Preparazione Esperienze Didattiche
e
Laboratorio di Didattica della Fisica
(A.A. 2000/2001, Prof. G. D'Agostini)

1. **Lunedì 16/10, 14:00–18:00**

   Breve introduzione e discussione orario.
   Discussione sull'esperienza del volano.
   Misure con il **volano** nei Lab. di Via Tiburtina. Per ogni studente: 10 serie di misure senza bulloni; 1 serie per ogni configurazione di bulloni (1–3 coppie o più); 1 serie con palette.
   Uso del calibro.
   → L'elaborazione dati <u>individuale</u> viene assegnata per casa (seguire la traccia sulla raccolta dei promemoria).

   Cosa abbiamo imparato

   – <u>Metodologia</u>: Uso calibro; grafici su carta millimetrata normale; tracciamento retta di best fit; determinazione grafica dei parametri della retta; linearizzazioni.
   – <u>Fisica</u>: Moto uniformemente accelerato; misura di velocità e accelerazione tramite traguardi equidistanziati; misura di momento di inerzia e di momento resistente; dipendenza del momento di inerzia dalla massa a parità di distanza dall'asse di rotazione; effetto della resistenza del mezzo.

2. **Martedì 24/10, 14:00–17:00**

   Di nuovo discussione orario → si decide per il martedi 9–13.
   Visita al laboratorio di calcolo di Matematica per mostrare l'uso di *Mathematica*.
   Esperienza automatica su **guida a basso attrito** PASCO.
   Primi accenni al logbook.
   → Elaborazione per casa: illustrare esperienza e suo uso nella didattica.

   Cosa abbiamo imparato

   – <u>Metodologia</u>: Uso materiale dimostrativo automatico interfacciato al computer. Misure di distanza con "sonar"; calibrazione strumenti (velocità del suono).
   – <u>Fisica</u>: Posizione, velocità e accelerazione di "moto qualsiasi" unidimensionale; forza di attrito ($\approx$ costante); piano inclinato; urto elastico vincolato su una direzione.

3. **Martedì 31/10, 9:00–13:00**

   Logbook.
   Cifre significative.
   Esperienza di interpolazone fra le tacche.
   Tabelle e istogrammi. **Statistica descrittiva** (tutto il capitolo 5 del LV1, con eccezione della covarianza): tabelle, grafici e riassunti statistici: media, moda e mediana; intervallo di dispersione, fwhm, hwhm, deviazione standard; skewness e kurtosis.

Formule pratiche e uso delle calcolatrici.
Statistica descrittiva, inferenziale e loro interferenze. Esperienza automatica del piano inclinato.
Primi accenni al logbook.
→ Elaborazione per casa: analisi delle differenze stimati e valori letti al nonio: istogramma, media, σ (etc. chi vuole). Usare la calcolatrice tascabile.

Cosa abbiamo imparato

- Metodologia: Errore di lettura; cifre significative (significato e propagazione 'rozza'); statistica descrittiva. Non confondere statistica descrittiva e statistica inferenziale. Fare attenzione ai 'dogmi': verificare sperimentalmente ogni assunzione ogni qual volta sia possibile.
- Fisica: Niente di rilevante.

4. **Martedì 7/11, 9:30–13:15**

Logbook: esempi di quadernoni degli studenti di chimica.
Misure elettriche. Uso del multimetro digitale: misure di resistenza, di tensione e di corrente.
Resistenze in serie e in parallelo. Collanina di resistenza con gli estremi cortocircuitati (effetto sorpresa). Resistenza attraverso il corpo umano e sua influenza sulla misura di resistenze.
Misura della carica del condensatore in funzione del tempo (R=10–30 MΩ, $C = 2.2\mu$F).
Misura della costante di di tempo e della resitenza effettiva del circuito.
→ Elaborazione per casa: determinazione di τ mediante analisi su carta semilog. Confrontare risultati e previsioni teoriche per esperienza della collanina. Perché i condensatore non si caricava alla tensione della batteria? Provare a dare una giustificazione quantitativa (cioè consistente con altre osservazioni sperimentali).

