Corso di
PROGRAMMAZIONE I

Guida di Laboratorio
Anno Accademico 2006-2007

Parte A
Richiami di analisi degli errori

1) ***<u>Media, deviazione standard e deviazione standard della media</u>.***

Supponiamo di avere misurato sperimentalmente una qualche grandezza x molte volte, dopo aver individuato e ridotto a zero il più possibile le fonti di errore "sistematico" (ovvero le incertezze sperimentali che non possono essere rivelate ripetendo la misura; quelle che possono essere rivelate in questo modo sono invece chiamate incertezze sperimentali "casuali"). Ripetendo la misura N volte, si può dimostrare che la miglior stima di x è la media delle misure:

$$x_{best} = \bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i \ .$$

La deviazione standard è la stima dell'incertezza media delle singole misure $x_1 \dots x_N$, ed è definita come:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2} \ .$$

La deviazione standard della media caratterizza, invece, l'incertezza media di $\bar{x}$, e si calcola nel seguente modo:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} \ .$$

2) ***<u>Media pesata</u>.***

Supponiamo di disporre di risultati $\bar{x}_i$ di n esperimenti di una grandezza x, denominate x_i *(i = 1,…,n)*, ognuna caratterizzata da un errore σ_i *(i = 1,…,n)*. La miglior stima per la grandezza x è data dalla media pesata:

$$x_{wav} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i},$$

dove $w_i = 1/\sigma_i^2$.

L'incertezza che affligge la misura è data da:

$$\sigma_{wav} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} w_i}} \ .$$

3) *Distribuzione di Gauss.*

Se le misure sono affette da piccole sorgenti di errori casuali e trascurabili errori sistematici, allora i valori misurati saranno distribuiti su una curva a campana detta "funzione di Gauss" (centrata in *X*, con larghezza σ):

$$f_{X,\sigma} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-X)^2/2\sigma^2} .$$

4) *Livello di confidenza.*

Per verificare che i valori ricavati x_{best} e $\sigma_{\bar{x}}$ siano valori ragionevoli rispetto al valore conosciuto della grandezza x_{vero} si può calcolarne il livello di confidenza. Definiamo innanzitutto il numero di deviazioni standard per cui x_{best} differisce da x_{vero} :

$t = |x_{best} - x_{vero}| / \sigma_{\bar{x}}$.

La probabilità, date le ipotesi fatte, di ottenere un risultato che differisca da x_{vero} per *t* o più deviazioni standard è:

P(al di fuori di tσ *) = 1 - P(entro t*σ *).*

Dove (vedere Tabella A.):

$$P(\text{entro } t\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-t}^{t} e^{-z^2/2} dz = erf\left(\frac{t}{\sqrt{2}}\right).$$

A questo punto *P(al di fuori di t*σ *)* prende il nome di livello di confidenza CL (area delle code della distribuzione gaussiana).

5) ***Confronto: test del*** χ^2 ***.***

Una stima dell'accordo tra un insieme *n* di punti sperimentali y_i e una funzione $f(x_i)$ si può ottenere misurando χ^2 , definito come:

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^{n} \frac{(y_k - f(x_k))^2}{\sigma^2(y_k)} .$$

Se si confronta una distribuzione di eventi con una distribuzione di probabilità non normalizzata, ad esempio una gaussiana, la formula del χ^2 diventa:

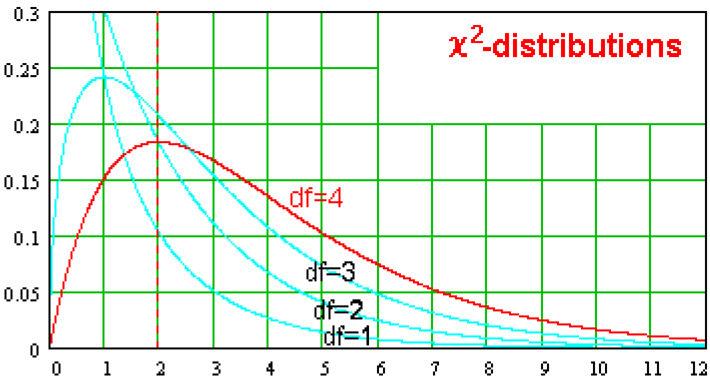
$$\chi^2 = \sum_{k=1}^{n} \frac{(O_k - E_k)^2}{E_k} ,$$

dove è stato diviso l'intervallo dei possibili valori di *x* in *n* intervalli, per cui O_k rappresenta il numero di osservazioni che cadono nell'intervallo k-esimo e E_k il numero atteso delle misure dell'intervallo k-esimo. χ^2 è un indicatore ragionevole dell'accordo tra la distribuzione osservata e quella attesa. Se χ^2 = 0 l'accordo è perfetto, cosa molto improbabile. In generale ci si aspetta che ogni termine della somma sia dell'ordine di 1. Il chi quadrato ridotto si definisce, invece, nel modo seguente:

