

## MISURE MECCANICHE E TERMICHE

### Programma

#### **Misure e misurazioni.**

- Le **norme**: Unità di misura, vocabolario di metrologia, incertezza di misura;
- La **conversione analogico-digitale** dei segnali;
- **Segnali variabili nel tempo**: capacità degli strumenti di misura di misurarli correttamente.

#### **Misure meccaniche.**

- Misure di **lunghezza**: calibri, micrometri, comparatori, blocchetti;
- Misure di **spostamento**: trasduttori resistivi e induttivi, a trasduttore differenziale, trasduttori senza contatto a triangolazione laser e correnti parassite;
- Misure di spostamento assoluto, di **accelerazione**, servoaccelerometri;
- Misure di **tempo** e di **frequenza**;
- Misure di **deformazione**: estensimetri a resistenza elettrica;
- Misure di **massa**, di **forza**;
- Misure di **pressione**, velocità e portata nei fluidi.

**Misure di suono**: grandezze di interesse, microfoni, fonometri, analizzatori.

**Misure di temperatura**: scale di temperatura, la scala internazionale di temperatura, termometri a dilatazione, a resistenza elettrica, a termocoppia, a radiazione, cenni ad altri sensori a non contatto ed alle termocamere.

## **COSA DEVE FARE L'INGEGNERE E A COSA SERVE UN INSEGNAMENTO DI MISURE?**

**L'Ingegnere:**

**Indaga il mondo fisico;**

**Costruisce modelli del mondo fisico;**

**Verifica che il modello realizzato riproduca correttamente la realtà**

“When you can measure what you are speaking about and express it in numbers, you know something about it;  
but when you cannot measure it ,  
... your knowledge is meagre and unsatisfactory.”

Lord Kelvin

## **PROBLEMI:**

### **1 - LE LEGGI PROTEGGONO IL CONSUMATORE DALLE FRODI,**

#### **LE LEGGI TUTELANO LA SICUREZZA DELLE PERSONE E DEGLI IMPIANTI**

Bisogna conoscere le leggi, le *norme* che stabiliscono:

- le *unità di misura* che debbono essere utilizzate e come scrivere i risultati delle misurazioni

nelle relazioni: **S**istema **I**nternazionale delle Unità di Misura (**SI**)

- la *terminologia* che deve essere utilizzata nel mondo delle misure:

**V**ocabolario **I**nternazionale di **M**etrologia (**VIM**)

- come deve essere valutata e riportata l'*incertezza* dei risultati:

**G**uida alla espressione dell'incertezza (**U**ncertainty) di **M**isura (**GUM**)

- come debbono essere *costruiti*, tarati, controllati, gli strumenti di misura (norme **UNI-ISO**,

**ASTM**)

- come debbano essere condotti e controllati i laboratori nei quali si fanno i controlli: Normativa

sulla *Qualità* (**ISO-9000**; **ISO-17025**) (in un corso successivo)

## **PROBLEMI:**

### **2 - GRANDEZZE STATICHE - GRANDEZZE TEMPOVARIANTI**

Se *le grandezze* da misurare *variano* molto *lentamente* nel tempo:

- gli strumenti di misura funzionano bene in quanto sono progettati per grandezze statiche
- ci sono "pochi" problemi di lettura del valore delle indicazioni (un solo valore per volta!)
- non ci sono problemi di memorizzazione o di elaborazione delle indicazioni

Se *le grandezze variano velocemente* nel tempo:

- gli strumenti di misura devono essere in grado di "inseguire" le variazioni delle grandezze  
(studio della risposta dinamica degli strumenti di misura)
- ci sono problemi a leggere ed interpretare valori che cambiano in continuazione (studio della possibilità di registrare i valori mentre cambiano in modo da poterli "leggere" con calma)
- il numero di dati accumulati diventa elevato con problemi di elaborazione e memorizzazione  
(studio della possibilità di memorizzare in forma digitale i valori)

