

Lezione nr. 1

Fisica e grandezze fisiche

Misure Errori di misura

Elementi di Fisica Generale
Tecnologie Digitali per le COstruzioni
F. Garufi
2020/21

Presentazione del corso

- Indirizzo **sito docente**:
<https://www.docenti.unina.it/fabio.garufi>
- **Studio**: Complesso di Monte Sant'Angelo, Dipartimento di Fisica, Stanza 1Ma24.
- **Teams**: per le lezioni in remoto il Team è: Elementi di Fisica Generale (U3322) per TDCO – codice: pnsn6wj
- **Ricevimento**: su Teams previo appuntamento via email:
fabio.garufi@unina.it
- Libro di **testo** (consigliato): D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fondamenti di Fisica (Meccanica, Termodinamica...)
- Ferrari, Luci, Mariani, Pelissetto, Fisica 1 Meccanica e Termodinamica – Idelson-Gnocchi

Prerequisiti

- Risoluzione di equazioni e disequazioni di primo e secondo grado
- Sistemi di equazioni e disequazioni
- Operazioni con potenze
- Lettura su grafico cartesiano
- Andamento e grafico di funzioni elementari: log, exp, radq
- Aree di figure piane e volumi di solidi elementari
- Trigonometria
- Limiti e Derivate
- Un po' di integrali elementari
- Derivate ed integrali saranno, comunque, ripassati all'occorrenza.

Esame

- Orale: colloquio orale Risoluzione di esercizi con dimostrazione dei teoremi che servono per gli esercizi.
- Tre domande: Meccanica del punto, Meccanica dei sistemi, termodinamica e/o fluidi

Come si studia per questo esame

- Problemi, problemi e ancora problemi! Dovete risolvere problemi (è quello che si richiede agli ingegneri per mestiere)
- Non imparate le formule a memoria. Cercate SEMPRE di essere in grado di dimostrare le affermazioni che fate. Se non vi ricordate qualcosa, ricavatevelo.
- Se qualcosa non è chiaro, non esitate a chiedere e continuate a chiedere finché non è chiaro.
- Non studiate a compartimenti stagni. L'analisi e la geometria servono per la fisica e la fisica serve a capire alcuni concetti di analisi e geometria.

Risoluzione dei problemi

- Inquadrate il problema e cercate prima di capire di che si tratta: cinematica del punto, dinamica, dinamica dei sistemi, termodinamica...
- Vedete quali sono le grandezze in gioco e cosa esattamente chiede il problema:
 - Per es.: il problema riguarda un sasso lanciato verticalmente: è unidimensionale, si parla di moto accelerato, l'unica accelerazione presente è quella di gravità...
- Risolvete il problema prima analiticamente e SOLO ALLA FINE sostituite i dati numerici. Spesso le cose si semplificano e alcune grandezze non entrano in gioco.

Introduzione

- Cos'è la Fisica? È la scienza che si occupa di spiegare i fondamenti dei fenomeni naturali: dal greco τα φυσικα: le cose naturali – φύση: la natura.
- Si occupa di studiare i fenomeni e le grandezze MISURABILI. Una grandezza fisica esiste solo se è misurabile. Per esempio: la coscienza non è una grandezza fisica, il peso sì.

Grandezze ed unità di misura

- grandezza (misurabile) si intende un attributo di un fenomeno, di un corpo o di una sostanza che può essere distinto qualitativamente e determinato quantitativamente
- Le grandezze sono dette della *stessa natura*, o *omogenee*, se è possibile classificarle l'una rispetto all'altra in ordine crescente o decrescente.
- Grandezze della stessa natura possono essere raggruppate in categorie di grandezze, ad esempio: lavoro, calore, energia; diametro, spessore, lunghezza d'onda.

Grandezze ed unità di misura

- La definizione operativa di una certa grandezza fisica è un insieme di regole che definiscono il procedimento di misura, permettendo così di associare all'ente in questione un valore numerico. Pertanto, una grandezza fisica è definita correttamente solo se viene spiegato in modo dettagliato come determinarne il valore quantitativo.
- Ogni definizione operativa deve includere alcune nozioni minime.
 - un campione omogeneo alla grandezza in esame, che venga considerato come *unità di misura*;
 - un *criterio di confronto*, che permetta di stabilire se due campioni omogenei abbiano misura uguale;
 - un *criterio di somma*, che permetta di stabilire cosa si debba intendere per somma di due campioni della grandezza in esame, con la condizione che la misura della somma sia uguale alla somma delle misure.