$\tilde{\chi}^2 = \chi^2 / N_{DF}$,

essendo N_{DF} il numero di gradi di libertà:

$N_{DF} = N - N_{PAR} - N_V$ dove N è il numero di intervalli significativi e N_{PAR} è il numero di parametri, N_V il numero di vincoli.
Nel grafico è riportata la distribuzione di probabilità del $\tilde{\chi}^2 = \chi^2 / N_{DF}$ per vari gradi di libertà e nella tabella B sono travate la Probabilità di trovare un $\tilde{\chi}^2$ maggiore di quello da voi calcoltato P($\tilde{\chi}^2 \geq \tilde{\chi}^2{}_0$) (area della coda).



6) ***<u>Propagazione degli errori.</u>***

Supponiamo ora di aver misurato una o più grandezze *x, y,…* e calcolato gli errori corrispondenti σ_x, σ_y, …, e di dover calcolare la funzione *z = f(x,y,…)*. La miglior stima del valore della funzione sarà:

$z_{best} = \bar{z} = f(\bar{x}, \bar{y}, ...)$.

Per stimare l'incertezza di questo risultato si applica la propagazione degli errori delle misure *x, y,* quindi:

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\sigma_y\right)^2 + ... + 2\sigma_{xy}\frac{\partial f}{\partial x}\frac{\partial f}{\partial y}}.$$

In particolare, nel caso in cui $z = kx^a y^b$ e se gli errori su *x* ed *y* sono **indipendenti** e **casuali**, il calcolo della deviazione standard relativa si riduce a:

$$\frac{\sigma_z}{z} = \sqrt{\left(a\frac{\sigma_x}{x}\right)^2 + \left(b\frac{\sigma_y}{y}\right)^2} .$$

7) ***<u>Metodo dei minimi quadrati: relazione lineare.</u>***

Supponiamo di avere una serie di misure (x_i, y_i) *i*=1…N con gli x_i tutti esatti e gli y_i tutti ugualmente incerti ($\sigma_{y1}=\sigma_{y2}=\sigma_{y3}=....=\sigma_y$), quindi assumiamo che le misure degli y_i siano governate da distribuzioni normali con larghezza σ_y. Se le variabili x e y sono legate da una relazione **lineare** della forma (con *A* e B come incognite):

$y = A + B \cdot x$,

si può trovare la retta che meglio approssima la serie di misure, minimizzando la funzione:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N} \frac{(y_i - A - Bx_i)^2}{\sigma_y^2}.$$

Differenziando rispetto ad *A* e *B* ed uguagliando a zero si ottiene:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i^2 \sum_{i=1}^{N} y_i - \sum_{i=1}^{N} x_i \sum_{i=1}^{N} x_i y_i}{\Delta},$$

$$B = \frac{N \sum_{i=1}^{N} x_i y_i - \sum_{i=1}^{N} x_i \sum_{i=1}^{N} y_i}{\Delta},$$

dove:

$$\Delta = N \sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} x_i \right)^2.$$

Le incertezze sui parametri calcolati sono le seguenti: $\sigma_A = \sigma_y \sqrt{\frac{\sum x^2}{\Delta}}$ e $\sigma_B = \sigma_y \sqrt{\frac{N}{\Delta}}$.

La incertezza σ_y o è conosciuta sperimentalmente oppure si può stimare: $\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N_{DF}} \sum_{i=1}^{N} (y_i - A - Bx_i)^2}$, con $N_{DF} = N - N_{PAR}$ il numero di gradi di libertà (in questo caso $N_{PAR} = 2$).

