



UNIVERSITÀ DI PISA

CORSO DI LAUREA IN FISICA

LABORATORIO DI FISICA 3

BASE E AVANZATO

A.A. 2018-19

LEZIONE 1

Prof. Francesco Forti

# Scopi del corso di Laboratorio 3

2

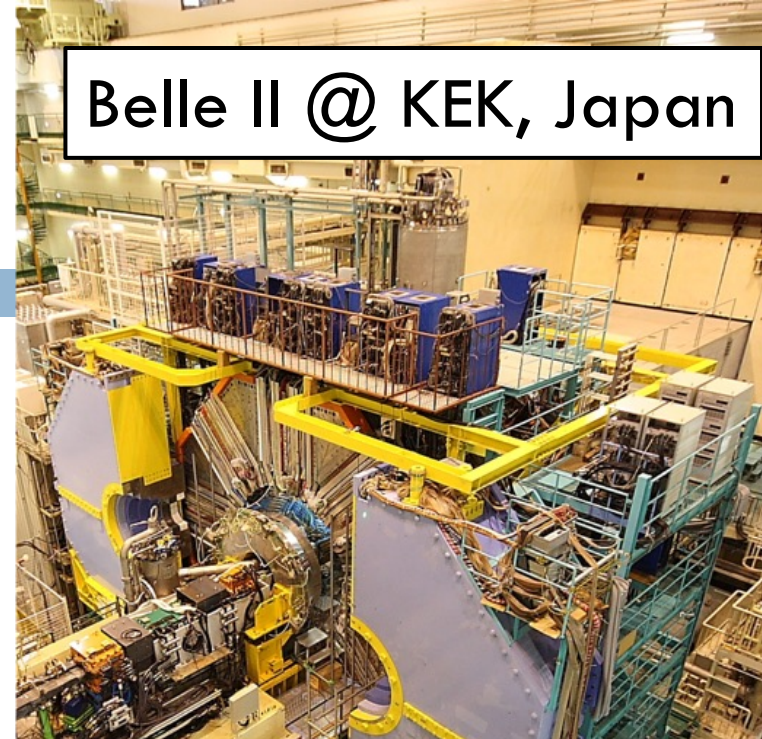
- Acquisire le conoscenze di base sulle basi fisiche dei dispositivi elettronici a semiconduttore e le capacità pratiche di base per progettare, montare ed analizzare semplici circuiti elettronici analogici e digitali.
- Acquisire il senso critico e la capacità di fare il debug di un apparato sperimentale.
- Approfondire le difficoltà sperimentali legati alla misura in circuiti elettronici e in esperienze di fisica fondamentale.
- Imparare a scrivere una relazione scientifica sintetica e comprensibile.

# Perchè elettronica

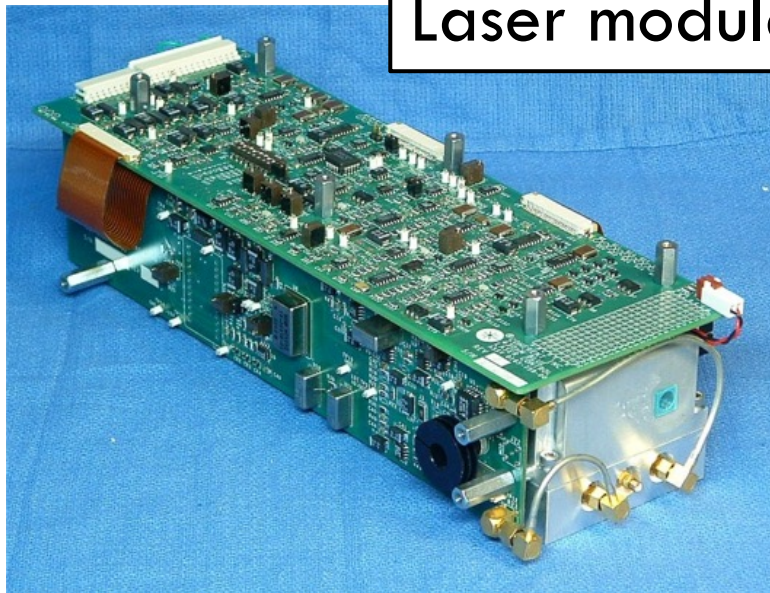
3

- Essenziale in qualunque sistema moderno di misura
- Importante conoscerne abbastanza per sapere cosa si può e non si può fare.