Cosa abbiamo imparato

- Metodologia: Uso di scheda protoboard; realizzazione di un circuito elementare (disegno→realizzazione); uso multimetro digitale; resistenza interna dello strumento e suo effetto sulle misure di tensione (simile effetto dovuto al corpo umano quando la resistenza viene tenuta con le dita); determinazione di un andamento in funzione del tempo mediante cronometraggio manuale; uso di carta semilog.
- Fisica: Combinazione di resistenze; legge di Ohm; carica e scarica del condensatore; costante di tempo ($\tau = RC$); analogia scarica condensatore e decelerazione dovuta ad attrito del mezzo ($-\beta\,\vec{v}$).

5. **Martedì 14/11, 9:10–13:10**

Effetto della resistenza finita del voltmetro nella misura del tempo di carica del condensatore: Risoluzione tramite teorema di Thevenin (teorema solo enunciato e applicato al caso di interesse).
→ Rianalizzare anche i dati con $R \approx 30\,\mathrm{M}\Omega$. Per le due serie di misure: $\tau \to R_{\mathrm{eq}} \to R_V$.
Misure manuali di periodo: dispersione dei valori (10 misure del tempo di 10 oscillazioni).
Esperienza della **molla** [vedi raccolta di promemoria, con le seguenti varianti: due sole serie di misure; prime stima di k dalla differenza di allungamento fra 4 dischetti e 10 dischetti, ($\Delta F = k\Delta x$); confronto con k ottenuta dal periodo misurato con 5 dischetti; controllo del suo ordine di grandezza].
Uso carta log-log. Misura del tempo di riflesso.

Grafici, fit, istogrammi e indicatori statistici con **kaleidograph**.
→ Elaborazione per casa: analisi grafica esperienza molla. Analisi statistica delle misure di periodo e dei riflessi.

Cosa abbiamo imparato

- Metodologia: Cronometraggio manuale; misure di elongazione; ritardo medio e fluttuazioni nelle misure manuali di tempo. Prime stime con dati parziali, consistenza fra vari metodi e verifica degli ordini di grandezza. Uso di carta log-log. Linearizzazione T Vs $\sqrt{M}$. Misura simultanea di due grandezze fisiche (k e g). Come reagire se il grafico indica discordanze con quanto ci si attendeva. Uso di semplice programma commerciale di analisi dati.
- Fisica: Teorema di Thevenin. Allungamento e periodo di oscillazione di una molla ideale.

6. **Martedì 21/11, 9:00–13:00**

Introduzione "maieutica" al **ragionamento probabilistico**: monete, dadi, squadre di calcio, eventi atmosferici, errori di misura, gioco dell'oca, contatore di radiazione. Probabilità: concetto e regole di valutazione basate su argomenti di simmetria e frequenze del passato. Probabilità condizionata. Scommessa coerente e regole di base della probabilità (i tre "assiomi" più la formula della probabilità condizionata). Ruolo dell'approccio assiomatico. Ruolo del calcolo combinatorio. Eventi e insiemi: proprietà formali e probabilità di eventi logicamente connessi. Formule generali della probabilità dell'unione e del prodotto logico di due eventi. Indipendenza stocastica. Classi complete di ipotesi: regola di frammentazione e legge delle alternative.
→ per casa provare a fare qualche esercizio sulla dispensa.
Laboratorio Via Tiburtina: analisi del volano (limitata a s Vs t, s Vs t^2 e s/t Vs t) e della carica del condensatore con **kaleidograph**.
→ confrontare risultati con analisi grafica fatta a mano.

Cosa abbiamo imparato

- Metodologia: Incertezza nelle osservazioni sperimentali e nelle conclusioni degli esperimenti (introduzione). Introduzione alla logica dell'incerto.
Rianalisi esercitazione e confronto metodi. Caleidograph: operazioni su colonne; fit polinomiali ed esponenziali; uso di scale logaritmiche.
- Fisica: Niente di rilevante.