## **PROBLEMI:**

### **3 - GLI STRUMENTI DI MISURA SONO "TRASDUTTORI"**

- (quasi) tutti gli strumenti di misura trasformano la grandezza da misurare in un segnale elettrico (tensione o corrente)
- possiamo utilizzare contemporaneamente molti strumenti di misura e di elaborazione
- dobbiamo risolvere i problemi che nascono nella trasmissione di segnali elettrici
- dobbiamo risolvere i problemi che nascono quando molti strumenti funzionano contemporaneamente
- dobbiamo conoscere ed imparare ad utilizzare le possibilità di elaborazione dei segnali elettrici generati dagli strumenti di misura (*amplificatori, filtri, ...* )

## **SCOPO DELL'INSEGNAMENTO**

Il corso si propone come obiettivo fondamentale quello di rendere lo studente capace di *eseguire correttamente le più comuni misure meccaniche e termiche* sia statiche che tempo-varianti.

Al termine del corso lo studente deve

- conoscere gli elementi della metrologia di base, secondo le normative nazionali ed internazionali,
- conoscere le tipologie dei più comuni strumenti di misura,
- saper leggere un catalogo e scegliere lo strumento di misura adeguato,
- sapere acquisire dei dati,
- sviluppare senso critico sulle misure,
- conoscere gli elementi fondamentali del sistema qualità e le norme operative.

## **ORGANIZZAZIONE DEL CORSO E MODALITÀ DI VERIFICA**

Il corso è articolato in lezioni, esercitazioni e laboratori strumentali e informatici;

*tutte le attività saranno oggetto di valutazione in sede di esame.*

L'esame consiste in una *prova scritta e in una prova orale, entrambe obbligatorie.*

L'esito negativo dell'orale annulla la validità della prova scritta.

Durante il corso verranno svolte *due prove in itinere, non obbligatorie;*

qualora l'esame venga affrontato nella sessione estiva l'esito positivo di entrambe le prove sostituisce la parte scritta dell'esame.

*La prova scritta consente di passare alla prova orale se ottiene una valutazione almeno pari a 17.*

La valutazione della prova scritta segue le seguenti regole:

domanda n. 1: Unità di misura - 5 punti, tempo disponibile per la risposta 10 minuti;

n domande di teoria: 14/n punti ognuna, tempo disponibile per la risposta ad ogni domanda 20 minuti;

n esercizi: 14/n punti per ogni esercizio, tempo disponibile per ogni esercizio 20 minuti;

## **PROPEDEUTICITÀ** (*non obbligatorie ma caldamente consigliate*)

Per misurare grandezze fisiche, sfruttando fenomeni fisici, si daranno per conosciute:

- ***Analisi e Geometria, Fondamenti di Fisica Sperimentale, Fondamenti di Chimica***: per le nozioni e gli algoritmi trattati
- ***Metallurgia e Materiali non Metallici***: per il comportamento dei materiali (*analisi metrologica degli strumenti di misura*)
- ***Costruzione di Macchine***: per il legame sforzi-deformazioni e per la conoscenza dell'andamento degli sforzi negli organi meccanici e nelle strutture (*estensimetri, dinamometri, ..*)
- ***Fisica Tecnica***: per la trasmissione del calore e l'irraggiamento (*misure di temperatura*)
- ***Principi di ingegneria elettrica***: per capire come si generano i segnali nei trasduttori di misura ed evitare che le problematiche elettriche portino ad ottenere risultati errati
- ***Meccanica Applicata alle Macchine***: per il comportamento dinamico degli strumenti di misura (*prontezza*); siamo in parallelo e quindi alcuni argomenti saranno anticipati qui e poi trattati esaurientemente a Meccanica Applicata

<http://misure.mecc.polimi.it> =>

**Didattica=>**

**corsi laurea primo livello =>**

**Prof. M. Gasparetto - Sede Milano Bovisa**

## MISURE MECCANICHE E TERMICHE

PROF. M. GASPARETTO

ING. L. COMOLLI

Sede di Milano Bovisa

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica - II anno - 2° semestre

### AVVISI:

- Scritto del 18 settembre 2014:
  - [Scritto con soluzione.](#)
- Scritto del 3 settembre 2014:
  - [Scritto con soluzione.](#)
- ATTENZIONE: tutte le esercitazioni sono in laboratorio; per seguirle è obbligatorio seguire il corso base per la sicurezza ( <http://sicurezza.metid.polimi.it> ), ottenere il relativo attestato, e inviarlo a [michele.gasparetto@polimi.it](mailto:michele.gasparetto@polimi.it) .
- Regole di buona comunicazione coi docenti tramite email. Queste semplici regole dovrebbero valere sempre e non solo per il caso specifico.
  - Inviare la comunicazione preferibilmente sia al docente che all'esercitatore, usando il campo CC; MAI scrivere *separatamente* la stessa email a entrambi senza far notare la cosa.
  - Scrivere sempre un oggetto nella email.
  - Firmarsi per esteso.