Belle II @ KEK, Japan



Laser module



Babar @ SLAC, US

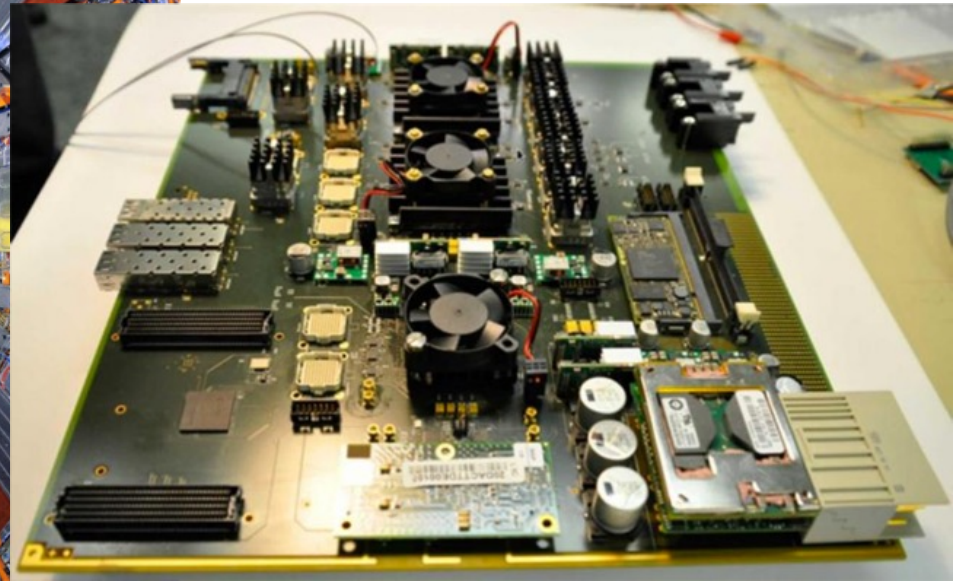
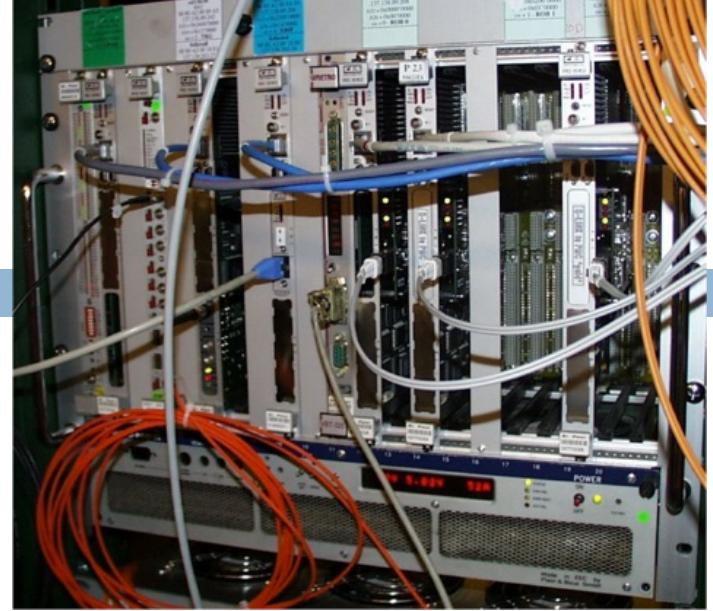
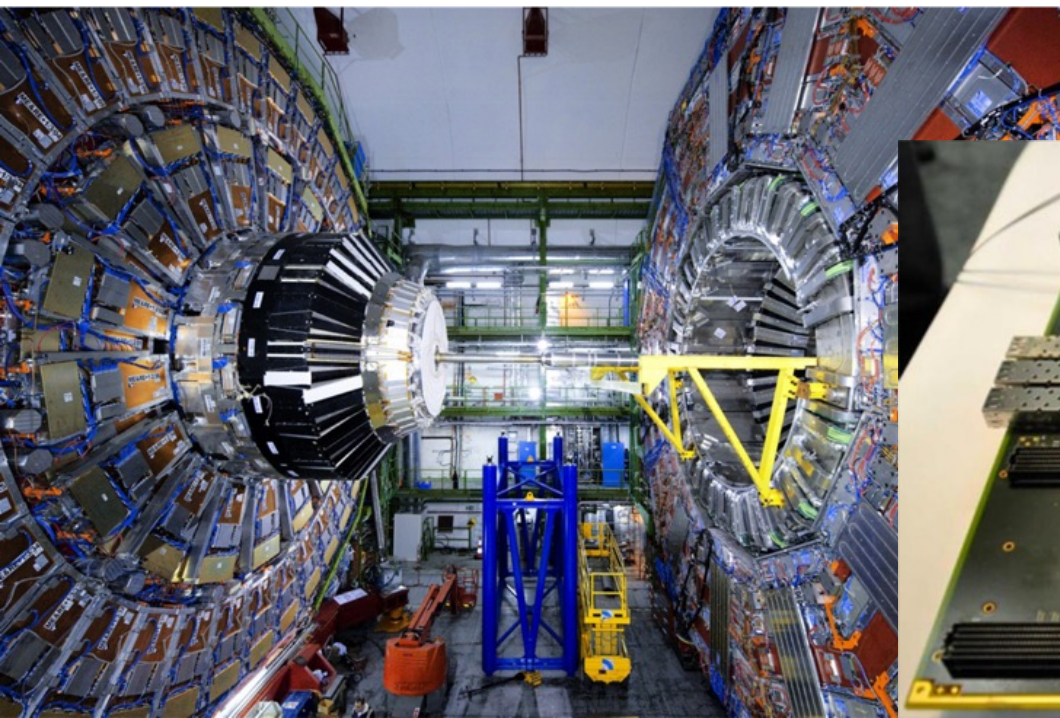




# Elettronica ovunque

4

□ CMS, ATLAS @ CERN



# Struttura dei corsi

- Lezioni teoriche su elettronica analogica e digitale
  - ▣ Perché l'elettronica è ormai necessaria per qualunque apparato sperimentale.
- Esercitazioni di elettronica
  - ▣ Montaggio di circuiti inizialmente semplici e progressivamente più complessi.
  - ▣ Debug, misura, analisi dei dati, relazione
- Esperimenti di fisica fondamentale
  - ▣ Alcuni esperimenti sui fondamenti della meccanica quantistica, di ottica fisica, sulle proprietà dei materiali
- LAB3BASE (12 CFU) – argomenti base; esercitazioni: 1 pomeriggio
- LAB3BASE (12 CFU) + LAB3AVANZATO (6 CFU) – argomenti base + approfondimenti e argomenti avanzati; esercitazioni: 2 pomeriggi
- NB: Si può scegliere LAB3AVANZATO solo insieme a LAB3BASE !
- Ristrutturazione dei corsi per migliorare ed ampliare l'offerta

# Prerequisiti e propedeuticità

## □ Prerequisiti

- ▣ Conoscenze di base di meccanica ed elettromagnetismo. Circuiti elettrici. Uso della strumentazione elettronica di base (multimetro ed oscilloscopio). Competenze di calcolo differenziale e algebra lineare.

## □ Propedeuticità

- ▣ Fisica 1 e Laboratorio 2. Anche se non richiesto dal regolamento, è fortemente consigliato di avere superato Fisica 2 ed avere almeno seguito il corso di Metodi matematici 1.
- ▣ Nota bene: le fughe in avanti spesso portano a burroni.