7. **Martedì 28/11, 9:00–13:00**

Numeri incerti (numeri aleatori, o variabili casuali). Esempio dell'ubriaco (e analoghi). **Distribuzioni di probabilità** (e analogia con quelle statistiche). Distribuzione geometrica. Proprietà di $f(x)$ e di $F(x)$. Previsione (valore atteso) e incertezza di previsione come media e deviazione standard della distribuzione. Processo di Bernoulli, distribuzione geometrica e binomiale. Espressioni di $\mathrm{E}(X)$ e $\sigma(X)$ per Bernoulli, geometrica e binomiale. Variabile casuale frequenza relativa di successi e teorema di Bernoulli. Caveat su interpretazioni fuorvianti della "legge dei grandi numeri".
Esperienza di **ottica geometrica** secondo la traccia sulla "raccolta di promemoria": misura "a occhio" di f per lente convergente, divergente e loro combinazione; misure di p, q e ingrandimento su banco ottico; analogia con macchina fotografica (in diverse configurazioni) e proiettore; misure "a occhio" dell'ingrandimento di una lente convergente.
→ riconsegna quaderni: controllare, completare, meditare…

→ fare a casa esperienza del "sollevamento del fondo del bicchiere": utilizzarla per misurare l'indice di rifrazione dell'acqua.

Cosa abbiamo imparato

- Metodologia: Numeri incerti (preambolo all'incertezza di misura).
  Misura diretta e indiretta della distanza focale. Importanza di misure approssimate (f lenti): nell'insegnamento, è preferibile una misura approssimata, da cui si comprenda la fenomenologia che una misura molto precisa, ma altrettanto indiretta.
- Fisica: Fenomenologia di base di ottica geometrica: equazione dei punti coniugati; ingrandimento.

8. **Martedì 5/12, 9:00–13:00**

Problema del sasso nel **pozzo** ($T = 3\,\text{s}$, $v_s = 330\text{m/s}$): → per casa: soluzione standard; soluzione nel limite $v_{fin} \ll v_s$; soluzione numerica; origine fisica della soluzione spuria.
Esercizi di **probabilità**. Limite della binomiale alla poissoniana. Processo di Poisson.
Variabili casuali continue. Distribuzione di Gauss. Normale standardizzata e uso di tabelle.

Escursus 1 a partire dalla perceszione dei grandi numeri (nel discutere il limite $n \to \infty$): tempo di attesa di un processo di probabilità 10^{-3000}; età dell'universo (anni, secondi, ns); massa dell'universo in # protoni; numero fotoni nell'universo; flusso di fotoni da una stufetta da 1000 W; $E_\gamma = h\,\nu$; **spettro** del **visibile** in Amstrong e in nm; relazione fra ν e λ (λ di portante FM?); percezione della **velocità** della **luce**; cm percorsi in un ciclo di clock di un computer da 1000 MHz (con ripasso su multipli e sottomultipli); distanza Terra-Luna; condizione di **geostazionarità**; motivo per il quale è il satellite a girare intorno alla terra, pur essendo la forza simmetrica (3.a legge di Newton); perché i satelliti "cadono senza cadere" (spiegazione intuitiva); leggi di **Keplero** e loro spiegazione in termini delle leggi di **Newton**; momento della quantità angolare e ragione della costanza della velocità aereolare.

Escursus 2 (come esercizio sulla previsione e incertezza del sul numero di molecole): numero di molecole e **peso** dell'**aria** in $\approx$ 400 m^3; equazione di stato dei gas perfetti; peso molecolare; unità di pressione nel SI.