Grandezze ed unità di misura

- Un insieme di grandezze, intese nel senso generale, fra le quali esistono delle relazioni definite costituiscono un sistema di grandezze. In esso si definiscono **grandezze di base** quelle che sono convenzionalmente accettate come funzionalmente indipendenti le une dalle altre.
- Una **grandezza derivata** è definita, in un certo sistema, come funzione delle grandezze di base. Ad esempio, nel sistema Internazionale – SI - la velocità è una grandezza derivata definita come il rapporto fra lunghezza e tempo.

Grandezze ed unità di misura

- La dimensione di una grandezza è un'espressione che la rappresenta in un sistema come prodotto di potenze di fattori dati dalle grandezze di base di quel sistema.
 - Per esempio: la velocità, abbiamo detto, è il rapporto tra lo spostamento tempo in cui questo è avvenuto $v=s/t \Rightarrow [v] = [L] [T]^{-1}$
- Una grandezza è adimensionale se nell'espressione della dimensione si riducono a zero tutti gli esponenti delle dimensioni delle grandezze di base.
 - Per esempio: la misura degli angoli in radianti è la lunghezza dell'arco sotteso dall'angolo dato in rapporto al raggio $\Rightarrow [\text{rad}] = [L] [L]^{-1} = 1$
- Con unità (di misura) si intende una particolare quantità, definita e adottata per convenzione, con cui si confrontano altre grandezze della stessa natura per esprimerle quantitativamente come rapporto rispetto a questa grandezza. Alle unità di misura vengono assegnati per convenzione dei nomi e dei simboli.

Tipi di grandezze

- Estensive: dipendono dal volume (carica, massa, energia)
- Intensive: non dipendono dal volume (temperatura, densità)
- Scalari: serve un solo numero (potenziale)
- Vettoriali: servono più numeri (velocità)

Grandezze di base ed unità di misura

Il SI (fissato nella *XI Conferenza generale dei Pesi e Misure* tenutasi a Parigi nel 1960) definisce 7 unità come fondamentali e ne conserva i campioni primari, dai quali per confronto si ricavano campioni secondari, ecc., in modo che le unità di misura siano largamente disponibili e *riferibili*.

Grandezza		Dimensione		Unità di base SI	
Nome	Simbolo	a)	b)	Nome	Simbolo
lunghezza	l	dim l	L	metro	m
massa	m	dim m	M	chilogrammo	kg
tempo	t	dim t	T	secondo	s
corrente elettrica	I	dim I	I	ampere	A
temp. termodinamica	T	dim T	Θ	kelvin	K
quantità di materia	n	dim n	N	mole	mol
intensità luminosa	I_v	dim I_v	J	candela	cd

Definizioni delle grandezze di base

- Lunghezza: il Metro. L'originaria definizione come $1/40.000.000$ del meridiano terrestre fu già violata quando nel periodo della rivoluzione Francese ne fu costruito un modello come una barra in platino, poi sostituita nel 1889 da una in Platino Iridio conservato al Bureau International de Poids et Mésures di Sévres, più corta della definizione di 0.17 mm. In tempi moderni si è pensato di darne una definizione più precisa ed invariabile come la distanza percorsa dalla luce in $1/299.792.458$ s. (così da conservare la misura della velocità della luce)

Definizioni delle grandezze di base

- Massa: il chilogrammo. In questo caso rimane la definizione basata sul campione conservato al BIPM a Sévres, giacché non è stato possibile introdurre una definizione basata su proprietà microscopiche.

Definizioni delle grandezze di base

- Tempo: il secondo. Inizialmente era definito il secondo medio solare la frazione $1/86400$ del giorno solare medio (che però si allunga a causa dell'attrito dovuto alle maree).
- Successivamente si stabilì il secondo effemeride: la frazione di $1/31\,556\,925,9747$ dell'anno tropico per lo 0 gennaio 1900 alle ore 12 tempo effemeride.
- Attualmente si applica una definizione che dipende da una proprietà invariabile della natura: la durata di $9.192.631.770$ periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra due livelli iperfini, da $(F=4, MF=0)$ a $(F=3, MF=0)$, dello stato fondamentale dell'atomo di cesio-133.