La covarianza $\sigma(A,B)$ e la relativa correlazione $\rho(A,B) = \frac{\sigma(A,B)}{\sigma(A)\sigma(B)}$ sono facilmente calcolabili come:

$$\sigma(A,B) = \frac{-\sigma_y^2 \sum x_i}{\Delta},$$

$$\rho(A,B) = \frac{-\sum x_i}{\sqrt{N \sum x_i^2}}.$$

- Supponiamo ora, invece, che per ogni x_i il corrispondente valor vero di y_i sia dato dalla **polinomiale** della variabile *x* (con *A* e *C* come incognite):
  $y = A + C \cdot x^2$.
  Assumendo ancora che le misure degli y_i siano governate da distribuzioni normali con larghezza σ_y, le migliori stime per A e C si ricavano con le formule precedenti, sostituendo $t=x^2$. La relazione lineare diventa: $y = A + C \cdot t$

8) ***Metodo dei minimi quadrati:*** ($\sigma_{y1} \neq \sigma_{y2} \neq \sigma_{y3} \neq \dots \neq \sigma_N$)

Supponiamo ora, che per ogni x_i il corrispondente valor vero di z_i sia dato dalla funzione della variabile *x*, $z = b \cdot e^{a\,x}$. Per poter calcolare i parametri a e b, si può sempre utilizzare il metodo dei minimi quadrati per la funzione y = B + A · x dove y=lg(z), A=a, B=lg(b). Le incertezze sulla variabile y non sono più uguali e devono essere calcolate con la propagazione degli errori, note le incertezze su z.

Si può trovare la retta che meglio approssima la serie di misure, minimizzando la funzione:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N} \frac{(y_i - A - Bx_i\ )^2}{\sigma_{y_i}{}^2} .$$

Differenziando rispetto ad A e B ed uguagliando a zero si ottiene:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{x_i{}^2}{{}_i^2} \sum_{i=1}^{N} \frac{y_i}{\sigma_i^2} - \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2}}{\Delta}$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\sigma_i^2} - \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^{N} \frac{y_i}{\sigma_i^2}}{\Delta}$$

dove:

$$\Delta = \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\sigma_i^2} - \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{\sigma_i^2}$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sum \frac{x_i{}^2}{\sigma_i{}^2}}{\Delta}}$$

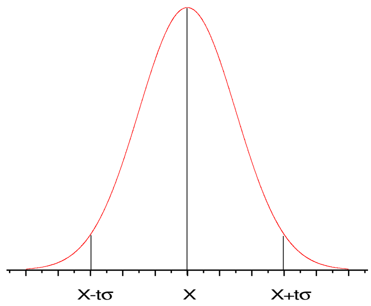
$$\sigma_B = \sqrt{\frac{\sum \frac{1}{\sigma_i{}^2}}{\Delta}}$$

covarianza: $\sigma(A,B) = \sqrt{\dfrac{-\sum \frac{x_i}{\sigma_i{}^2}}{\Delta}}$

Tabella A

Probabilità percentuale per la distribuzione gaussiana

$$P\left(X - t\sigma \le x \le X + t\sigma\right) = \int_{X-t\sigma}^{X+t\sigma} G(x)\cdot dx = \frac{1}{\sigma\cdot\sqrt{2\pi}} \int_{X-t\sigma}^{X+t\sigma} e^{-\frac{(x-X)^2}{2\sigma^2}} \cdot dx$$



