chiave e anche molte tabelle dati. Certamente completo ma carente avvolte di formule e calcoli e soprattutto di esercizi, che sono presenti a fine testo. Per il resto resta uno strumento equilibrato e ben fatto, certamente commisurato all'uso e alle conoscenze richieste in un liceo scientifico o in alcuni istituti tecnici. Il testo tratta in modo abbastanza esauriente quasi tutti gli argomenti esposti nelle unità didattiche seguenti, partendo dalla gravitazione universale Cap 9 fino al concetto di campo elettrico Cap 2-3. Manca la trattazione della relatività generale che viene appena accennata.

Testi universitari.

“Fisica 1”, Halliday, Resnick, Krane. Editrice Ambrosiana edizione 2001

Testo certamente assai completo e ricco sia di contenuti che di esercizi. Si nota la carenza di immagini e grafici che potrebbero essere implementate. Tratta di tutta la meccanica partendo dalla teoria della misura fino al concetto e alla trattazione dell'entropia. La legge di gravitazione universale è trattata abbastanza tardi nel testo, nel capitolo 16, dove si accenna in un paragrafo alla teoria della relatività generale, mentre le leggi di Newton e la dinamica, sono introdotte molto prima, nel capitolo 5.

Testi divulgativi.

Ho avuto l'occasione di rileggere alcuni testi di divulgazione scientifica, notando che alcuni di essi tendono a rendere eccessivamente fantasiosa l'idea dell'Universo, mentre altri, riescono ad essere chiari e contemporaneamente ad informare il lettore con dati seri e rigorosi. Molto bello a tal proposito il libro “poesia dell'Universo” che a dispetto del titolo resta un libro ben scritto. Cito in seguito alcuni testi che ritengo per lo meno interessanti e che si potrebbero consigliare a degli studenti che siano intenzionati a continuare la scoperta della conoscenza dell'Universo e della cosmologia.

“Nuove frontiere, le ultime scoperte sulla vita, le Terra, lo spazio e L’Universo”, Isaac & Janet Asimov. Editrice Mondadori, Oscar Saggi Mondadori, edizione 1998

“Cosmologia Moderna”, Dennis W. Sciama. Editrice Mondadori, Oscar Saggi Mondadori, edizione 1999

“Poesia dell’Universo, l’esplorazione matematica del cosmo”, Robert Osserman. Editrice Longanesi & C. La lente di Galileo.

“Buchi neri e universi neonati”, Stephen Hawking. Editrice BUR, SuperBur Scienza

La rete e le sue informazioni

Se è vero che la “rete” offre grandi quantità di dati, è plausibile, se non certo, che almeno statisticamente alcune di queste informazioni siano imprecise o addirittura sbagliate. Ecco perché è sempre auspicabile che ogni lezione che venga fatta a scuola, venga conclusa con una serie di siti o testi o informazioni che l’insegnante deve dare per indirizzare lo studente ad una operazione di ricerca individuale ma nella giusta direzione e soprattutto evitando così la possibilità che si studino informazioni scorrette.

La sitografia specifica che ho utilizzato in questa tesi, ritengo abbia questi requisiti.

Individuazione della scuola e dei destinatari

Come già detto in precedenza questo elaborato intende affrontare dei temi di fisica che ritengo possano essere insegnati in un liceo scientifico con programmazione PNI. I temi qui esposti sono affrontati nel corso del terzo, quarto e quinto anno, attraversando trasversalmente tutto il secondo biennio. È stato scelto un liceo con ordinamento PNI perché è l’unico che lascia ampio spazio alla trattazione della legge di gravitazione universale e della relatività generale, oltre alla possibilità di introdurre nel percorso didattico l’uso dei software.

Vediamo adesso l’orario previsto in un liceo scientifico con ordinamento PNI

Orario:

Orario previsto delle lezioni in un Liceo scientifico PNI

MATERIA	I	II	III	IV	V	Totale
Fisica	-	-	2	3	3	8
Matematica ed Informatica	5	5	5	5	5	25

TEMI P.N.I. (Piano Nazionale per l’Informatica)

Classe terza : campo gravitazionale energia potenziale gravitazionale, campo conservativo

Classe quarta : relatività generale e ristretta

Classe quinta: l’universo fisico e curvatura spazio tempo, campo elettrico

CAMPO GRAVITAZIONALE e LEGGE DI GRAVITAZIONE UNIVERSALE

UNITÁ DIDATTICA 1

ANNO 2007/2008



UNITÀ DIDATTICA 1 : LEGGE DI GRAVITAZIONE UNIVERSALE

Prerequisiti:

È necessario possedere i seguenti requisiti

- Moto di un punto
- Sistemi di riferimento inerziali e non inerziali
- Grandezza vettoriale e scalare
- Moto rettilineo uniforme, accelerato, circolare e circolare uniforme
- Centro di massa e centro di forze applicate ad un sistema semplice
- Le tre leggi di Newton
- Equilibrio dei corpi rigidi
- Energia potenziale

Obiettivi generali:

- Acquisire le conoscenze, competenze e capacità previste dalle unità didattiche
- Affinare le capacità logiche e di comprensione dei fenomeni celesti
- procedimenti di astrazione
- ragionare induttivamente e deduttivamente
- comprendere l'importanza storica che il concetto di forza di gravità ha portato nella società scientifica e non scientifica
- comprensione della legge di gravitazione universale
- utilizzo almeno parziale dei software didattici presentati

Obiettivi trasversali:

- Sviluppare attitudine alla comunicazione e ai rapporti interpersonali favorendo lo scambio di opinioni tra docente e allievo e tra gli allievi.
- Proseguire ed ampliare il processo di preparazione scientifica e culturale degli studenti
- Contribuire a sviluppare lo spirito critico e l'attitudine a riesaminare criticamente ed a sistemare logicamente le conoscenze acquisite.
- Contribuire a sviluppare capacità logiche ed argomentative
- Acquisire abilità di studio.
- Comunicare in modo efficace

Obiettivi specifici:

Conoscenze:

- Conoscere la storia dell'evoluzione del pensiero scientifico dopo le prime formulazioni delle leggi sulla gravità
- Conoscere come queste teorie hanno rivoluzionato la società antica e contemporanea
- Conoscere la legge di gravitazione universale
- Conoscere le leggi di Keplero

- Conoscere le interazioni dei corpi celesti Terra – Luna – Sole e loro principali fenomeni
- Conoscere le applicazioni tecnologiche legate alle nozioni che si sono apprese in questa unità didattica

Competenze:

- Saper spiegare come nasce la formulazione della legge di gravitazione universale
- Saper spiegare la legge di gravitazione universale
- Saper enunciare le leggi di Keplero

Capacità:

- saper comprendere il perché del moto degli oggetti in un sistema di masse
- Riuscire a fare una lezione dinamica utilizzando il software StarryNight® Pro spiegando il moto dei pianeti le forze che interagiscono tra di essi e la teoria appresa in questa unità didattica

Contenuti:

- Introduzione
- Cenni sull'evoluzione dell'astronomia
- Breve storia dello studio della gravità sulla Terra
- Newton, una mela e la legge di gravitazione universale
- Leggi di Keplero
- Energia potenziale gravitazionale
- Leggi di Newton e teoria della relatività generale
- Laboratorio virtuale di fisica (vedi in allegato B)
- Laboratorio di fisica on-line (vedi in allegato B)

Strumenti utilizzati:

- Libro di testo
- Dispense
- Lavagna e gesso
- Software didattico (Excel®, Starry Night® Pro ,Cabri Géomètre Plus)
- Laboratorio di fisica on-line
- Auspicabile visita d'istruzione in un planetario od osservatorio astronomico
- Video e documentari (National Geographic, PSSC, Ulisse, SuperQuark, etc)

Tempi dell'intervento didattico

Sono previste circa 8 ore comprese le 2 necessarie per il laboratorio e la visione di due filmati. Considerando che le ore di lezione nel terzo anno per la fisica sono 2, l'argomento può essere esaurito in 4 settimane.

Metodologia:

La legge di gravitazione universale è argomento affascinante, povero di formule e dimostrazioni. I calcoli che sfruttano le poche relazioni spiegate qui, si riducono a moltiplicazioni e divisioni, ecco perché credo si debba stimolare più che il calcolo, il ragionamento fisico.

Lo svolgimento dell'attività didattica avverrà attraverso lezioni dialogate e interattive, con auspicabili osservazioni, domande flash poste ai singoli alunni. È previsto lo svolgimento in itinere di esercizi utili all'apprendimento di quanto spiegato durante le ore di lezione. È fondamentale che ogni qual volta si presenti la necessità di richiamare concetti che sono stati già spiegati, vengano richiesti agli alunni. Non dare mai per scontato ciò che si è spiegato le volte precedenti. L'approccio storico è un buon modo (soprattutto su argomenti che generano fascino come questo) per introdurre l'argomento. L'uso di software è consigliabile per la loro grande capacità di interattività ed immediatezza. Inoltre può essere utile l'ausilio di video o documentari che hanno un grande impatto scenico, quindi stimolano interesse e curiosità.

Verifica e valutazione:

La fase di *verifica* e *valutazione* è parte integrante del processo educativo e permette di monitorare sia il raggiungimento degli obiettivi prefissati, sia l'efficacia della strategia didattica attuata.

Le modalità principali di verifica sono:

- domande e risposte dal banco
- verifiche scritte
- lezione simulata da parte dei ragazzi o tesina su di un particolare aspetto

Attività di recupero:

- Recupero da effettuare in classe durante le ore curricolari, riprendendo i concetti non ben compresi e svolgendo esercizi che riguardino gli argomenti trattati
- Assegnazione al singolo studente di tesine mirate.

CONTENUTI

Introduzione:

La scienza che individuiamo con il termine astronomia è in realtà un'abbastanza recente, è una sezione della fisica che si occupa degli "oggetti" che si evolvono nell'Universo. L'astronomia nasce come scienza osservativa comune a quasi tutti le grandi civiltà dell'antichità, cresciuta poi in modo esponenziale solo dopo l'evoluzione della tecnologia (telescopi, spettrografi, satelliti, etc.).

Partiamo da questa particolare scienza per affrontare un percorso che ha interessato quasi tutta la storia dell'attività umana per arrivare poi alla formulazione della legge di gravitazione universale. Per comodità oltre che per ragioni storiche, questa legge sulla Terra la chiamiamo semplicemente gravità. Conosciamo bene il valore dell'accelerazione che ogni corpo dotato di massa subisce in prossimità della superficie terrestre, questo valore è pari a $9,822 \text{ m/s}^2$. Sappiamo inoltre che l'accelerazione è un vettore e che quindi ha un modulo, un verso e una direzione. Infatti questa accelerazione ha *verso* diretto verso il centro di massa del pianeta e direzione ortogonale alla superficie. Per quanto questa non sia una definizione corretta né di forza di gravità né di legge della gravitazione, per adesso basti capire che il valore dell'accelerazione di gravità sulla Terra deriva (e poi calcoleremo) direttamente dalla legge di gravitazione universale.

Cenni sull'evoluzione dell'astronomia:

Una breve introduzione alla storia della astronomia serve per avere un quadro un po' più completo e per comprendere meglio l'impatto che le valutazioni dell'uomo hanno avuto circa lo studio della volta celeste e dell'Universo.

L'osservazione del cielo è stata sempre di grande importanza per tutte le civiltà del pianeta che in epoche diverse hanno cercato di interpretare quel che accadeva sopra le loro teste, sfruttando la ciclicità dei fenomeni e interpretandone il significato. L'astronomia moderna ha avuto ufficialmente inizio⁵ nel 1600 soprattutto grazie all'impulso dato da Galileo Galilei. In realtà non vi è una demarcazione netta tra un'astronomia antica e una moderna, basti pensare ad astronomi come Nicolò Copernico 1473-1543 (che sviluppa la teoria del sistema eliocentrico) che porta alla cosiddetta rivoluzione copernicana o anche Tycho Brahe e Giovanni Keplero. Infatti a loro modo tutti questi scienziati e molti prima di loro contribuirono con gli studi condotti, formularono teorie nuove e sempre più corrette per interpretare i fenomeni celesti. Capire che gli oggetti che si vedevano proiettati sulla volta celeste avessero una distanza (Galileo) oltre che una estensione, e che si muovessero con orbite ellittiche (Keplero) intorno ad una stella (Copernico), poneva fondamentali domande sul perché si osservavano quegli oggetti e quali erano le forze e le leggi che regolamentavano i loro moti. In realtà pochi anni dopo, alcune di queste domande trovarono una

⁵ Questa è certamente una convenzione, dovuta all'utilizzo del telescopio da parte di Galileo Galilei che nei primi anni del 1600 condusse approfondite osservazioni della volta celeste e studi scientifici sul moto dei pianeti del cielo e sulle proprietà cicliche delle stagioni e delle fasi lunari.

giustificazione ragionevole e abbastanza soddisfacente. La teoria della gravitazione universale fu formulata dal matematico e fisico inglese Isaac Newton che pubblicò “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*” nel 1687 che conteneva tra l'altro le leggi della dinamica con le quali spiegò le leggi di Keplero circa il moto dei pianeti.

Non credo che si possa conoscere la persona che per la prima volta si sia chiesto o chiesta “come mai sono appoggiato sul suolo della Terra? Cosa mi trattiene saldamente limitato al terreno?”. Isaac Newton formulò una teoria che potesse spiegare il perché di questa domanda. L'opera più influente di Newton fu senza dubbio, per i successivi duecento anni, il più valido ed attendibile testo scientifico. Per la prima volta la meccanica viene trattata in modo sistematico e matematico. Nei “*Principia*” Newton tratta lo spazio e il tempo come enti assoluti ma, come già aveva fatto Galilei,⁶ riconosce in una certa misura la relatività del moto, intesa come relativismo rispetto a un sistema di riferimento. Gli studi condotti portano Newton a definire la cosiddetta legge dell'inverso del quadrato, che si può sintetizzare matematicamente in questo modo

$$F = k \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

C'è da aggiungere che la costante k e le considerazioni sulle masse non furono immediate. Le tre leggi della dinamica e la legge dell'inverso del quadrato aprirono la strada a quasi tutte le scoperte della fisica moderna.

Questa legge cosa ci dice? afferma che la forza F (è un vettore) che interagisce tra due masse qualunque m_1 ed m_2 è direttamente proporzionale ad una costante k, al prodotto delle due masse ed è inversamente proporzionale al quadrato della distanza che intercorre tra le masse stesse. Bisogna fare una serie opportune considerazioni. La forza è applicata in ugual misura a tutti e due i corpi ma in verso opposto lungo la loro congiungente.

La costante k che più comunemente è individuata dalla lettera G non fu trovata da Newton con precisione infatti si basava più su osservazioni e queste nel 1700 non potevano essere certo accurate come quelle che oggi permettono di verificare che

$$G = (6,67428 \pm 0,0007) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

Come detto questo è il valore sperimentale della costante di gravitazione universale, essa non dipende né dalle proprietà dei corpi che si attraggono, né dalla loro posizione. Il valore di questa costante fu misurato per la prima volta dal fisico inglese Henry Cavendish nel 1798 per mezzo di una bilancia di torsione⁷. Dal

⁶ Ricordiamo l'esperimento dei campanelli fatto da Galilei, per dimostrare la forza che attrae i corpi al suolo è proporzionale ad una accelerazione.

⁷ L'esperimento condotto da Cavendish è spiegato nell'appendice A dell'allegato B

punto di vista operativo, essa si può definire come l'intensità della forza di interazione tra due corpi a simmetria centrale, ciascuno di massa pari a 1 kg e posti a distanza di 1 m l'uno dall'altro.

Come abbiamo detto il valore dell'accelerazione di gravità sulla Terra che indichiamo con la lettera g deriva direttamente dalla formula vista prima. Infatti basta inserire nella formula i valori della massa della Terra e il valore del raggio medio per ottenere proprio il noto valore di $9,822 \text{ m/s}^2$.

Per convincerci di ciò proviamo a fare il calcolo.

Esercizio:

Calcolare il valore medio⁸ dell'accelerazione terrestre sulla superficie.

Diametro equatoriale medio $12\,756,274 \text{ km}$

Diametro polare medio $12\,713,504 \text{ km}$

Densità media $5,5153 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Volume $1,083\,207\,3 \times 10^{21} \text{ m}^3$

Con i dati in possesso quindi è possibile calcolare la massa della Terra e quindi tramite la formula della gravitazione universale e del valore di G è possibile calcolare il valore numerico di g . Come vediamo dai valori sopraccitati il raggio medio della Terra ai poli è circa 21 km più piccolo di quello all'equatore. Questo quindi vuol dire che se si misura il valore di g ai poli si otterrà un valore maggiore rispetto a quello ottenuto all'equatore, il che è come dire che una massa di 1 kg pesato in Italia è più pesante in Groenlandia e più leggero in Mauritania. Infatti è proprio così. Il peso di un oggetto dipende da quanto è accelerato dalla Terra e questo non è da confondersi con la massa dell'oggetto che ovviamente non cambierà. Infatti convenzionalmente chiamiamo peso la forza con cui siamo attratti dalla Terra confondendola purtroppo con la massa.

Se il signor Mario afferma di pesare 89 kg in realtà vuole dire che è attratto verso il centro di massa della Terra con una forza pari a circa $9,8 \text{ m/s}^2 \times 89 \text{ kg} = 872,2 \text{ N}$. quindi possiamo dire che se ci pesiamo su una bilancia elettronica, ad esempio, la bilancia misurerà la nostra forza peso in newton e la dividerà automaticamente per 9,8. Ma se il signor Mario si pesa con la stessa bilancia al polo nord e la sua massa non è cambiata allora la bilancia misurerà un valore pari a $9,84 \times 89 \text{ kg} = 875,76 \text{ N}$ che dividerà (a causa della sua taratura⁹) per il valore 9,8, sul display apparirà un "peso" pari a 89,36. Quindi come abbiamo verificato,

⁸ Calcoliamo il valore medio perché abbiamo a disposizione i valori medi sia per il raggio che della densità. Bisogna però sapere che la Terra non è una sfera omogenea e che quindi ha densità diverse che cambiano da regione a regione. Ma per il calcolo che dobbiamo fare queste approssimazioni sono più che sufficienti.

⁹ Le bilance elettroniche che si usano oramai dappertutto hanno un sistema di calcolo abbastanza sofisticato che sfrutta una cella di carico. La cella di carico è costituita da un oggetto metallico che si deforma a causa del peso. L'allungamento o la compressione fa sì che la resistenza elettrica del corpo metallico vari, convertendo la variazione di resistenza in forza e dividendo poi per il valore medio dell'accelerazione di gravità, la bilancia restituisce un valore in unità di massa.

pesarsi con una bilancia non significa conoscere la propria massa. Il signor Mario non essendo un fisico sarà convinto di essere ingrassato di 360 grammi e non riuscirà a capire perché.

Esercizio

Se il signor Mario portasse la stessa bilancia tarata sulla Terra sulla Luna, cosa leggerebbe sul display?

Diametro equatoriale 3476,2 km

Diametro polare 3472,0 km

Massa Luna $7,347\,673 \times 10^{22}$ kg

Newton, una mela e la legge di gravitazione universale:

Come quasi tutti sanno, Newton afferma in diversi saggi divulgativi e in alcuni incontri scientifici di aver iniziato a pensare alla legge di gravitazione ispirato dalla caduta di una mela da un albero, mentre prendeva il tè con degli amici. In realtà è oramai noto che questa altro non è che una leggenda che si diffuse e che lo stesso Newton fece sua per dare un tocco di fascino alla sua scoperta e per dimostrare a tutti il suo grande intuito e genio. Sappiamo invece che il giovane Isaac lavorò molto duramente allo studio dei corpi e per molti anni per tentare di dare una formulazione dinamicamente corretta ed esauriente della teoria della gravitazione universale. Ci si potrebbe chiedere quali siano stati gli studi e gli esperimenti condotti dal giovane Newton per arrivare a dedurre legge dell'inverso del quadrato. L'osservazioni degli spostamenti periodici della Luna e dei pianeti furono fondamentali. Infatti è possibile calcolare l'accelerazione della Luna rispetto alla Terra, misurando il periodo di rivoluzione e la distanza che erano due parametri ben noti. Si ha che $a=v^2/r=\omega^2r=4\pi^2/T^2$ dove con T si indica il periodo di rivoluzione e con r la distanza media Terra-Luna.

Esercizio

Calcolo dell'accelerazione della Luna rispetto alla Terra.