# Lezioni

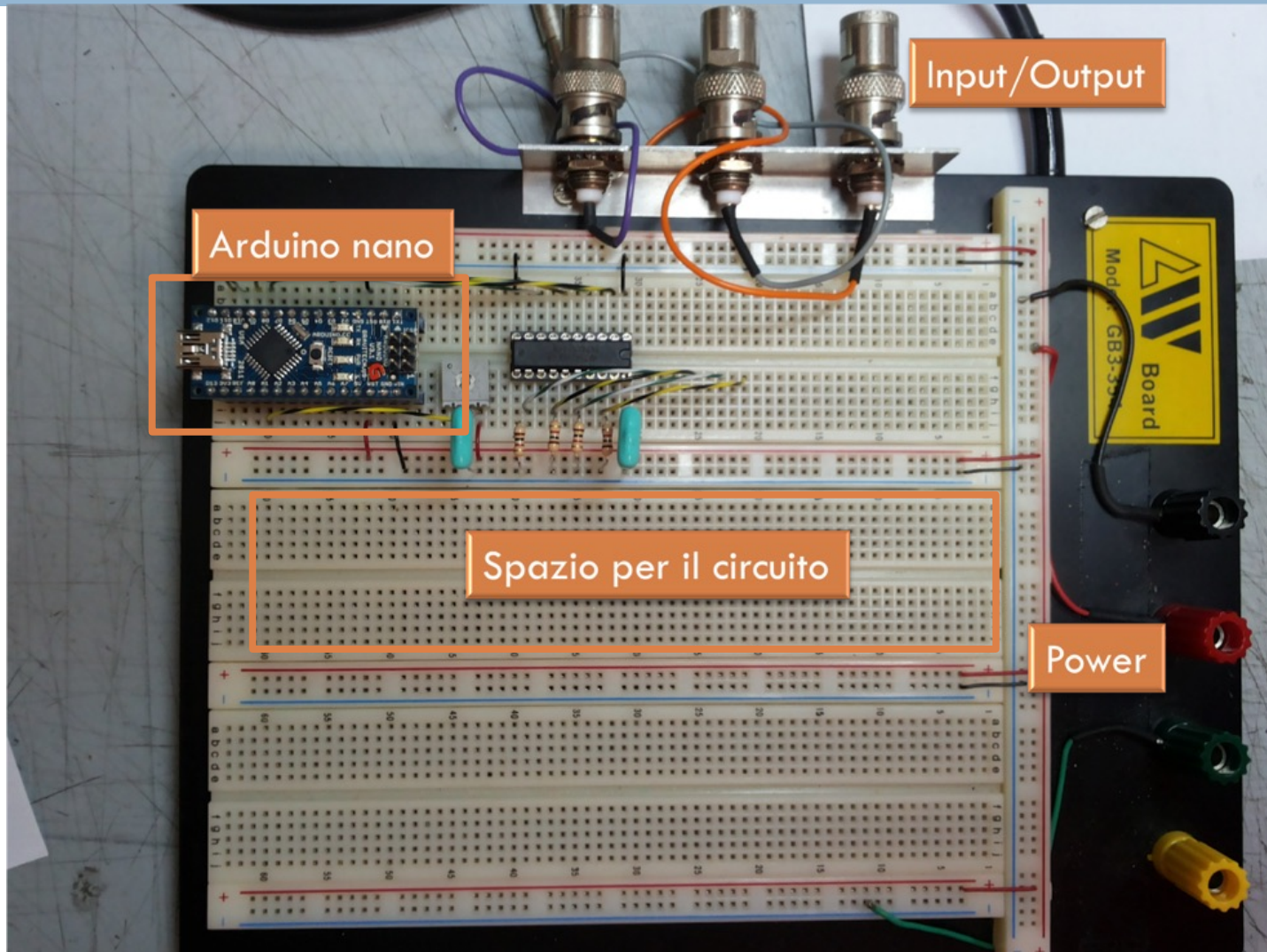
- Introduzione metodologica
  - ▣ Software per analisi dati: python con matplotlib/pylab
  - ▣ Come si scrive una relazione scientifica
- Elettronica analogica
  - ▣ Circuiti lineari - Richiami di teoria dei circuiti.
  - ▣ Dispositivi a semiconduttore - Diodo, transistor bipolare, JFET, MOSFET
  - ▣ Circuiti con feedback e amplificatori operazionali (OpAmp).
- Elettronica digitale
  - ▣ Algebra di boole, livelli logici, famiglie logiche.
  - ▣ Logica combinatoria e sequenziale
  - ▣ Macchina a stati finiti (FSM)
  - ▣ Circuiti logici programmabili e introduzione ai microprocessori
- Circuiti per la conversione analogica/digitale (DAC, ADC)
- Relativamente poche differenze tra LAB3BASE e LAB3AVANZATO
  - ▣ Alcuni argomenti vengono svolti in modo piu' approfondito o esclusivo a LAB3AVANZATO

# Programma – Esercitazioni

- Esercitazioni di laboratorio
  - ▣ Lavoro in gruppi di 2-3 persone
  - ▣ Applicazioni pratiche di quanto discusso a lezione
  - ▣ Circuiti elettronici più o meno complessi da progettare, montare, misurare.
  - ▣ Viene fornita una scheda per ogni esercitazione
  - ▣ Alla fine di ogni esercitazione si deve consegnare una relazione.
    - Alcune esercitazioni hanno delle schede da compilare (TEMPLATE), per altre si deve preparare una RELAZIONE (sintetica)
  - ▣ Le relazioni vengono corrette e riconsegnate
  - ▣ La valutazione sulle relazioni è parte integrante della valutazione di esame.
- Gli argomenti delle esercitazioni di elettronica sono uguali per tutti
  - ▣ LAB3BASE: 1 pomeriggio / esercitazione
  - ▣ LAB3AVANZATO ha una complessità maggiore: 2 pomeriggi / esercitazione
  - ▣ 3-4 esercitazioni in più per LAB3AVANZATO



# Piastra millefori



# Il programma – Esperimenti

- Si realizzeranno alcuni esperimenti di fisica fondamentale.
  - ▣ Non come dimostrazioni. Sviluppo del senso critico.
- Esperimenti
  - ▣ Misura del rapporto  $e/m$
  - ▣ Misura dell'effetto fotoelettrico
  - ▣ Righe di Balmer - costante di Rydberg
  - ▣ Misure di lunghezza d'onda, interferometro di Michelson
  - ▣ Esperienza di Franck-Hertz
- Gruppi da 3 studenti
  - ▣ Ogni gruppo ne farà' 4:  $e/m$  in alternativa a fotoelettrico