Cosa abbiamo imparato

- Metodologia: Controlli dimensionali; ordini di grandezza.
- Fisica: Discussione a ruota libera fra cinematica, dinamica, moti planetari e termodinamica, passando attraverso la costante di Planck, l'irraggiamento di corpo nero e le onde elettromagnetiche. → **Ripasso!**

9. **Martedì 12/12, 9:00–13:00**

Report studenti:

- Numero di **fotoni** e di **protoni nell'Universo**: $\approx 4 \times 10^{87}$ (da fondo cosmico a 3 K, leggi del corpo nero e raggio di 15 miliardi di anni luce) e $\approx 3 \times 10^{79}$ (condizione di espansione critica).
- Flusso di **fotoni** sull'infrarosso da **stufetta** da 1000 W: (... se $\lambda = 1000\,\text{nm}$, ... se $\lambda = 10000\,\text{nm}$). Segue discussione su alcune applicazioni di irraggiamento di onde elettromagnetiche: lampade ad incandescenza e a scarica nei gas; grill a infrarossi e forni a microonde (con osservazioni su assorbimento e proprietà di cottura). Accenno alla fotometria → per la prossima volta.

– Problema del sasso nel **pozzo**: "soluzione bovina"; soluzione in T_1 e T_2 (proposta dallo studente, con T_1 e T_2 tempi di caduta del corpo e di ritorno del suono); soluzione numerica iterativa. Problema fisico risolto dalla soluzione spuria.
– Leggi di Newton e di Keplero: studente assente.

Esperienze dimostrative su momento di inerzia e delle forze: asta dell'equilibrista; asta in equilibrio su un dito; giroscopio (analisi vettoriale); sgabello girevole.
Esperienza fuori programma del rimbalzo di due palline a contatto fra di loro (massa piccola sopra quella grande).
Filmato sull'introduzione alle forze: segue discussione sulla realizzazione a basso costo dell'esperienza di Cavendish.
$\rightarrow$ valutare ordine di grandezza di k di richiamo della bilancia di torsione sapendo che $T = 12$ minuti.

Cosa abbiamo imparato

– Metodologia: diversi modi di risolvere un problema. Ordini di grandezze e connessione la vita quoditiana.
  Problemi pratici per progettare esperienza di Cavendish: bilancia di torsione, schermo da effetti spuri altrimenti dominanti (correnti d'aria ed effetti elettrostatici), "amplificazione" della risposta (sensibilità come $\mathrm{d}U/\mathrm{d}S$, con U uscita e S stimolo) misura della condizione asintotica di equilibrio dal centro delle oscillazioni.
– Fisica: Leggi del corpo nero. Dinamica dei corpi rigidi. Tipi di forze.

10. **Martedì 19/12, 9:00–13:00**

Soluzione approssimata del sasso nel **pozzo** ($l << T\, v_s$ e $g\, T << v_s$).
Problema del **rocchetto** su piano inclinato con attrito (con la partecipazione di Rocco Mazzullo).
Dimostrazione del **rattleback**.
Moto circolare in **campo gravitazionale**, legge $T^2 \propto R^3$, energia cinetica, potenziale e totale; momento della quantità di moto. Analisi in R nel caso generale: **potenziale efficace** (gravitazionale più centrifugo).
Delle varie orbite di satelliti artificiali.
Report studenti:

– Elementi di **fotometria**: flusso luminoso; intensità luminosa della sorgente; illuminazione. Lumen, candela, lux. Problemi di definizione dell'unità di misura. Dipendenza dal colore. Effetto della riflessione ambientale.
  Excursus sull'esposizione fotografica.
– Metodi di misure di **distanze astronomiche**: triangolazioni, cefeidi, red shift. Unità astronomica, parsec, anno luce.

Dimostrazione del "**pallinometro**" e analogie con moto casuale,problema della rovina del giocatore, moto browniano e moto casuale delle molecole nello spazio delle velocità (distribuzione di Maxwell).
Dimostrazione dell'esperimento di **e/m** dell'**elettrone** (S. Petrocchi alla lezione di F. Sebastiani).