Periodo di rivoluzione della Luna 27,3 giorni

Raggio medio dell'orbita intorno alla Terra $3,82 \times 10^5$ km

Dai seguenti calcoli si ottiene un valore di $a = 0,0027 \text{ m/s}^2$ e se lo si confronta con il valore trovato prima per g si possono fare opportune considerazioni. Newton osservò che questo valore era interpretabile con la legge dell'inverso del quadrato¹⁰. Inoltre fece un'osservazione molto importante ed innovativa. Infatti vide che per un oggetto esteso con composizione omogenea e simmetria centrale gli effetti gravitazionali (ovvero le forze

¹⁰ I dati ricavati erano ben interpolati da una legge di questo tipo.

tra le particelle costituenti l'oggetto) si annullavano per isotropia¹¹. Quindi si doveva considerare la massa dell'oggetto come concentrata in un unico punto che coincidesse proprio con il centro di massa del corpo¹². Ecco perché quando abbiamo calcolato le accelerazioni abbiamo usato come valore del raggio la distanza tra il centro di massa dell'oggetto e la massa di prova unitaria. Allo stesso modo quindi noti i parametri si possono calcolare anche l'accelerazione media che la Terra ha rispetto alla stella più vicina. Insomma la cosa che deve essere chiara è che la stessa legge può essere applicata ad una mela, a pianeti o stelle, così come a delle galassie senza che si debbano apportare sostanziali modifiche.

Ci si può chiedere fino a che distanza si possa “spingere” la forza di gravità o meglio a che distanza l'interazione gravitazionale è importante.

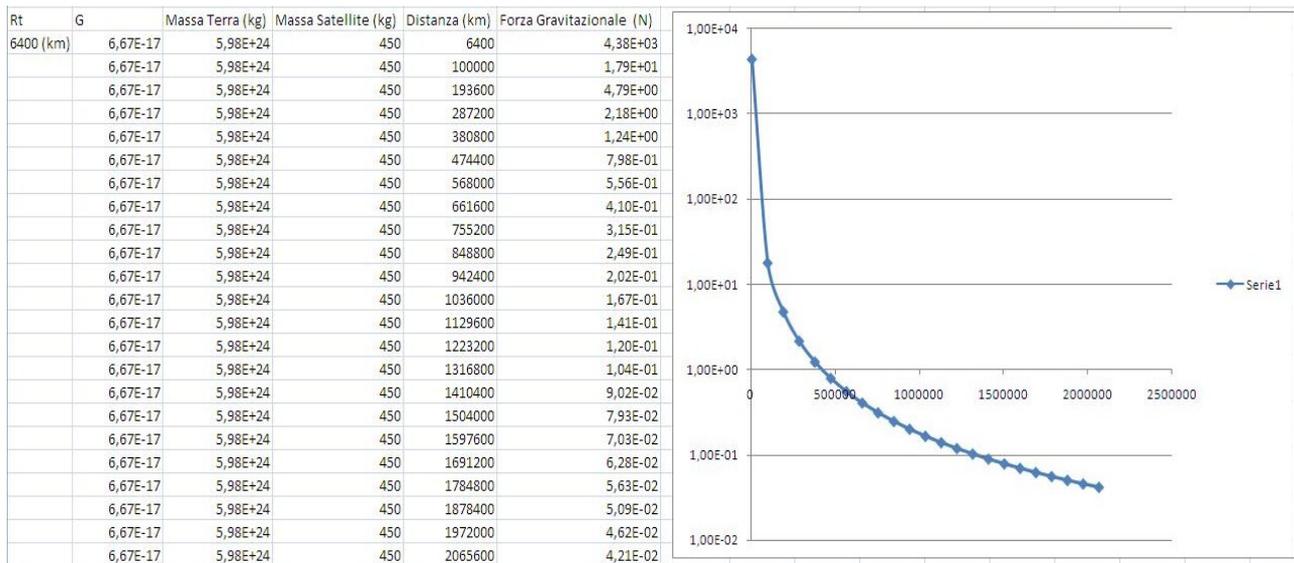
Intanto è utile osservare che nella semplicità della formulazione della legge di gravitazione universale non appaiono limitazioni sulla distanza, questo perché non ve ne sono. Infatti l'interazione gravitazionale di due o più corpi avviene anche quando la distanza è grandissima, ma vedremo dopo che al tendere della distanza all'infinito l'intensità della forza tende a zero. Possiamo dire che due stelle a grandissima distanza o comunque immensamente grande rispetto alle loro dimensioni, sentono l'una la presenza dell'altra anche se non si “vedono”. Ovviamente bisogna notare che l'intensità con la quale un corpo attrae o è attratto da un altro dipende, come detto, dall'inverso della distanza al quadrato e per capire questo facciamo un semplice esperimento numerico.

Esercizio con EXCEL

Calcoliamo l'andamento dell'intensità della forza gravitazionale tra la Terra e un satellite artificiale valutandone il grafico ottenuto.

¹¹ Per la legge di Gauss nel caso di una sfera cava si fanno le stesse considerazioni. Bisognerà ricordare che il campo elettrico generato da una carica puntiforme o da una sfera con densità di carica uniforme sulla superficie esterna ha un andamento simile al campo gravitazionale e che anch'esso è isotropo.

¹² Piccoli accenni all'equilibrio dei corpi rigidi

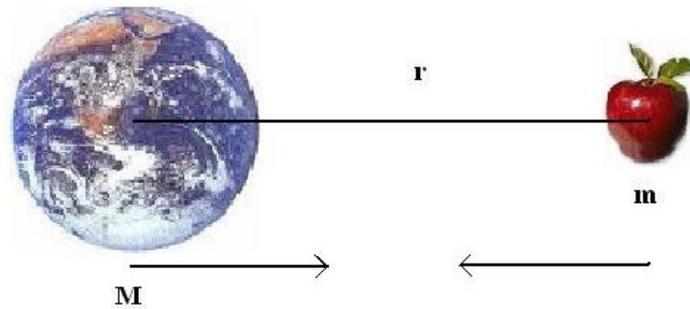


Come abbiamo visto, già ad una distanza non troppo grande, l'intensità della forza gravitazionale che la Terra esercita sul satellite è davvero infinitesimale. Infatti se noi calcoliamo il limite per $r \rightarrow \infty$ dalla legge di gravitazione universale otteniamo, come prevedibile, che la forza F tende a zero a prescindere dal valore delle masse.

Osservazione Importante

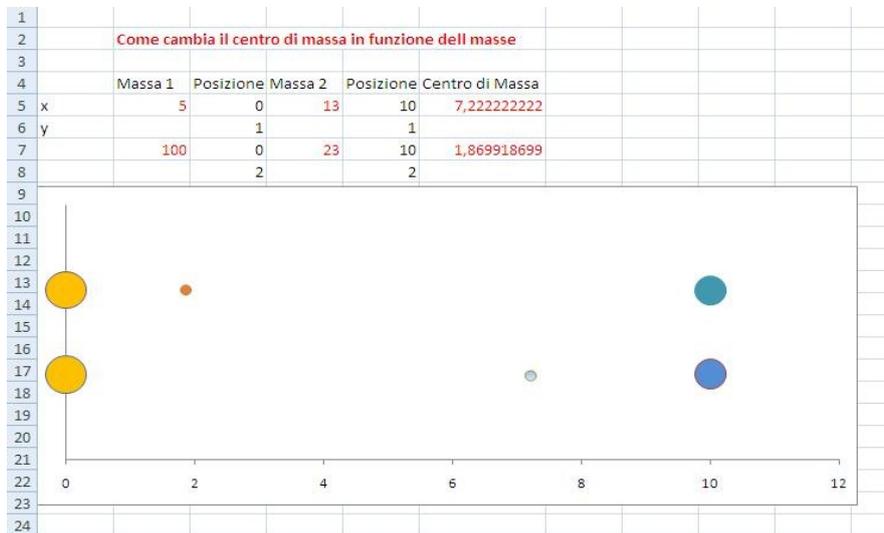
Si può fare una osservazione. Sulla mela, che abbiamo considerato di massa unitaria, agisce una forza diretta verso il centro di massa del sistema Terra-mela che fa sì che la mela cada sulla superficie terrestre con una accelerazione pari a g . Notiamo inoltre che il centro di massa del sistema composto dai due corpi coincide con il centro di massa della Terra a causa del fatto che la massa della Terra è molto maggiore della massa della mela ovvero $M_T \gg m_m$ ¹³. Però dalla definizione sappiamo che entrambi i corpi considerati cadono con accelerazioni identiche verso il centro di massa del sistema, ragion per cui è lecito pensare che anche la Terra "cade" sulla mela con la stessa accelerazione. Questa affermazione per quanto sconvolgente è assolutamente vera. Infatti la caduta della mela è un effetto ben visibile dell'interazione gravitazionale mentre proprio a causa delle grosse differenze di massa, la caduta della Terra sulla mela è un fenomeno che non si riesce ad osservare e quindi viene trascurato, anche perché è ovvio che il centro di massa in questo caso coincide praticamente con quello della Terra.

¹³ Anche nel caso del sistema Sole-Terra o Sole-Venere ad esempio il centro di massa del sistema coincide praticamente con il centro di massa del Sole.



Per convincerci di questo facciamo un esperimento numerico con Excel e vediamo come cambia il centro di massa di un sistema in funzione della distanza e della massa dei partecipanti.

Esercizio con Excel.



Osservazione Importante

Abbiamo detto che il peso di un oggetto può variare a seconda che si trovi sul polo o sull'equatore terrestre e si può verificare con semplici calcoli che la differenza è minore del 0,004 %. Detto questo però vediamo un'altra particolarità che non abbiamo considerato: cioè la rotazione terrestre. Infatti l'accelerazione centripeta subita da un corpo all'equatore è data da $a = \omega^2 r_T$, mentre ai poli l'accelerazione centripeta è nulla. È facile calcolare come questo influisca sulla forza di attrazione (solo per lo 0,35%).

Le Leggi di Keplero e la legge di gravitazione universale.

Keplero, come già si è detto in precedenza, ha il merito di aver formulato tre leggi passate poi alla storia come le prime leggi sul moto dei pianeti dedotte per via meccanica. Osservando il moto dei pianeti, le posizioni e la loro periodicità ed interpolando questi dati con la matematica enunciò le seguenti leggi.

Il rapporto tra il cubo del raggio dell'orbita e il quadrato del periodo di rivoluzione è costante per tutti i pianeti.

Questa legge è forse quella che meno si ricorda delle tre, ma che in realtà è di grandissima importanza, infatti proprio da questa è possibile ricavare la legge dell'inverso del quadrato vista prima, ed è questa che Newton ha confermato con la sua teoria della gravitazione universale. Inoltre questa legge spiega il moto differenziale degli anelli di Saturno o delle galassie a spirale ed ellittiche¹⁵.

$$\frac{R^3}{T^2} = \text{costante}$$

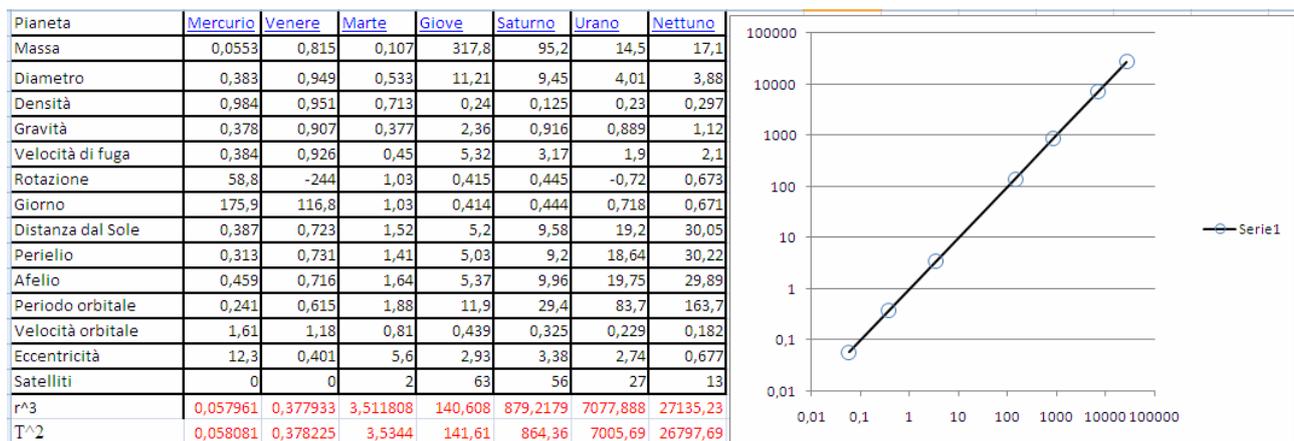
R rappresenta il distanza media tra il Sole e il pianeta , mentre T è il periodo orbitale, ossia il tempo necessario al pianeta per percorrere un'orbita completa intorno al Sole¹⁶.

Esercizio

Quanto vale il periodo orbitale di Giove?

Esercizio

Verificare la terza legge di Keplero utilizzando i valori orbitali e le distanze dei pianeti del sistema orbitale, con l'ausilio di un foglio di calcolo e dell'appendice 2.



Deduzione della legge di gravitazione universale dalla terza legge di Keplero.

¹⁵ Bisogna ovviamente apportare alcuni cambiamenti, ma in linea di massima Keplero ha dato un forte impulso allo studio del moto dei corpi.

¹⁶ Per la Terra ad esempio T vale circa 365 giorni. Vedi appendice

È possibile ricavare la legge di gravitazione universale direttamente dalla terza legge di Keplero utilizzando la formula dell'accelerazione centripeta. Consideriamo per semplicità le orbite dei pianeti come circolari (è una approssimazione giustificata dal fatto che l'eccentricità delle orbite reali è piccolissima), ed il raggio dell'orbita (o il raggio medio) R_p , il periodo di rivoluzione T_p , allora scriviamo la formula dell'accelerazione centripeta come segue

$$a_p = 4\pi^2 \frac{R_p}{T_p^2}$$

Dalla terza legge di Keplero ricaviamo il quadrato del periodo orbitale $T_p^2 = R_p^3/K$ dove con K si indica la costante valida per i pianeti¹⁷. Sostituendo la seconda espressione nella prima si ha

$$a_p = 4\pi^2 \frac{R_p}{\frac{R_p^3}{K}} = 4\pi^2 \frac{K}{R_p^2}$$

Se, come sappiamo, la forza tra due oggetti (in questo caso Sole-Pianeta) può scriversi come $F=ma$, allora sostituendo si ha

$$F = m_p a_p = 4\pi^2 \frac{K m_p}{R_p^2}$$

Il coefficiente $4\pi^2 K$ ha valore costante, quindi come si vede la forza è proporzionale ad una costante per la massa del pianeta ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza¹⁸.

Energia potenziale gravitazionale:

Quando si è parlato di energia potenziale gravitazionale abbiamo considerato casi fisici che si riferivano alla Terra e in cui la variazione di altezza tra il punto di elevazione massima e quello in cui consideravamo l'energia potenziale nulla, era piccola, piccola abbastanza da considerare l'accelerazione di gravità costante. La formula che si usa in questi casi è $\Delta U = U_b - U_a = -L_{ab}$ ovvero: la variazione di energia potenziale è uguale al lavoro compiuto per spostare un corpo dotato di massa dal punto a al punto b . Si sa bene che il lavoro è lo stesso attraverso qualsiasi percorso e che questa proprietà è vera nel campo gravitazionale perché è un campo conservativo. Quindi per convenzione si sceglie come valore massimo dell'energia potenziale il valore dato dal prodotto della massa del corpo per il valore costante dell'accelerazione di gravità per l'altezza dell'oggetto dal suolo, ovvero: mgh

¹⁷ È da tener presente che la costante K varia di pochissimo per alcune classi di oggetti, ovvero per asteroidi di piccole medie dimensioni la costante è lievemente diversa rispetto a quella da usare per pianeti che sarà diversa da quella che si usa quando si considerano galassie o oggetti più massivi.

¹⁸ Facciamo una osservazione critica su quanto fatto. La formula trovata manca di un elemento ossia di una delle due masse, ma questa formula altro non è che la forza che un pianeta o un oggetto esercita su una massa unitaria.

Si vuole conoscere il valore dell'energia potenziale gravitazionale nel caso più generale, quando cioè, si hanno due corpi di massa M_a ed M_b a distanza r .

Consideriamo quindi due masse generiche che si trovano nella configurazione iniziale ad una distanza che chiamiamo r_0 e una finale che chiameremo r_1 . Il lavoro in questo caso sarà dato dall'integrale¹⁹

$$L_{01} = \int_0^1 F dr = \int_{r_0}^{r_1} \frac{GM_b M_a}{r^2} dr = -GM_b M_a \int_{r_0}^{r_1} \frac{dr}{r^2} = -GM_b M_a \left(-\frac{1}{r} \right)_{r_0}^{r_1}$$

che ci dà la formula generale per calcolare il lavoro necessario per portare due corpi, da una distanza ad un'altra. È necessario che il lavoro venga calcolato non con l'integrale, che è uno strumento che ancora non si possiede ma con la somma di spostamenti piccoli.

Lo spostamento da un punto ad un altro di una massa o un punto materiale, può essere diviso in intervalli di grandezza finita ma piccoli a piacere²⁰. Calcolare il lavoro fatto nei singoli intervalli e sommare i lavori, significa trovare il lavoro totale fatto lungo tutto lo spostamento. Se il lavoro come sappiamo è sempre dato dal prodotto di una forza per uno spostamento allora possiamo scrivere

$$\Delta L = G \frac{M_a M_b}{r^2} (r_a - r_1)$$

È possibile approssimare r^2 con la media geometrica $r_1 r_a$, questo perché il valore di $r_1 r_a$ è piccolo, essendo gli intervalli piccoli, si potrà quindi riscrivere il tutto come

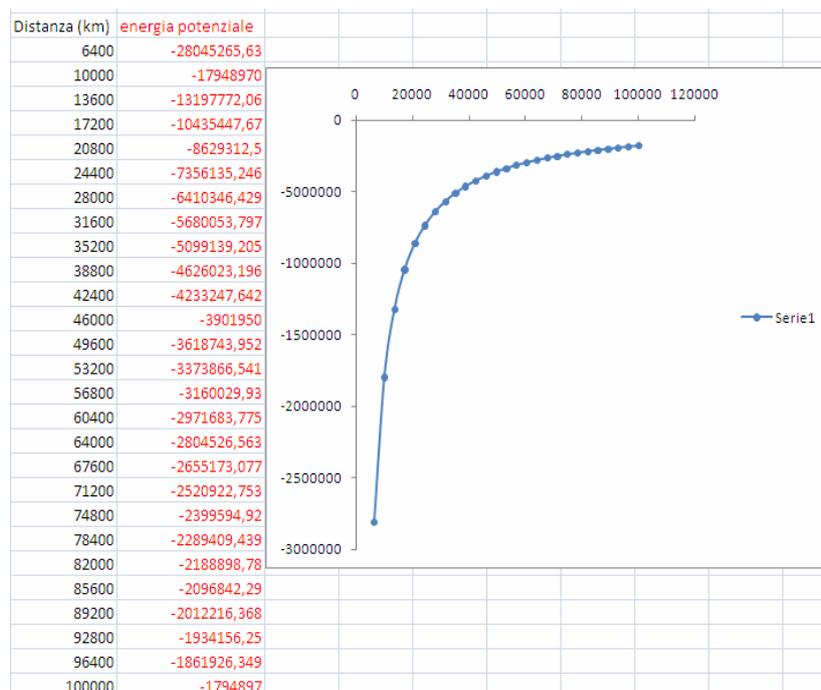
$$\Delta L = G \frac{M_a M_b}{r^2} (r_a - r_1) = G \frac{M_a M_b}{r_a r_1} (r_a - r_1) = GM_a M_b \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_a} \right) \dots$$

Se questo rappresenta il lavoro fatto per spostare una massa m dal punto più lontano r_a al punto un po' più vicino r_1 ed eseguendo il calcolo per tutti gli intervalli successivi fino a giungere nel punto r_b , prossimo sommare tutti i contributi ottenendo la stessa formula vista prima ottenuta con l'ausilio dell'integrale.

¹⁹ Mostriamo adesso la funzione integrale del lavoro che sarà più chiara solo in seguito e quando saranno a disposizione le competenze matematiche necessarie. L'importante è osservare il risultato.

²⁰ Il significato di "piccolo a piacere" ha valenza diversa a seconda che ci si trovi in ambito matematico o fisico, questo perché, se in matematica le grandezze possono essere prese piccole tendendo all'infinitamente piccolo, in fisica questo può non avere senso operativo. Infatti in fisica lo sperimentatore ha a disposizione corpi o grandezze finite, di dimensioni determinate e a maggior ragione, quando si parla di fenomeni macroscopici, ha poco senso far tendere all'infinitamente piccolo il valore di una massa o di una distanza. Quindi in fisica, per "piccolo a piacere" intenderemo una grandezza opportunamente piccola.