# Orari

	Lu	Ma	Me	Gi	Ve
Lezioni		9-11			9-11
Esercitazioni		15-19		15-19	15-19 recup.
Corso	Primo periodo		Secondo periodo		
LAB3 BASE	7 esercitazioni x 1 pom		3 esercitazioni x 1 pom 3 esperimenti x 1 pom 1 esperimento x 0.5 pom		
LAB3 AVANZATO	7 esercitazioni x 2 pom 2 esercitazioni x 1 pom		5 esercitazioni x 2 pom 3 esperimenti x 1 pom 1 esperimento x 0.5 pom		

- Lezioni in media 3ore/settimana per LAB3BASE + 1 ora/settimana per LAB3AVANZATO – cambia di settimana in settimana.
- Frequenza alle esercitazioni obbligatorio. In caso di assenza si può recuperare il venerdì (da usare il meno possibile)

PRIMO PERIODO			
CORSO	DATA	Argomento	Tipo relazione
AB	27-Sep-18	Sicurezza ambientale e regole di comportamento. Uso della strumentazione. Impulsatore, alimentatore, multimetro. Scrittura relazioni.	
AB	2-Oct-18	E01 - Uso della strumentazione	TEMPLATE
AB	9-Oct-18	E02 - Circuito RC passabasso e passabanda	TEMPLATE
AB	16-Oct-18	E03 - Amplificatori con BJT - Common emitter	RELAZIONE
A	23-Oct-18	E04 - Amplificatori con JFET - Source follower	RELAZIONE
A(B)	30-Oct-18	Software per simulazioni circuitali: LTSPICE	
AB	6-Nov-18	E05 - OpAmp usi lineari.	TEMPLATE
AB	13-Nov-18	E06 - Opamp usi non lineari	RELAZIONE
AB	20-Nov-18	E07 - OpAmp in oscillatore a ponte di Wien	Individuale
AB	22-Nov-18	E07 - OpAmp in oscillatore a ponte di Wien	Individuale
AB	27-Nov-18	E07 - OpAmp in oscillatore a ponte di Wien	Individuale
AB	29-Nov-18	E07 - OpAmp in oscillatore a ponte di Wien	Individuale
A(B)	4-Dec-18	E08 - OpAmp filtri attivi	TEMPLATE

SECONDO PERIODO			
CORSO	DATA	Argomento	Tipo relazione
AB	19-Feb-19	E10 - Caratteristiche porte logiche	TEMPLATE
AB	26-Feb-19	E11 - Flip-flop e contatori	TEMPLATE
AB	5-Mar-19	E12 - FSM e semaforo	RELAZIONE
A	12-Mar-19	E13 - Boltzmann	RELAZIONE
A	19-Mar-19	E14 - Lockin	RELAZIONE
AB	19-Mar-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	22-Mar-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	26-Mar-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	28-Mar-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	29-Mar-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	2-Apr-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	4-Apr-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	5-Apr-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	9-Apr-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	11-Apr-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	12-Apr-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	16-Apr-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	30-Apr-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	2-May-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	3-May-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	7-May-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE
AB	9-May-19	Esp Fisica (AB)	RELAZIONE



# Testi e materiale didattico

13

## Appunti delle lezioni – verranno messi sul sito

- ▣ Slides (non sempre), oppure appunti scritti a mano
- ▣ Pericolo: spegnere il cervello pensando che tanto c'è il materiale delle lezioni  
→ non funziona

▣ Testi consigliati: <https://sites.google.com/site/lab3fisicaforti/corso/testi>

### ▣ Elettronica:

- ▣ J. Millman, "Sistemi e circuiti microelettronici", Bollati-Boringhieri
- ▣ P.Horowitz, W.Hill: "The art of electronics", II ed. (Cambridge University Press)
- ▣ V. Flaminio et al., "Introduzione all'elettronica: parte I e parte II", Edizioni ETS (pdf Vol1, pdf Vol2)
- ▣ R. Katz, G. Borriello, "Contemporary Logic Design", 2nd edition, Pearson Prentice Hall
- ▣ R.Muller, T.Kamins, "Devices Electronics for Integrated Circuits"

### ▣ Statistica e probabilita':

- ▣ Bevington, "Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences", McGraw-Hill,
- ▣ Frodesen-Kjeggstad, "Probability and statistics in particle physics", out of print
- ▣ Papoulis, "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes", McGraw-Hill
- ▣ Lyons, "A Practical Guide to Data Analysis for Physical Science Students", Cambridge university press
- ▣ Bohm-Zech. "Introduction to Statistics and Data Analysis for Physicists", <sup>Lezione 1</sup>

# Docenti

- Francesco Forti (Titolare)
  - Donato Nicolò
  - Giorgio Carelli
  - Alberto Gennai
  - Paolo Marsili
  - Marco Piendibene
  - Matteo Rama
  - Chiara Roda
  - Aiuto da dottorandi e assegnisti
- 
- Così tanti per garantire la presenza durante le esercitazioni che si svolgono su 4 aule per correggere rapidamente le relazioni

# Esame

- Valutazione relazioni
  - ▣ Parte integrante dell'esame
- Prova pratica
  - ▣ Un circuito simile a quelli studiati durante l'anno
- Colloquio
  - ▣ Su tutto.
- I due esami di LAB3Base e LAB3Avanzato si svolgeranno simultaneamente e risulteranno in una valutazione unica applicata ai due esami

# Interazione

- ❑ Importante poter comunicare efficacemente con gli studenti.
- ❑ Sito: <https://sites.google.com/site/lab3fisicaforti/>
- ❑ Dal sito df: <http://www.df.unipi.it/cms/users/francesco-forti>
- ❑ <https://elearning.df.unipi.it/enrol/index.php?id=224> (bisogna essere iscritti  
→ vi manderò la chiave di iscrizione quando ho conferma dei numeri)
- ❑ Email: [Francesco.Forti@pi.infn.it](mailto:Francesco.Forti@pi.infn.it)
- ❑ Telefono: 050-2214341
- ❑ Ricevimento: da definire secondo i vostri orari



