Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari
Tesi di laurea
Cartoleria e cancelleria
Stampa file e fotocopie
Print on demand
Rilegature

NUMERO: 1101 DATA: 16/09/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Lacirignola

MATERIA: Sistemi di Misura e Sensori

Prof. Parvis

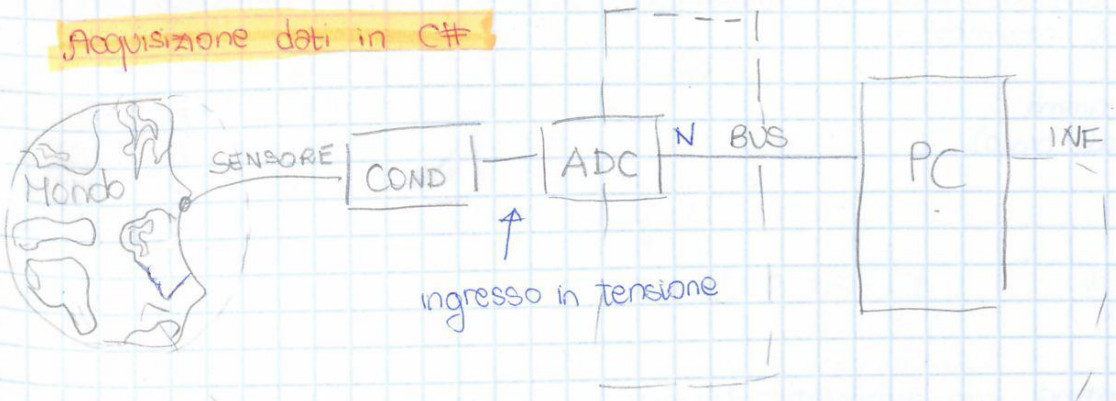
Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.
Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTI E NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 3 di 90

30/09/13

Acquisizione dati in C#



Misurando rilevato dal sensore. Lo scopo della misura definisce l'incertezza da utilizzare

C# → linguaggio ad oggetti e programmato dagli eventi (pilotato)

C# è managed, ovvero gestisce autonomamente l'allocazione della memoria (dal compilatore). Quindi tutta la memoria è allocata (NO MALLOC)

Ex: pippo = new int [1000]

- Utilizzo di new -

↳ Si utilizza "new", il sistema inserisce in automatico la posizione di allocazione della memoria.

Ovviamente, non si utilizzano i puntatori, se sono richieste particolari esigenze, si utilizza unsafe per poter gestire quel determinato pezzo di memoria con malloc, free ecc...

Si utilizzerà: SerialPort,

- Problema del Thread -

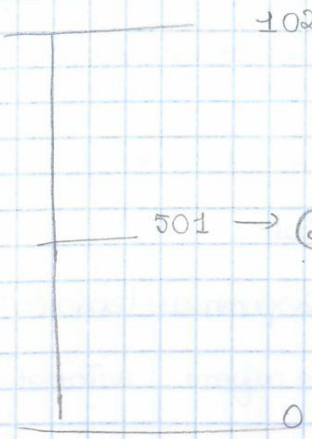
Un Thread è un percorso di esecuzione all'interno di un programma e non è possibile eseguire contemporaneamente più segmenti dello stesso Thread. L'interfaccia grafica è gestita da un unico Thread. (ad esempio clicco su un bottone e si esegue solo quella porzione di codice!)

Soluzione:
- Si può sospendere l'op. di tanto in tanto per evitare il congelamento
- Creare un altro Thread.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 3 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 5 di 90

L'alimentazione a 5V di Arduino può variare del 10%. Questo vuol dire che nel riferimento dell'ADC



$\frac{2500\,mV}{10\,mV/°C} = 250K$ → ~20 °C

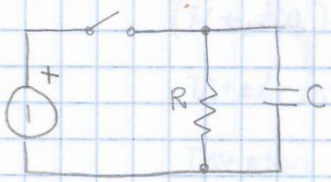
N = 500 CALCOLO INCERTEZZA

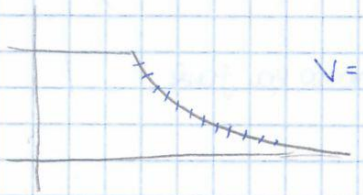
$T = N \cdot \frac{V_R}{1000} \cdot \frac{1}{0.01} \sim 270$ $\quad \delta T = \frac{N}{1000} \cdot \frac{1}{0.01} \delta V_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{0.01} \cdot 0.25 = 50 \cdot 0.25$

$= 12.5\,°C$

L'insieme delle operazioni che mi permettono di "aggiustare" il trimmer o il codice a seconda di quello che mi serve è la messa a punto. (si può fare dopo la messa a punto il controllo di taratura che rappresenta una verifica delle prestazioni).

MISURA DELLE COSTANTI DI TEMPO

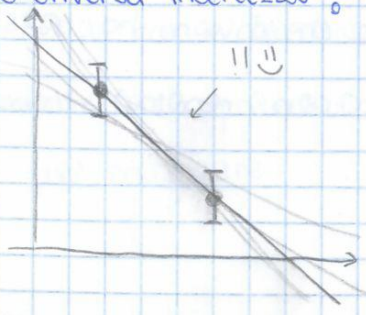


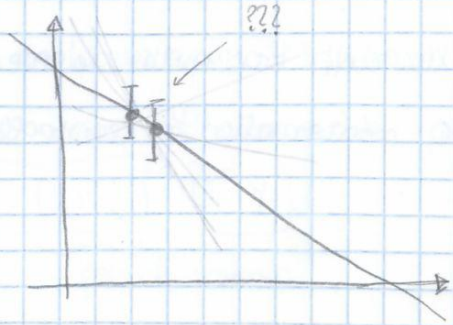


$V = V_0 e^{-t/\tau} \Rightarrow \frac{V}{V_0} = e^{-\frac{t}{\tau}} \quad -\frac{t}{\tau} = \log\left(\frac{V}{V_0}\right)$

$= \log\left(\frac{V}{V_{inf}}\right) - \log\left(\frac{V}{V_{inf}}\right)$

La tecnica di regressione lineare non va bene perché tutti i campioni hanno diversa incertezza!





© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 5 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 7 di 90

Cosa vuol dire migliore? Bisogna avere ben chiaro l'obbiettivo.

Minimizzo la distanza tra i valori ideali e reali. → MINIMIZZO LA SOMMA DEI QUADRATI (sommo tutte le distanze tra i punti al quadrato):

$\min \sum (\hat{V}e - Vi)^2$ → STIMA AI MINIMI QUADRATI - LSE

↳ NORMA L_2

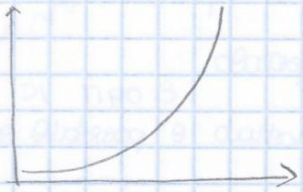
COME SI FA LA STIMA AI MINIMI QUADRATI?

Non si procede per tentativi: meglio evitare. Se il modello non è lineare non si deve mai applicare, a meno che non conosco come sia fatta la funzione. Se il modello soddisfa:

- LINEARITÀ DEI PARAMETRI: è possibile separare i parametri per vedere la linearità $f(a+b) = f(a)+f(b)$

$$y_1 = (x_1, x_2, x_3)\,[a\ b\ c]^T$$
$$y_2 =$$
$$y_3 =$$

EX:



$y = ax^2 + bx + c$ ↕ SONO LA STESSA COSA!

$$[x^2\ \ x\ \ 1]\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

Quindi, è possibile esprimere il mio insieme di misure come:

SCRITTURA IN FORMA MATRICIALE →

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^2 & x_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2 & 1 \\ x_3^2 & x_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

$$Y = U \cdot \lambda$$

$Y = U\lambda$

↳ U non è quadrata! → non posso fare l'inversa! NO SOLUZIONE

Quindi cerco qualcosa che passi vicino. L'insieme dei parametri ottimi si può calcolare:

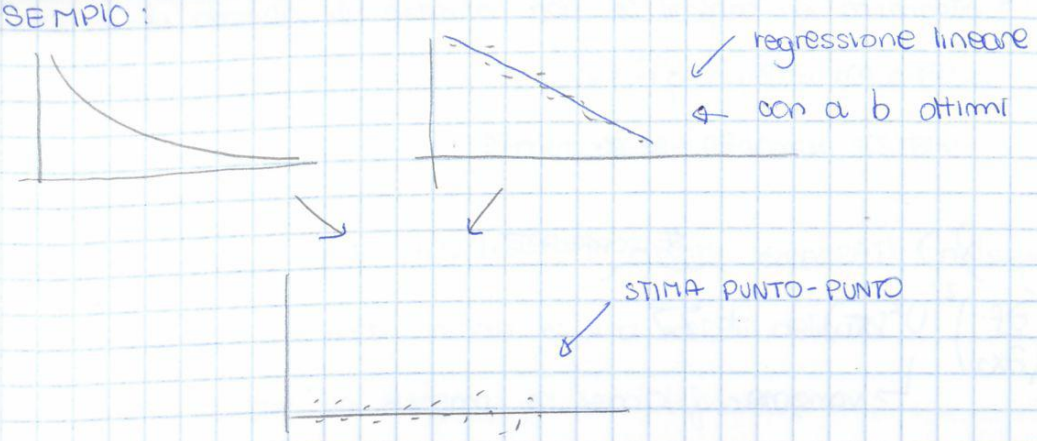
$$\lambda_{OPT} = (U^T U)^{-1} U^T Y$$

pseudo-inversa

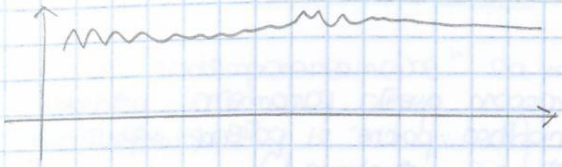
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 7 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 9 di 90

ESEMPIO:

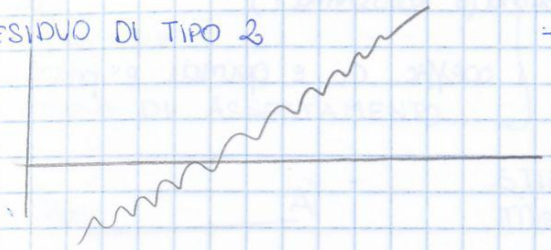


RESIDUO DI TIPO 1



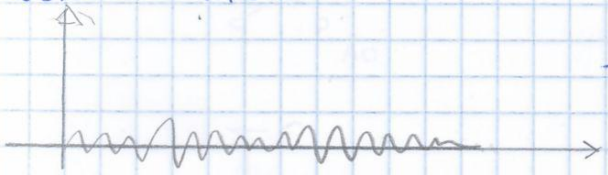
→ errore nella stima NO!

RESIDUO DI TIPO 2



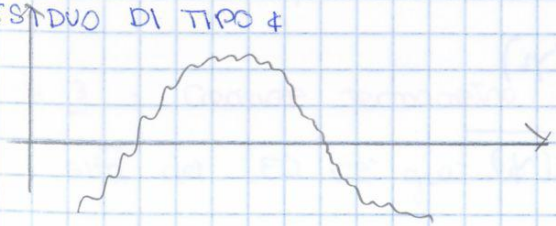
→ anche questo è sbagliato! Errore nella pendenza NO!