Bisogna fare alcune considerazioni. Sappiamo che il lavoro è uguale alla variazione di energia potenziale, vediamo quindi che $U(r) = -GM_a M_b / r$. Inoltre si nota che il segno meno indica che il potenziale è sempre negativo e al più uguale a zero se la distanza tra le parti è infinita²¹. La formula non ci dice se è il corpo a che si avvicina al corpo b o viceversa, questo vuol dire quindi che può accadere che il primo si avvicini al secondo o che si muovano entrambi l'uno verso l'altro se non sono vincolati. Inoltre deve essere chiaro che sui corpi non deve agire nessun'altra forza, quindi per dirla "alla newtoniana" i corpi devono essere in quiete. Bisogna anche sapere che l'energia potenziale gravitazionale dipende dall'inverso di r e quindi se la distanza tende a infinito l'energia si annulla mentre sarà massima (in valore assoluto) quando i centri di massa dei due corpi sono sovrapposti²². Il segno meno indica che l'energia è sempre negativa, qualsiasi sia la distanza tra i corpi e che diminuisce (in valore assoluto) al diminuire della distanza. Riprendendo l'esempio fatto prima per l'intensità della forza calcoliamo l'intensità del potenziale gravitazionale tra Terra e satellite artificiale con un esempio grafo-numericò fatto con Excel.



Si deve notare che se i due corpi sono ad esempio di massa uguale e si trovano a distanza r , la loro massa influenza l'altra e quindi se liberi di muoversi acquisteranno uguale energia cinetica e si sposteranno l'uno

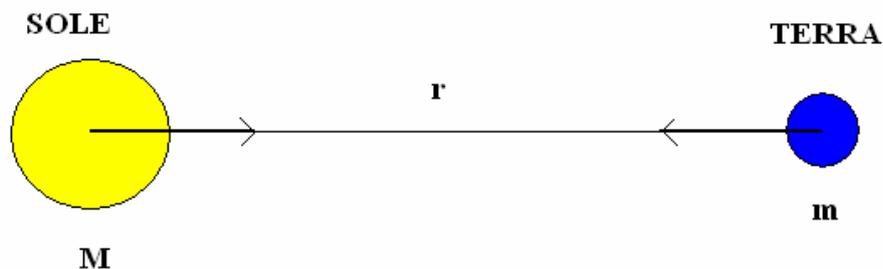
²¹ Il fatto che la forza gravitazionale è sempre di tipo attrattivo dipende proprio dal fatto che il potenziale gravitazionale è sempre negativo. Nel caso del campo elettrico si vedrà che il potenziale può essere sia positivo che negativo a seconda del segno delle cariche in gioco. Si può infine dire che una massa posta nello spazio crea sempre una buca di potenziale, che è quella che si disegna "artisticamente" con la griglia deformata. Nel caso del potenziale elettrico invece le cariche possono creare o buche o barriere di potenziale.

²² Questa ovviamente è una condizione ideale, perché non esistono corpi realmente puntiformi.

verso l'altro incontrandosi con pari velocità e nello stesso tempo nel punto medio della loro congiungente che rappresenterà il centro di massa del sistema. Pensiamo però a due situazioni particolari. Il sistema mela-Terra e il sistema Terra-Sole. Nel primo caso abbiamo detto che sia la mela che la Terra avvertono la presenza delle rispettive masse ma l'effetto che osserviamo è che la mela acquista energia cinetica e cade sulla superficie della Terra, questo accade perché la massa inerziale²³ della Terra è molto maggiore di quella della mela. Nel secondo la situazione non è molto diversa, infatti la massa del Sole è molto maggiore di quella della Terra e quindi è la Terra che acquisterebbe energia cinetica cadendo sul Sole proprio come fa una mela sulla Terra. In tutte le considerazioni che abbiamo fatto non si è parlato volutamente dei moti relativi dei corpi in questione, considerandoli fermi nello spazio.

Esercizio guidato

Quanto impiegherebbe la Terra a cadere sul Sole se questi fossero fermi tra loro?



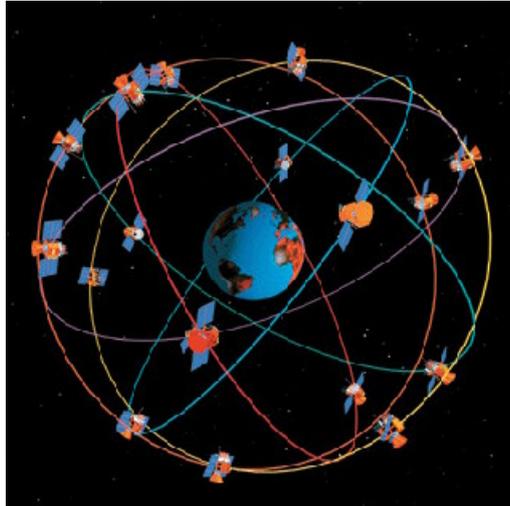
Ora che abbiamo visto le relazioni di energia che intercorrono tra due oggetti dotati di massa, osserviamo che gli stessi ragionamenti possono essere fatti anche quando gli oggetti del sistema sono in numero maggiore di due. I calcoli diventano molto più complicati ed infatti per risolverli si utilizzano calcolatori potentissimi che operano su approssimazioni. Infatti non è possibile calcolare con precisione assoluta lo spostamento di N corpi contemporaneamente²⁴.

Esercizio guidato

²³ Ricordiamo che l'inerzia è la tendenza che hanno gli oggetti dotati di massa di rimanere nel loro stato di moto. Quindi nel caso della Terra che consideriamo (in questo esempio) ferma tenderà a restare ferma rispetto alla mela che ha una massa molto minore.

²⁴ In astrofisica si utilizzano le cosiddette simulazioni N-Body che consentono di calcolare la posizione di N corpi massivi quando interagiscono simultaneamente con altri corpi massivi. Come detto queste simulazioni operano i calcoli con alcune approssimazioni.

Quale deve essere la velocità minima che un satellite artificiale di massa m deve possedere per restare in orbita ad una distanza r dalla Terra? Quanto influisce la massa del satellite artificiale sulla velocità? Calcolare la velocità di un satellite orbitale (Hubble Space Telescope H. 600 km) e la distanza dell'orbita di un satellite geostazionario (COSPAS)²⁵



Le leggi di Newton e la relatività di Einstein nei nostri cellulari e navigatori satellitari²⁶.

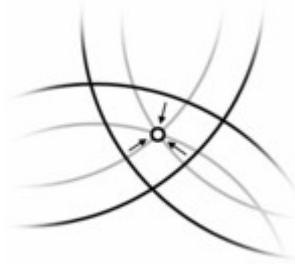
Il sistema GPS²⁷ e quello per il supporto delle comunicazioni (cellulari e non solo) è basato su una complessa rete di satelliti che orbitano ad una distanza di circa 22.000 km dalla superficie della Terra. I satelliti dedicati a tale scopo sono alcune decine, ma sappiamo che per determinare la posizione di un segnale ricevente o emittente sulla superficie della Terra è necessario che siano almeno tre. Infatti tramite la triangolazione²⁸ è possibile individuare univocamente un punto sulla superficie conoscendone posizione (latitudine, longitudine e altitudine) ed interpolando più posizioni in funzione del tempo, anche la velocità e l'accelerazione.

²⁵ Si ricorda che un satellite geostazionario punta sempre sulla stessa area della Terra.

²⁶ Questo paragrafo è da intendersi come approfondimento e necessita di conoscenze generiche di relatività generale e ristretta.

²⁷ Global Positioning System o più precisamente **NAVSTAR GPS**, acronimo di NAVigation System Time And Ranging Global Position System. Ricordiamo che esiste il sistema di posizionamento Galileo che è la risposta europea al GPS ma che purtroppo per una serie di inefficienze e ritardi è stato superato.

²⁸ La triangolazione è una tecnica usata in diversi campi e settori dalla localizzazione dell'epicentro ed ipocentro di un terremoto alla rilevazione altimetrica di strutture naturali e non. È una tecnica geometrica che permette, intersecando tre cerchi (nel piano) o quattro sfere (nello spazio 3-D) di individuare un punto preciso univocamente.



Tecnica della triangolazione caso bidimensionale

I satelliti come visto si muovono su orbite quasi circolari che sono state calcolate appositamente utilizzando la legge di gravitazione universale. Come abbiamo visto però, questi satelliti artificiali per restare in orbita devono possedere velocità enormi. Gli orologi satellitari sono soggetti alle conseguenze della teoria della relatività e alla limitatezza della velocità della luce, Infatti, a causa degli effetti combinati della velocità relativa, che rallenta il tempo sul satellite di circa 7 microsecondi al giorno, e della minore curvatura dello spazio a livello dell'orbita del satellite, il tempo sul satellite scorre ad un ritmo leggermente più veloce che sulla Terra, causando un anticipo di circa 38 microsecondi al giorno, e rendendo necessaria una correzione automatica da parte dell'elettronica di bordo. Questa osservazione fornisce un'ulteriore prova dell'esattezza della teoria in un'applicazione del mondo reale. L'effetto relativistico rilevato è infatti esattamente corrispondente a quello calcolabile teoricamente, almeno nei limiti di accuratezza forniti dagli strumenti di misura attualmente disponibili. Si calcola infatti che se non si apportassero adeguate correzioni, la precisione (o risoluzione) del sistema GPS sarebbe dell'ordine di alcune centinaia di metri, il che renderebbe del tutto inefficace tutto il sistema. Stessa cosa accade nelle telecomunicazioni, infatti se non si apportassero le correzioni relativistiche i cellulari non riuscirebbero ad essere rintracciati con precisione.

Software per la didattica:

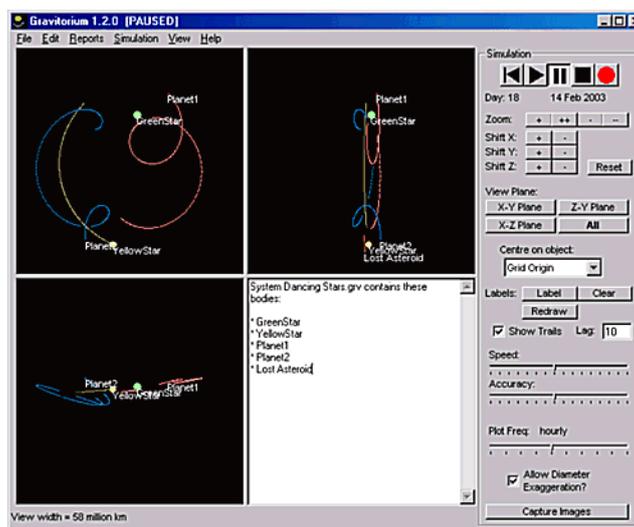
L'utilizzo di software didattici è sempre auspicabile quando si ha a che fare con esperimenti, che riguardano la fisica, tanto più che spesso possono rappresentare un ottimo ponte di raccordo tra la matematica e la fisica stessa. Qui presento solo alcuni dei software didattici, quelli che più comunemente sono utilizzati e che quindi offrono, tra le altre cose anche, una vastissima sitografia dedicata con manuali esercizi e macro già compilate, che all'occorrenza possono essere modificate ed adattate alle proprie esigenze.

Alcuni di questi software o comunque quelli più utilizzati sono coperti da CopyRight, quindi necessitano di licenza a pagamento, anche se alcuni di questi possono essere utilizzati nella versione trial, ossia una versione limitata o nelle funzioni o nel tempo. È possibile in alcuni casi chiedere delle licenze agevolate per coloro che si trovano in ambito scolastico e che quindi per motivi didattici vogliono usufruire di particolari convenzioni.

Questi software sono spesso capaci di affrontare i diversissimi problemi della didattica tradizionale grazie alla loro flessibile interattività. È possibile infatti comporre delle costruzioni o disegnare funzioni e poi

dinamicamente osservare il loro comportamento sottolineando alcune caratteristiche che spesso con l'uso di lavagna e gesso non è possibile fare.

Si possono utilizzare in primo luogo dei fogli elettronici che spesso sono alla portata di tutti (essendo all'interno di pacchetti standard per tutti i sistemi operativi²⁹) e che spesso vengono sottovalutati per la loro versatilità ed efficacia. Con una semplice ricerca in rete è possibile scaricare applet o piccoli software che trattano argomenti che abbracciano tutta la fisica e la matematica. In definitiva si può dire che i software sono sempre un ottimo strumento didattico e potente mezzo per far comprendere visivamente e in modo operativo quali sono i fenomeni che si stanno studiando. Questi software, spesso sono dei simulatori che utilizzando le leggi della fisica e che restituiscono visivamente, grafici, simulazioni dinamiche e quant'altro, sui quali poi è possibile fare delle considerazioni assai convincenti. Ho utilizzato i software Gravitorium e Gravity Simulator nella versione Trial, i quali sono di facile utilizzo e hanno una buona grafica.



Verifica sommativa : tipologia

La verifica sommativa verterà sugli argomenti trattati, con esercizi simili a quelli fatti durante il corso. Saranno presenti sia domande a risposta multipla che domande aperte oltre ad un certo numero di esercizi che sfruttino i concetti e le formule viste durante le lezioni.

esempi:

Esercizio : *Quale deve essere la velocità³⁰ minima iniziale di un oggetto di massa 1 kg affinché possa sfuggire all'attrazione gravitazionale della Terra ed essere catturata da quella della Luna?*

²⁹ Vedi ad esempio Office Microsoft oppure OpenOffice di Linux.

³⁰ La velocità che si sta cercando è chiamata velocità di fuga ed è appunto la minima velocità iniziale che un corpo deve avere per allontanarsi da un pianeta o una stella o qualsiasi altro oggetto dotato di massa.

Esercizio :

Calcolo dell'accelerazione della Luna rispetto alla Terra.

Periodo di rivoluzione della Luna 27,3 giorni

Raggio medio dell'orbita intorno alla Terra $3,82 \times 10^5$ km

Esercizio :

Il valore medio dell'accelerazione di gravità sulla Terra dipende

- dalla composizione media della stratificazione terrestre*
- da una particolare convenzione istituita nel 1687 da Newton*
- dalla massa della Terra*
- dalla forma della Terra ed è direttamente proporzionale quadrato del suo raggio*
- dalla massa dell'oggetto che è soggetto alla gravità della Terra*

Bibliografia e Sitografia³¹**Parte della teoria e spunti**

“ Fisica 1 “ Hallyday, Resnick, Krane casa Ed Ambrosiana 4° edizione 1993 Milano

“ il mondo della fisica ” Ugo Amaldi casa Ed. Zanichelli 1991

“ Dispense di astrofisica e cosmologia” Prof. Monaco

Informazioni sulla fisica On-Line

“Laboratorio di fisica R.T.L. con le tecnologie portatili: Esperimenti di Meccanica” a cura di G.Pezzi, M.Rafanelli, A.Rambelli, M.A. Rizzo. ADT (Associazione per la Didattica con le Tecnologie)

Dati su pianeti e Sole

http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_solare

“ Fisica 1 “ Hallyday, Resnick, Krane casa Ed Ambrosiana 4° edizione 1993 Milano

Spunti didattici

Filmato “PSSC : la legge di gravitazione universale”

Dati sistema solare

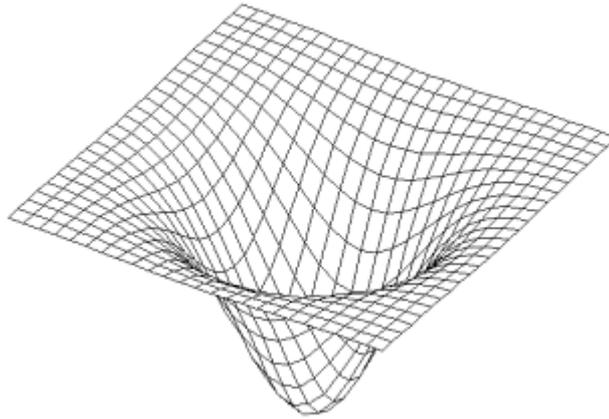
<http://www.astrosurf.com/cosmoweb/sistemasolare/pianeti/tabella.html> NASA

³¹ I dati presi dai siti citati sono stati confrontati con alcuni testi scolastici.

CENNI DI
RELATIVITÀ GENERALE

UNITÀ DIDATTICA 2
ANNO 2007/2008





UNITÀ DIDATTICA 2: ACCENNI DI RELATIVITÀ GENERALE

Prerequisiti:

È necessario possedere i seguenti requisiti

- Moto di un punto
- Sistemi di riferimento inerziali e non inerziali
- Velocità e accelerazione come grandezze vettoriali e scalari
- Moto rettilineo uniforme ed uniformemente accelerato
- Centro di massa e centro di forze applicate ad un sistema semplice
- Equilibrio dei corpi rigidi
- Legge della gravitazione universale
- Leggi di Keplero
- Energia potenziale

Obiettivi generali:

- Acquisire le conoscenze, competenze e capacità previste dalla unità didattica
- Affinare le capacità logiche e di comprensione dei fenomeni celesti
- procedimenti di astrazione
- ragionare induttivamente e deduttivamente
- comprendere l'importanza storica che il concetto di relatività ha portato nella società scientifica e non scientifica
- comprensione della legge di gravitazione universale in funzione dei concetti esposti in questa UD

- utilizzo almeno parziale dei software didattici presentati

Obiettivi trasversali:

- Sviluppare attitudine alla comunicazione e ai rapporti interpersonali favorendo lo scambio di opinioni tra docente e allievo e tra gli allievi.
- Proseguire ed ampliare il processo di preparazione scientifica e culturale degli studenti
- Contribuire a sviluppare lo spirito critico e l'attitudine a riesaminare criticamente ed a sistemare logicamente le conoscenze acquisite.
- Contribuire a sviluppare capacità logiche ed argomentative
- Acquisire abilità di studio.
- Comunicare in modo efficace

Obiettivi specifici:**Conoscenze:**

- Conoscere la storia dell'evoluzione del pensiero scientifico dopo le prime formulazioni sulla teoria della relatività generale
- Conoscere come queste teorie hanno rivoluzionato la società moderna
- Conoscere la teoria della relatività generale
- Conoscere le interazioni dei corpi celesti in funzione dei concetti acquisiti durante lo svolgimento dell'unità didattica
- Conoscere le applicazioni tecnologiche legate alle nozioni che si sono apprese in questa unità didattica

Competenze:

- Saper spiegare come nasce la formulazione della teoria della relatività
- Saper spiegare quale è stata la prima conferma della teoria di Einstein

Capacità:

- Saper comprendere il perché del moto degli oggetti in un sistema di masse

Contenuti:

- Introduzione
- Accenni alla teoria della relatività generale
- La curvatura spazio-tempo
- Barriera o buca di potenziale come deformazione dello spazio
- Punti lagrangiani
- Buchi neri e relatività
- La tecnologia e la relatività

Strumenti utilizzati:

- Libro di testo

- Dispense
- Lavagna e gesso
- Software didattico (Gravitation)
- Auspicabile visita d'istruzione in un planetario od osservatorio astronomico
- Video e documentari (National Geographic, PSSC, Ulisse, SuperQuark, etc)

Tempi dell'intervento didattico

Sono previste circa 5 ore compresa 1 necessaria per la visione di un filmato ed 1 necessaria per riprendere alcuni concetti utili alla comprensione dell'argomento. L'argomento può essere esaurito in 2 settimane.

Metodologia:

La relatività generale è argomento che spesso viene trattato solo marginalmente anche perché risulta spesso difficile da capire e necessita di un formalismo matematico assai complesso. È ovvio che il formalismo matematico necessario non può essere introdotto in un quinto anno PNI poiché esula dai programmi ministeriali, tantomeno negli anni precedenti. Si cerca di spiegare questo argomento con esempi ed analogie, cercando di arrivare almeno ad una comprensione intuitiva ed approssimata di ciò che è la relatività generale.

È sempre auspicabile un approccio di tipo storico cercando di trovare aneddoti interessanti sia sugli esperimenti che sugli sperimentatori. Ci si può fare aiutare da dei filmati che in modo anche spettacolare riescono a far visualizzare cose che sono difficili da astrarre da un disegno o da una lezione dialogica. Bisogna però fare attenzione a quali filmati si propongono, perché spesso sono ricchi di inesattezze e spettacolarizzazioni scientifiche di dubbia scientificità.

Verifica e valutazione:

Una verifica dell'apprendimento per quanto riguarda questo argomento è di difficile attuazione. Ritengo che si possano inserire alcune domande a risposta multipla su definizioni ed aneddoti, in verifiche che trattino però anche altro. Sicuramente qualche domanda in itinere è consigliabile per una verifica costante del proprio insegnamento e dell'apprendimento degli studenti.