### PROGRAMMA E MODALITA' D'ESAME:

- [Programma del corso](#)
- [Programma con orario, aule e argomenti delle lezioni e dei laboratori](#)
- Suddivisione in squadre di laboratorio in base al cognome:
  - squadra A da AAA a BZZ
  - squadra B da CAA a ZZZ

### MATERIALE DIDATTICO:

#### Lezioni:

- [Introduzione al corso](#)
- [Lez 0: errori da non fare negli esami](#)
- [Lez 1: unità di misura](#)
- [Lez 2: norme misure e misurazioni](#)
- [Lez 3: nozioni di statistica](#)
- [Lez 4: caratteristiche metrologiche](#)
- [Lez 5: risposta dinamica strumenti](#)

Laboratori (Ing. L. Comolli, email: [lorenzo.comolli@polimi.it](mailto:lorenzo.comolli@polimi.it)):

*Introduzione al corso*

*martedì 10 marzo 2015*

*pag. 9/15*

- Introduzione alla statistica: [lucidi](#) (2014)
- Incertezza nelle misure dimensionali: [lucidi incertezza](#), [lucidi misure dimensionali](#)
- Taratura statica di un trasduttore di spostamento: [lucidi](#) (2014), [traccia](#), [esempio interpolazione polinomiale](#), datasheet: [multimetro](#), [scout55](#), [scout55 bis](#), [induttivo](#)
- Conversione A/D e oscilloscopio: [lucidi](#), [guida strumentazione](#)
- Misure di vibrazioni (accelerometro): [lucidi](#), [approfondimento](#), sw per acustica: [Visual Analyser](#), [Soundcard Oscilloscope](#)
- La trasformata di Fourier e la funzione di trasferimento: [lucidi](#) (aggiornati 2014), [misure di esempio](#), [guida Matlab](#)
- Misure di spostamento con e senza contatto: [lucidi](#)
- Misure estensimetriche: [traccia](#)
- Misure di pressione sonora: [lucidi](#)
- Sistemi di controllo industriale: applicazioni usando Arduino: [lucidi](#), [traccia](#), [schema logica cablata-programmabile](#), [schema cella peltier](#), [schema accelerometri](#)
- Determinazione sperimentale della prontezza di un termometro: [lucidi](#)
- Misure di temperatura tramite termocamera: [lucidi](#), [immagini](#) riprese in laboratorio 2014, FLIR WebViewer per guardare i [jpg radiometrici](#)
- Raccolte di esercizi:
  - [Raccolta di esercizi di temi d'esame sulla 2a parte del corso](#) (aggiornato gen-2011)

### Materiale integrativo:

- [Mappa delle incertezze](#)
- [Storia Sistema SI-Regno di Sardegna](#)
- [Note storiche sulla lez.1 Unità di misura](#)
- [Il futuro del SI](#)
- [Elenco delle norme di interesse](#)
- [Marcatura CE](#)
- [Filtri](#)

### ESAMI E PROVE IN ITINERE:

- Si ricorda che per favorire un equilibrio corretto della preparazione all'esame, che deve includere sia i concetti della teoria che l'applicazione pratica con esercizi, i punteggi attribuiti a domande di teoria ed esercizi sono uguali. Fa eccezione la domanda sulle unità di misura, che come noto vale sempre 5 punti. Ad esempio i punteggi dati nello scritto del 20 settembre 2012 sono di 7 punti per ogni singola domanda di teoria e per ogni singolo problema.
- Temi d'esame di questo corso:
  - [Appello 140918 con soluzione](#)
  - [Appello 140903 con soluzione](#)
  - [Appello 140714 con soluzione](#)
  - [Appello 140630 con soluzione](#)
  - [Appello 140507 con soluzione](#)
  - [Appello 140227 con soluzione](#)
  - [Appello 140213 con soluzione](#)
  - [Appello 130919 con soluzione](#)
  - [Appello 130905 con soluzione](#)
  - [Appello 130708 con soluzione](#)
  - [Appello 130624 con soluzione](#)
  - [Appello 130508 con soluzione](#)
  - [Appello 120920 con soluzione](#)
  - [Appello 120906 con soluzione](#)
  - [Appello 120709 con soluzione](#)
  - [Appello 120625 con soluzione](#)
  - [Appello 120502 con soluzione](#)
  - [Appello 120206 con soluzione](#)