RESIDUO DI TIPO 3



→ è intorno al valor medio nullo.
Il modello descrive i dati sperimentali.

RESIDUO DI TIPO 4



anche questo è a valor medio nullo, ma il modello non descrive la realtà

$$\lambda = (U^T U)^{-1} U^T y$$

incertezza con cui si stima λ_1

$$\lambda(1) = \sum c_i y_i = c_1 y_1 + c_2 y_2 + \dots$$

$$y = f(x_1 \dots)$$

$$\delta y = \sum \left|\frac{\partial f}{\partial x_i}\right| \delta x_i$$

Applicando la formula

$$\delta\lambda = |c_1|\delta y_1 + |c_2|\delta y_2 + \dots$$

In questo modo ottengo la stessa incertezza di quando utilizzo 2 punti!

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 9 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 11 di 90

Cosa si fa quando il sistema non è lineare nei parametri? Non si possono utilizzare le tecniche già viste. Più parametri ci sono nel sistema più è facile cadere in un minimo locale. → SEMPLIFICO IL SISTEMA

- VEDI FUNZIONE CHE MINIMIZZA i MINIMI QUADRATI - (lsqrsolve - SCILAB-)

la scelta dei parametri iniziali è una scelta delicata

Se sappiamo che un sistema è semplificabile:

compSin (risolve la parte lineare), ad esempio, si fissa la frequenza

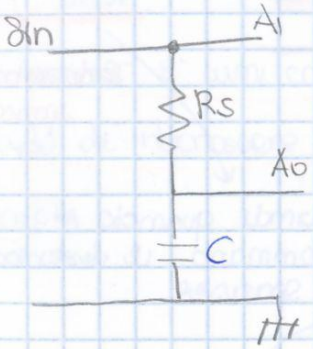
---

Se effettuo "contemporaneamente" la misura di due segnali ci possono essere 3 problemi

- SKEW, ritardo
- CROSS TALK
- TEMPO DI ASSESTAMENTO

} peggiorano all'aumentare di f

STIMA DI C:
Misurare Rs e applicare diverse frequenze, e dalle misure di A_0 e A_1 → stimo C



- LAB 3: Creazione termometro con Serial Monitor

(sul sito del LED c'è già lo scheletro fatto)

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 11 di 90

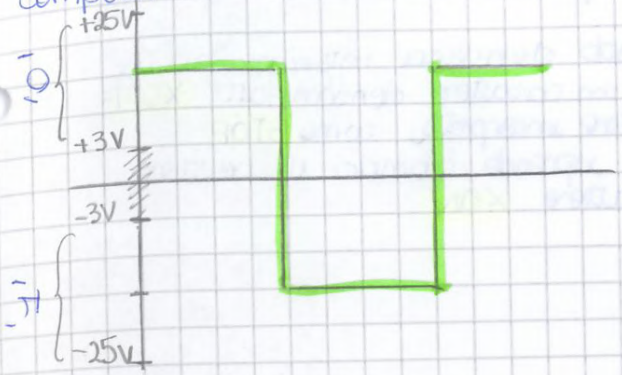
RS232

Pensata per connettere:

DTE ← CABLE → DCE

data terminal equipment → computer

data circuit equipment → modem



RS232 definisce 2 livelli:

- MARK (OFF, 1) tensione tra -25÷-3
- SPACE (ON, 0) tensione tra +3, +25 V

Un carattere è formato da 1 bit di START, 7-8 bit di dato, 0÷1 bit di parità, 1, 1.5, 2 bit di STOP.

La parità è un codice di ridondanza che è in grado di riconoscere (ma non correggere) un errore.

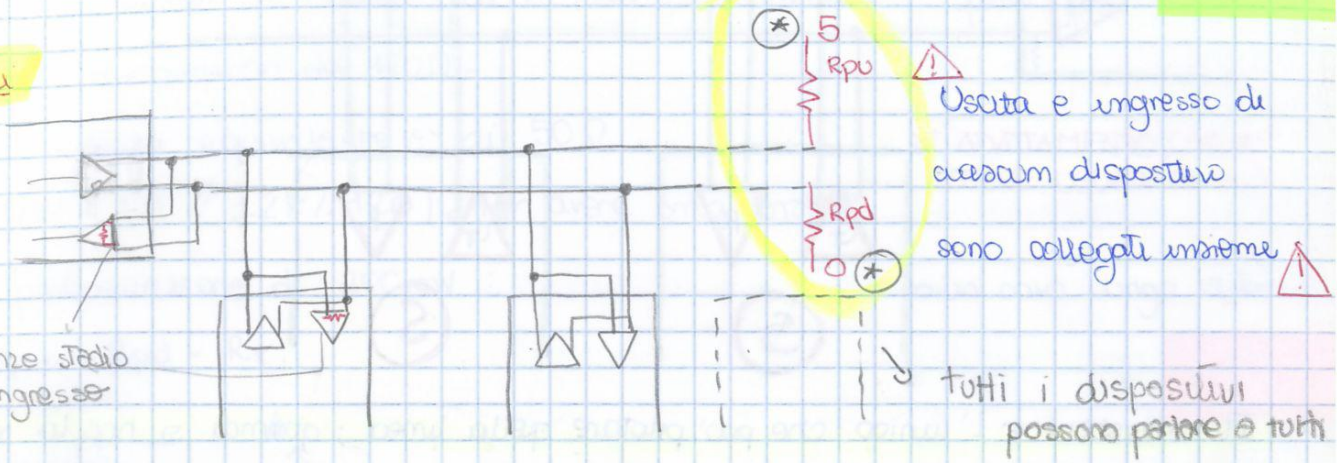
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 15 di 90

9/10/13

RS485 - Ha risolto il problema di connessione tra più dispositivi - (fino a 32) Usa una trasmissione differenziale. → FUNZIONAMENTO HALF DUPLEX E MULTICAST (uno parla e gli altri ricevono). Opera fino a 1200m ed è bidirezionale.