Le modalità principali di verifica sono:

- domande e risposte in classe
- verifica scritta (anche non specificatamente dedicata)
- lezione simulata da parte dei ragazzi o tesina su di un particolare aspetto

Attività di recupero:

- Recupero da effettuare in classe durante le ore curricolari, attraverso la ripresa dei concetti non ben compresi e lo svolgimento di esercizi riguardanti tali argomenti
- Assegnazione a singolo studente di tesine mirate.

CONTENUTI

Premessa

È bene dedicare circa un'ora al riepilogo delle lezioni fatte sulla teoria della gravitazione universale, richiamando concetti come , barriera e buca di potenziale, legge dell'inverso del quadrato, moto dei pianeti intorno al sole e le leggi di Keplero, ovvero quasi tutto quello che è contenuto nell'UD numero 1. In questo modo si può cercare di inserire i concetti della relatività generale in continuità con quelli della meccanica newtoniana.

Teoria della relatività generale e curvatura dello spazio-tempo

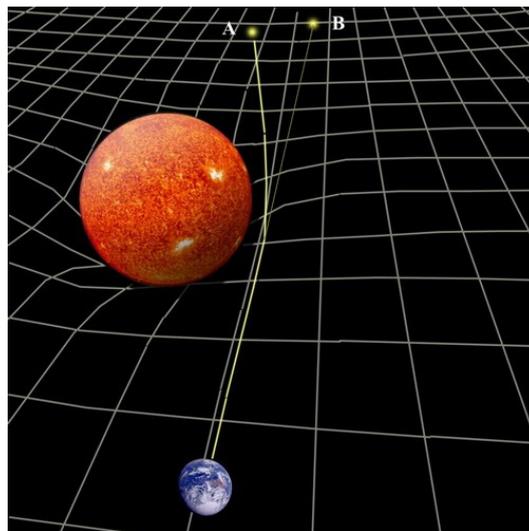
Fino a questo momento abbiamo trattato la teoria della gravitazione utilizzando la meccanica classica e osservando che essa spiega bene il moto degli oggetti dotati di massa che interagiscono tra loro. Abbiamo visto che la legge dell'inverso del quadrato è utile per il calcolo dinamico (forze e spostamento) su diversa scala, infatti è possibile calcolare la forza che interagisce tra una mela e la Terra , tra la Terra e il Sole, tra Sole e altre stelle, tra stelle e galassia, tra galassie e ammassi di galassie. Insomma si riesce a spiegare l'interazione gravitazionale da 10^{-3} fino a 10^{25} metri³². Al disotto di questo *range* le forze elettriche diventano troppo importanti e non possono essere trascurate e quindi si interviene con calcoli che richiedono la teoria elettrostatica e la meccanica quantistica.

Dobbiamo farci una domanda fondamentale: Come si genera l'interazione gravitazionale?

³² Il limite superiore di questo intervallo è dettato dalla grandezza presunta dell'universo conosciuto che si stima essere di 15 miliardi di anni luce.

La risposta non è immediata né di semplice formulazione, infatti basti pensare che l'intera comunità scientifica mondiale ha dubitato a lungo prima di accettarla. In questo paragrafo cerchiamo di darle una formulazione semplice, astenendoci ovviamente dal rigore e dal formalismo matematico che sono necessari solo per studi di fisica superiore.

Nel 1916 Albert Einstein propone un nuovo modo di interpretare il mondo fisico spiegando che la materia è legata allo spazio e che la presenza della materia modifica tutto ciò che le sta intorno, ovvero sia lo spazio che il tempo. In particolare Einstein affermava che la materia modifica la geometria dello spazio il quale si incurva. La curvatura dello spazio è il punto centrale della relatività generale, la quale detta delle "regole" per calcolare le traiettorie e i moti di oggetti massivi nello spazio e le correzioni da apportare in loro presenza. L'analogia più utilizzata è certamente maggiormente efficace è quella di un oggetto posto su una membrana elastica. L'oggetto appoggiato sulla membrana la deforma a causa del suo peso, quindi quello che possiamo constatare è che lo spazio intorno all'oggetto si è deformato e che quindi ogni altro oggetto intorno ad esso tenderà a scivolare sulla membrana, cadendo sull'oggetto che l'ha deformata.



Nell'immagine si vede una stella di grande massa che si trova in una regione dello spazio. Lo spazio in questa figura è rappresentato con la griglia bianca e si vede che in prossimità della stella massiccia la griglia si deforma, curvandosi maggiormente nelle immediate vicinanze della stella. In effetti possiamo dire che la curvatura segue la legge dell'inverso del quadrato. Ogni altro oggetto tenderà quindi a "scivolare" in questo imbuto andando a cadere sulla stella. Bisogna fare a questo punto delle osservazioni: la curvatura dello spazio è proporzionale alla quantità di massa, quindi maggiore è la massa, maggiore sarà la curvatura e quindi maggiore sarà la forza di attrazione tra i corpi. Inoltre, anche se difficile da accettare si deve sapere che anche la luce, quindi la radiazione elettromagnetica, subisce gli effetti della gravità, cosa che la meccanica classica non prevedeva assolutamente. Questo fenomeno è dovuto proprio alla deformazione dello spazio, infatti il raggio luminoso attraversando uno spazio curvo, descriverà necessariamente una traiettoria

curva. Nell'immagine è disegnato un raggio di luce che viene curvato dalla presenza della stella. Questo effetto è stato utilizzato dall'equipe diretta da Artur Eddington per provare la teoria della relatività³³.

Gli effetti della curvatura dello spazio sono ben visibili solo nel caso di oggetti molto massicci ma è chiaro che anche per masse più piccole vale la stessa legge, solo che gli effetti sono più che trascurabili. Alla luce di quanto detto possiamo esaminare il sistema mela-Terra in un altro modo. La mela quando cade sulla Terra è come se scivolasse nell'incurvatura spaziale generata dalla massa della Terra stessa. Anche la mela, come detto però, curva lo spazio intorno a se, ma lo scivolamento della Terra nella curvatura spaziale generata dalla mela è impossibile da osservare a causa dell'effetto infinitamente piccolo e quindi trascurabile.

L'effetto della curvatura dello spazio è in realtà difficile da osservare, questo perché l'interazione gravitazionale è una forza assai debole e per manifestarsi ha bisogno di grandi masse. Per rendersi conto di questo si può fare il famoso esperimento che mette a confronto due forze fondamentali della natura: la forza gravitazionale e quella elettrostatica.

Basta strofinare una bacchetta di plastica con un panno di lana, in modo da produrre un eccesso di carica su una estremità, dopo di che se si avvicina la bacchetta a piccola distanza da un piccolo pezzo di carta si vede che il pezzetto di carta si solleva da terra e viene attratto dalla bacchetta poiché si è caricato per induzione. Questo fatto rende chiara una cosa, ovvero che il piccolo eccesso di carica generato dallo strofinio della bacchetta è stato sufficiente a vincere la forza di attrazione gravitazionale che l'intera Terra esercita sul pezzetto di carta. Questo fa comprendere che la forza gravitazionale è piccolissima rispetto alle altre forze fondamentali.

Nell'universo però ci sono masse gigantesche che rendono gli effetti della gravità molto importanti e quindi possono essere osservati con un certa facilità. Le masse esistenti nell'universo possono essere miliardi di volte più grandi di quelle del Sole.

Una varietà di oggetti cosmici molto esotici ed affascinanti sono i buchi neri, i quali sono così densi di materia che curvano lo spazio fino al punto di imbrigliare la radiazione visibile³⁴. Accade quindi che la luce viene attratta dal buco nero rendendolo invisibile: da qui il nome buco (buca di potenziale) nero (non emette radiazione visibile). Come detto però il fascio luminoso non viene attratto per gravità, visto che la luce non possiede massa e l'interazione gravitazionale si esercita tra masse, ma la curvatura dello spazio è tale che la traiettoria si avvolge a spirale nella buca di potenziale creata dal buco nero.

³³ Infatti, durante una eclissi di sole del 29 maggio 1919, venne misurata la posizione di alcune stelle proiettate dietro il sole, queste risultavano essere in una posizione differente da dove si dovevano trovare in realtà. Usando i calcoli relativistici Einstein spiegò in modo esauriente la deflessione provocata dalla massa del sole. Le osservazioni vennero fatte in due posti distinti, in Brasile a Sobral e nell'isola di Principe.

³⁴ Ma anche la radiazione in altre lunghezze d'onda.

Adesso bisogna fare un piccolo sforzo per accettare quanto segue. Noi tutti siamo immersi in uno spazio curvo, cioè siamo all'interno della buca di potenziale generata dalla Terra, di questo non ci accorgiamo se non facendo accuratissimi esperimenti. Allo stesso modo bisogna capire che il raggio luminoso di cui si parlava prima, è "convinto" di percorrere una traiettoria rettilinea e quindi non si "accorge" della curvatura dello spazio generata dal buco nero, tanto più perché i fotoni non sono in grado di interpretare la loro condizione!

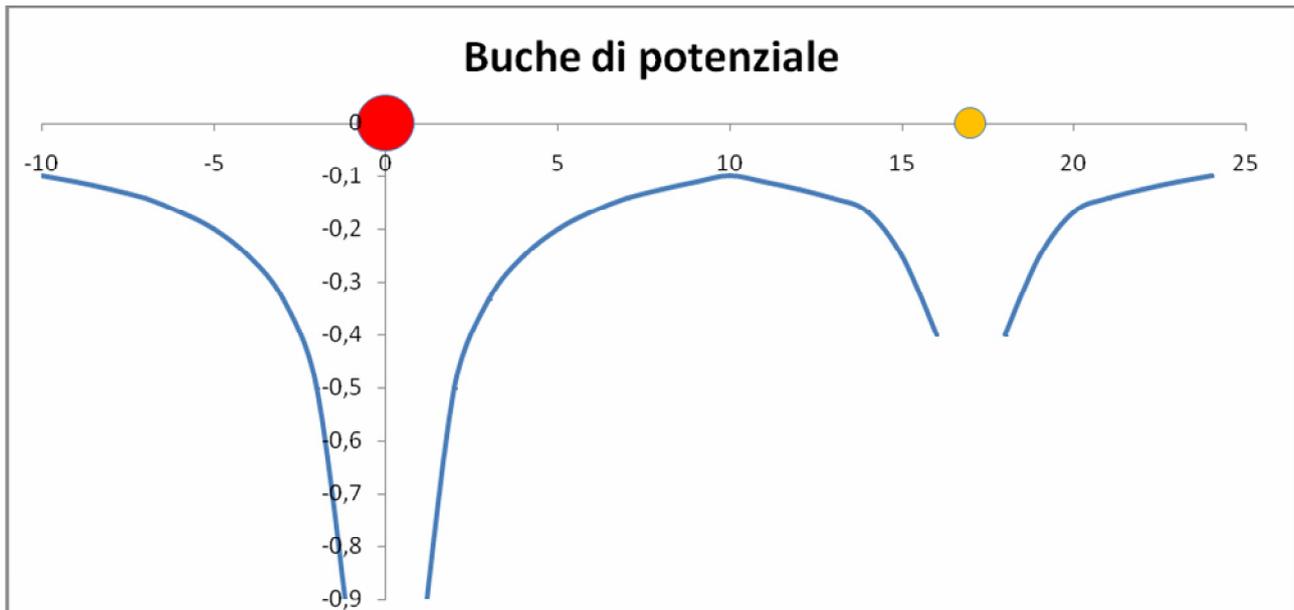
Nel titolo di questo paragrafo è contenuto il termine "spazio-tempo", questo termine indica che nella teoria della relatività einsteiniana lo spazio è legato al tempo e viceversa. Questo vuol dire che quando una massa curva lo spazio circostante, influenza il tempo che quindi si modifica. Il fenomeno è di difficile interpretazione come la relatività del resto e questo è dovuto al fatto che è una teoria contro intuitiva³⁵.

Punti di equilibrio nello spazio: i punti lagrangiani

Dobbiamo fare riferimento a quando si è parlato di energia potenziale gravitazionale, dove si è visto che l'energia o potenziale gravitazionale dipende dal prodotto delle masse per una costante, per l'inverso della loro distanza. Si è visto che il segno meno davanti alla formula, indica che il potenziale gravitazionale è sempre negativo e che quindi la forza di gravità è di tipo sempre attrattivo³⁶. Richiamando l'UD1 possiamo osservare che se calcoliamo il potenziale in funzione della distanza e plottiamo i risultati si ottiene una curva di tipo iperbolico. A questo punto possiamo interpretare la curva come la deformazione dello spazio che la massa genera con la sua presenza. Adesso calcoliamo il potenziale gravitazionale nel caso di due masse poste ad una certa distanza.

³⁵ Bisogna accettare che non essendo alla portata della percezione sensoriale non può essere compresa se non con il mezzo dell'interpretazione razionale. Anche il mondo delle particelle elementari, non può essere visto né toccato a causa delle piccolissime dimensioni, ma può essere interpretato ragionando sugli effetti visibili e misurabili. Si veda ad esempio l'effetto fotoelettrico.

³⁶ Questo vuol dire che mai, in nessun caso si verifica che due masse di respingono ameno che non intervengano altre forze.

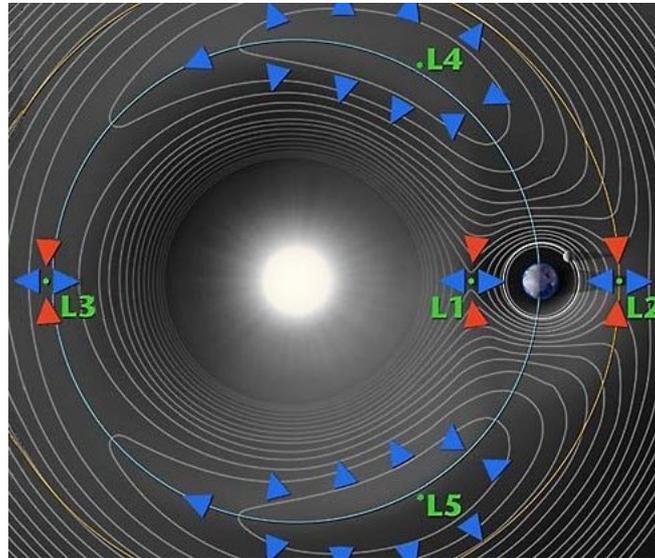


Questa immagine rappresenta la variazione qualitativa del potenziale gravitazionale in funzione della distanza generato da due masse³⁷ ad una distanza r tra loro (in ascissa ed ordinata non compaiono unità di misura perché i valori sono indicativi). Si devono fare alcune osservazioni. In riferimento alla figura, se posizioniamo una massa di prova nel punto di ascisse 5, questa verrà attratta dalla massa maggiore, mentre se per esempio posizioniamo la massa di prova nel punto di ascisse 15 risentirà maggiormente dell'attrazione gravitazionale della massa minore. Il fatto che ricada su una o sull'altra non deve ingannare, infatti la massa di prova risente comunque del campo gravitazionale generato da entrambe le masse in qualsiasi regione dello spazio, ma cadrà su quella che ha a quella distanza una energia potenziale più negativa. Nella figura vediamo delle curve che individuano il valore del potenziale delle masse rispettive, e vediamo che formano una specie di imbuto o conca, questi imbuto vengono chiamati buche di potenziale. Le buche di potenziale sono chiamate così proprio per la loro tipica forma conoidale (basta immaginarle in tre dimensioni). Nelle sezioni precedenti abbiamo detto che la materia deforma lo spazio e che questa deformazione può essere immaginata come una membrana elastica che si incurva quando si poggia una massa sopra. Adesso possiamo fare un passo in avanti nell'astrazione fisica e pensare la deformazione dello spazio proprio come una buca di potenziale che fa "scivolare" gli oggetti sulle proprie "pareti". Osserviamo inoltre che nel punto di ascissa 10, la derivata si annulla, il che è come dire, che c'è un punto di massimo relativo. Cosa rappresenta quel punto? È un punto in cui il potenziale della massa maggiore e della massa minore si "intersecano". Questo vuol dire che se poniamo una massa di prova proprio in quel punto, essa rimarrà in equilibrio perché risentirà in ugual misura dell'attrazione gravitazionale delle due masse. Questo punto è detto primo punto lagrangiano o anche L1. In uno spazio tridimensionale allora una massa posta in un punto lagrangiano rimane in quiete rispetto alle masse.

³⁷ È da intendere che in questo caso le due masse sono diverse ma comunque paragonabili tra loro.

Esercizio guidato:

A che distanza dalla superficie della Terra si trova l'L1 del sistema Terra-Luna? Utilizzare la formula dell'energia potenziale gravitazionale e i dati fisici dei pianeti. Esistono altri punti lagrangiani, che sono mostrati in figura ma hanno proprietà e caratteristiche che di cui non ci occuperemo.

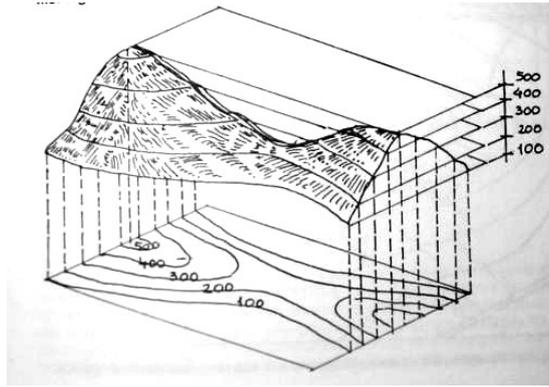


Equipotenziali

Nell'immagine si vedono due oggetti massivi (nella fattispecie il Sole e la Terra) che generano un campo gravitazionale. Questo campo può essere individuato disegnando delle "isograde", ovvero delle linee curve definite come il luogo tale che, ogni punto ha lo stesso valore del potenziale gravitazionale. Sono indicati tutti e cinque i punti lagrangiani ivi compreso il punto L1 che si trova tra le due masse. Nell'immagine successiva, riconosciamo una carta geografica che presenta delle curve, queste curve sono delle isobare ovvero curve che indicano regioni che hanno le stesse condizioni di pressione.



Isobare (curve stessa pressione)



Isoipse (curve stessa livello altimetrico)

Facendo un piccolo sforzo di astrazione è come se guardassimo le buche di potenziale dall'alto, ed ogni linea rappresentasse una sezione equipotenziale (ovvero che ha lo stesso valore del potenziale). Per convincerene osserviamo l'immagine successiva, dove è rappresentata la deformazione dello spazio dovuta a corpi di diversa massa.

Cosa è un buco nero

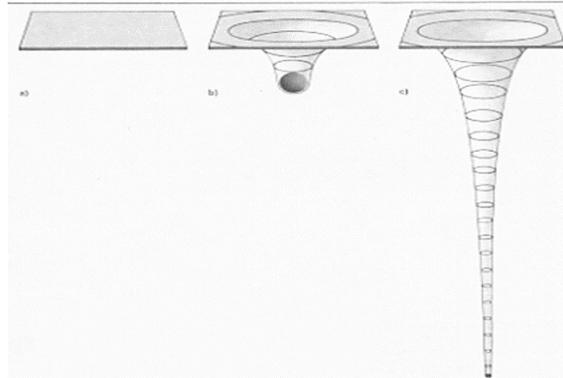
La fisica, è la scienza che studia le interazioni, ovvero il fisico, dall'osservazione del reale elabora una teoria e la modella. È vero anche che in alcuni casi è accaduto (e sempre più spesso accade) che si riesca a trovare una modellizzazione di un qualcosa che non si è osservato o che è causa indiretta di ciò che si osserva. Questo è uno dei casi emblematici della fisica, il caso dei buchi neri. Previsti dalla teoria della relatività generale di Einstein, i buchi neri non erano mai stati "osservati" prima della metà del secolo scorso. È possibile osservare però ciò che essi provocano intorno a se.

I buchi neri sono oggetti estremamente massivi. Si trovano quasi in tutte le galassie di grandi dimensioni e più precisamente verso il centro galattico. Sono ciò che rimane di stelle molto massicce che dopo aver avuto un collasso gravitazionale violento iniziano a inglobare ed attrarre tutta la materia che le circonda. In questo modo l'oggetto acquista sempre più materia aumentando la sua massa e aumentando di conseguenza anche l'intensità del suo campo gravitazionale. Si pensa che questo processo non si arresti mai che il buco nero attragga materia senza limiti. Quando la massa dell'oggetto è abbastanza grande accade che l'intensità del campo gravitazionale è così importante da non permettere neanche alla radiazione³⁸ di uscire, quindi si rendono invisibili. L'unico modo di "osservarli" è quello di vedere come interagiscono con la materia (gas, stelle) circostante. (Vedi filmato)

Abbiamo visto che la massa, curva lo spazio, e possiamo immaginare la curvatura come una membrana elastica che si deforma in presenza di una massa. Bene, per un buco nero si crede che la massa sia così

³⁸ In realtà in rarissimi casi si osservano emissioni MASER e di raggi gamma nelle immediate vicinanze di buchi neri, questo è dovuto con tutta probabilità all'avvenuta "fagocitazione" di grandi masse. I buchi neri emettono flussi di antiparticelle che prendono il nome di radiazione di Hawking.

grande che questa deformazione assuma la forma di un imbuto. Nella figura possiamo avere una idea di ciò che si vuole dire.