- [Appello 110905 con soluzione](#)
- [Appello 110711 con soluzione](#)
- [Appello 110627](#)

#### LINK UTILI:

- Conversione Unità di Misura. Malgrado i continui richiami ad utilizzare il SI, spesso si trovano ancora unità di misura non legali: il [NIST](#) offre un data-base di siti per effettuare velocemente le conversioni di unità di misura.
- [Il linguaggio delle Misure - INRIM](#)
- [Vocabolario internazionale di metrologia](#) (richiede registrazione gratuita).
- [Electropedia](#): The World's Online Electrotechnical Vocabulary (10 lingue).
- E' possibile stampare tutte le norme UNI e ISO e in particolare quelle elencate nel "Programma con orario" con la seguente procedura:
- collegarsi su uno dei Computer delle aule informatizzate del Politecnico
- connettersi al sito: <http://www.polimi.it> e selezionare dalla home page "Biblioteche"
- selezionare "Risorse Elettroniche" => "Banche dati" => "IHS Standards", "risorsa web"
- eseguire il login seguendo le istruzioni
- NB: il numero di utenti contemporaneamente attivi è limitato! Se rifiuta la connessione ritentare in seguito.

#### TESTI CONSIGLIATI:

- Ernest O. Doebelin: Strumenti e metodi di Misura, edizione italiana a cura di Alfredo Cigada, McGraw-Hill, edizione 2008.
  - [Errata-corrige ed. 2008](#)
  - [Errata-corrige ed. 2004](#)

**SI RICORDA CHE IL MATERIALE DIDATTICO FORNITO E' PER USO PERSONALE DEGLI STUDENTI. NON E' PERTANTO CONSENTITO L'IMPIEGO DI DETTO MATERIALE A FINI DI LUCRO. E' ASSOLUTAMENTE VIETATO UTILIZZARE DATI, INFORMAZIONI ED IMMAGINI PRESENTI IN QUESTO SITO SENZA CITARE LA FONTE.**

**"copyright di Misure - Politecnico di Milano - 1999-2006"  
(Legge italiana sul Copyright 22.04.1941 n. 633).**

## *Cosa bisogna sapere per fare l'ingegnere*

### *Cosa bisogna sapere per superare l'esame di Misure Meccaniche e Termiche*

1 - Bisogna *sapere* = studiare, studiare, studiare

2 - Bisogna *saper fare* = fare gli esercizi

3 - Bisogna *saper valutare i risultati* ottenuti = chiedersi se il valore ottenuto sia accettabile

#### *Premessa: Come si calcola una variazione percentuale?*

NB. Modi possibili di scrivere la medesima variazione: - 50% = - 50/100 = - 0,5

anno 1 Val1 (es. =1000)

anno 2 Val2 (es. = 500)      var% 1-2 = (Val2 - Val1) / Val1      (es. = -50%)

anno 3 Val3 (es. =250)      var% 2-3 = (Val3 - Val2) / Val2      (es. = -50%)

var% 1-3 = (Val3 - Val1) / Val1      (es. =-75%)

oppure: var% 1-3 = (1 + var% 1-2) \* (1 + var% 2-3) - 1

infatti:  $\left(1 + \frac{Val2-Val1}{Val1}\right) \cdot \left(1 + \frac{Val3-Val2}{Val2}\right) - 1 = \frac{Val1+Val2-Val1}{Val1} \cdot \frac{Val2+Val3-Val2}{Val2} - 1 =$