t	*0.00*	*0.01*	*0.02*	*0.03*	*0.04*	*0.05*	*0.06*	*0.07*	*0.08*	*0.09*
0.0	0.00	0.80	1.60	2.39	3.19	3.99	4.78	5.58	6.38	7.17
0.1	7.97	8.76	9.55	10.34	11.13	11.92	12.71	13.50	14.28	15.07
0.2	15.85	16.63	17.41	18.19	18.97	19.74	20.51	21.28	22.05	22.82
0.3	23.58	24.34	25.10	25.86	26.61	27.37	28.12	28.86	29.61	30.35
0.4	31.08	31.82	32.55	33.28	34.01	34.73	35.45	36.16	36.88	37.59
0.5	38.29	38.99	39.69	40.39	41.08	41.77	42.45	43.13	43.81	44.48
0.6	45.15	45.81	46.47	47.13	47.78	48.43	49.07	49.71	50.35	50.98
0.7	51.61	52.23	52.85	53.46	54.07	54.67	55.27	55.87	56.46	57.05
0.8	57.63	58.21	58.78	59.35	59.91	60.47	61.02	61.57	62.11	62.65
0.9	63.19	63.72	64.24	64.76	65.28	65.79	66.29	66.80	67.29	67.78
1.0	**68.27**	68.75	69.23	69.70	70.17	70.63	71.09	71.54	71.99	72.43
1.1	72.87	73.30	73.73	74.15	74.57	74.99	75.40	75.80	76.20	76.60
1.2	76.99	77.37	77.75	78.13	78.50	78.87	79.23	79.59	79.95	80.29
1.3	80.64	80.98	81.32	81.65	81.98	82.30	82.62	82.93	83.24	83.55
1.4	83.85	84.15	84.44	84.73	85.01	85.29	85.57	85.84	86.11	86.38
1.5	86.64	86.90	87.15	87.40	87.64	87.89	88.12	88.36	88.59	88.82
1.6	89.04	89.26	89.48	89.69	89.90	90.11	90.31	90.51	90.70	90.90
1.7	91.09	91.27	91.46	91.64	91.81	91.99	92.16	92.33	92.49	92.65
1.8	92.81	92.97	93.12	93.28	93.42	93.57	93.71	93.85	93.99	94.12
1.9	94.26	94.39	94.51	94.64	94.76	94.88	95.00	95.12	95.23	95.34
2.0	**95.45**	95.56	95.66	95.76	95.86	95.96	95.06	96.15	96.25	96.34
2.1	96.43	96.51	96.60	96.68	96.76	96.84	95.92	97.00	97.07	97.15
2.2	97.22	97.29	97.36	97.43	97.49	97.56	97.62	97.68	97.74	97.80
2.3	97.86	97.91	97.97	98.02	98.07	98.12	98.17	98.22	98.27	98.32
2.4	98.36	98.40	98.45	98.49	98.53	98.57	98.61	98.65	98.69	98.72
2.5	98.76	98.79	98.83	98.86	98.89	98.92	98.95	98.98	99.01	99.04
2.6	99.07	99.09	99.12	99.15	99.17	99.20	99.22	99.24	99.26	99.29
2.7	99.31	99.33	99.35	99.37	99.39	99.40	99.42	99.44	99.46	99.47

2.8	99.49	99.50	99.52	99.53	99.55	99.56	99.58	99.59	99.60	99.61
2.9	99.63	99.64	99.65	99.66	99.67	99.68	99.69	99.70	99.71	99.72
3.0	**99.73**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.5	99.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	99.994	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.5	99.9993	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.0	99.99994	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella B

Probabilità percentuale per il chi quadrato

Una volta calcolato il chi quadrato ridotto $\tilde{\chi}^2 = \dfrac{\chi^2}{n_g}$ si ricerca nella tabella il valore (nella riga corrispondente al numero dei gradi di libertà). Il valore riportato fornisce la probabilità percentuale (livello di confidenza) che i dati misurati siano descritti dalla funzione prescelta.

$$P = \frac{2}{2^{d/2} \cdot \Gamma(d/2)} \int_{\chi_0}^{\infty} x^{d-1} e^{-x^2/2} dx$$