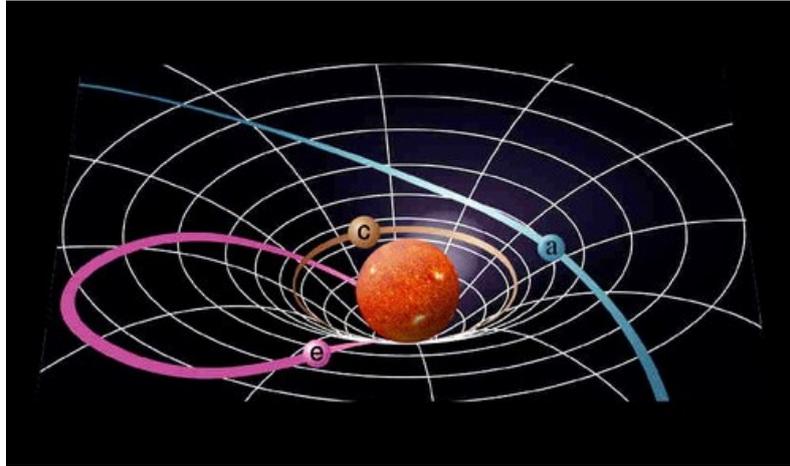
Una precisazione che bisogna fare è la seguente. Quando la luce che proviene dall'esterno del buco nero passa nelle sue vicinanze, viene catturata e comincia a percorrere orbite sempre più fitte intorno al nucleo centrale,³⁹ mentre se il raggio luminoso passa ad una distanza maggiore, esso, verrà solo deflesso. Il fascino che circonda questi oggetti dell'universo è legato oltre che alla loro peculiare particolarità di non emettere radiazione a causa della immensa massa, anche per l'impossibilità da parte nostra di riuscire a comprenderne la natura e il loro funzionamento, questo perché la fisica che conosciamo potrebbe non essere più valida nelle sue immediate vicinanze.

Esercizio

Ricavare la massa minima di un buco nero (black hole), sapendo che la formula per la velocità di fuga è $v=(2GM/R)^{1/2}$. Motivare la risposta.

Esercizio

³⁹ La zona centrale del buco nero è inscrivibile in una superficie presumibilmente sferica , detta orizzonte degli eventi.

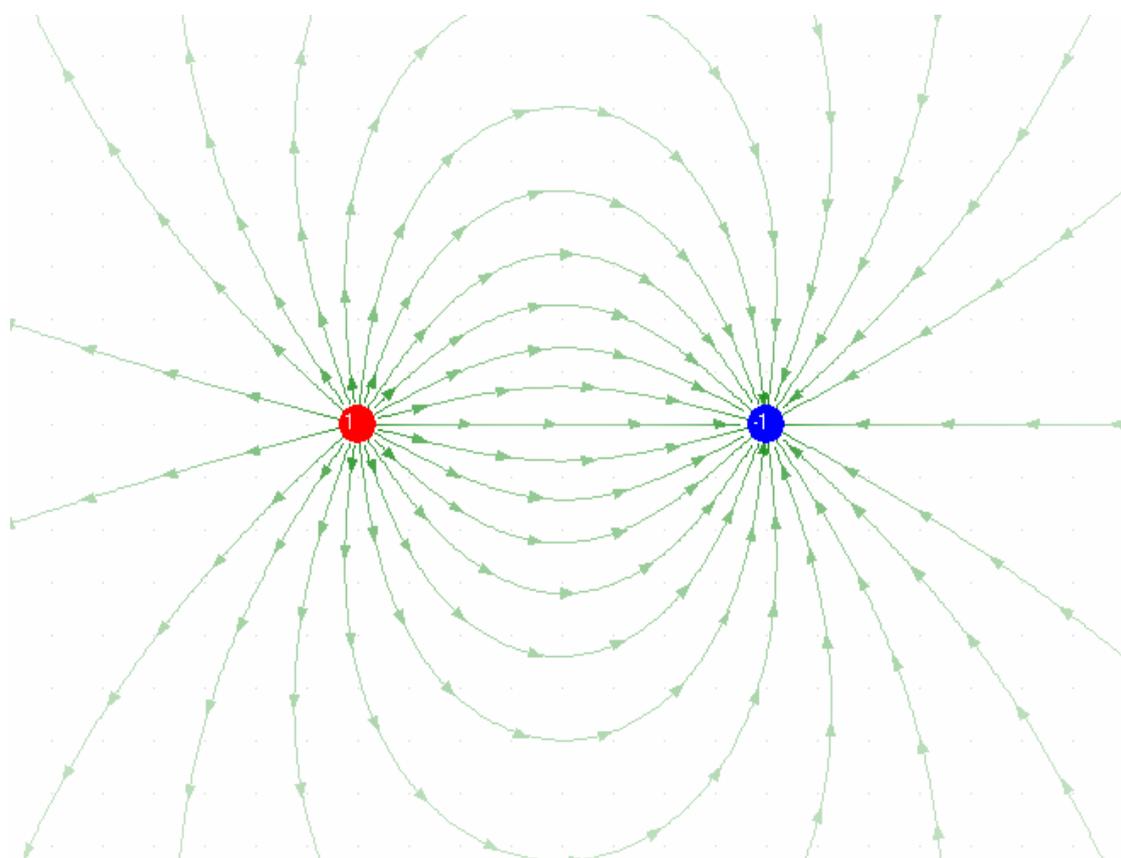


Descrivere cosa possono rappresentare gli “oggetti” a, c ed e, nella figura descrivendo le sostanziali differenze tra loro.

CAMPO ELETTRICO

UNITÁ DIDATTICA 3

ANNO 2007/2008



Premessa: questa unità didattica dovrebbe essere introdotta nel corso del terzo anno PNI di un liceo scientifico. Ciononostante è plausibile che siano menzionati concetti didatticamente utili anche se saranno chiariti e specificati in modo rigoroso solo in seguito.

Prerequisiti:

- Conoscenze del concetto di carica elettrica
- Conduttori ed isolanti
- Legge di Coulomb
- Concetto di forza elettrica e forza gravitazionale
- Le forze come grandezze vettoriali
- Concetto fisico di lavoro
- Principi di conservazione dell'energia

Accertamento dei prerequisiti:

Per l'accertamento dei prerequisiti sarà utile procedere con una serie di domande brevi con risposte orali da parte degli studenti allo scopo di delle conoscenze teoriche e delle nozioni che servono alla comprensione delle spiegazioni successive. Per gli studenti, questo rappresenta un momento di ripasso della teoria. Qualche esercizio può essere di ulteriore aiuto.

Obiettivi generali:

- Acquisire le conoscenze, competenze e capacità previste dall'unità didattica
- Comprensione delle strumentazioni che sono state adoperate (anche storicamente) per le verifiche sperimentali delle teorie.
- Sollecitare l'interesse per gli aspetti storico-epistemologici della fisica.

Obiettivi trasversali:

- Sviluppare attitudine alla comunicazione e ai rapporti interpersonali favorendo lo scambio di opinioni tra docente e allievo e tra gli allievi
- Ampliare ulteriormente il processo di preparazione scientifica e culturale degli studenti
- Contribuire a sviluppare capacità logiche ed argomentative
- Sviluppare lo spirito critico e l'attitudine a riesaminare criticamente
- Sviluppare la capacità di sistemare logicamente le conoscenze acquisite

Metodologie didattiche:

Quando si introduce il concetto di campo elettrico è utile sottolineare l'analogia tra il campo gravitazionale creato da una massa centrale, già conosciuto, e il campo elettrostatico generato da una carica centrale (come del resto fanno quasi tutti i libri di fisica). Si cercherà di fare una lezione composta sia di spiegazione formale (storia, contenuti, formule, dimostrazioni) che di attivo confronto con gli studenti (domande, curiosità). A conclusione di ogni argomento si proporranno degli esercizi e magari brevi ricerche (internet, biblioteca) su personaggi storici e sulla tecnica delle macchine adoperate negli esperimenti.

Ogni volta che sarà stato esaurito un argomento si possono proporre semplici esercizi che utilizzino per la risoluzione le formule e i concetti appena spiegati.

Strumenti utilizzati:

- Libro di testo
- Lavagna e gessi
- Software E-field
- Calcolatrice scientifica
- Laboratorio (eventualmente)

Controllo dell'apprendimento:

- Verifiche orali
- Correzione di esercizi
- Verifica sommativa

Misurazione:

I momenti di valutazione formativa-sommativa si attueranno attraverso:

- Una prova orale individuale
- Una verifica sommativa

Recupero:

Sono previste attività di recupero articolate nei seguenti punti:

- Esercizi di classe
- Esercizi individuali

Per individuare gli argomenti che necessitano di recupero, sia a livello collettivo sia a livello individuale, ci si avvale della verifica sommativa, delle prove orali e dell'attività di discussione in classe.

Tempi dell'intervento didattico:

Le ore che verranno indicate si riferiscono solo ai momenti di spiegazione, ma ovviamente a queste saranno da aggiungere le ore che verranno impiegate per fare esercizi o chiarire alcuni punti. Stima complessiva del tempo necessario 8. Poiché le ore di fisica a settimana sono 2, l'unità didattica dovrebbe svolgersi in circa 4 settimane.

Obiettivi specifici:

Conoscenze:

- Conoscere il concetto di campo elettrico come vettore
- Conoscere la rappresentazione grafica di diverse distribuzioni di carica
- Conoscere il modo per calcolare l'intensità del campo elettrico di diverse distribuzioni di carica
- Conoscere il concetto di lavoro del campo elettrico, di energia potenziale, di potenziale elettrico
- Conoscere cosa è una differenza di potenziale d.d.p.
- Conoscere la conservazione dell'energia del campo elettrico
- Conoscere il concetto di lavoro del campo elettrico su una carica e di energia del campo elettrico

Competenze:

- Sapere il concetto di campo elettrico come vettore e saperlo rappresentare graficamente per diverse distribuzioni di carica
- Saper calcolare l'intensità del campo elettrico di diverse distribuzioni di carica

- Saper applicare il concetto di lavoro del campo elettrico, di energia potenziale, di potenziale elettrico, di differenza di potenziale e di conservazione dell'energia del campo elettrico

Capacità:

- Saper utilizzare le conoscenze e le competenze acquisite per risolvere problemi

Contenuti:

- Introduzione al concetto di campo elettrico
- Vettore campo elettrico e sua rappresentazione grafica
- Linee di forza del campo elettrico generato da una, due e più cariche puntiformi
- Intensità del campo elettrico generato da distribuzioni differenti di cariche
- lavoro del campo elettrico
- energia potenziale elettrica
- conservazione dell'energia nel campo elettrico
- potenziale elettrico

CONTENUTI

Introduzione al campo elettrico

Parto dal concetto noto da tutti di isobare (viste nell'UD 2), ossia le linee curve chiuse con le quali, in meteorologia si individuano le aree geografiche interessate dalla stessa pressione atmosferica (o anche le isoipse). Su ogni punto di quella linea curva si può dire che ci siano le stesse condizioni di pressione, o meglio possiamo affermare che tutti i punti che compongono quella linea curva hanno le stesse condizioni di pressione. L'analogia con il campo generato da una carica risulta chiaro se pensiamo che intorno alla carica (consideriamola dapprima unica e puntiforme) disegniamo delle curve concentriche che sono l'insieme di tutti i punti alla stessa distanza dalla carica dove la forza ha lo stesso valore.

Visto che, intorno alla carica centrale poniamo una carica di prova essa risente di una forza proporzionale alle cariche e all'inverso del quadrato della distanza⁴⁰. Possiamo affermare che intorno alla carica è presente un campo di forza, e questo campo è di natura vettoriale. Infatti l'interazione delle due cariche possiamo individuarle con delle forze che sono dei vettori, cioè hanno direzione, verso e intensità. Concludiamo dicendo che il campo elettrico generato da una o più cariche è di natura vettoriale e in quanto tale possiede un verso una direzione e una intensità.

Un campo vettoriale già a noi noto è il campo gravitazionale. Ci sono molte analogie tra campo gravitazionale ed elettrico, sia per la sorprendente somiglianza delle forze generate nell'uno e nell'altro caso ma anche per l'interpretazione vettoriale che se ne può dare ad entrambi.

Il vettore campo elettrico

Visto che abbiamo detto che il campo elettrico è una grandezza di tipo vettoriale, può essere interessante conoscere come questo varia al variare della distanza e al variare della carica che lo ha generato. Se volessimo calcolare quindi il campo elettrico generato da una carica (caso semplice) possiamo partire dal considerare che la legge di Newton afferma che

$$F = ma$$

E che la legge di gravitazione universale possiamo scriverla come

$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

Uguagliando le due forze, capiamo bene che se tutte e due rappresentano la stessa situazione allora è evidente che $a = GM / R^2$.

La forza elettrica che intercorre tra la carica generatrice del campo e la carica di prova o un'altra carica generica è proporzionale direttamente alle due cariche per una costante inversamente al quadrato della distanza.

$$F_{elettrica} = k \frac{q_{prova} Q_{generatrice}}{R^2}$$

Noi chiameremo il campo elettrico E il quale è direttamente proporzionale alla carica e alla costante k e inversamente proporzionale al quadrato della distanza. In definitiva possiamo scrivere che

$$F_{elettrica} = qE_{el}$$

⁴⁰Tutti i fenomeni che si propagano in linea retta nello spazio hanno un andamento che è proporzionale a $\approx 1/R^2$. Alcuni esempi sono la legge della forza gravitazionale, forza del campo elettrico, campo magnetico fino alla propagazione della luce.

Ricordando che sia la forza che il campo sono due grandezze vettoriali, quindi scriviamo che il campo elettrico è

$$\vec{E}_{el} = \frac{\vec{F}_{el}}{q}$$

Quindi l'intensità del campo elettrico è misurata in Newton/Coulomb ossia, N/C.

Adesso che sappiamo come calcolare il vettore campo elettrico in funzione della forza e della carica è necessario capire come rappresentare il campo generato da una carica o da una distribuzione generica di cariche.

Partiamo dal caso più semplice che si può presentare: campo elettrico generato da una carica puntiforme, ferma. In questo caso il campo generato è detto **centrale**, come del resto è anche il campo gravitazionale.

Le linee di forza in questo caso sono dirette radialmente rispetto alla carica. Per convenzione⁴¹ se la carica è positiva le linee di forza del campo elettrico sono dirette verso l'esterno e si indicheranno quindi con delle frecce (vettori) uscenti dalla carica e dirette all'infinito, nel caso in cui la carica fosse negativa le linee di forza saranno sempre radiali e dirette dall'infinito verso il centro della carica.

Quindi abbiamo visto che il campo generato da una carica puntiforme è radiale rispetto a la carica stessa, adesso vediamo che caratteristiche ha un campo generato da due cariche uguali, nelle due configurazioni possibili: stesso segno e segno diverso.

Cariche uguali dello stesso segno⁴²

Come si vede nella figura sottostante le due cariche (positive) hanno stesso segno e stessa quantità di carica.

⁴¹ Le convenzioni in fisica sono molto importanti. In elettrostatica si dice che una carica è positiva (+) semplicemente per differenziarla da una negativa (-). Deve però essere chiaro che quando parliamo di carica fondamentale negativa si vuole intendere la più piccola carica negativa possibile, ovvero l'elettrone. Quando si parlerà di carica fondamentale positiva si intenderà un protone, ovvero la più piccola carica positiva che si può trovare in natura (vedi anche teoria dei quark). Le cariche del protone e dell'elettrone sono molto simili ma di verso opposto e per convenzione all'elettrone è stata assegnata l'aggettivo negativo e al protone l'aggettivo positivo. Carica dell'elettrone $\approx 1,6 \times 10^{-19}$ C

⁴² Sappiamo che due cariche dello stesso segno si respingono sempre nello stesso modo indipendentemente dal fatto che siano entrambe negative o entrambe positive.

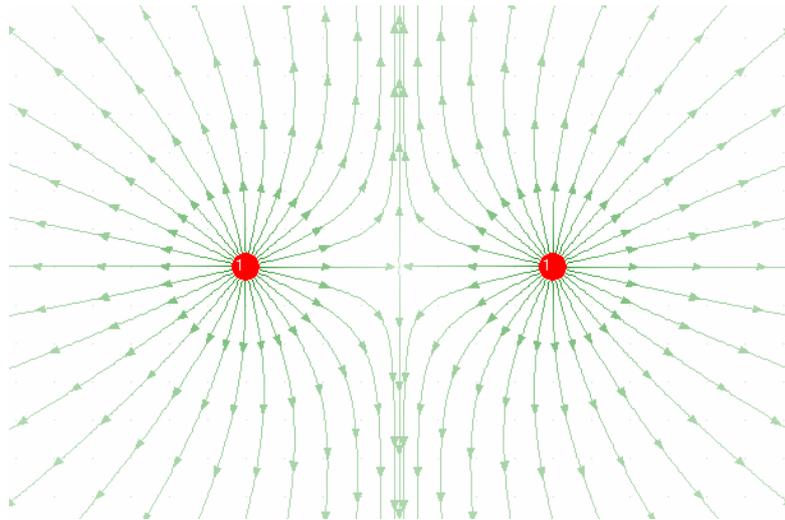


Figura 1: Linee di forza generate da due cariche puntiformi di stesso segno e stessa quantità di carica. È chiaro che la figura che si viene a formare è simmetrica rispetto ad un asse che perpendicolare alla congiungente le due cariche. I “raggi” che escono dalle due cariche sono le linee del campo elettrico e indicano la direzione della forza del campo in una determinata regione dello spazio intorno alle cariche⁴³.

Cariche uguali di segno opposto

Nella figura sottostante si vede la configurazione che assumono le linee di forza del campo elettrico quando le due cariche hanno stessa quantità di carica ma di segno opposto.

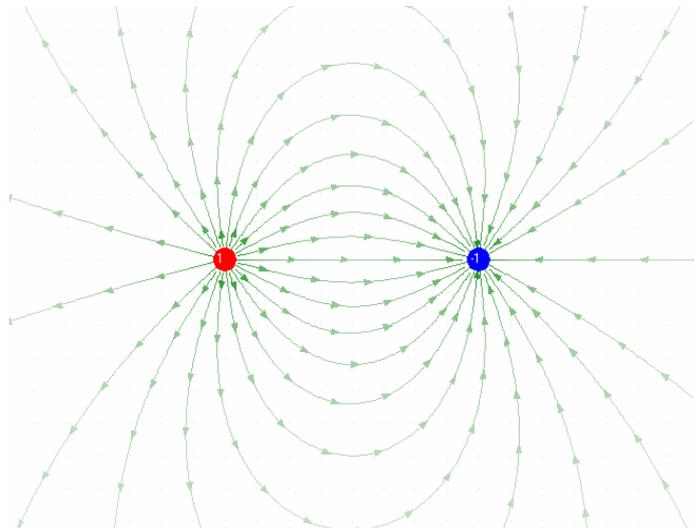


Figura 2: Linee di forza generate da due cariche di segno opposto e stessa quantità di carica.

⁴³ Il disegno mostrato è stato ottenuto grazie ad un software (E-fied) capace di calcolare le linee di forza, le linee del campo elettrico (linee equipotenziali) e il valore della forza e del potenziale nel caso di una distribuzione qualsiasi di N.cariche. Il software in realtà calcola molto velocemente la risultante delle componenti delle forze in gioco tra le due cariche con la nota formula che

abbiamo visto precedentemente $F_{\text{elettrica}} = k \frac{q_1 q_2}{R^2}$

Su questo caso ci soffermeremo un po' di più per dare alcune altre informazioni. Nel caso in cui le cariche siano di segno opposto per convenzione, le linee di forza del campo elettrico sono dirette da quella positiva a quella negativa, inoltre bisogna ricordare che nel caso in cui le cariche siano di segno opposto, le linee di forza del campo elettrico sono **chiuse**, ossia tutte le linee che “escono” dalla carica positiva, “rientrano” o ricadono su quella negativa. Questi due fatti sono di grande importanza e verranno richiamati in seguito quando si parlerà del teorema di Gauss e del flusso del campo elettrico.