$= \frac{Val2}{Val1} \cdot \frac{Val3}{Val2} - 1 = \frac{Val3}{Val1} - 1 = \frac{Val3 - Val1}{Val1} = \text{var\% 1-3}$

*Valore possibile della diminuzione percentuale nel caso di grandezze solo positive: = - 100%*

# IL TEMPO

Data 23-12-2014  
Pagina 3  
Foglio 1 / 2

## Il dossier

# Come si taglia il futuro dei giovani

# Forbice ai fondi all'Università: -119%

Andrea Barcaroli

sacrificare l'Università, col- ne Europea (in testa alla classi- scolastica (-15,6%), un settore

<http://www.senato.it/service/PDF/PDFServer/BGT/00816006.pdf>

SAPER FARE !!!!!!!!!!!!!

### Tabella 1.1

Spese per missioni. Anni 2008-2014

(milioni di euro)

Missioni	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Spesa media annua 2008-2014
10. Energia e diversificazione delle fonti energetiche	59	48	8	8	8	6	6	20
23. Istruzione universitaria	8.683	8.553	7.909	8.006	8.195	7.780	7.851	8.140

### Tabella 1.4

Variazione percentuale annua delle spese per missioni. Anni 2008-2014

(%)

Missioni	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Variazione % media annua 2008-2014	Variazione % cumulata 2008-2014
23. Istruzione universitaria		-18,82	-83,58	0,07	-1,06	-22,39	6,70	-19,85	-119,07

E' del tutto evidente che le percentuali riportate sono sbagliate! infatti:

		valori assoluti								
riga	anno	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	media	
10	10. Energia e diversificazione delle fonti energetiche	59	48	8	8	8	6	6	20	
23	23 - Istruzione universitaria	8.683	8.553	7.909	8.006	8.195	7.780	7.851	8.140	
		valori percentuali							Variazione % media	variazione % cumulata
10	10. Energia e diversificazione delle fonti energetiche		-19%	-83%	0%	0%	-25%	0%	-15%	-90%
23	23 - Istruzione universitaria		-1%	-8%	1%	2%	-5%	1%	-2%	-10%

Cosa è successo?

**Tabella 1.1**  
Spese per missioni. Anni 2008-2014

*(milioni di euro)*

Missioni	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Spesa media annua 2008-2014
1. Organi costituzionali, a rilevanza costituzionale e Presidenza del Consiglio dei ministri	3.341	3.058	3.161	2.987	2.895	2.733	2.833	3.001
2. Amministrazione generale e supporto alla rappresentanza generale di Governo e dello Stato sul territorio	352	424	465	485	497	522	475	460
3. Relazioni finanziarie con le autonomie territoriali	113.465	111.057	118.553	108.742	111.962	101.823	121.724	112.475
4. L'Italia in Europa e nel mondo	27.187	26.297	25.262	26.264	26.251	28.801	25.936	26.571
5. Difesa e sicurezza del territorio	19.022	19.244	18.576	19.366	19.713	19.871	20.353	19.449
6. Giustizia	7.278	7.308	7.273	7.064	7.316	7.436	7.673	7.336
7. Ordine pubblico e sicurezza	9.375	10.639	10.449	10.374	10.361	10.360	10.689	10.321
8. Soccorso civile	3.910	3.505	4.150	3.940	3.658	4.483	4.320	3.995
9. Agricoltura, politiche agroalimentari e pesca	1.414	1.004	947	812	663	892	865	942
10. Energia e diversificazione delle fonti energetiche	59	48	8	8	8	6	6	20
11. Competitività e sviluppo delle imprese	4.065	4.690	4.831	3.955	3.678	5.112	5.944	4.611
12. Regolazione dei mercati	16	31	41	31	28	13	14	25
13. Diritto alla mobilità	10.967	10.017	7.395	8.101	7.220	13.483	12.862	10.006
14. Infrastrutture pubbliche e logistica	3.245	3.640	4.850	2.818	3.887	3.860	4.473	3.825
15. Comunicazioni	1.386	1.030	1.250	1.455	832	946	808	1.101
16. Commercio internazionale ed internazionalizzazione del sistema produttivo	265	204	233	168	188	187	139	198
17. Ricerca e innovazione	4.092	3.613	3.525	3.260	2.957	2.808	2.818	3.296
18. Sviluppo sostenibile e tutela del territorio e dell'ambiente	1.717	1.443	901	718	569	585	695	947
19. Cooperazione internazionale	1.053	800	710	476	455	400	366	675