Usa buffer three-state ed esistono 2 configurazioni (a 2 o a 4 fili) ed è la base di bus di campo.

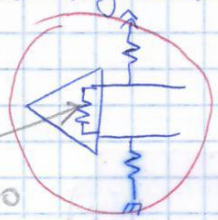
2 fili



Uscita e ingresso di ciascun dispositivo sono collegati insieme

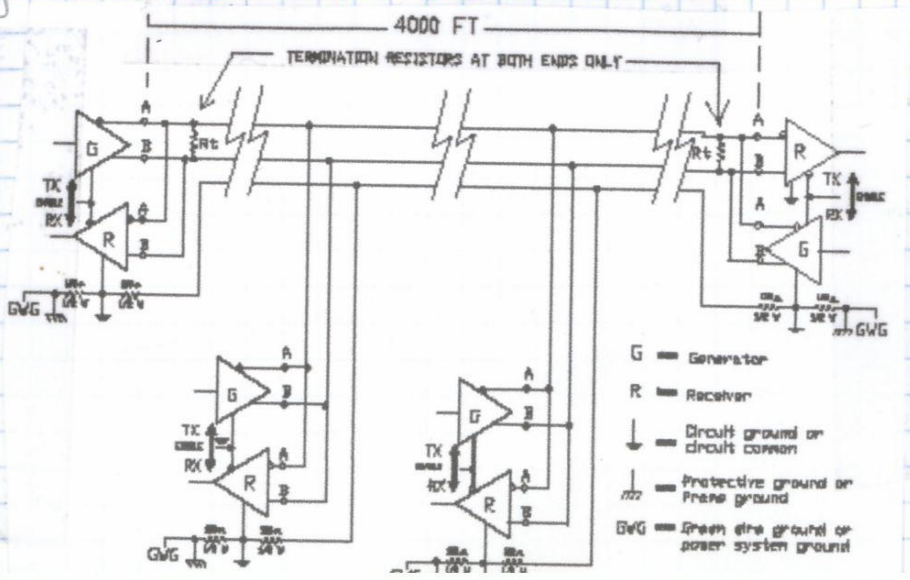
tutti i dispositivi possono parlare e tutti

Questo modo operativo realizza un bus completo con trasmissione BROADCAST. (uno parla e tutti ascoltano). Tale sistema sarà pieno di collisioni. Di norma quando non c'è una trasmissione tutti i dispositivi sono in alta impedenza. Quindi, tutti i dispositivi ~~non~~ captano tutti i disturbi! → NON ACCETTABILE. Come ridurre questo effetto? Polarizziamo le linee. (*) Ogni stadio di ingresso ha una sua impedenza di ingresso. Quindi si pensa di costruire ogni oggetto in questo modo:



in questo modo, evito di progettare ogni volta Rpu ed Rpd. Ogni filo viene quindi polarizzato.

(Rt è il terminatore

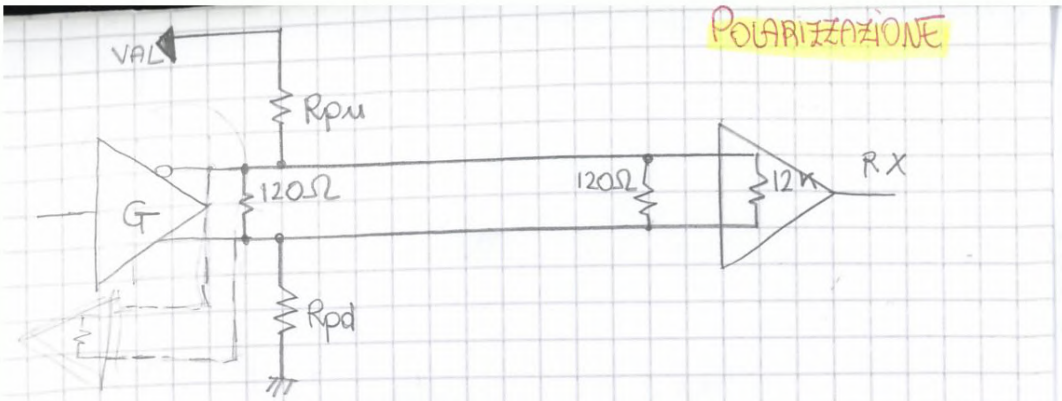


RS485
2 fili

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 15 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 17 di 90

POLARIZZAZIONE

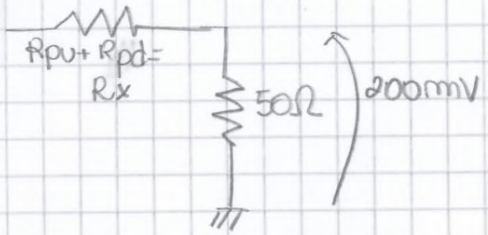


Considerando 32 ricevitori con impedenza da 12kΩ e due terminatori da 120Ω.

L'impedenza equivalente è di 50Ω.