Calcoliamo la direzione delle linee di forza del campo elettrico.

Nella figura vediamo a che tipo di forze soggetta una particella che si trova in una regione intorno alle due cariche. La particella di prova in questo caso è positiva e vediamo che è attratta dalla carica negativa (vettore blu) e respinta da quella positiva (vettore rosso) quindi sommando i due vettori con la regola del parallelogramma si ottiene la forza risultante sulla carica di prova in quel punto⁴⁴.

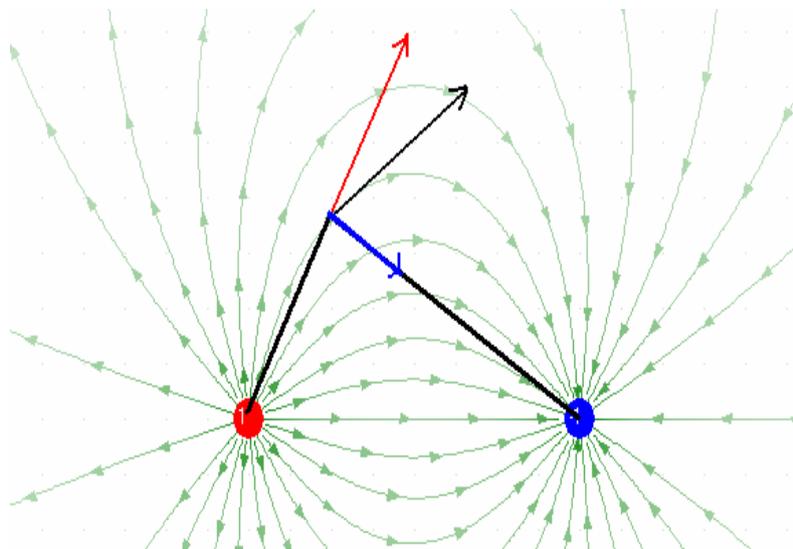


Figura 3: In questa figura si vede come è possibile punto per punto calcolare l'andamento delle linee di forza generate dalle cariche. Il metodo è ovviamente valido sia nel caso di due cariche di segno opposto che dello stesso segno, o in una distribuzione qualunque di carica in uno spazio.

Prima di cominciare a discutere di quello che accade quando consideriamo più cariche, vorrei che fosse chiaro che stiamo analizzando casi molto semplici e che spesso la realtà è assai più complessa, e di questo possiamo avere un'idea se osserviamo la seguente immagine. Calcolare in questo caso la risultante vettoriale di tutte le forze in gioco è a dir poco difficile senza l'aiuto di un software.

⁴⁴Anche se la figura non è troppo esemplificativa, è da notare che il vettore risultante (vettore nero) è in ogni punto tangente alle linee di forza del campo elettrico.

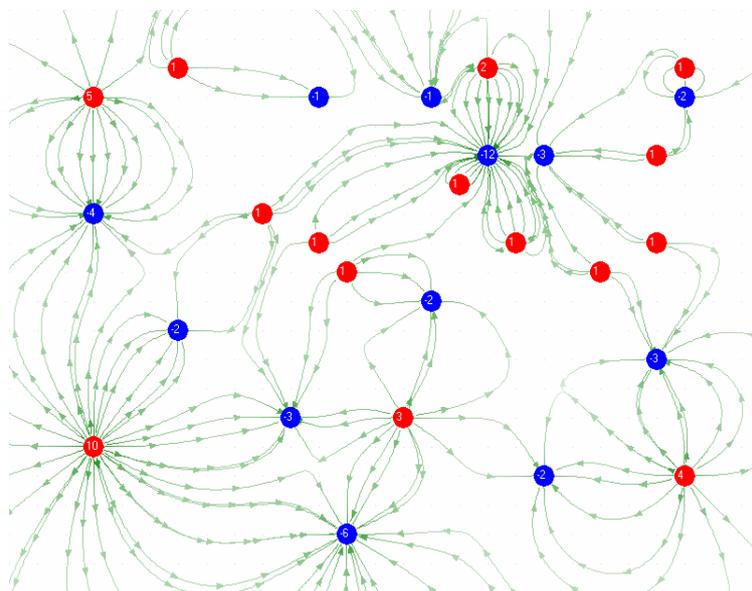


Figura 4: Un esempio di come possono essere complesse le distribuzioni di carica nel mondo fisico reale. Questa rimane comunque una simulazione fatta con un software (E-Field) il quale calcola il campo generato da delle cariche stazionarie.

Spesso però grazie alla teoria possiamo apportare delle semplificazioni che ci aiutano a comprendere con ottima approssimazione quello che accade anche in sistemi complessi.

Distribuzioni di carica particolari

Consideriamo due distribuzioni di carica che nei futuri studi di fisica e in alcune esperienze di laboratorio è facile trovare ovvero la distribuzione sferica o a simmetria centrale e distribuzione piana.

Distribuzione sferica:

Consideriamo delle cariche di segno uguale che si dispongano su di un cerchio in modo da stare l'una "attaccata"⁴⁵ all'altra. Le linee di forza del campo saranno radiali, ovvero essendo una distribuzione a simmetria centrale, accade che le linee del campo possono essere pensate come prodotte da un'unica carica puntiforme, ma in questo caso con una quantità di carica pari alla somma di tutte le cariche che formano la distribuzione.

⁴⁵ Questa è ovviamente una approssimazione, visto che sappiamo che cariche dello stesso segno tendono sempre a respingersi.

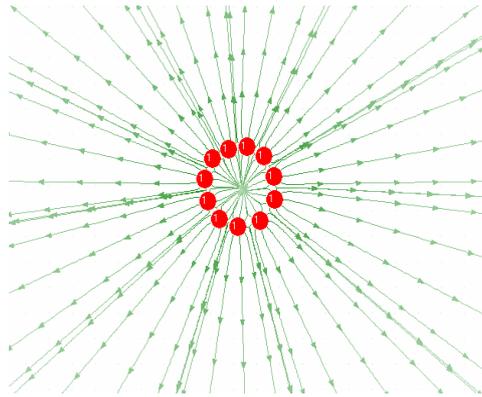


Figura 5: Campo generato da una distribuzione circolare/sferica di cariche.

Distribuzione laminare o piana

in questo caso vediamo che in prossimità delle cariche le linee di forza del campo sono dirette ortogonalmente alla congiungente delle cariche e sono tutte (trascurando gli effetti sui bordi) parallele tra loro⁴⁶.

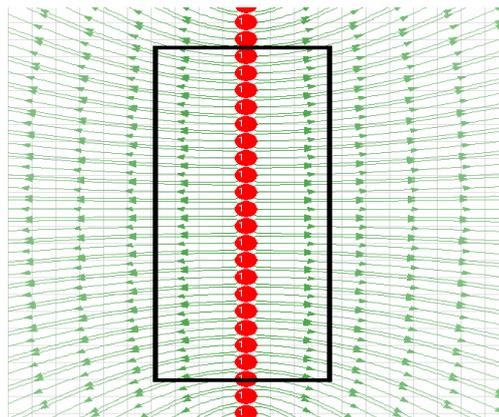


Figura 6: campo di forza generato da una distribuzione di carica lineare/laminare.

ENERGIA POTENZIALE ELETTRICA E LAVORO DEL CAMPO ELETTRICO

Il concetto di potenziale dovrebbe già essere un concetto familiare, perché studiato nel caso di masse in movimento rispetto al suolo o di molle compresse ecc. Adesso però parliamo di energia potenziale del campo elettrico. In analogia con il campo gravitazione terrestre sappiamo che se spostiamo una massa da una regione ad un'altra dello spazio intorno ad una massa centrale, il campo gravitazionale generato dalla massa stessa compie un lavoro che è dipendente solo dalla posizione iniziale e finale. Questo lavoro è uguale alla variazione dell'energia potenziale.

⁴⁶ Ricordiamo che quello che è stato detto circa le distribuzioni bidimensionali, può essere esteso senza difficoltà a distribuzioni di carica tridimensionali, ossia distribuzione sferica e piana.

Se una carica di prova o una qualsiasi carica si sposta da una posizione ad un'altra intorno ad una carica (diciamo fissa per semplicità) che genera il campo, possiamo affermare che per spostare la carica sarà stato compiuto del lavoro⁴⁷. Questo lavoro è stato compiuto dal campo elettrico.

Il lavoro è sempre dato da una forza per uno spostamento e in questo caso useremo la forza elettrica che già conosciamo $F=qE$. Il lavoro quindi sarà

$$L = Eqs$$

dove s è lo spostamento e q è la carica.

Consideriamo adesso un caso particolare per spiegare come interpretare il moto di una carica quando è immersa in un campo elettrico costante.

Un campo elettrico costante si può ottenere ponendo due lamine cariche di segno opposto poste parallele tra loro e a breve distanza d . Facendo riferimento alla figura vediamo che se poniamo una carica positiva su una delle due lamine (nel caso specifico quella positiva) la carica risentirà di una forza che è diretta nella direzione del campo elettrico. naturalmente la carica lasciata libera di muoversi si sposterà da una lamina all'altra seguendo una traiettoria rettilinea e diretta parallelamente alle linee di forza.

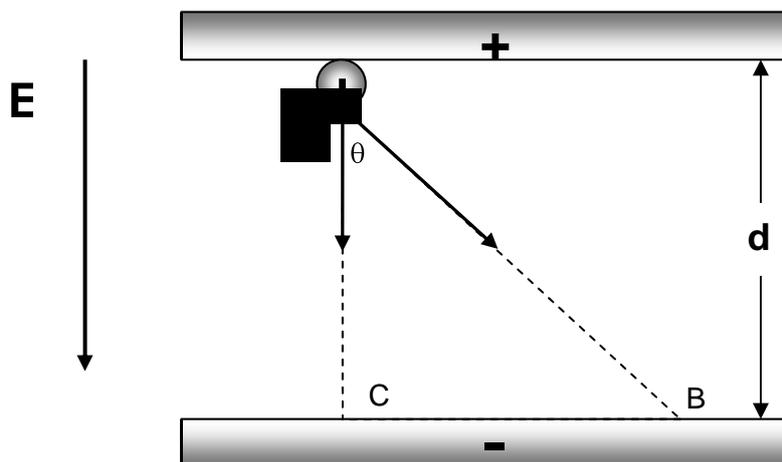


Figura 7: Carica positiva immersa in un campo elettrico costante generato da due lamine parallele.

Se volessimo calcolare il lavoro compiuto dal campo elettrico sulla carica scriveremo che è uguale alla forza elettrica per lo spostamento o in modo equivalente possiamo scrivere $L=Eqd$ dove con d indichiamo la distanza tra le lamine q è la carica da spostare ed E il campo elettrico generato dalle due lamine. Se volessimo fare arrivare la carica allo stesso punto ma con un percorso diverso, ad esempio il percorso ABC dobbiamo calcolare il lavoro compiuto sulla carica nel tragitto AB e poi sommarlo a quello necessario per spostarla nel tratto BC.

Calcoliamo i lavori.

⁴⁷ Dobbiamo ricordare che nel caso del campo gravitazionale la forza è sempre di tipo attrattivo, mentre nel caso delle cariche possiamo avere il caso repulsivo ed attrattivo, che comunque non altera le considerazioni che si vanno a fare sul lavoro fatto dal campo elettrico.

$$L_{AB} = qE \overline{AB} \cos \theta$$

dove abbiamo usato la componente della forza utile allo spostamento.

Infatti sappiamo che la componente della forza che è ortogonale al campo elettrico non contribuisce in alcun modo al lavoro, infatti quando andiamo a calcolare il lavoro sul tratto BC vediamo che è nullo poiché lo spostamento è ortogonale alle linee di forza del campo⁴⁸.

Possiamo concludere che il lavoro del campo elettrico dipende solo dalla posizione iniziale e finale e non dal percorso fatto dalla carica.

In analogia con il caso del campo gravitazionale (dove l'energia potenziale è uguale al lavoro) possiamo affermare che anche nel caso del campo elettrico il potenziale elettrico è uguale al lavoro fatto per spostare la carica da un punto ad un altro dello spazio. Considerando ciò che si è detto prima per il lavoro possiamo affermare che il campo elettrico che genera il potenziale è un campo conservativo.

POTENZIALE ELETTRICO

Definiamo adesso il potenziale elettrico come l'energia o il lavoro necessario per spostare una carica da un punto ad un altro dello spazio.

$$\Delta U = -L$$

Quando si parla di campi elettrici si utilizza una nuova grandezza che chiamiamo potenziale elettrico o tensione e la si sceglie in modo tale che sia indipendente dalla carica q.

Definiamo potenziale elettrico

$$V = \frac{U}{q}$$

Considerando il potenziale in un punto A e B possiamo scrivere

$$V_A - V_B = \frac{U_A - U_B}{q} = \frac{L_{AB}}{q}$$

Cioè abbiamo espresso il potenziale elettrico nei punti A e B in funzione del lavoro fatto per spostare la carica q da una posizione all'altra. $V_A - V_B$ è detta differenza di potenziale. Per misurare la nuova grandezza introdotta si usa il Volt (simbolo V) che è uguale a

$$\text{volt} = \frac{\text{joule}}{\text{coulomb}}$$

⁴⁸ Ricordiamo che la direzione delle linee di forza del campo elettrico hanno la stessa direzione del campo stesso, ossia $\vec{E} // \vec{F}$.

Detto in altri termini, tra due punti di un campo elettrico esiste la differenza di potenziale (d.d.p) di 1 volt se la forza elettrica del campo compie un lavoro di 1 joule per portare la carica di 1 coulomb da un punto all'altro.

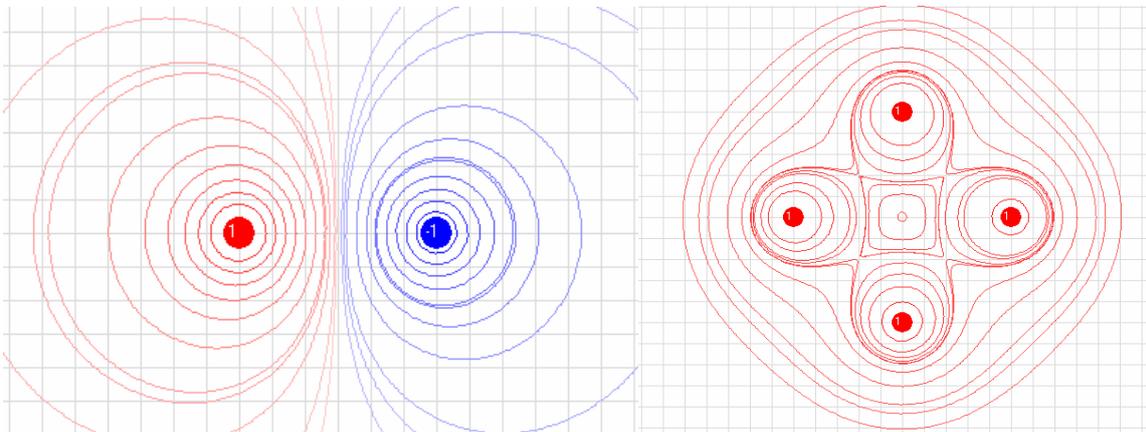
Facciamo due considerazioni: se il lavoro è $L_{AB} = F \cdot s = q \cdot E \cdot s$ allora possiamo scrivere la d.d.p. come segue

$$V_A - V_B = \frac{q \cdot E \cdot s}{q} \Rightarrow V_A - V_B = E \cdot s$$

osservando che la d.d.p. è indipendente quindi è indipendente dalla carica.

Concludiamo dicendo che tra due lamine caricate con cariche di segno opposto c'è sempre una differenza di potenziale diversa da zero, ovvero una carica all'interno della regione interessata dal campo elettrico si muoverà sotto l'azione della differenza di potenziale.

Linee di potenziale: riprendendo l'analogia con le isobare utilizzate nei diagrammi meteorologici per evidenziare le aree geografiche interessate dalle stesse condizioni di pressione, ricordiamo che anche per il campo elettrico esistono delle "curve" o per meglio dire delle superfici (nel caso tridimensionale) che indicano la regione spaziale in cui il campo ha lo stesso valore⁴⁹. Queste superfici vengono chiamate equipotenziali. Nella figura si vedono le superfici equipotenziali determinate da semplici distribuzioni di cariche.



⁴⁹ È facile dimostrare che le superfici equipotenziali del campo sono sempre in ogni punto ortogonali alle linee di forza.

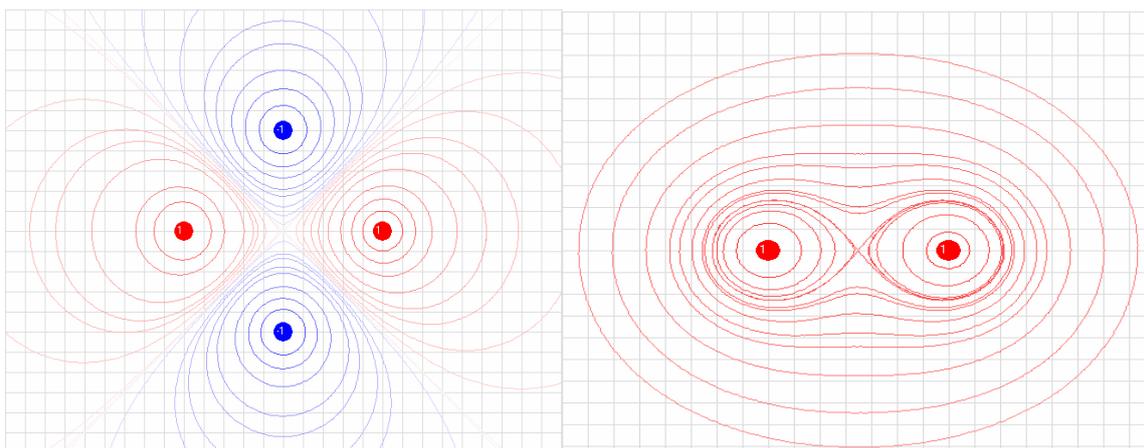
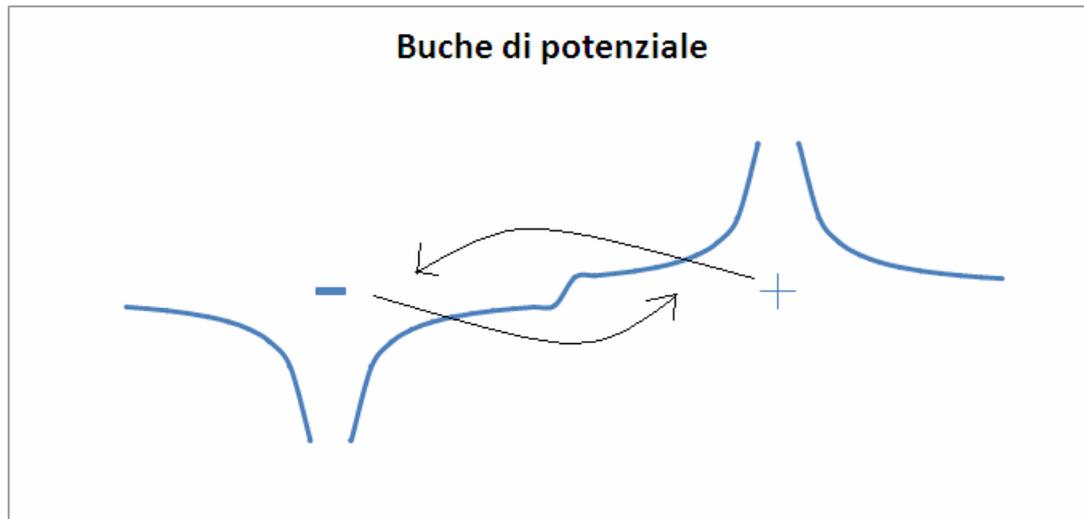


Figura 8: Linee di campo per alcune semplici distribuzioni di cariche. Doppietto + , - , quattro cariche positive, quattro cariche uguali due positive e due negative, doppietto + , +.

Così come nel caso del campo gravitazionale è possibile determinare il valore del potenziale e si nota come esso non sia sempre negativo (se il potenziale è negativo si avrà una forza attrattiva) ma anzi è possibile avere delle configurazioni diverse. È possibile che entrambi i potenziali siano negativi o positivi o che siano di segno opposto (convenzionalmente). Questo vuol dire che se per esempio si hanno due cariche di segno opposto esse genereranno due potenziali o buche di potenziale di segno opposto e quindi esse si attraggono perché è come se una cadesse nella buca di potenziale dell'altra.

Vediamo un esempio fatto con un foglio di calcolo.