# Studenti

17

- Ad oggi mi risultano
  - ▣ LAB3AVANZATO: 22 studenti
  - ▣ LAB3BASE: 84 studenti
- Controllate nel foglio che faccio circolare
- Suddivisione tavoli:
  - ▣ LAB3AVANZATO → 10 tavoli:  $8\text{gruppi} \times 2 + 2\text{gruppi} \times 3$ 
    - Chiamati AA, AB, AC ..., AI, AL
  - ▣ LAB3BASE → 16 tavoli:  $(10\text{gruppi} \times 3 + 6\text{gruppi} \times 2) \times 2$  turni
    - Chiamati M.BA – M.BR, G.BA – G.BR (Martedì e Giovedì)
- Attenzione: la frequenza al corso di laboratorio impegna risorse (umane e strumentali). Iniziando il corso vi impegnate a portarlo in fondo
  - ▣ Non fatelo se siete troppo indietro con gli esami

# Gruppi e relazioni

18

- In totale ci sono 10 gruppi LAB3AVANZATO e 32 gruppi LAB3BASE
  - ▣ NECESSARIA MASSIMA DISCIPLINA DA PARTE VOSTRA
  - ▣ Difficile rispondere a richieste individuali
- I gruppi cambieranno all'inizio del secondo periodo, per permettervi di imparare ad interagire con più persone.
  - ▣ Per le esperienze di fisica faremo solo gruppi di 3 persone: 8 LAB3A + 28 LAB3B
- Relazioni (settimanali):
  - ▣ Sono di gruppo, ma devono indicare comunque i nomi delle persone effettivamente presenti
  - ▣ Ricordate che all'esame siete da soli, quindi nel lavoro di gruppo turnatevi i ruoli.
- Una esercitazione sarà individuale
- Se mancate ad una esercitazione, potete recuperare il venerdì e consegnare una relazione individuale
- **Le relazioni si sottomettono su elearning in PDF**
- Vengono corrette e valutate e vi vengono riportate, spiegate e discusse.
- Dopo la correzione e la discussione, rimangono in laboratorio

# Tempi e consegna

19

- La stesura delle relazioni può portarvi via molto tempo, se glielo permettete.
  - ▣ Uno dei problemi individuati negli anni passati
  - ▣ Speriamo di risolverlo introducendo i template per alcune esperienze
- Necessario un buon compromesso tra accuratezza/lunghezza/tempo impiegato
  - ▣ Necessario nella vita reale, in cui bisogna riuscire a fare quello che serve nel (poco) tempo a disposizione
- La stesura delle relazioni deve avvenire per la maggior parte durante le ore di laboratorio
- Regola: le relazioni devono essere uploadate su elearning **entro 6 giorni (144 ore) dall'inizio dell'esercitazione o esperienza**
  - ▣ Ad esempio per il gruppo del martedì', entro lunedì' alle 15, per il gruppo del giovedì', entro mercoledì' alle 15
  - ▣ Per il LAB3AVANZATO: entro lunedì' alle 15
  - ▣ Vale anche per le esperienze di fisica.
- Violazioni: sono un problema.
  - ▣ Alla prima ammonizione, poi rifiuto della consegna.

# Relazioni

20

## □ Che cosa sono

- Le esercitazioni si concludono con la consegna di un elaborato scritto.
- Alle relazioni viene assegnato un giudizio/voto che vi permette di valutare i vostri progressi (si richiede la firma dei presenti) e concorre a formare il giudizio finale.
  - Valutazione da 1 a 5: 1-insufficiente; 5-perfetta e piu'

## □ Template

- Nei template vi forniamo uno schema latex in cui riempire i risultati delle misure ed i grafici, piu' un breve commento (10 righe), per ogni punto della scheda

## □ Relazioni

- La relazione e' il rapporto di una attivita' sperimentale: il requisito fondamentale e' la chiarezza. Quasi un articolo scientifico su piccola scala: importante imparare.
- Principio di riproducibilita': ci deve essere abbastanza informazione perche' un altro possa riprodurre in dettaglio la stessa esperienza.
- Vi verrà fornito uno schema-esempio per facilitare la stesura all'inizio
- Non aspettate a scrivere fino a quando "il lavoro e' finito". La relazione e' utile se scritta mentre si lavora. Aiuta anche a lavorare con la necessaria sistematicita'.

SIATE SINTETICI E PUNTUALI

Lezione 1



# Onestà scientifica

21

- Nel loro piccolo le esercitazioni sono dei piccoli esperimenti scientifici
- Essenziale l'onestà scientifica (e morale) nel preparare la relazione. Non si possono taroccare i dati, né prenderli dal vicino
- Qualche volta i risultati possono non essere come ci si aspetta. E' importante documentare con precisione quello che e' stato fatto e quello che si è osservato, piuttosto che cercare di "far tornare".
  - ▣ Pero' bisogna imparare ad accorgersi quando si è fatto qualche errore
- Spesso si richiede di interpretare le discrepanze da quanto aspettato
  - ▣ Sviluppo del senso critico che la realtà è sempre più complicata del modello
  - ▣ Tentare un'interpretazione è utile, ma senza perderci il sonno
  - ▣ Se ne cercherà' di discutere a lezione

# Esempi di relazioni

22

Esercitazione N.1: Misure di tensione, corrente, tempi, frequenza.

Gruppo xx  
Mario Rossi, Anna Bianchi [non dimenticate i nomi]

5 ottobre 2015

## 1 Scopo e strumentazione

L'esercitazione ha lo scopo di impraticarsi con la strumentazione e le tecniche di misura. Abbiamo utilizzato sia il multimetro digitale sia il tester analogico.

## 2 Misure di tensione e corrente

**2.b Partitore** Abbiamo montato il circuito in Fig. 1 con i valori di resistenza misurati con il multimetro digitale:  $R_1 = 1.12 \pm 0.01 k\Omega$  e  $R_2 = 0.95 \pm 0.01 k\Omega$ . L'errore è stato stimato usando le indicazioni del manuale del multimetro (0.8% + 1 cifra). Dall'analisi del circuito ci aspettiamo che  $V_{OUT}/V_{IN} = \frac{1}{1+R_1/R_2} = 0.459 \pm 0.003$ .