Cosa abbiamo imparato

- Metodologia: misure indirette di distanza; misure di grandezze legate a percezioni soggettive.
- Fisica: Ancora su gravitazione e momento della quantità di moto. Fotometria. Richiami di teoria cinetica dei gas. Carica elettrica in campo magnetico.

11. **Martedì 16/1/2001, 9:00–13:00**

Report studenti:

- **Moto browniano**;
- **Rattleback**;
- **Distribuzione di Maxwell** della velocità delle molecole.

Discussione generale (soprattutto sul rattleback)
Spiegazione intuitiva del moto del giroscopio (da *"Thinking Physics"* di L.C. Epstein).
Altri "**indovinelli**" da Epstein (con variazioni): impennata delle macchine e forma dei dragster; palla ruotante legata a corda; chiave inglese tirata con corda; lancio di una palla su piattaforma girevole; caduta verticale di proiettile sparato orizzontalmente; "enigma di Newton"; forza di gravità dentro la terra; moto di un punto materiale in un pozzo che attraversa la terra.
Come riconoscere uova fresche da uova sode (e perché).
Esperienza dimostrativo-quantitativa **e/m dell'elettrone**: → per casa fare conti e verifiche: velocità degli elettroni, campo magnetico prodotto dalle bobine; determinazione di e/m dell'elettrone.
Accenno (brevissimo) agli acceleratori di particelle.

Cosa abbiamo imparato

- Metodologia: misure approssimative in esperienze dimostrative;
- Fisica: Ancora su meccanica, gravitazione, momento angolare e momento delle forze. Teorema di Gauss applicato al campo gravitazionale. Accelerazione di particelle con campi elettrici. Moto di particelle cariche in campo magnetico. Campo magnetico prodotto da solenoidi, da bobine di Helmotz e da magnete permenente cilindrico.

12. **Martedì 23/1/2001, 9:00–13:00**

Breve discussione sugli "indovinelli" di Epstein. Soluzione del problema del pozzo attraverso le terra ($F = -k\,R$: → oscillatore armonico).
Esperienze di laboratorio: **reticolo** di diffrazione e **prisma** (vedi traccia sulla dispensa "Lo spettroscopio - descrizione e impiego" di Alessio-Improta): operazioni preliminari misura degli angoli di deflessione di righe di mercurio e solido; angolo di deflessione minima; misura dell'angolo diedro del prisma.
→ analisi a casa (passo reticolo, misura lunghezze d'onda ignote, indice di rifrazione): si vedano dispense "Ottica geometrica e ottica fisica" di Alessio-Improta, più libri altri di testo.

Cosa abbiamo imparato

- Metodologia: complicazioni pratiche in una esperienza concettualmente semplce (predisposizione dell'ottica, della fenditura e della piattaforma; lettura nonio del goniometro; doppia lettura per ovviare a errore di eccentricità).
- Fisica: Riflessione, rifrazione e diffrazione.

13. **Venerdì 26/1/2001, 15:30–17:30**

Dimostrazioni di **elettrostatica** (nel programma orientamento per il corso di laurea in Fisica): elettroscopio; pendolino elettrostatico; gabbia di Faraday; macchina di Whimshurst; generatore di Van der Graaf.
Acceleratori di particelle (F. Ferroni)

Cosa abbiamo imparato

- Metodologia: esperienze dimostrative;
- Fisica: Elettrostatica (rivedere).

14. **Martedì 30/1/2001, 9:00–10:00**

    Report sulle dimostrazioni di elettrostatica.
    Visione (senza consegna) quaderni e discussione sull'esperienza con lo spettroscopio.
    Discussione su altre questioni sospese: distribuzione di Maxwell, pozzo attraverso la terra.
    "Indovinello" sul principio di Archimede.
    → Appuntamento a **martedì 6 marzo** per il secondo ciclo.