Grandezza	Dimensioni	Unità derivate SI	
		Nome	Simbolo (Relazione)
angolo piano	-	radiante	rad (1 rad = 1 m/m)
angolo solido	-	steradiano	sr (1 sr = 1 m ² /m ²)
frequenza	T ⁻¹	hertz	Hz (1 Hz = 1 s ⁻¹)
attività	T ⁻¹	becquerel	Bq (1 Bq = 1 s ⁻¹)
forza	MLT ⁻²	newton	N (1 N = 1 kg · m/s ²)
pressione	ML ⁻¹ T ⁻²	pascal	Pa (1 Pa = 1 N/m ²)
energia	ML ² T ⁻²	joule	J (1 J = 1 N · m = 1 W · s)
potenza	ML ² T ⁻³	watt	W (1 W = 1 J/s)
dose equivalente	L ² T ⁻²	sievert	Sv (1 Sv = 1 J/kg)
dose in energia	L ² T ⁻²	gray	Gy (1 Gy = 1 J/kg)
carica elettrica	TI	coulomb	C (1 C = 1 A · s)
differenza di potenziale	ML ² T ⁻³ I ⁻¹	volt	V (1 V = 1 J/C)

capacità elettrica	$ML^2 T^{-4} I^{-2}$	farad	F (1 F = 1 V/C)
resistenza elettrica	$ML^2 T^{-3} I^{-2}$	ohm	Ω (1 Ω = 1 V/A)
conduttività	$M^{-1} L^{-2} T^3 I^2$	siemens	S (1 S = 1 Ω^{-1})
flusso magnetico	$ML^2 T^{-2} I^{-1}$	weber	Wb (1 Wb = 1 V · s)
densità di flusso magnetico	$MT^{-2} I^{-1}$	Tesla	T (1 T = 1 Wb/m ²)
induttanza	$ML^2 T^{-2} I^{-2}$	henry	H (1 H = 1 Wb/A)
temper. Celsius	Θ	grado Celsius	$^{\circ}C$ (1 $^{\circ}C$ = 1 K)
flusso luminoso	J	lumen	lm (1 lm = 1 cd · sr)
illuminazione	$L^{-2} J$	lux	lx (1 lx = 1 lm/m ²)

Grandezze ed unità di misura

- Il numero che esprime il rapporto fra il valore della grandezza e la sua unità è il valore numerico della grandezza. Il valore di una grandezza può essere espresso in più modi.
- Il valore di una grandezza G è quindi espresso da $G = \{G\} [G]$ dove $[G]$ è l'unità di misura e $\{G\}$ il valore numerico
 - Per esempio $v = 10 \text{ m/s}$
- il valore di una grandezza fisica è invariante per cambiamento di unità di misura. Dunque se $\{G\}_a$ e $\{G\}_b$ sono i valori della grandezza espressa nelle unità a e b , allora
$$G = \{G\}_a [G]_a = \{G\}_b [G]_b$$
 - Per esempio: $v = 10 \text{ m/s} = 1000 \text{ cm/s}$
- La relazione di cui sopra permette il cambiamento di unità, se si conosce il rapporto $[G]_a / [G]_b$ per es:
$$Q = 1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J} \Rightarrow [G]_a / [G]_b = 4.1868 \text{ J/cal}$$

Calcolo dimensionale

- Consente di stabilire se le dimensioni di un'espressione sono coerenti.
- Non da indicazioni sulla correttezza del valore della grandezza

- Esempio: il periodo di oscillazione di un pendolo è il tempo che il pendolo impiega per tornare alla posizione di partenza ed è dato dall'espressione:

$$T = \sqrt{\frac{l}{g}}$$

dove g è l'accelerazione di gravità = 9,81 m/s² => [g]=[L] [T]⁻² =>

[T]=[L]^{1/2}[g]^{-1/2}=[L]^{1/2}[L]^{-1/2}[T]=[T]. Entrambi i membri dell'espressione hanno la dimensione di un tempo

- Esempio 2: stabilire quale espressione per la velocità in funzione dell'accelerazione è corretta fra le due seguenti:

$$v = \sqrt{2at} \quad \text{oppure} \quad v = \sqrt{2as}$$

$$[L][T]^{-1} = [LT \cdot T]^{1/2} [T]^{1/2} = [L]^{1/2} [T]^{-1/2} \quad \text{non coerente}$$

$$[L][T]^{-1} = [LT \cdot L^{-1}]^{1/2} [L]^{1/2} = [L][T]^{-1} \quad \text{coerente}$$