n_g \ $\tilde{\chi}^2$	*0*	*0.2*	*0.4*	*0.6*	*0.8*	*1.0*	*1.2*	*1.4*	*1.6*	*1.8*	*2.0*	*2.2*	*2.4*	*2.6*	*2.8*	*3.0*	*3.5*	*4.0*	*5.0*
1	100	65	53	44	37	32	27	24	21	18	16	14	12	11	9.4	8.3	6.1	4.6	2.5
2	100	82	67	55	45	37	30	25	20	17	14	11	9.1	7.4	6.1	5.0	3.0	1.8	0.7
3	100	90	75	61	49	39	31	24	19	14	11	8.6	6.6	5.0	3.8	2.9	1.5	0.7	0.2
4	100	94	81	66	52	41	31	23	17	13	9.2	6.6	4.8	3.4	2.4	1.7	0.7	0.3	0.1
5	100	96	85	70	55	42	31	22	16	11	7.5	5.1	3.5	2.3	1.6	1.0	0.4	0.1	
6	100	98	88	73	57	42	30	21	14	9.5	6.2	4.0	2.5	1.6	1.0	0.6			
7	100	99	90	76	59	43	30	20	13	8.2	5.1	3.1	1.9	1.1	0.7	0.4			
8	100	99	92	78	60	43	29	19	12	7.2	4.2	2.4	1.4	0.8	0.4	0.2			
9	100	99	94	80	62	44	29	18	11	6.3	3.5	1.9	1.0	0.5	0.3	0.1			
10	100	100	95	82	63	44	29	17	10	5.5	2.9	1.5	0.8	0.4	0.2	0.1			
11	100	100	96	83	64	44	28	16	9.1	4.8	2.4	1.2	0.6	0.3	0.1	0.1			
12	100	100	96	84	65	45	28	16	8.4	4.2	2.0	0.9	0.4	0.2	0.1				
13	100	100	97	86	66	45	27	15	7.7	3.7	1.7	0.7	0.3	0.1	0.1				
14	100	100	98	87	67	45	27	14	7.1	3.3	1.4	0.6	0.2	0.1					
15	100	100	98	88	68	45	26	14	6.5	2.9	1.2	0.5	0.2	0.1					
16	100	100	98	89	69	45	26	13	6.0	2.5	1.0	0.4	0.1						
17	100	100	99	90	70	45	25	12	5.5	2.2	0.8	0.3	0.1						
18	100	100	99	90	70	46	25	12	5.1	2.0	0.7	0.2	0.1						
19	100	100	99	91	71	46	25	11	4.7	1.7	0.6	0.2	0.1						
20	100	100	99	92	72	46	24	11	4.3	1.5	0.5	0.1							
22	100	100	99	93	73	46	23	10	3.7	1.2	0.4	0.1							
24	100	100	100	94	74	46	23	9.2	3.2	0.9	0.3	0.1							
26	100	100	100	95	75	46	22	8.5	2.7	0.7	0.2								
28	100	100	100	95	76	46	21	7.8	2.3	0.6	0.1								

30	100	100	100	96	77	47	21	7.2	2.0	0.5	0.1

Parte B
Traccia per lo svolgimento dell'esercitazione

1. Scopo dell'esercitazione

Scopo dell'esercitazione è calcolare il valore dell'accelerazione di gravità tramite l'analisi statistica dei dati "simulati" di due esperienze di laboratorio di fisica generale: la misura del periodo di oscillazione del pendolo semplice e le misure di spazio e tempo con stroboscopio lungo un piano inclinato.

2. Come si ricava *g* nelle due esperienze

2.1 Il pendolo semplice

Si consideri una pallina di massa m e di dimensioni trascurabili collegata ad un centro di sospensione mediante un filo inestensibile di massa trascurabile e lunghezza l. La pallina è soggetta alla forza peso $m\mathbf{g}$ e alla tensione del filo, tutti gli attriti sono da considerarsi trascurabili. Un dispositivo di questo tipo si chiama **pendolo semplice** di lunghezza l. Spostando la pallina dalla posizione di equilibrio, questa compie delle oscillazioni attorno ad essa. Nel caso di piccole oscillazioni il moto del pendolo è armonico semplice, di periodo:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\,.$$

Da cui segue che l'accelerazione di gravità è:

$$g = 4\pi^2\frac{l}{T^2}\,.$$

2.2 Il piano inclinato

Un corpo di massa m lasciato libero lungo un piano, inclinato di un angolo ϑ rispetto all'orizzontale, si muove con accelerazione costante $a = g\cdot\sin(\vartheta)$ dove g è l'accelerazione di gravità. Lo spazio percorso in un certo intervallo di tempo t, se la posizione iniziale è s_0, sarà quindi:

$$s = s_0 + \frac{1}{2}g\cdot\sin(\vartheta)t^2\,.$$

2.3 Confronto risultati ottenuti

Avendo fatto due esperimenti per la misura dell'accelerazione di gravita' g, si verifica la loro compatibilita'.

3. Analisi della misura di *g* ottenuta tramite pendolo

Supponiamo di analizzare i dati dell'esperienza di laboratorio che si prefigge di calcolare l'accelerazione di gravità mediante un pendolo semplice. La lunghezza del pendolo l sia stata misurata con un comune centimetro ed il periodo di oscillazione T con un cronometro.

La misura della lunghezza viene eseguita 5 volte, ed i dati (in metri) sono stati salvati in un file. Il periodo invece viene misurato 100 volte, i dati (in secondi) sono stati salvati in un altro file.