(120 // 12k // 12k // 120). Per avere una tensione di polarizzazione di 200mV:

Rpu + Rpd = Rx



$$\frac{5V \cdot 50\Omega}{50\Omega + Rx} = 0{,}2\,V$$

$$(50\Omega + Rx) \cdot 0{,}2 = 5V \cdot 50\Omega$$

$$Rx = \frac{5 \cdot 50 - 50 \cdot 0{,}2}{0{,}2\,V}$$

$$= 1.2\,K\Omega$$

Rpu = 560Ω Rpd = 560Ω

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 17 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 19 di 90

Protocolli: (per evitare le collisioni in base alla configurazione)

- MASTER-SLAVE a 4 fili (la collisione può avvenire solo tra slave)
- MASTER-SLAVE a 2 fili: (la collisione può avvenire tra slave, e con il master).
- MULTI-MASTER a 2 fili: (ogni master può iniziare la trasmissione in qualsiasi momento e le collisioni sono inevitabili) UTILIZZARE TECNICHE DI UNKNOWN

PROTEZIONE DAI TRANSITORI

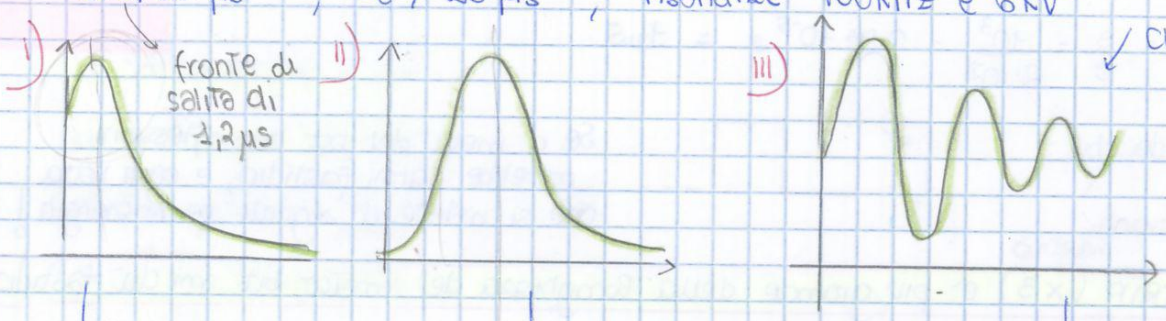
Quando ho una linea (lunga) sono esposto a disturbi (anche intensi).

- Sicurezza
- Immunità ai disturbi (funziona indipendentemente dal disturbo)

Come classificare la protezione? Come quantificarla? Dipende dal disturbo.

Sono state inventate delle verifiche con segnali di disturbo normalizzati

1,2/50 μs (→ scarica), 8/20 μs, risonanze 100KHz e 6KV



I) → maggiore energia alle frequenze più alte!

II) → maggiore energia alle frequenze intermedie

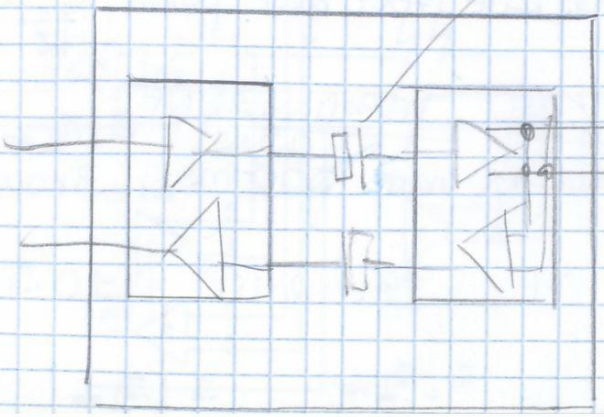
III) → disturbo che colpisce ad una frequenza precisa.

(per crearli, basta cambiare l'induttanza!)

Due tecniche per proteggersi:

- ISOLATORI: barriera di tipo ottico tra linea e dispositivo. Interruzione della continuità galvanica (tra la linea e il dispositivo). Funziona bene per i disturbi di modo comune (e non per quelli differenziali)

OPTOISOLATORE



L'isolamento non protegge dai disturbi di modo differenziale

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 19 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 21 di 90

Scelte progettuali:

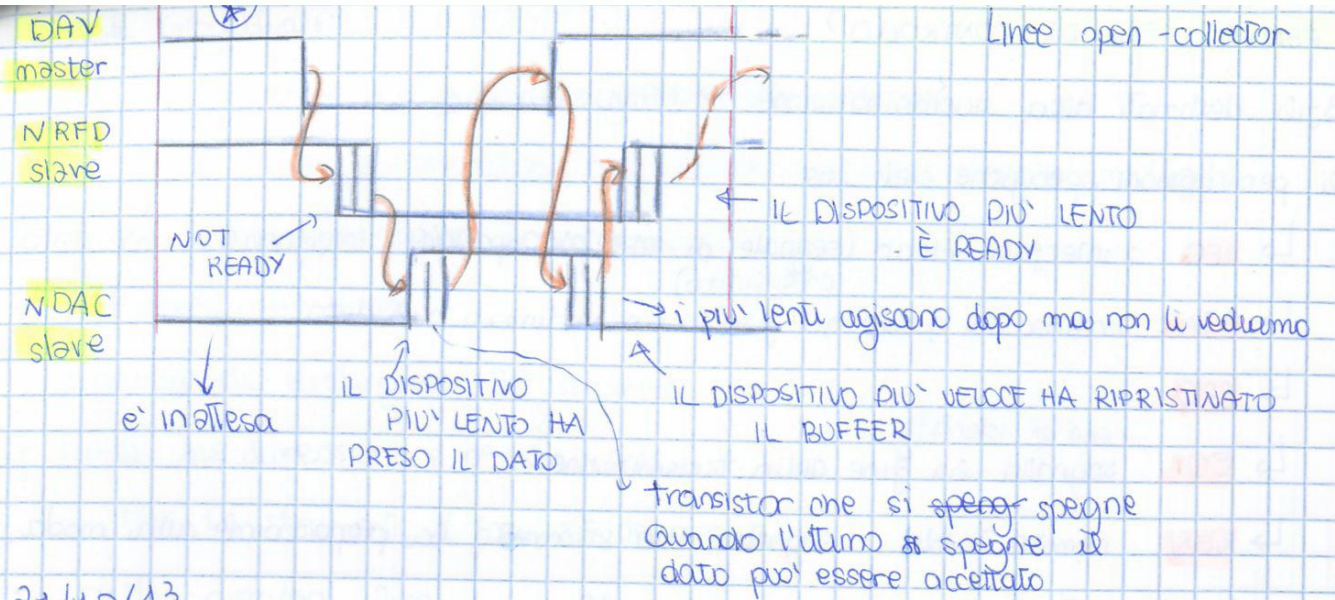
- Sistema asincrono con 3 fili di gestione del protocollo
- 8 fili di dato in modalità half duplex con dati e indirizzi multiplati
- Altri 8 fili per altre sincronizzazioni
- 1 Mbyte/s → Vmax
- Capacità di distinguere 30 strumenti
- Limiti su dimensioni e nº strumenti
  - Max 14 strumenti (fan-out dei circuiti);
  - Max distanza 2 m;
  - Max lunghezza 20 m;