In questa immagine vediamo le buche di potenziale generate da due cariche di segno opposto e stessa quantità di carica e con le frecce si è voluto far vedere che la carica negativa tende a “scivolare” nella buca di quella positiva ma del resto anche quella positiva tende a scivolare nella buca di quella negativa. da questa considerazione risulta chiaro il motivo di definire convenzionale la proprietà delle cariche negative e positive.

ALLEGATO A

UN'APPLICAZIONE DELLE CONICHE ALLA FISICA

**L'ELLISSE E LA LEGGE DELLE ORBITE DI
KEPLERO**

Premessa

Questo elaborato ha la funzione di dimostrare che i software per la didattica e alcuni software di altra natura possono rappresentare un valido aiuto all'attività d'insegnamento svolta dagli insegnanti. Soprattutto nel campo matematico e fisico è utile avvalersi di questi programmi (e spesso anche di applet) proprio per la loro ampio raggio d'azione e versatilità oltre poi alla interattività che offrono. In questa unità didattica non mi soffermerò troppo sui contenuti, cercando invece di presentare come può essere integrata una lezione con l'ausilio di software per la didattica. Resta comunque una priorità, l'insegnamento classico fatto di gessi lavagna e libro di testo.

Introduzione

In questo elaborato si intende creare un percorso didattico che parta dalla trattazione analitica e sintetica delle coniche e specificatamente dell'ellisse, per poi trovare una applicazione al campo della fisica con le leggi di Keplero e la dinamica dei pianeti in orbita intorno al Sole. In questo percorso si vuole lasciare maggiore spazio alla trattazione sintetica dell'ellisse utilizzando un software particolarmente importante e potente per la didattica della geometria e della matematica in generale: Cabri Géometre Plus.

Questo software, come vedremo, risulta assai versatile per una serie di caratteristiche tecniche. Intanto ciò che colpisce è la sua praticità e velocità nella strutturazione delle figure geometriche, inoltre grazie ad una buona interfaccia grafica può facilmente essere utilizzato senza particolari problemi. Una vastissima letteratura e sitografia rende questo software tra i più utilizzati e versatile programmi per l'insegnamento e l'apprendimento della matematica e geometria. Si ricorda inoltre che la Texas Instruments (una delle maggiori produttrici mondiali di calcolatori portatili) produce calcolatrici grafiche che supportano questo software.

Cabri Géometre non è l'unico software per la didattica ma ve ne sono altri con più o meno le stesse caratteristiche alcuni dei quali sono anche liberi da Copyright e quindi scaricabili liberamente da internet, ciò nonostante è vero che sono meno diffusi e quindi meno utilizzati, ragion per cui è meno semplice reperire informazioni e macro di cui invece la rete è ricca per quanto riguarda Cabri.

Varibilità della parabola

Anche in questo caso è possibile usare Cabri 3D e verificare che la variabilità della parabola dipende esclusivamente dall'ampiezza del cono, infatti è facile vedere che quando si sposta il piano, la parabola non cambia mentre varia solo quando si aumenta o diminuisce l'ampiezza del cono. Precisiamo che se il piano della sezione coincide con il piano che contiene l'apotema del cono non si può parlare più di parabola, si ha infatti una sua degenerazione.

Variabilità dell'iperbole

La variabilità in questo caso dipende oltre che dall'ampiezza del doppio cono anche dalla distanza della sezione dall'asse, nel primo caso varia l'ampiezza della conica stessa che sarà più ampia o chiusa e nel secondo caso i vertici dell'iperbole si distanzino o si avvicinino. Se il doppio cono ha una ampiezza di $\pi/2$ allora si ottiene una parabola equilatera, mentre se l'asse del cono appartiene al piano di sezione si otterranno solo due rette ortogonali tra loro.

Variabilità dell'ellisse

Le altre coniche sono state trattate in modo rapido mentre l'ellisse sarà trattato in modo più approfondito. La variabilità di questa conica dipende da due fattori, la prima dalla distanza del piano dal vertice che ne cambia le dimensioni, la seconda dall'inclinazione che il piano settorio forma con l'asse (entro il range definito prima) che ne varia invece l'eccentricità. Quest'ultimo parametro è forse quello che maggiormente caratterizza l'ellisse e verrà trattato sia analiticamente che per via sintetica.

Tutte le coniche che sono state presentate fino ad ora possono essere definite oltre che nello spazio, come fatto prima, anche nel piano, e adesso vedremo come. Precisiamo che non si sta parlando di aree racchiuse da queste curve ma solo delle curve stesse, che in geometria piana possiamo chiamare semplicemente luoghi geometrici.⁵⁰

Definizioni

Circonferenza : si dice circonferenza il luogo geometrico dei punti equidistanti da un punto detto centro della circonferenza.

Parabola: si dice parabola il luogo geometrico dei punti tale che la distanza dalla direttrice è uguale alla distanza dal fuoco.

Iperbole: si dice iperbole e' il luogo geometrico dei punti per cui e' costante la differenza delle distanze da due punti fissi detti fuochi.

L'ellisse : si dice ellisse il luogo geometrico dei punti tale che la somma delle distanze di ciascun punto dai fuochi è costante.

Tutte queste definizioni e quelle viste all'inizio sono in realtà equivalenti perché individuano nello stesso modo lo stesso luogo geometrico. Vedremo inoltre più avanti che anche per via analitica si avranno definizioni equivalenti scritte solo in funzioni di variabili reali.

Fatta questa necessaria introduzione alle definizioni di coniche nello spazio e nel piano, esaminiamo più in dettaglio il software che si andrà ad utilizzare.

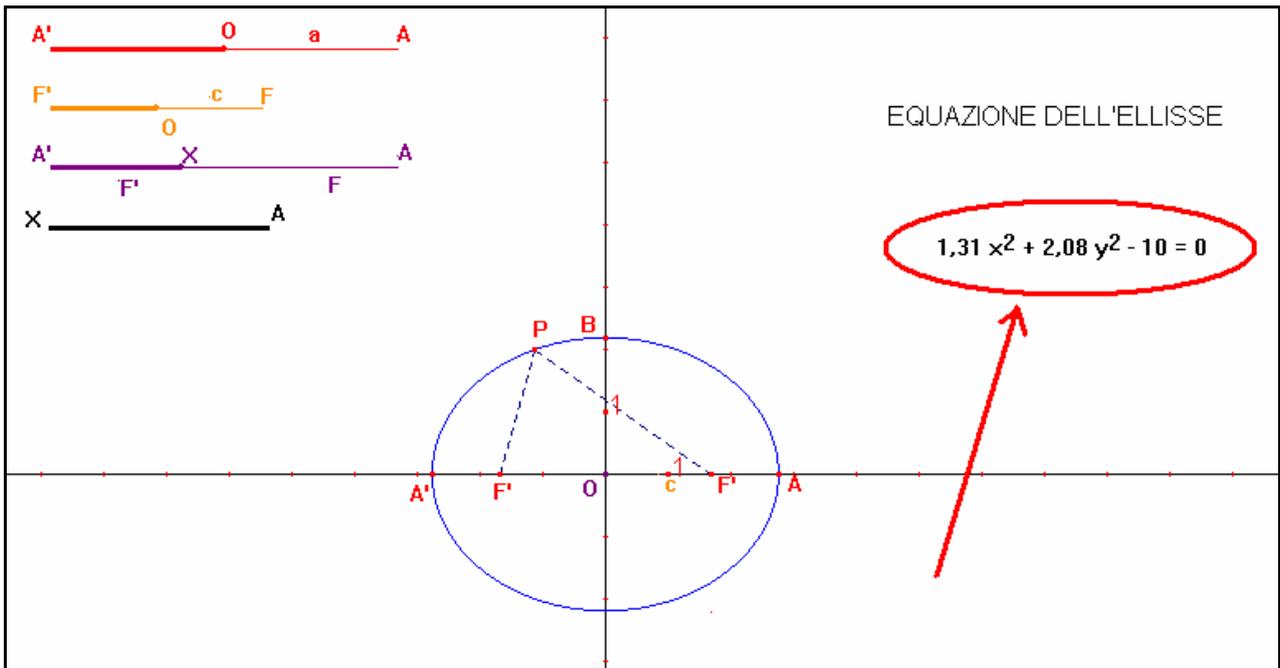
Cabrì Géomètre è un software versatile e ha il grande vantaggio di essere dinamico ed interattivo, questo vuol dire che una volta fatta la costruzione che ci interessa è possibile modificarla dinamicamente o fare delle animazioni. Didatticamente risulta assai efficace e riesce ad interessare molto gli studenti che si avvicinano per la prima volta a questo software. Si può dire che le uniche limitazioni di questo software siano esclusivamente gli assiomi della geometria euclidea e la fantasia di chi lo usa.

Una volta eseguita la costruzione geometrica che ci interessa può essere seguita da uno studente in modo semplice con la funzione "passo passo" che permette con semplici *step* di ridisegnare la costruzione.

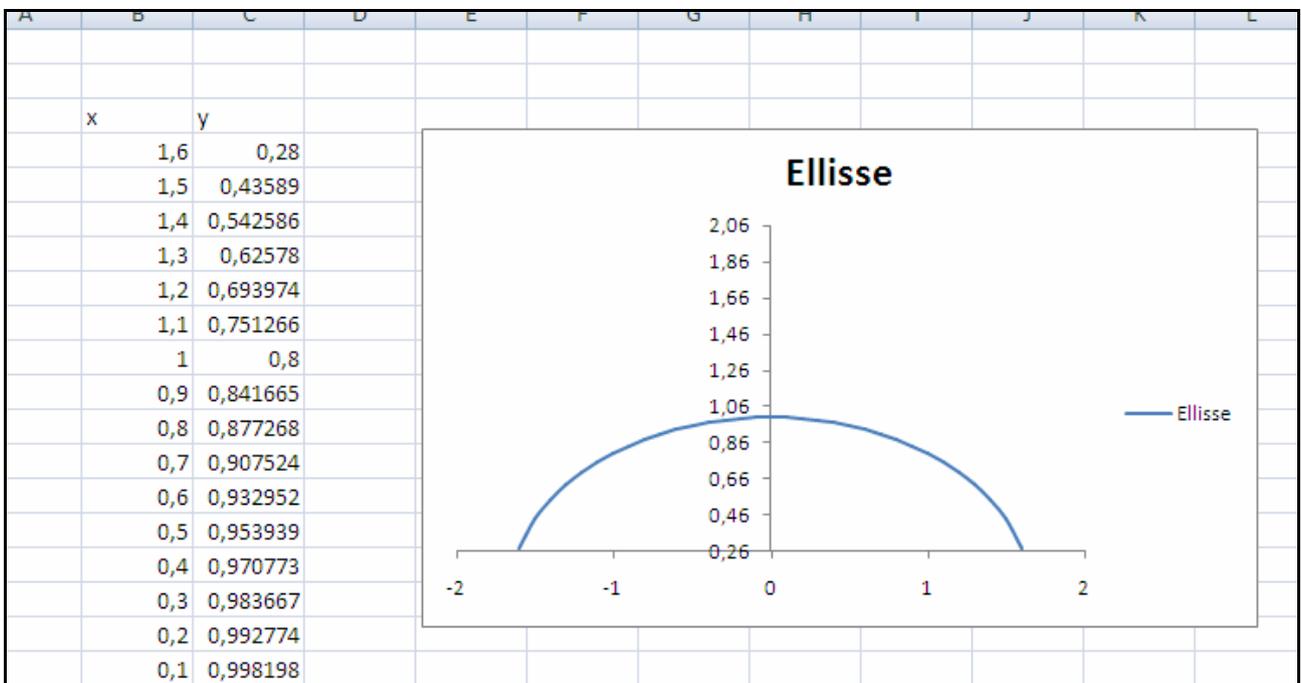
Limitiamoci a queste poche informazioni su Cabrì perché è facile trovare in rete manuali più o meno semplici sull'utilizzo completo del software.

Costruzione di una ellisse

⁵⁰ Anche nello spazio tridimensionale si definiscono dei luoghi geometrici ma più spesso ci si riferisce a figure nel piano.



Dal semplice esercizio proposto è possibile quindi osservare come cambiano i numeri in funzione dello spostamento del centro dell'ellisse, dell'eccentricità e delle dimensioni. E' possibile anche fare il contrario, ovvero inserire dei valori numerici e plottare la funzione che ne risulta. Possiamo ad esempio utilizzare un foglio di calcolo per fare esercizi di questo tipo.



Applicazioni alla fisica

Chiaramente le applicazioni alla fisica sono molteplici e sappiamo bene che le coniche e molte altre funzioni ricorrono spesso quando si insegnano concetti fisici. Le ellissi per esempio le ritroviamo quando si parla di cinematica e dinamica dei corpi celesti quando sono in moto rispetto ad un altro corpo. Keplero fu il primo scienziato ad ipotizzare che l'orbita dei pianeti in moto di rivoluzione in torno al Sole sono di tipo ellittico, e questo è stato confermato con assoluta precisione oltre che da esperimenti anche dalla teoria della relatività generale.

Leggi di Keplero

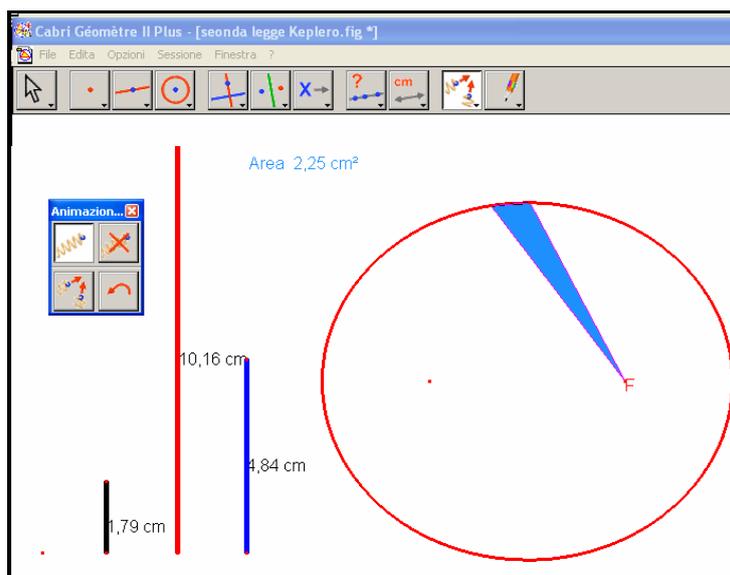
Ricordiamo le leggi di Keplero.

Prima legge di Keplero (forma delle orbite)

Le orbite dei pianeti intorno al Sole sono degli ellissi di cui il Sole occupa uno dei due fuochi.

Seconda legge di Keplero (legge delle aree)

Il raggio vettore che congiunge il Sole con il pianeta spazza aree uguali in tempi uguali

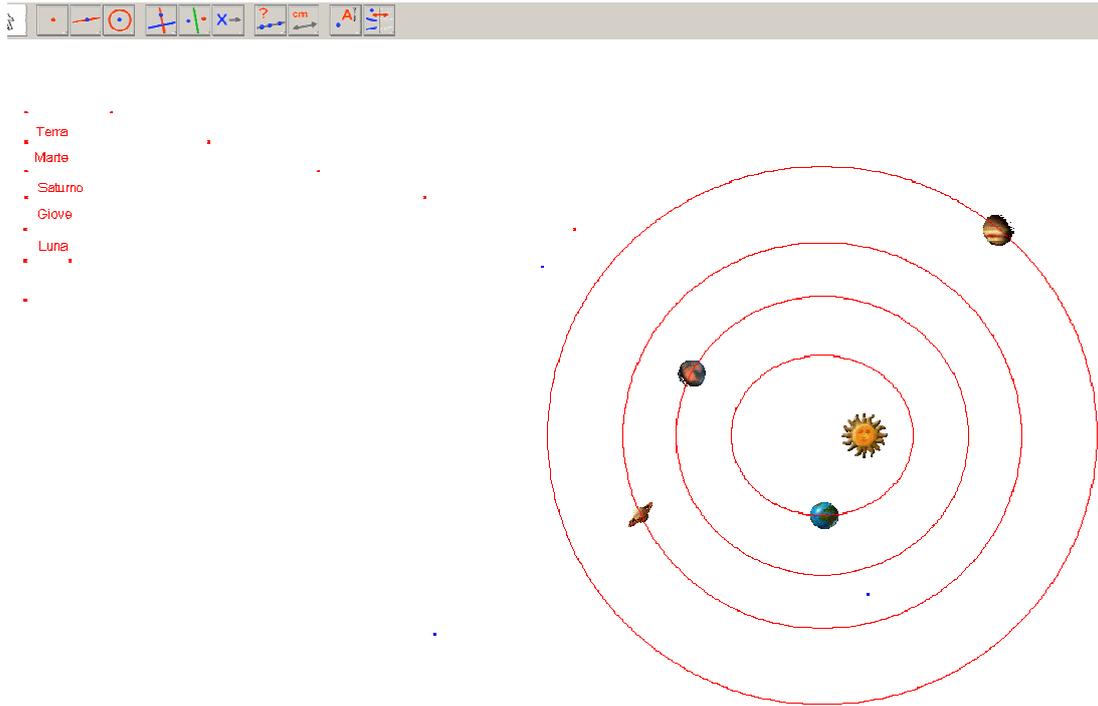


Con Cabri si può calcolare l'area spazzata dal raggio vettore e si può animare il moto del pianeta in orbita

Terza legge di Keplero (legge della costante di rivoluzione)

Il rapporto tra il cubo del raggio dell'orbita e il quadrato del periodo di rivoluzione è costante per tutti i pianeti.

Grazie ad alcuni accorgimenti si può utilizzare Cabri anche in questo caso, infatti è possibile applicare ai punti della costruzione geometrica fatta, delle immagini ed ottenere dei risultati grafici molto interessanti.



Con la funzione “animazione multipla” è possibile far muovere contemporaneamente tutti i pianeti che si vedono ed osservare come essi si muovono in funzione ad esempio dell’eccentricità dell’orbita, che può essere variata per ciascun pianeta muovendo i cursori creati a sinistra del disegno.

Dove, quando e perché usare i software didattici

È un’opinione personale, ma credo condivisibile da gran parte di coloro che già utilizzano i software come strumento integrativo all’insegnamento, che programmi come Cabri Géomètre possano essere utilizzati sin da subito in aula durante le lezioni, senza dover necessariamente ricorrere all’aula informatica.

Nella scuola perfetta probabilmente ogni insegnante avrebbe la possibilità di ottenere un proiettore e un portatile che possa affiancare fisicamente a se per fare esercizi o risolvere problemi con l’ausilio di questi software. È evidente che solo in rarissime eccezioni la scuola è capace di fornire questa strumentazione o comunque non tutti gli insegnanti di materie scientifiche vedono di buon occhio questo tipo di tecnologie.

In generale però è auspicabile che i software per la didattica siano sempre presenti all’interno dei percorsi educativi, o per lo meno che appaiano di tanto in tanto come utile mezzo di supporto.

Alcuni software sono alla portata di tutti perché già parte integrante di sistemi operativi, quindi si potrebbe richiedere agli alunni di esercitarsi a casa nel risolvere problemi proprio come si fa quando si assegnano i compiti per casa.

In sostanza credo che si possa far uso di queste tecnologie, alla portata di tutti, anche se non si insegna matematica e fisica in un PNI.

Conclusioni

Si possono trovare in rete una quantità enorme di siti dedicati ad esercizi e macro di Cabri Géomètre e in bibliografia sono riportati solo alcuni dai quali scaricare gratuitamente files e manuali o quantomeno prendere spunti per insegnare la matematica nelle scuole di qualsiasi ordine e grado.

ALLEGATO B

APPENDICI INTEGRATIVE ALL'UNITA' DIDATTICA N° 1

Materiale ausiliario, esperimento di Cavendish, laboratorio,
tabelle dati fisici dei pianeti

Materiale ausiliario

È auspicabile l'uso di filmati opportunamente selezionati come ad esempio documentari per introdurre o "accompagnare" la lezione. Ho selezionato due documentari uno della BBC e del National Geographic che introducono la gravitazione universale con spettacolari e recenti immagini del cosmo, inoltre c'è un filmato del PSSC (la legge di gravitazione universale, L'esperimento di Cavendish, etc) specificatamente dedicato a questo argomento. È anche reperibile in rete una puntata della trasmissione televisiva Super Quark dedicata alla storia della gravità: "La lotta contro la gravità" . in modo semplice e come sempre esauriente viene percorsa la storia dell'uomo in funzione della gravità, dal quotidiano fino ad arrivare alla teoria della relatività generale.