Non possiamo dire però quale sia corretta fra le espressioni $v = \sqrt{2as}$ e $v = \sqrt{as}$ perché dimensionalmente sono entrambe corrette

Esercizio

- La forza di attrazione F fra due corpi di massa M ed m separate da una distanza r è data dalla formula di Newton:

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

Sapendo che $F=ma$ e $[a]=[L T^{-2}] \Rightarrow [F]=[M L T^{-2}]$ trovare le dimensioni della costante gravitazionale G

$$[ML T^{-2}] = [G][M^2 L^{-2}] \Rightarrow [G] = [ML T^{-2}] [M^{-2} L^2] = [M^{-1}L^3T^{-2}]$$

Infatti, la costante, dalle tabelle delle costanti universali è $6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$

La formula di Planck ci dice che l'energia E di un quanto di luce è proporzionale alla sua frequenza ν tramite la costante h : $E=h \nu$. Usando le tabelle delle pagine precedenti, trovare le dimensioni di h e le sue unità di misura nel S.I.

Multipli e sottomultipli

Multipli e sottomultipli. Nel SI sono introdotti dei prefissi standard per definire i multipli e i sottomultipli dell'unità fondamentale.

Multipli	Simbolo	Fattore moltiplicativo
Peta	P	$\times 10^{15}$
Tera	T	$\times 10^{12}$
Giga	G	$\times 10^9$
Mega	M	$\times 10^6$
chilo	k	$\times 10^3$

Sottomultipli	Simbolo	Fattore moltiplicativo
milli	m	$\times 10^{-3}$
micro	μ	$\times 10^{-6}$
nano	n	$\times 10^{-9}$
pico	p	$\times 10^{-12}$
fempto	f	$\times 10^{-15}$

Si faccia attenzione al fatto che, per le masse, i prefissi e suffissi si intendono apposti all'unità base “grammo”, e non al chilogrammo (retaggio del sistema c.g.s.)

Esempi:

$$3 \text{ pm} = 3 \times 10^{-12} \text{ m}$$

$$5 \text{ ks} = 5 \times 10^3 \text{ s}$$

$$4 \text{ }\mu\text{g} = 4 \times 10^{-6} \text{ g} = 4 \times 10^{-9} \text{ kg}$$

Esercizio

- Husain Bolt corre i 100 m in 9.58 s, a quanti km/h va?

- $v=100\text{m}/9.58\text{s}$; devo trasformare i m in km ($1\text{m} = 10^{-3} \text{ km}$) ed i s in h ($1\text{s} = 1/(60 \times 60) \text{ h}$)

$$10^2 \text{ m} * 10^{-3} \text{ km/m} = 10^{-1} \text{ km}$$

$$9.58\text{s} = 9.58 \text{ s} * 1/3600 \text{ h/s} = 0.00266 \text{ h} = 2.7 \cdot 10^{-3} \text{ h}$$

$$\Rightarrow v = (10^{-1} \text{ km}) / (2.7 \cdot 10^{-3} \text{ h}) = 37.58 \text{ km/h}$$

- E Pietro Mennea? (200m in 19.72s nel 1979)

Valore vero

- È il valore che si otterrebbe con una misura perfetta.
- Visto che una tale misura non è fattibile il valore vero è indeterminato: la definizione ISO è “un valore compatibile con la definizione di una data grandezza particolare”
- ha senso parlare di valore convenzionalmente vero se con esso si intende quello attribuito a una grandezza particolare e accettato, per convenzione, in quanto avente un'incertezza appropriata all'uso.
 - Per es il valore indicato su un campione di riferimento può essere usato come valore convenzionalmente vero della grandezza se la sua incertezza ha un effetto trascurabile sull'incertezza totale

Misura

- possiamo introdurre il concetto di *misura come l'insieme di operazioni che hanno come scopo la determinazione del valore del misurando*.
- Le grandezze che possono condizionare il valore del misurando sono chiamate *variabili di influenza*.
- Il principio che costituisce la base scientifica della misura è chiamato il *principio di misura*. *Esso può essere un principio fisico, chimico, biologico, etc.*
 - Ad esempio: il principio fisico della dilatazione di un corpo con la temperatura sta alla base della misura di temperatura effettuata mediante un termometro a mercurio;

Metodo di misura

- Per metodo di misura si intende la successione logica delle operazioni messe in atto nell'eseguire la misura
- può essere classificato in diversi modi, come ad esempio: per confronto; per sostituzione; metodo differenziale; metodo di zero.
- Metodi di misura:
 - diretti => espressi in termini della grandezza fisica del misurando
 - Indiretti => si misurano altre grandezze da cui si ricava il misurando mediante relazioni note.
- definizione operativa di misura (o procedura della misura) si intende l'insieme delle operazioni eseguite nell'effettuare le misure. Devono essere ripetibili da qualunque sperimentatore.