ACCESSO PIU' DISPOSITIVI ALLA STESSA LINEA

- WIRED OR: se due dispositivi cercano di parlare in modalità tristate si brucia la linea!
- TRI-STATE: funziona solo se un solo dispositivo alla volta è abilitato

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 21 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 23 di 90



Linee open-collector

21/10/13

Bisogna trovare un meccanismo in cui sia l'ultimo della fila a dettar legge.

Si utilizza quindi il procedimento (*).

NRFD (Not Ready For Data)

NDAC (Not Data Accepted)

DAV (Data Available)

Quando ogni dispositivo prende il dato non è più pronto a riceverne altri.

In NDAC il più lento ha tirato su la linea.

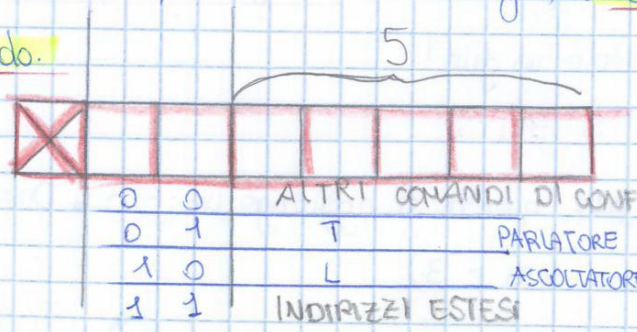
Il trasferimento è stato pilotato dal più lento dei dispositivi in gioco

* Perché non posso andare più veloce? → Open collector: le resistenze di pullup e le capacità parassite lo impediscono! Inoltre, non è un vero e proprio fronte, ma un esponenziale! *

COME SI MANEGGIA IL BUS?

8 fili di controllo e 8 fili di dato. Le informazioni passano sugli 8 fili

ATN → è un filo utilizzato per distinguere un dato dal comando (viene controllata dal CIC, Controller in Charge). Se true, la linea corrisponde ad un comando.



Gli ultimi 5 bit hanno un significato differente a seconda del 1° e del 2° bit

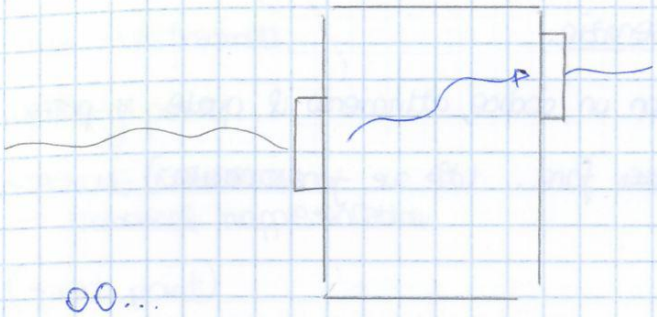
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 23 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 25 di 90

Im TE im L ho a disposizione 32 codici (in realtà 31) attraverso i quali posso utilizzare 31 dispositivi.

All'interno dello strumento (che mette gli 8 fili) è stato impostato il codice, attraverso il quale si decide se deve essere un parlatore o un ascoltatore. (EX 7ADI7 LAD27)

C'è il comando { UNLISTEN (X10111111) / UNTALK (X01111111)



Un oggetto potrebbe essere un estensore

00...

I comandi sono delle operazioni fatte apposta per eseguire delle determinate operazioni

UNIVERSALI

eseguiti da tutti i dispositivi sul bus

destinati a dei dispositivi attaccati al bus indipendentemente dallo stato in cui si trovano

INDIRIZZATI

COMANDI DI CONFIGURAZ.

solo per dispositivi impostati come ascoltatori.

- GET (Group Execute Trigger)

ad esempio, se più strumenti devono eseguire la misura (dopo averli impostati come ascoltatori). L'unica diff. è il TEMPO DI RISPOSTA del dispositivo.

SERVICE REQUEST: (uno strumento non può parlare di sua iniziativa)

come reagire rapidamente a situazioni anomale? L'interfaccia IEEE488 è di tipo master slave. Come far parlare uno slave che ha la necessità? → SRQ. Quindi uno slave può parlare asserendo la linea SRQ.