——- Fine 1^o Semestre ——-

15. **Martedì 6/3/2001, 9:30–12:00**

    Assegnazione e discussione problemi propedeutici all'**induzione probabilistica** (tre scatole con anelli, test AIDS o mucca pazza con $P(\text{Positivo}\,|\,\text{Infetto}) = 0.2\%$, sequenza di quattro teste consecutive in condizioni di sospetto che la moneta possa avere due teste, dai valori veri alle osservazioni e viceversa).
    Riepilogo concetti di **probabilità**, distribuzioni di variabili discrete e continue. Specchietto riassuntivo processo di Bernoulli → {Geometrica, Pascal, Binomiale} → {Esponenziale, Gamma, Poisson }, χ^2, limiti a normale.
    Propagazione di incertezza: caso generale (accenno al problema), linearizzazione e combinazione lineare (proprietà di media e varianza). Teorema del limite centrale e applicazioni: distribuzione della media aritmetica, limite a normale di binomiale e poissoniana (attraverso proprietà riproduttiva), generatore di nuneri casuali gaussiano, distribuzione degli errori di misura.

Cosa abbiamo imparato

- Metodologia: imparare dai dati sperimentali: schema induttivo-deduttivo, confronto di ipotesi e incertezza sui valori di grandezze.

16. **Venerdì 9/3/2001, 9:00–12:00**

    Uso di **computer** e proiettore nella didattica. Simulazione di esperienze dimostrative di fisica con **applets** Java (sito *http://www.hazelwood.k12.mo.us/~grichert/sciweb/applets.html* come esempio di catalogo, uso di motori di ricerca, es. Google, per trovare altri siti). Segue discussione su internet, reti TCP/IP, banda passante, ruolo di internet nella ricerca per scambio informazioni e controllo remoto di esperimenti.
    Discussione sui tre problemi della lezione precedente. Introduzione all'**inferenza bayesiana** mediante il problema delle 6 scatole (vedi anche *http://public.lanl.gov/kmh/course/sixboxes.pdf* e *http://xxx.sissa.it/abs/physics/9908014*.)

Cosa abbiamo imparato

- Metodologia: *"problem(s) in the probability of causes... the essential problem(s) of the experimental method"* (H. Poincaré).

17. **Venerdì 14/3/2001, 9:00–12:00**

Discussione sull'iumpostazione del corso e degli sviluppi futuri.
Segue problema delle sei scatole (per dettagli vedi articolo sull'American Journal of Physics *Teaching statistics in the Physics curriculum: Unifying and clarifying role of subjective probability* (preprint sulla pagina web del docente).
Esempio della telefonata e del sospetto baro. **Inferenza probabilistica** e relazione con il metodo di falsificazione. Probabilità e **decisione**.
Soluzione del problema dell'AIDS.
Esperienze con lavagna magnetica (Leybold) a cui si applicano dispositivi vari.

- Misure di forze con **dinamometri** con diverse scale: composizione vettoriale delle forze.
- Bilancia dinamometrica, bilancia a due piatti.
- Sistema dinamico complesso: carrucola,peso,molla.

18. **Mercoledì 21/3/2001, 9:00–12:00**

Esperienze con **guida** Leybold, **carrelli**, pesi e carrucola.

- Allestimento di un sistema per lo studio del moto di carrelli .
- Piano inclinato e carrello.
- Sistema carrello, carrucola e pesetto.

19. **Mercoledì 28/3/2001, 9:00–12:00**

Esperienze di **ottica**

- Esperienza sulla rifrazione della luce bianca.
  a Osservazione della riflessione totale.
  b Osservazione della dispersione della luce bianca: spettro del visibile.
- Esperienze con luce monocromatica,rifrazione.
- Diffrazione prodotta con una fenditura e laser He-Ne: misura di lambda-laser.
- Riflessione totale, fibre ottiche.
  a Spirale con il laser.
  b Simulazione di fibra ottica.
- Riflessioni all'interno di un grosso prisma: percorso della luce.
- Anelli di Newton.
- Polarizzazione della luce con Polaroid.
  a Polaroid incrociati in luce bianca e con laser .
  b Polarizzazione per riflessione.