[Nota sul calcolo di questo errore: l'errore relativo sul rapporto delle resistenze è 1.4%. Poiché il rapporto è circa 1, l'errore assoluto è 0.014. Quando sommo 1 (numero puro) l'errore assoluto rimane lo stesso ma quello relativo diventa  $0.014/2 = 0.7\%$ . Facendo l'inverso l'errore relativo rimane lo stesso, per cui l'errore finale sul rapporto è  $0.7\% * 0.459 = 0.003$ ]

Variando  $V_{IN}$  tra 0 e 10V abbiamo ottenuto i dati riportati in Tabella 1 e Figura 1.

VIN	$\sigma$ VIN	VOUT	$\sigma$ VOUT	VOUT/VIN	$\sigma$ VOUT/VIN
1.01	0.01	0.465	0.005	0.460	0.006
2.02	0.02	0.93	0.01	0.460	0.006
2.99	0.03	1.35	0.01	0.452	0.006
3.95	0.04	1.83	0.02	0.463	0.006
5.01	0.05	2.27	0.02	0.453	0.006
7.50	0.08	3.4	0.03	0.453	0.006
10.02	0.10	4.55	0.05	0.454	0.006

Tabella 1: Partitore di tensione con resistenze da circa 1k. Tutte le tensioni in V.

Come ci si aspettava la relazione tra tensione di ingresso ed uscita è lineare. Il rapporto VOUT/VIN è da confrontare con il valore aspettato indicato sopra.

[Volendo si può fare la media pesata dei valori misurati]

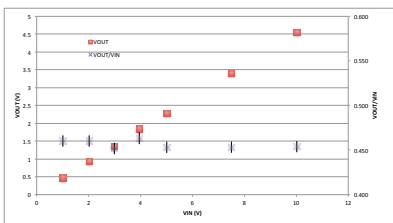


Figura 1: Partitore di tensione.

VIN	$\sigma$ VIN	VOUT	$\sigma$ VOUT	VOUT/VIN	$\sigma$ VOUT/VIN
1.01	0.01	0.43	0.004	0.426	0.006
2.02	0.02	0.87	0.01	0.431	0.006
2.99	0.03	1.26	0.01	0.421	0.006
3.95	0.04	1.68665	0.02	0.427	0.006
5.01	0.05	2.13927	0.02	0.427	0.006
7.5	0.08	3.2025	0.03	0.427	0.006
10.02	0.10	4.27854	0.04	0.427	0.006

Tabella 2: Partitore di tensione. Tutte le tensioni in V.

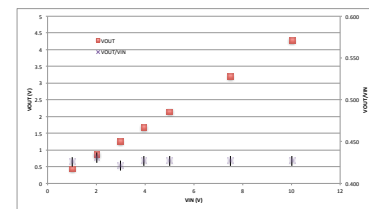


Figura 2: Partitore di tensione con resistenze da circa 1M.

**2.c Partitore con resistenze più grandi** Montando di nuovo il partitore con le resistenze  $R_1 = 3.80 \pm 0.04 M\Omega$  e  $R_2 = 3.95 \pm 0.04 M\Omega$  si osservano i nuovi dati in Tabella 2 e Figura 2

Si osserva come valore del rapporto misurato con le resistenze da 4 M $\Omega$  si discosti da quanto atteso  $V_{OUT}/V_{IN} = \frac{1}{1+R_1/R_2} = 0.510 \pm 0.003$ . La ragione della discrepanza è da ricercarsi nella impedenza di ingresso del tester.

**2.d Resistenza di ingresso del tester** Usando il modello mostrato nella scheda si ottiene

$$\frac{R_1}{R_T} = \frac{V_{IN}}{V_{OUT}} - \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

L'errore sul secondo membro è: 1.4% sul primo termine, 0.7% sul secondo termine. Entrambi i termini sono circa 2, per cui l'errore totale è  $0.03 \oplus 0.015 = 0.035$ , dominato dalla misura di tensione. Quindi se  $R_T > R_1/0.035$  non abbiamo nessuna sensibilità sperimentale. Nel primo caso risulta un numero compatibile con 0: usando  $V_{IN} = 5V$  abbiamo  $R_1/R_T = 0.027 \pm 0.035$ . Nel secondo caso risulta invece  $R_1/R_T = 0.38 \pm 0.035$  cioè  $R_T = 10 \pm 0.9 M\Omega$ .

## 2.1 Partitore di corrente: 2.e

Si monta il circuito indicato con i valori di resistenza misurati con il multimetro digitale:  $R_3 = 105 \pm 2 k\Omega$ ,  $R_1 = 550 \pm 5\Omega$ ,  $R_2 = 230 \pm 3\Omega$ . Si fissa la tensione dell'alimentatore a  $V_{IN} = 10.2 \pm 0.1V$  e si utilizza il tester digitale per misurare alternativamente la corrente nel ramo 1 e nel ramo 2, sostituendo il ramo non sotto misura con un cortocircuito.

[NOTA BENE: nelle misure di corrente è importante prima fare le connessioni e poi accendere l'alimentatore, per cui bisogna sempre spegnere l'alimentatore prima di modificare le connessioni.]

Si ottengono le seguenti misure:  $I_1 = xx \pm y\mu A$ ,  $I_2 = xx \pm y\mu A$ . Si ripetono le misure utilizzando il tester analogico, e si ottengono i seguenti valori:  $I_1 = xx \pm y\mu A$ ,  $I_2 = xx \pm y\mu A$ . Ci si aspetterebbe che il rapporto tra le correnti sia  $I_1/I_2 = R_2/R_1 = 0.418 \pm 0.006$  e che la somma delle correnti sia  $I_1 + I_2 = I_{TOT} \equiv V_{IN}/R_3 = 97 \pm 2\mu A$ , considerando che l'approssimazione  $I_{TOT} = V_{IN}/R_3$  vale quando  $R_3 \gg$  altre resistenze in gioco, ed è certamente verificata in questo circuito. Tuttavia si nota che i valori effettivamente misurati con il tester digitale si discostano da tali valori:

strumento	$I_1$ ( $\mu A$ )	$\sigma(I_1)$ ( $\mu A$ )	$I_2$ ( $\mu A$ )	$\sigma(I_2)$ ( $\mu A$ )	$I_1/I_2$	$\sigma(I_1/I_2)$	$I_1+I_2$	$\sigma(I_1+I_2)$
Analogico	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx
Digitale	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx

# Tavolo di lavoro

23



Lezione 1

# Strumentazione

24

- Alimentatore
- Multimetro digitale
- Oscilloscopio digitale
- Generatore di funzioni
- Basetta per il montaggio
- PC
  
- USATE LA DOCUMENTAZIONE
  - ▣ Presente sul PC



# Limiti della strumentazione

25

- Una strumentazione ideale:
  - ▣ Non altera il funzionamento del circuito che misura
  - ▣ Ha una risposta che non dipende dalla frequenza
  - ▣ Erega tensioni/correnti che non dipendono dal carico
- Strumentazione reale:
  - ▣ Impedenza di ingresso: altera il funzionamento del circuito quando inserita
  - ▣ Impedenza di uscita: la tensione/corrente erogata dipende dal carico
  - ▣ Riposta in frequenza con banda passante finita

# Software analisi

26

- I PC (Windows) sono dotati di vari sw installati
  - ▣ Tutti freeware, installabili sui propri computer a casa
- Visualizzazione ed analisi dati
  - ▣ Elemento fondamentale per estrarre informazioni dalle misure effettuate

- ▣ Python 3 – distribuzione

<http://pyzo.org>

- molto usato in molti campi, linguaggio di scripting completo e sofisticato
- Contiene librerie numpy, scipy, matplotlib
- ▣ Dovreste ormai conoscerlo da Lab1 e Lab2



PYZO: PYTHON TO THE PEOPLE

# Software simulazione

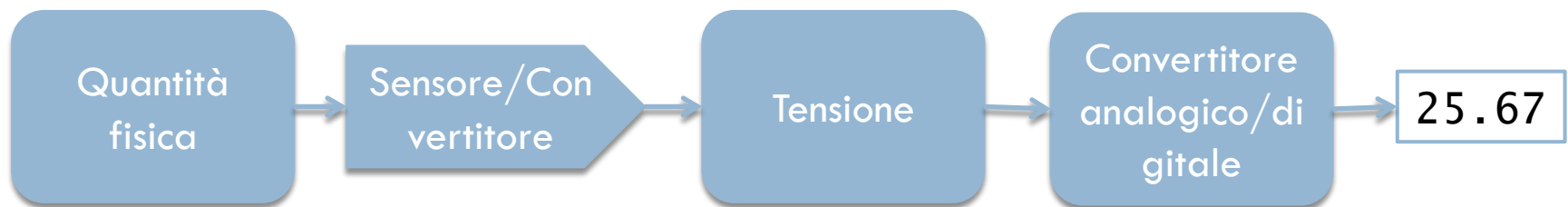
27

- Simulazione circuiti elettronici
  - ▣ Fondamentale per la realizzazione di circuiti reali.
  - ▣ Molto utile per capire i circuiti e verificare i propri conti
  - ▣ Da NON esagerare nell'uso: e' un corso di laboratorio !
- Falstad, Java-based (<http://www.falstad.com/circuit/> )
  - ▣ Molto semplice, simula componenti ideali, ma visivamente molto efficace per capire cosa succede. Lo useremo anche a lezione.
  - ▣ Non permette simulazioni dettagliate
- LTSpice (Linear Technologies: <http://www.linear.com/designtools/software/> )
  - ▣ Basato sul simulatore analogico standard "SPICE" che permette la modellizzazione dei componenti anche molto sofisticata
  - ▣ Analisi nel dominio del tempo o della frequenza
- System vision (Mentor Graphics: <http://systemvision.com/> )
- Ci sarà un tutorial, ma è lasciato alla vostra iniziativa utilizzare molto o poco questi strumenti. Non sono necessari per l'esame.

# Misure

28

- Effettuerete molte misure di quantità fisiche
- Il principio di base è sempre più o meno lo stesso



- Ciascun passaggio introduce possibili errori di misura
- L'errore NON è semplicemente l'ultima cifra mostrata, ma dipende dallo strumento e dai passaggi intermedi

# Errori

29

- Non errore di sbaglio, ma incertezza di misura.
- Desiderabile che sia la minima possibile
  - ▣ Se potete fare una misura più precisa di un'altra, dovete cercare di farla.
- Errore massimo: identifica l'intervallo entro cui sicuramente cade il valore “vero” della quantità misurata.
- Se dico  $V1 = 2.35 \pm 0.02 \text{ V}$  significa che  $2.33 \text{ V} < V1 < 2.37 \text{ V}$ .
- In altri contesti l'errore può indicare la deviazione standard della distribuzione oppure un intervallo con un certo confidence level (ad esempio  $CL > 90\%$ )
- Bisogna sempre riflettere sul significato dell'errore quando si utilizza una misura.