Incertezze sulla misura

- per *errore di misura* si intende la differenza fra il risultato di una misura e il valore vero del misurando;
- Poiché il valore vero è ignoto, anche l'errore è ignoto e può essere valutato esattamente soltanto se si dispone di un campione di riferimento, ovvero di un valore convenzionalmente vero.
- Il rapporto fra l'errore Δx e il valore vero del misurando x definisce l'*errore relativo* $\Delta x/x$;
- ad ogni risultato di misura è associato un certo grado di una *incertezza (o indeterminazione)*, ove con questo termine si intende,
 - un parametro che caratterizza la dispersione dei valori che possono essere ragionevolmente attribuiti al misurando

Cause dell'incertezza di misura

1. Incompleta definizione del misurando
 - Es: la densità dell'aria (dipende da dove e quando si misura)
2. Imperfetta realizzazione della definizione del misurando
 - Es: accelerazione di un corpo lungo un piano inclinato privo di attrito
3. Campione non rappresentativo, ovvero il campione misurato non rappresenta il misurando definito
4. Imperfetta conoscenza delle condizioni di influenza o inadeguata conoscenza degli effetti di tali condizioni
5. Errore di lettura di uno strumento.
 - Es: l'errore di parallassi nella lettura del voltmetro
6. Risoluzione finita o soglia di discriminazione dello strumento
7. Valori inesatti dei campioni e dei materiali di riferimento.
 - Es: una massa campione con graffi, polvere e ossidazioni
8. Valore inesatto di costanti e altri parametri che intervengono nell'analisi dei dati
9. Approssimazioni e assunzioni che intervengono nel metodo e nella procedura di misura
10. Variazioni in osservazioni ripetute del misurando sotto condizioni di misura apparentemente identiche (errori casuali)

Errori casuali e sistematici

- Gli *errori casuali* sono dovuti a influenze non controllabili e a media nulla che intervengono durante una serie di misure;
- sono responsabili della *variabilità dei valori misurati intorno* ad un certo valor medio a parità di condizioni sperimentali
- Sono chiamati *errori sistematici le deviazioni* dal valor vero che durante la misura sono costanti in entità e mantengono lo stesso segno
 - Per es: errore di scalibrazione

Accuratezza/Precisione I

- **Accuratezza:** è il massimo scostamento fra il valore misurato e il valore vero. È tanto migliore quanto più il suo valore è piccolo.

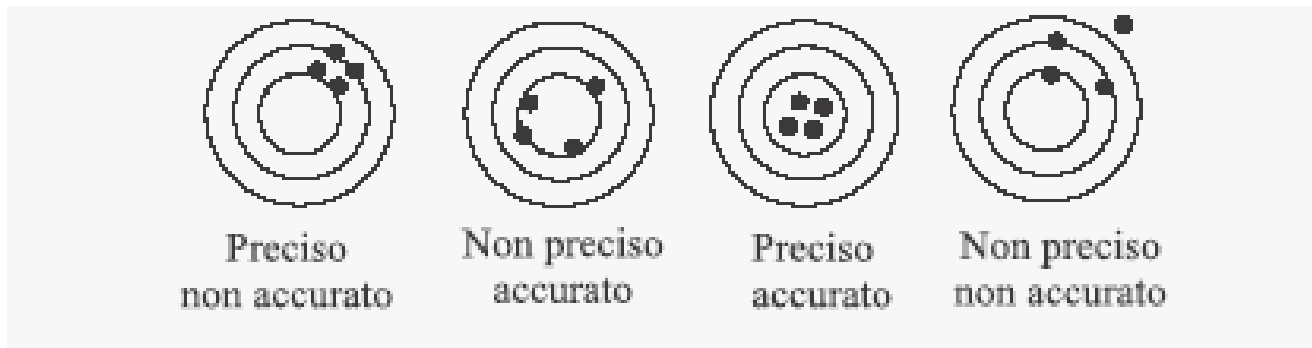
$$e_{A\%} = \frac{|Y - f(X)|_{Max}}{f(X)} \times 100$$