Esiste un registro a 8 bit, nel quale un bit è riservato alla richiesta di servizio. Per vedere chi è si interroga uno ad uno. (≈ 10 μs)

SERIAL POLL: si manda un comando a tutti i dispositivi che tutti ascoltano, OGNI TURNO OGNI STRUMENTO È INDIRIZZATO PER PARLARE

in seguito il dispositivo mette il proprio byte di stato, analizzato poi dal master per vedere chi vuole parlare. (≈ 2÷3 μs)

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 25 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 27 di 90

I limiti dell'IEEE488 sono legati non ad errori matematici, ma riguardavano la gestione dei messaggi che dipendono dai dispositivi. **IEEE488.2**

IEEE488.2 ha definito delle funzionalità comuni che ogni dispositivo deve avere, e saper fare. Definisce un modo

FORMATO DEI DATI: con 3 TIPI DI DATI:

- ASCII (la più pref
- Binari inten (si trasmett
- Binari floating point

RAPPRESENTAZIONE NUMERICA:

- NR1 → Numerical representation
- NR2 (fixed point)
- NR3 (floating point) con mantissa ed esponente. La mantissa 255 caratteri.

IL RICEVITORE DEVE ARROTONDARE!!

COME CREARE UN BLOCCO LUNGO RAGIONEVOLMENTE EFFICIENTE?

#Dddd ⟷ ddd caratteri

- Inizio codifica (sta cominciando un blocco binario)
- 1÷9 (indica il n° di caratteri che seguiranno → lunghezza del messaggio)
- n° di caratteri → allocazione del buffer

#D ddd BBBBBBBBB

- 1÷9 indica quanti byte seguono

- #0 _ _ _ (se si mette 0 non so la lunghezza)

Per capire quando i caratteri sono finiti si inserisce un carattere finale (ad ex. 10). ma nell'informazione potrebbe essere presente 10! Dopo l'ultimo se ne trasmette ancora uno → NL EOI (Quindi il 10 insieme alla linea EOI)

Separatori di messaggio: (il . PARTE INTERA/PARTE DECIMALE)

- PUNTO E VIRGOLA PER SEPARARE COMANDI ;
- : (SEPARA PEZZI DI COMANDO)
- , SEPARA PARAMETRI
- * (COMANDI DI TIPO COMUNE CHE TUTTI GLI STRUMENTI DEVONO RICONOSCERE ED ESEGUIRE) (EX *RST)

COMMON COMMANDS

- * CLS

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 27 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 29 di 90

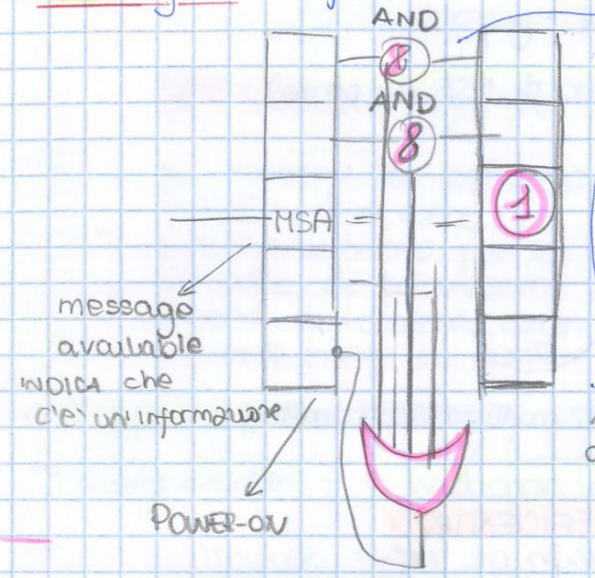
Comandi per la gestione dello stato:

XIDN? chiede lo status byte. Quindi bisogna rispondere.

IEEE488.2 STATO

Nello schema si possono vedere diversi registri:

- SRQ register: definisce eventi che servono a generare una richiesta di servizio.



AND BIT A BIT

Registro gemello

È possibile selettivamente abilitare l'evento di ogni bit mettendo (1) nel registro gemello.

Abilito la generazione dell'evento mettendo a 1 il gemello.

- POWER ON (anche lui gestito con il registro gemello)

L'uscita della OR va ad abilitare il registro poiché collegata al power-on. Quindi ricapitolando il meccanismo, il registro in cui è presente l'evento viene gemellato con un registro attraverso una porta AND

Ci sono quindi diversi registri di stato. Ad ogni è associato un registro gemello.

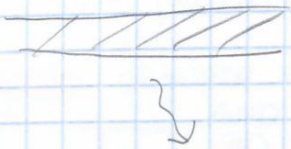
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 29 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 31 di 90

La gestione del banco di misura si può fare attraverso LAB VIEW. (per realizz un protolipo).

Un'impedenza piccola mantiene costante la tensione. → RISCHIO DI CORTOCIRCUITI.

in uscita dal generatore

R^2  $\frac{\Delta T}{R}$

Quanta corrente passa nel cavo?

La densità di corrente è decrescente all'aumentare della lunghezza del cavo.

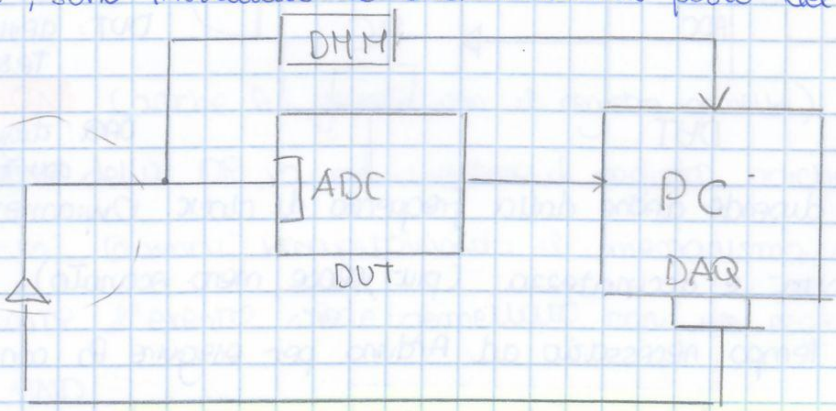
$T_a = 20°C$

$T_{cavo} = 30°C \rightarrow 4\ A$

Con 8A → la potenza quadruplica → $T_{cavo} = 60°C$

In questo caso, l'aumento della temperatura ha diminuito di 16 volte la vita del cavo!