# Sorgenti di incertezza nelle misure

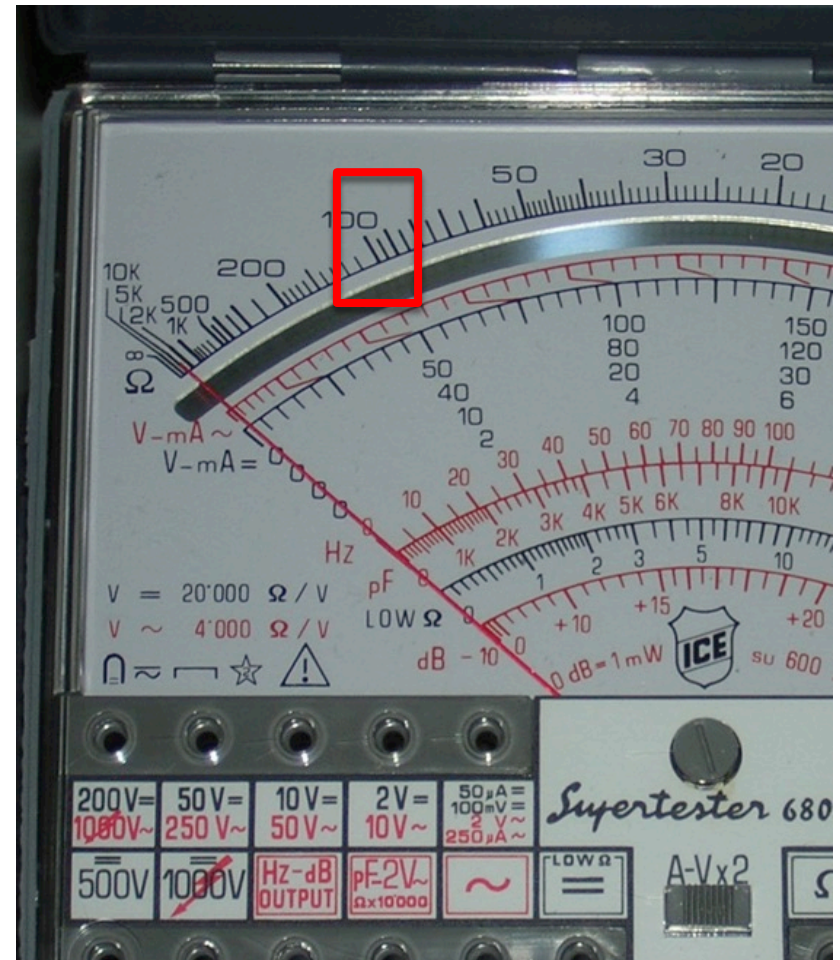
30

## □ Risoluzione

- Nella conversione analogica/digitale oppure nella lettura analogica di una scala
- Ad esempio se faccio una conversione a 10 bit ( $2^{10}=1024$ ) con una scala di 10V, la risoluzione è  $10V/1024 = 10 \text{ mV}$ . Non posso fare meglio di così.
- Corrisponde circa alla cifra meno significativa di una lettura digitale oppure alla mezza tacca in uno strumento analogico

# Risoluzione della lettura

31



Lezione 1



# Incerteza nelle misure

32

- Oltre alla risoluzione ci sono molte altre sorgenti di incerteza
- Calibrazione assoluta
  - ▣ La trasformazione della lettura in unità fisiche richiede una calibrazione verso uno strumento campione
  - ▣ Questa calibrazione ha una sua incerteza
- Ripetibilità
  - ▣ Lo strumento può non dare la stessa lettura se si ripete la misura più volte
- Rumore
  - ▣ Il rumore, i difetti di connessione etc. introducono ulteriori incerteze

# Quale incertezza usare ?

33

- Dovete leggere il manuale !
- Dipende dalla scala
- Ad esempio per il multimetro l'incertezza è (eccetto che per la scala più sensibile)
  - ▣  $0.8 \% \pm 1$  cifra. Quindi
  - ▣  $1,673 \text{ V} \rightarrow 0.8\% * 1.673 = 0.0128 \pm 0.001 \rightarrow 0.01$
  - ▣  $0.167 \text{ V} \rightarrow 0.8\% * 0.167 = 0.001 \pm 0.001 \rightarrow 0.001$
- Oscilloscopio
  - ▣ Mezza tacca = 0.1 divisione. Ci sono 8 divisioni verticali e 10 orizzontali.
  - ▣ Errore va dall' 1% (0.1 div / 10 div) al 5% (0.1 div / 2div). Dovete cercare di scegliere la scala migliore
  - ▣ Per la misura di tempo il manuale è un po' oscuro, ne parleremo

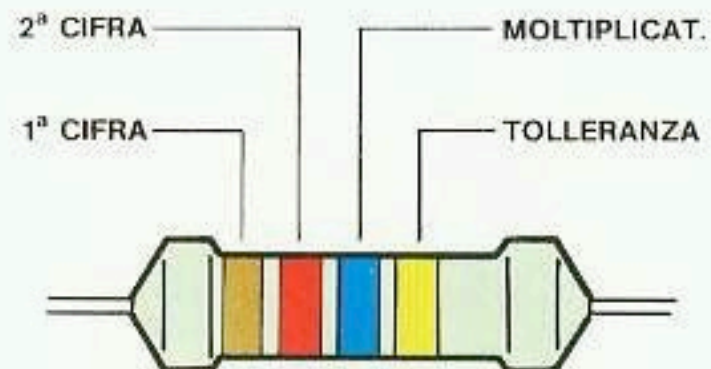
# Componenti

34

- Utilizzerete molti componenti discreti
  - ▣ Resistenze, condensatori → li trovate in cassette appositi
  - ▣ Transistor, circuiti integrati → consegnati sul tavolo sulla base della esercitazione
- Le tolleranze sui valori sono tipicamente 10% - 20%
  - ▣ Meglio misurare il componente se serve sapere il valore con precisione migliore

# RESISTENZE a CARBONE

	1 <sup>a</sup> CIFRA	2 <sup>a</sup> CIFRA	MOLTIPLICAT.	TOLLERANZA
NERO	—	0	x 1	10% ARGENTO
MARRONE	1	1	x 10	5% ORO
ROSSO	2	2	x 100	
ARANCIONE	3	3	x 1.000	
GIALLO	4	4	x 10.000	
VERDE	5	5	x 100.000	
AZZURRO	6	6	x 1.000.000	
VIOLA	7	7	ORO: 10	
GRIGIO	8	8		
BIANCO	9	9		



□ Valori standard: 10 12 15 18 22 27 33 39 47 56 68 82

# Propagazione degli errori

36

## □ Ripassatela

- Somme in quadrature  
 $z = f(x, y)$

$$\delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \delta y\right)^2}$$

Esempi: Somme/sottrazione  $z = x \pm y$

$$\delta z = \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}$$

Divisione/moltiplicazione

$$z = xy \quad \delta z = \sqrt{y^2 \delta x^2 + x^2 \delta y^2}$$

$$\frac{\delta z}{z} = \sqrt{\frac{\delta x^2}{x^2} + \frac{\delta y^2}{y^2}}$$

# Prossime lezioni e esercitazioni

37

- Venerdì 21 settembre (D1) ore 9
- Martedì 25 settembre (B1) ore 9
- LAB: Giovedì 27 settembre ore 15:00 in aula D1
  - ▣ Sicurezze e comportamento in laboratorio
  - ▣ Strumentazione
  - ▣ Errori
  - ▣ Scrittura relazioni