- **Precisione:** esprime la ripetibilità (riproducibilità) della misura della stessa grandezza fisica nelle stesse condizioni operative ed è il rapporto fra la dispersione delle misure e l'ampiezza della scala dello strumento

$$e_{P\%} = \frac{|\Delta Y(X)|_{Max}}{Y_M - Y_m} \times 100$$

Accuratezza/Precisione II

L'accuratezza non va confusa con la precisione:
l'accuratezza ci fornisce un indice di quanto la nostra misura dia una indicazione fedele al valore vero della variabile che si vuole misurare, la precisione ci fornisce una misura di quanto la misura sia ripetibile.



Esempio di calcolo dell'accuratezza (misura di spostamento)

- d =spostamento, V =tensione di uscita
- Idealmente genera 1 mV per 1 mm
- sensibilità $s = 1\text{mV/mm}$
- Con $d=10\text{mm}$ si rileva in uscita $V=10.5\text{ mV}$
- riconvertendo senza errore V all'ingresso, si ottiene $d=V/s = 10.5\text{ mm}$
- in un range di 10mm l' inaccuratezza assoluta è 0.5mm
- l' (in)accuratezza è quindi espressa in termini relativi come $0.5\text{mm}/10\text{mm} \times 100\% = 5\%$

Cifre significative

- Nel riportare il risultato di una misura, si adotta la notazione scientifica. Essa consiste nell'usare solo le cifre realmente note, dette cifre significative
- Nel contare le cifre significative, si escludono gli zeri a sinistra.
 - Ad esempio, $l = 0.035$ m ha 2 cifre significative
- Gli zeri a destra vanno contati come cifre significative.
 - Ad esempio, $l = 35.0$ mm ha 3 cifre significative
- Nella notazione scientifica è vietato l'uso di numeri periodici o irrazionali.
 - Ad esempio, **è sbagliato scrivere** $l = 2\pi$ m ; a seconda delle cifre significative, si potrà scrivere $l = 6$ m , oppure $l = 6.3$ m , oppure $l = 6.28$ m , ecc
- L'ultima cifra significativa è determinata dall'errore di misura. Nella misura $l = 35 \pm 1$ mm , si hanno 2 cifre significative; nella misura $l = 35.0 \pm 0.1$ mm, si hanno 3 cifre significative. **La notazione scientifica vieta di scrivere** $l = 35.0 \pm 1$ mm perché, visto l'errore di misura, la cifra dopo la virgola è indeterminata. **E' ugualmente sbagliato scrivere** $l = 35 \pm 0.1$ mm perché manca una cifra significativa.

Propagazione degli errori

- Quando si calcola il valore di una grandezza fisica a partire dai dati, gli errori sui dati determinano un errore sul risultato. Le regole per valutare l'errore sul risultato prendono il nome di propagazione degli errori
- Noto l'errore sul risultato, la notazione scientifica impone l'uso del corretto numero di cifre significative. Si procede quindi all'arrotondamento delle cifre in eccesso
- In un'addizione o sottrazione si sommano gli errori assoluti. Ad esempio, sia $a = b - c$, con $b = 35.0 \pm 0.1$ mm e $c = 14.0 \pm 0.5$ mm; allora $a = 21 \pm 0.6$ mm.
- In una moltiplicazione o divisione si sommano gli errori relativi. Ad esempio, sia $A = bc$, con $b = 35.0 \pm 0.1$ mm e $c = 14.0 \pm 0.5$ mm. Dai dati, segue $A = 490$ mm²; $\frac{\Delta b}{b} = \frac{0.1}{35.0} = 0.3\%$; $\frac{\Delta c}{c} = \frac{0.5}{14.0} = 3.6\%$; ;
$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} = 4\%$$

Cifre significative nel risultato dei calcoli

- Nei problemi e negli esercizi è corretto assumere che i dati siano risultati di una misura e, come tali, affetti da errore.
- Poiché di solito l'errore non è riportato esplicitamente, lo si assume pari all'unità sull'ultima cifra riportata
- Durante lo svolgimento dei calcoli, si usano tutte le cifre note. **Il risultato va però arrotondato, dopo aver stimato l'errore con la propagazione degli errori. E' vietato l'uso di numeri irrazionali o periodici.**