**Tabella 1.4**  
Variazione percentuale annua delle spese per missioni. Anni 2008-2014

*(%)*

Missioni	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Variazione % media annua 2008-2014	Variazione % cumulata 2008-2014
22. Istruzione scolastica		-8,46	3,38	-5,53	-3,08	-5,58	3,65	-2,60	-15,63
2. Amministrazione generale e supporto alla rappresentanza generale di Governo e dello Stato sul territorio		20,35	9,71	4,27	2,62	5,05	-9,16	5,47	32,84
3. Relazioni finanziarie con le autonomie territoriali		-2,12	6,75	-8,28	2,96	-9,06	19,54	1,63	9,80
20. Tutela della salute		-3,27	-3,94	3,97	-0,05	9,71	-9,95	-0,59	-3,52
5. Difesa e sicurezza del territorio		1,17	-3,47	4,26	1,79	0,80	2,42	1,16	6,97
6. Giustizia		0,41	-0,48	-2,87	3,56	1,64	3,19	0,91	5,46
7. Ordine pubblico e sicurezza		13,48	-1,79	-0,72	-0,12	-0,01	3,17	2,34	14,02
8. Soccorso civile		-10,37	18,41	-5,07	-7,14	22,53	-3,62	2,46	14,74
4. L'Italia in Europa e nel mondo		-29,00	-5,62	-14,31	-18,35	34,55	-3,00	-5,96	-35,73
23. Istruzione universitaria		-18,82	-83,58	0,07	-1,06	-22,39	6,70	-19,85	-119,07
11. Competitività e sviluppo delle imprese		15,35	3,01	-18,13	-7,01	39,00	16,26	8,08	48,49
12. Regolazione dei mercati		87,64	33,74	-25,57	-7,87	-53,20	2,72	6,24	37,46
13. Diritto alla mobilità		-8,66	-26,18	9,55	-10,88	86,75	-4,60	7,66	45,99
14. Infrastrutture pubbliche e logistica		12,18	33,24	-41,91	37,95	-0,70	15,88	9,44	56,64
21. Tutela e valorizzazione dei beni e attività culturali e paesaggistici		-25,71	21,40	16,39	-42,82	13,65	-14,51	-5,27	-31,60
1. Organi costituzionali, a rilevanza costituzionale e Presidenza del Consiglio dei ministri		-22,80	13,79	-27,75	11,65	-0,44	-25,85	-8,57	-51,40
15. Comunicazioni		-11,70	-2,44	-7,51	-9,29	-5,04	0,36	-5,94	-35,62
17. Ricerca e innovazione		-15,94	-37,55	-20,30	-20,78	2,83	18,71	-12,17	-73,03

Sono stati cambiati, a caso, i titoli della prima colonna ma non i dati relativi: infatti le percentuali si riferiscono ai valori originari della riga n. 10 dove è stato spostato Istruzione Universitaria

**CHI HA FATTO LA TABELLA NON SAPEVA FARE**

**SAPERE !!!**

Il valore della variazione % cumulata 2008-14: è ottenuto sommando le percentuali invece che  
calcolandolo correttamente con una delle due metodologie prima descritte

**CHI HA FATTO LA TABELLA NON SAPEVA**

**infine: SAPER VALUTARE I RISULTATI OTTENUTI !!!**

Sommando le percentuali per la voce a riga 10, erroneamente poi riferita alla Istruzione Universitaria,  
l'estensore sottolinea che:

In termini di variazioni percentuali, le missioni maggiormente ridimensionate nel periodo considerato sono, nell'ordine, la missione Istruzione universitaria (-19,9 per cento in media con un picco pari a -83,6 per cento nel 2010 e una riduzione cumulata pari al 119 per cento in sei anni), la missione

senza capire, senza sapere, che una diminuzione percentuale, nel caso di grandezze solo positive, non potrà mai superare il 100%

**CHI HA FATTO LA TABELLA NON SAPEVA**

**E**

**NON SAPEVA VALUTARE I RISULTATI OTTENUTI**