DATI IN INPUT

Area -> `/home/comune/turno_T/dati/pendolo`

Files -> `lung_N.dat`

`per_N.dat`

N = 1,..,25 rappresenta il numero del vostro gruppo(PC)

T = 1,2,3,4 N. Settimana intensiva

- *Svolgimento I parte*

Si utilizzi un programma in *C* per leggere i dati dai file e calcolare:

- i valori medi delle grandezze misurate $\bar{l}$, $\bar{T}$;
- le deviazioni standard dei due campioni e dei due valori medi $\sigma(l)$, $\sigma(t)$, $\sigma(\bar{l})$, $\sigma(\bar{t})$;
- il miglior valore per g;
- la propagazione degli errori per ottenere $\sigma(g)$ e $\sigma(\bar{g})$;
- il livello di confidenza di g usando per il confronto il valore tabulato $g = 9.80665\ m/s^2$. La funzione `erf(x)` è presente nella libreria `math.h`, dove $x = t / \sqrt{2}$, dà la probabilità gaussiana P(entro tσ).

  La funzione erf si può trovare anche nella libreria di ROOT: TMath::Erf(x).

Poichè alcune operazioni devono ripetersi più volte all'interno del programma, è certamente consigliabile scrivere delle *funzioni*, che vengano chiamate dal programma principale ogni volta che sia necessario, senza dover riscrivere le stesse righe di codice.

Si compili il programma `nome_file.C` con il consueto comando

```
g++ nomefile.C ɵ nomefile.exe
```

che genera l'eseguibile `nomefile.exe`

- *Svolgimento II parte*

Utilizzando le *classi* TH1F e TF1, si aggiungano le righe di codice necessarie per

- creare l'istogramma dei periodi del pendolo misurati;
- verificare tramite il test del χ^2 la compatibilità della distribuzione dei dati misurati con una distribuzione di gauss, facendo un fit. Calcolare χ^2 e NDF (numero di gradi di liberta') con le *funzioni* di ROOT `GetChisquare()`e `GetNDF()`.
- eseguire il calcolo del livello di confidenza del χ^2 della distribuzione gaussiana e delle misure con la *funzione* `TMath::Prob(chi2,NDF)`.

Si ricorda che :

In programmi C/C++ compilati

1)Occorre includere tutti i files necessari

2)Occorre definire una TApplication : questo serve a far si che al termine dell'esecuzione del programma le finestre grafiche restino visibili.

Ecco un esempio di come appare un programma C che includa librarie di ROOT

```
#include "TCanvas.h"
#include "TF1.h"
#include <iostream>
#include "Tapplication.h"
....
using namespace std;
int main (int argc, char**argv)
{
  TApplication app("App",&argc, argv);
  int a = 10;
  cout << a + b << endl;
  TF1 *f1 = new TF1("f1","sin(x)/x",0.,10.)
```

```
    .....
    app.Run();
    return 0;
  }
```

Ovviamente nella fase di compilazione dovremo indicare al compilatore dove deve andare a cercare le librerie di ROOT richieste dal nostro programma (prog.C):

```
g++ -o prog.x prog.C `root-config --cflags` `root-config --libs`
```

- *Risultati*

Infine, i risultati andranno trascritti su un file con nome **gPendolo_labN.dat**, rigorosamente 15 numeri, uno per riga, in questa sequenza (*N* rappresenta il numero del gruppo):

$$N, cognome1, cognome2, \bar{l}, \sigma(l), \sigma(\bar{l}), \overline{T}, \sigma(T), \sigma(\overline{T}), g, \sigma(g), \sigma(\bar{g}), CL(\bar{g}), \chi^2(T), CL(\chi^2)\ .$$

Il programma utilizzato dovrà come prima riga commento il nome e cognome dei componenti del gruppo e dovrà avere un nome tipo **progPendolo_labN.C**

Il file contenente i risultati e il file contenete il programma dovranno poi essere copiati nell'area comune:

`/home/comune/turno_T/risultati_pendolo/`

4. Analisi della misura di *g* ottenuta tramite stroboscopio

Supponiamo ora di elaborare i dati di un'altra esperienza di laboratorio, che si prefigge di calcolare l'accelerazione di gravità attraverso uno stroboscopio su piano inclinato. Questo strumento permette di ottenere delle fotografie della posizione di un corpo in discesa lungo un piano inclinato ($s_1, s_2, ...$) a diversi tempi ($t_1, t_2, ...$). Sono stati salvati il numero delle misure e le posizioni (in metri) e il numero delle misure ed i tempi (in secondi).

```
                DATI IN INPUT
Area -> /home/comune/turno_T/dati/piano_inclinato
Files -> pos_N.dat
         tempi.dat
```