20. **Mercoledì 4/4/2001, 9:00–12:00**

Esperienze di **ottica**

- Interferenza prodotta con laser e specchi di Fresnel.
- Anelli di diffrazione prodotti da particelle infinitesime.

Pompa da vuoto.

a Ebollizione a temperatura ambiente di varie miscele.
b Verifica che il peso dei corpi diminuisce per la spinta di Archimede.
d Espandibilita di un gas: palloncino nel vuoto: $PV = k$ qualitativo.

Verifica rozza della **legge di Stevino**.
Osservazione del comportamento di **liquidi non miscibili** in tubo ad U.

Cosa abbiamo imparato (Esperienze 14/3 – 4/4)

Come si allestiscono e dispongono tutti i dispositivi usati, quali difficoltà si incontrano, come si usano le apparecchiature,c osa ci si aspetta di osservare da ciascuna esperienza. Quali i limiti. Risoluzione dei molteplici probemi tecnici che si incontrano.

Inferenza bayesiana applicata alle misura di grandezze fisiche:

$$f(\mu\,|\,x) \propto f(x\,|\,\mu) \times f_\circ(\mu).$$

Schema del "mondo a due livelli" e Significato pratico dei vari termini. Ruolo (concettuale e pratico) delle prior. Iterazione della procedura e verosigmiglianza globale in caso di osservazioni indipendenti. Inferenza basata su **media e deviazione** standard di osservazioni relative allo stesso valore vero e prese nelle stesse condizioni sperimentali ("$\mu = \overline{x} \pm \sigma/\sqrt{n}$"). Concetto di "sufficienza statistica".

21. **Mercoledì 11/4/2001, 9:00–12:00**

Forza elettromotrice indotta da magnete permanente su solenoide e da una elettrocalamira.

Interazione elettromagnete e filo percorso da corrente elettrica.

Campo magnetico generato da filo percorso da corrente.

?? Anche esperienza con i tre polarizzatori? (natura vettoriale della luce) **??**.

22. **Mercoledì 18/4/2001, 9:00–12:00**

Vaschetta a onde Leybold: produzione propagazione di onde piane e circolari; riflessione e rifrazione.

Incertezze dovute ad **errori sistematici**: trattazione mediante concetto della probabilità condizionata:

$$f(\mu\,|\,x) = \int f(\mu\,|\,x, h) \cdot f(h)\mathrm{d}h\,.$$

Dettagli del caso di "errore di zero".

23. **Mercoledì 2/5/2001, 9:00–12:00**

Onde sonore: tentativo di visualizzazione mediante oscilloscopio.

Principio di funzionamento dell'**oscilloscopio**.

Interferenza di onde sonore.

Trasmissione e ricezione di **microonde** (3 cm): onde stazionarie, riflessione, rifrazione e polarizzazione.

24. **Mercoledì 9/5/2001, 9:00–12:00**

Discussione sulla dimostrazione agli studenti SSIS.

Errori sistematici e incertezze di tipo A e di tipo B: esempi.

25. **Giovedì 10/5/2001, 15:00–16:30**

Dimostrazione didattica per studenti SSIS (LDF2) di ondoscopio (propagazione, riflessione, interferenza, rifrazione, etc), laser e microonde (interferenza).

26. **Mercoledì 16/5/2001, 9:00–12:00**

Inferenza probabilistica applicata ai fit. “Recupero” dei minimi quadrati sotto particolari condizioni. Incertezza sui parametri e loro correlazione. Applicazione all'esperienza della molla.

Esperienza con forno a microonde.

27. **Mercoledì 16/5/2001, 9:00–11:00**

Propagazione di incertezza: caso generale, linerizzazione, contributo della covarianza, calcolo della covarianza ottenuta dalla propagazione. Applicazione all'esperienza della molla $\rightarrow \rho(k, g)$.

——- **Fine corso** ——-