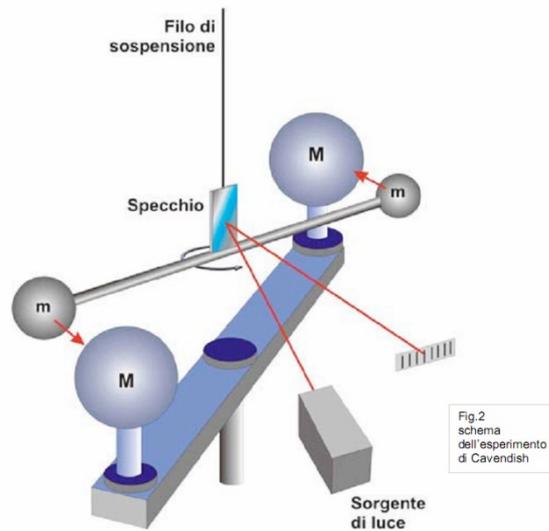
Appendice 1

L'esperimento di Cavendish

Il problema era assai arduo perché si trattava di misurare forze piccolissime, inferiori a un milionesimo di newton, in presenza di una notevole forza di disturbo, quella generata dalla Terra.

Lord Cavendish possedeva tuttavia notevoli doti di sperimentatore e insieme di metrologo, così da riuscire, con gli strumenti e le tecniche del tempo, ad ottenere un valore di G che ben poco si discostava dal valore oggi accettato. L'apparecchiatura usata da Cavendish era costituita da due masse identiche m_1 e m_2 fissate alle estremità di un'asta leggera, a sua volta sospesa nel centro ad un filo dotato di rigidezza torsionale piccola ma nota. Le due masse identiche M_1 e M_2 , poste alle estremità di un braccio rigido in grado di ruotare al centro intorno ad un appoggio fisso, possono essere allontanate ovvero accostate alle masse m_1 e m_2 . Quando le masse sono accostate, si ha una rotazione dell'asta che sostiene le due masse m_1 e m_2 , rotazione il cui valore è tanto maggiore quanto minore è la rigidezza torsionale del filo di sostegno. L'angolo di rotazione viene letto con il classico metodo della leva ottica, cioè con la deflessione di un raggio di luce ad opera di uno specchietto fissato in prossimità del centro dell'asta di sostegno.

Nella figura si vede lo schema sperimentale utilizzato.



Il valore trovato da Cavendish è stato

$$G_{\text{Cavendish}} = (6,75 \pm 0,05) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

Appendice 2

Tabella Pianeti del sistema solare:

Pianeta	Mercurio	Venere	Marte	Giove	Saturno	Urano	Nettuno
Massa	0,0553	0,815	0,107	317,8	95,2	14,5	17,1
Diametro	0,383	0,949	0,533	11,21	9,45	4,01	3,88
Densità	0,984	0,951	0,713	0,240	0,125	0,230	0,297
Gravità	0,378	0,907	0,377	2,36	0,916	0,889	1,12
Velocità di fuga	0,384	0,926	0,450	5,32	3,17	1,90	2,10
Rotazione	58,8	-244	1,03	0,415	0,445	-0,720	0,673
Giorno	175,9	116,8	1,03	0,414	0,444	0,718	0,671
Distanza dal Sole	0,387	0,723	1,52	5,20	9,58	19,20	30,05
Perielio	0,313	0,731	1,41	5,03	9,20	18,64	30,22
Afelio	0,459	0,716	1,64	5,37	9,96	19,75	29,89
Periodo orbitale	0,241	0,615	1,88	11,9	29,4	83,7	163,7

Velocità orbitale	1,61	1,18	0,810	0,439	0,325	0,229	0,182
Eccentricità	12,3	0,401	5,60	2,93	3,38	2,74	0,677
Satelliti	0	0	2	63	56	27	13

N.B. - Dati posti in relazione a quelli della Terra, considerati pari ad 1 (fonte NASA/NSSDC)

Tabella dati dei pianeti

Pianeta	<u>Mercurio</u>	<u>Venere</u>	<u>Marte</u>	<u>Giove</u>	<u>Saturno</u>	<u>Urano</u>	<u>Nettuno</u>
Massa (10^{24} kg)	0,3302	4,8685	0,64185	1898,6	568,46	86,832	102,43
Volume (10^{10} km ³)	6,083	92,843	16,318	143128	82713	6833	6254
Raggio Equatoriale (km)	2439,7	6051,8	3397	71492	60268	25559	24764
Raggio Polare (km)	2439,7	6051,8	3375	66854	54364	24973	24341
Densità (kg/m ³)	5427	5243	3933	1326	687	1270	1638
Gravità (m/sec ²)	3,70	8,87	3,69	23,12	8,96	8,69	11
Velocità di fuga (km/sec)	4,3	10,36	5,03	59,5	35,5	21,3	23,5
Min Distanza Terra (10^6 km)	77,3	38,2	54,5	588,5	1195,5	2581,9	4305,9
Max Distanza Terra (10^6 km)	221,9	261	401,3	968,1	1658,5	3157,3	4687,3
Max Diametro apparente (")	13	66	25,7	49	20,1	4,1	2,4
Min Diametro apparente (")	4,5	9,7	3,5	29,8	14,5	3,3	2,2
Magnitudine massima	-1,9	-4,6	-2,9	-2,94	0,43	5,32	7,78
Diametro apparente Sole	1°22'	44,3'	21'	6,2'	6,2'	1,7'	1,1'
Semiassse maggiore (10^6 km)	57,91	108,21	227,92	778,57	1433,53	2872,46	4495,06
Periodo orbitale (giorni)	87,969	224,701	686,980	4332,589	10759,22	30685,4	60189
Perielio (10^6 km)	46	107,48	206,62	740,52	1352,55	2741,30	4444,45
Afelio (10^6 km)	69,82	108,94	249,23	816,62	1514,50	3003,62	4545,67
Vel. orbitale media (km/sec)	47,87	35,02	24,13	13,07	9,69	6,81	5,43
Vel. orbitale max (km/sec)	58,98	35,26	26,50	13,72	10,18	7,11	5,50

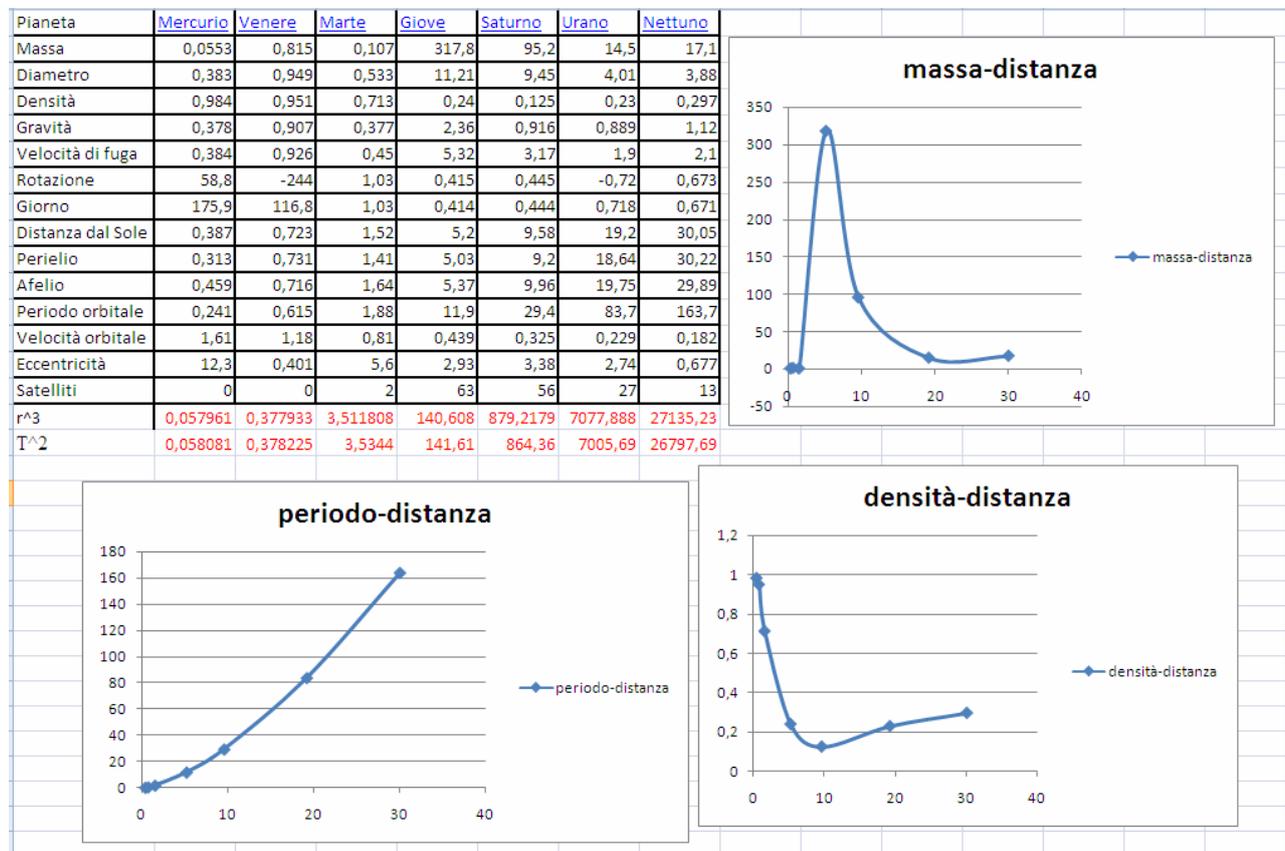
Vel. orbitale min (km/sec)	38,86	34,79	21,97	12,44	9,09	6,49	5,37
Inclinazione orbitale (°)	7	3,39	1,85	1,304	2,485	0,772	1,769
Eccentricità	0,2056	0,0067	0,0935	0,0489	0,0565	0,0457	0,0113
Periodo rotazione (ore)	1407,6	-5832,5	24,6229	9,9250	10,656	-17,24	16,11
Lunghezza giorno (ore)	4222,6	2802	24,6597	9,9259	10,656	17,24	16,11
Inclinazione asse (°)	0,01	177,36	25,19	3,13	26,73	97,77	28,32
Temperatura (C°)	400/150	480/-30	-23	-150	-180	-210	-220
Pianeta	<u>Mercurio</u>	<u>Venere</u>	<u>Marte</u>	<u>Giove</u>	<u>Saturno</u>	<u>Urano</u>	<u>Nettuno</u>

fonte NASA/NSSDC

Appendice 3

Laboratorio virtuale di fisica.

Cercare delle possibili cross-relations usando i parametri dei pianeti del sistema solare.



Appendice 4

Laboratorio di fisica *on-line*:

Visto che questa sezione dell'elaborato è dedicata all'utilizzo dei software e della tecnologia, merita attenzione anche la cosiddetta fisica *on-line* o laboratorio di fisica *on-line*. Con il termine laboratorio *on-line* si intende la possibilità di creare e portare in classe un laboratorio di fisica vero e proprio. È possibile cioè riuscire a fare esperienze e acquisire dati da esperimenti che si possono fare anche in classe mentre si spiegano i concetti teorici senza spostarsi in laboratorio "tradizionale". Con apparecchiature relativamente semplici e di basso costo (*sonar*, Termocoppia, sensore di forza, etc) ed una calcolatrice grafica o un PC portatile, è possibile effettuare quasi tutti qui esperimenti che interessano la teoria dei programmi delle scuole medie superiori. Nel caso di questo elaborato sarebbe possibile quindi richiedere alla casa produttrice⁵¹ di queste apparecchiature, un *sonar*, il sensore di forza *Dual-Range* e una calcolatrice grafica (basta avere anche solo un PC portatile), per compiere alcuni esperimenti di cinematica o sul lavoro delle

⁵¹ La *Texas Instruments* produce sia i calcolatori che i software per la gestione dati. Inoltre è possibile richiedere per un certo periodo di tempo una valigetta contenente una serie di sensori e una interfaccia per testare il loro funzionamento, il tutto gratuitamente.

forse in un sistema. È da sottolineare che questo tipo di sperimentazione può davvero essere efficace. Nel caso specifico è possibile compiere una serie di esperimenti assai semplici per determinare ad esempio la caduta di un grave e calcolarne quindi l'accelerazione, riuscendo in maniera interattiva a calcolare il valore medio dell'accelerazione di gravità sulla Terra.

ALLEGATO C

VALUTAZIONE E DOCIMOLOGIA

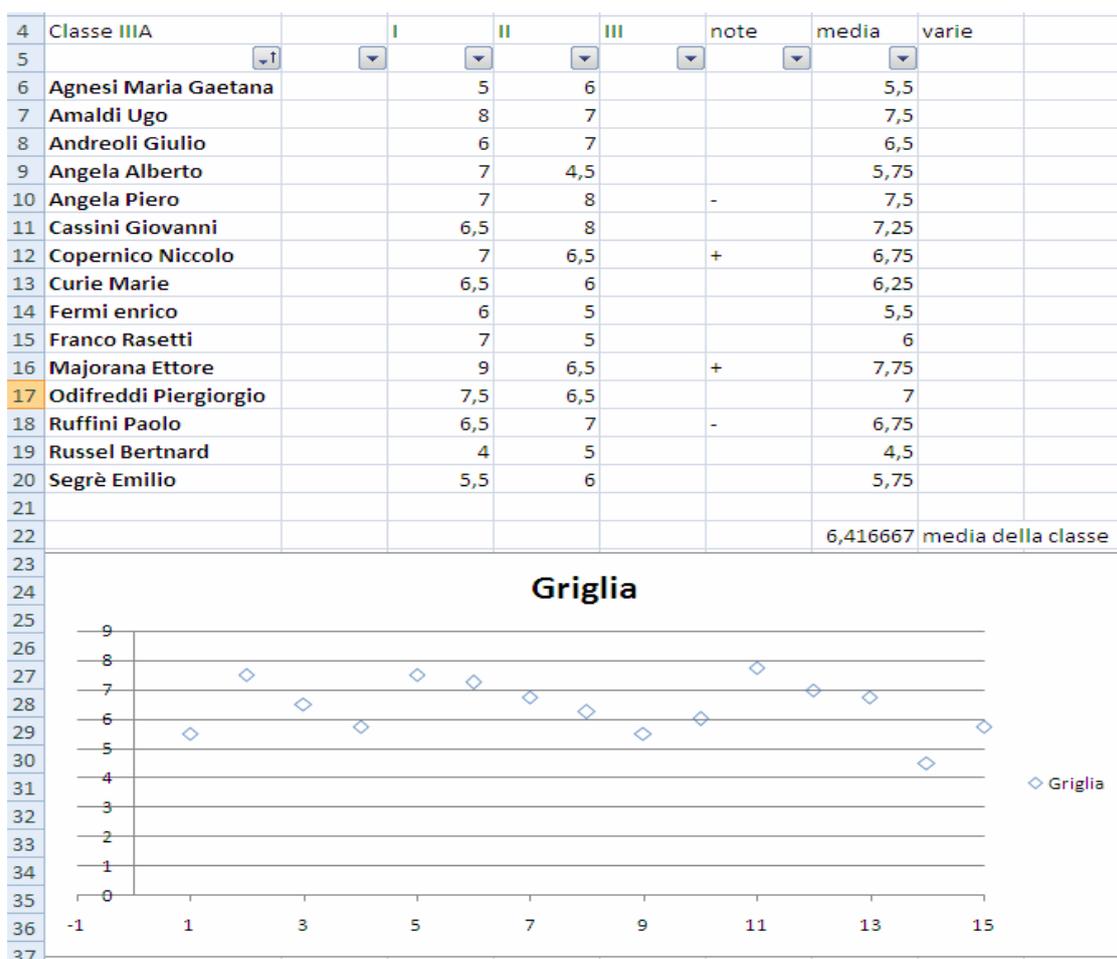
CRITERI DA ADOTTARE PER LA VALUTAZIONE DELL'ALUNNO

Valutazione e docimologia

È noto che spesso è difficile attribuire una valutazione coerente quando si correggono compiti in classe, è difficile riuscire a tenere in considerazione tutti gli aspetti della valutazione e paragonarli a quelli di altri studenti. Ecco perché è buona regola attribuire ad ogni esercizio una valutazione in punti pesata rispetto alla difficoltà dell'esercizio stesso.

Il punteggio sarà noto anche allo studente che quindi potrà valutare anche la sua prestazione in base alla difficoltà della prova. I punteggi sommati tra loro daranno una valutazione che verrà confrontata con una griglia di valutazione che quindi attribuirà il voto in decimi. La docimologia aiuta a valutare e auto valutarsi ma credo che non si debba essere troppo rigidi. È un buon consiglio adoperare un foglio di calcolo elettronico per inserire i dati visto che se si ha a che fare con più di una classe i numeri e valutazioni da gestire diventano importanti. Alla fine dei quadrimestri potremo fare medie ed estrarre valori utili a comprendere l'andamento della classe. L'esperienza rimane ciononostante il miglior modo per individuare eventuali problematiche, ma l'aiuto di parametri semirigidi per la valutazione è comunque auspicabile.

Vediamo un esempio semplice di come utilizzare un foglio di calcolo elettronico per la valutazione.



È possibile quindi inserire grandi quantità di dati che possono essere utili per determinare il voto dello studente in modo più coerente. Infatti una volta distribuiti sulla griglia i voti le medie o altri parametri si può

osservare la situazione globale e solo dopo apporre, se necessario, qualche modifica (se la media è troppo alta: sottovalutazione della prova. O se troppo bassa: sopravvalutazione della prova). Inoltre è possibile valutare se ci sono differenze tra una classe e l'altra dove si sono insegnati i medesimi argomenti. Insomma all'insegnante non mancano gli strumenti e le tecniche per cercare di attribuire una valutazione il più coerente possibile.

Conclusioni

In questa tesi ho voluto raccogliere degli argomenti che offrissero allo studente la percezione di una continuità didattica nello studio della fisica, mostrando come sia possibile far interagire le conoscenze e i prerequisiti. I temi qui trattati, attraversano tutto il triennio e possono servire come spunto per costruire un percorso multidisciplinare da presentare all'esame di stato. Ho cercato di raccogliere i concetti più significativi e interessanti, che permettano raccordi tematici con la storia, la filosofia, la tecnologia e soprattutto con l'informatica, tramite l'utilizzo dei software.

Considerazioni di carattere didattico sono già presenti in alcuni dei paragrafi che precedono queste conclusioni, dove risulta in modo evidente, la mia personale convinzione, che questo periodo di formazione ha avuto certamente una valenza positiva. La scuola di specializzazione è riuscita a trasmettere metodo e capacità organizzative per quanto riguarda la stesura di percorsi didattici, capacità che devono essere poi perfezionate nel corso dell'esperienza del docente. Riuscire a trasmettere delle linee guida che non contrastino con la piena autonomia e laicità dell'insegnamento è comunque da considerarsi un ottimo obiettivo. In questa tesi ho voluto raccogliere solo alcune delle conoscenze e capacità acquisite, una *summa* di quello che sono riuscito ad apprendere nel corso delle lezioni di tirocinio frontale ed attivo.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Le immagini che sono state mostrate sono state create dal sottoscritto con l'ausilio di Cabri Géomètre Plus, Excel, E-Field, Gravitation, Visio Word, ad eccezione di alcune scaricate dalla rete.

Siti di riferimento

http://xoomer.alice.it/cristiano.dane/cabri_calcolo.htm

<http://www2.polito.it/didattica/polymath/htmlS/Archivio/Mappa/Argomenti/Cabri.htm>

<http://www.matematica.it/tomasi/figurecp/index.htm>

<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/index.html>

<http://www.polimetrica.com/download/L100318r0AttiDeIVConvegnoOpenAccess.zip>

testi di riferimento

Unità didattica di fisica “Legge di gravitazione universale” Riezzo Vittorio

“Il mondo della fisica”, Ugo Amaldi. Editrice Zanichelli, edizione 1995

“Fisica 1”, Halliday, Resnick, Krane. Editrice Ambrosiana edizione 2001

“Physica”, Antonio Caforio, Aldo Ferilli. Editrice Le Monnier per i licei scientifici edizione 1991

Programma PNI

<http://www.fisica.unige.it/pls/linea2/PNI.htm#FISICA%20PER%20IL%20TRIENNIO>

Dispense commentate di tirocinio a cura del professor Luigi Tomasi

Dati su pianeti e Sole

http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_solare

“ Fisica 1 “ Hallyday, Resnick, Krane casa Ed Ambrosiana 4° edizione 1993 Milano

<http://www.astrosurf.com/cosmoweb/sistemasolare/pianeti/tabella.html> NASA

Spunti didattici

Filmato “PSSC : la legge di gravitazione universale”

Filmato ”PSSC: le forze ”

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.