N = 1,..,25 rappresenta il numero del vostro gruppo(PC)

T = 1,2,3,4   N. Settimana intensiva

Si tenga conto che:

- $\sigma(s)$ = *1 mm* (questo è l'errore sperimentale valutato durante l'esperimento. In caso non si conoscesse, deve essere valutato con la relazione di pag.4);
- ϑ = *π/9*;

- Svolgimento I parte

Si vuole eseguire un fit lineare dei dati con la funzione y=A+B·x (A=s_0 mentre B=$\frac{1}{2} g \cdot \sin(\vartheta)$ e x=t^2, vedi 2.2). Lo scopo di questo esperimento e' calcolare la miglior stima dell'accelerazione di gravità e il suo errore.

Come per l'esperienza precedente, si scriva prima un programma in C:

- leggere i dati.
- scrivere una funzione per il calcolo del metodo dei minimi quadrati per una relazione lineare che calcola *A* e *B* della funzione, gli errori di A e B, χ^2, NDF e χ^2/NDF.
- il valore dell'accelerazione di gravità a partire da *A* e *B*.
- la deviazione standard relativa a *g* con la propagazione degli errori.
- Il confronto con g tabulato mediante la funzione `erf()` contenuta in `math.h`.

- Svolgimento II parte

Inserire nel programma la classe `TgraphErrors` e fare il fit con una retta (polinomio di I grado). Utilizzare `TgraphErrors` e non `Tgraph` perchè σ(s) è noto sperimentalmente.

- calcolare χ^2 e NDF (numero di gradi di liberta') con le *funzioni* `di ROOT GetChisquare()` e `GetNDF()`.
- verificare tramite il test del χ^2 la compatibilità della distribuzione lineare con i dati misurati: per il calcolo del livello di confidenza del χ^2 utilizzare la *funzione* `TMath::Prob(chi2,NDF)`.
- per il confronto col valore tabulato di g utilizzare `Tmath::Erf()`.
- fare i grafici e salvarli.

- Risultati

I risultati andranno trascritti su un file con nome

`gStrob_LabN.dat`

10 numeri rigorosamente in questa sequenza:

$$N, cognome1, cognome2, \chi^2, CL(\chi^2), g, \sigma(g), CL(g)$$

Il file dovrà poi essere copiato nell'area comune:

`/home/comune/turno_T/risultati_piano/`

Va inoltre copiato il programma **progStrob_labN.C**

(ricordarsi di mettere come commento i nomi degli studenti del gruppo).

5. **Analisi del risultato finale su *g***

A questo punto ogni gruppo può confrontare i risultati ottenuti attraverso le due procedure per il calcolo dell'accelerazione di gravità: $g_{pendolo}$ e $g_{stroboscopio}$, calcolandone la compatibilità *CL,* usando la funzione che valuta $erf(t/\sqrt{2})$, con $t = |\bar{g}_p - \bar{g}_s| / \sigma(\bar{g}_p - \bar{g}_s)$, dove $\sigma(\bar{g}_p - \bar{g}_s)$ è l'errore sulla differenza delle due misure che si ottiene con la propagazione degli errori da $\sigma(\bar{g}_p)$ e $\sigma(\bar{g}_s)$.

Se i risultati risultano compatibili, se ne calcoli la media pesata g_f e $\sigma(g_f)$ e il suo livello di confidenza *CL* rispetto al valore tabulato.

- *Risultati*

Creare il file finale:

`g_labN.dat`

contenente i seguenti valori, uno per riga:

$N, cognome1, cognome2, g_{pendolo}, \sigma(g_{pendolo}), g_{stroboscopio}, \sigma(g_{stroboscopio}), g_f, \sigma(g_f), CL(g_f)$

da copiare nell'area comune:

`/home/comune/turno_T/confronto/`

Copiare anche il programma **progConfronto_labN.C**.

- *A richiesta*

Ogni gruppo stampi il codice di tutti i programmi delle sezioni 3, 4 e 5, tutti i file di output con i risultati richiesti e i grafici prodotti con ROOT. Per stampare un file sia di testo sia PostScript, si usi il comando `lpr nome_file.ps`