Nel PC, sono installate le DAQ board, al posto del generatore programmabile

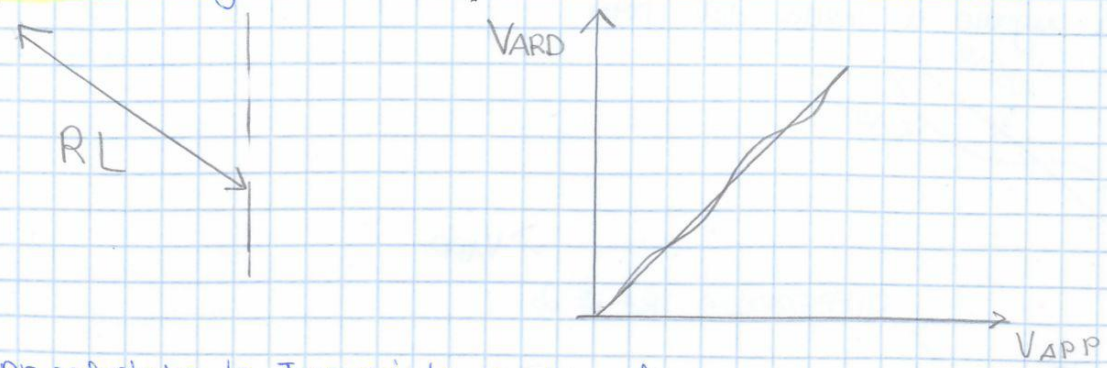


IL DAQ mi permette di eliminare il generato

V_{DMM} $N_{ADC} \rightarrow V_{ARD_{NOM}}$ $\left(\frac{5}{1023}, \frac{1.1}{1023}\right)$

Applico una certa tensione → ricavo un certo valore.

Nell'ipotesi che segnino valori molto diversi → MESSA A PUNTO



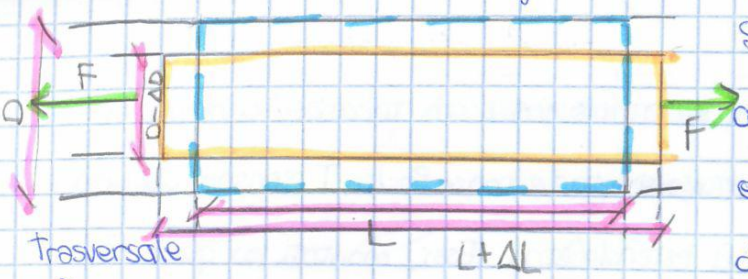
Dopo aver calcolato le Tensioni, lo scarto vale ---

Effettuare tali misure per diversi colpi di clock. (4)

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 31 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 33 di 90

Si mette in relazione la deformazione longitudinale con quella trasversale.



Supponendo che il volume rimanga costante, e un allungamento $\frac{\Delta \ell}{\ell}$ (ε_ℓ) deve essere compensato da $\frac{\Delta D}{D}$ (ε_t) (variazione di area)

$\frac{\Delta D}{D}$ deve essere la metà di $\frac{\Delta \ell}{\ell}$

--- ORIGINALE
DEFORMATO

- $\frac{\Delta L}{L}$ longitud.
- $\frac{\Delta D}{D}$ trasversale

legame tra def. long. e trasv.

$$\frac{\frac{\Delta D}{D}}{\frac{\Delta \ell}{\ell}} = \frac{1}{2} = \nu = \text{modulo di Poisson}$$

↳ dato che il volume in realtà cambia, $\nu < 0.5$ (~0.3, 0.4)

$$\Delta R = \rho \frac{\ell}{S} \varepsilon + \rho \frac{\ell}{S} 2\nu\varepsilon + \rho \frac{\ell}{S} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial \varepsilon} \right) \qquad \left(\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta \ell}{\ell} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon = \left(1 + 2\nu + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial \varepsilon} \right) \varepsilon$$

(0.1, 0.2, 0.3, 0.4)

K = gage factor (numero puro)

$2 < K < 2.2$ → dipende dal tipo di materiale

Può assumere valori più grandi?

- ν non può valere più di 0.5
- $\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial \varepsilon}$ dipende dalla struttura cristallina e può valere anche 1, 2 ... 20 !

K può diventare più grande ma è solo in strane situazioni!

Dire che K vale 2 vuol dire che la resistenza portata al massimo delle sue capacità vale 2 ‰ (LIMITAZIONE).

TECNOLOGIE PER REALIZZARE UN ESTENSIMETRO.

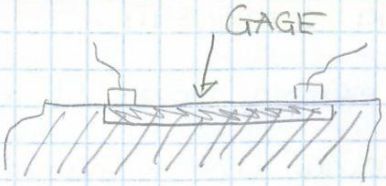
- Estensimetro metallico incollato (sulla struttura su cui si vuole misurare la deformazione)

- Estensimetro a semiconduttore incollato

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 33 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 35 di 90

- Estensimetro a film sottile
- Estensimetro a semiconduttore diffuso



FUNZIONAMENTO DEGLI ESTENSIMETRI

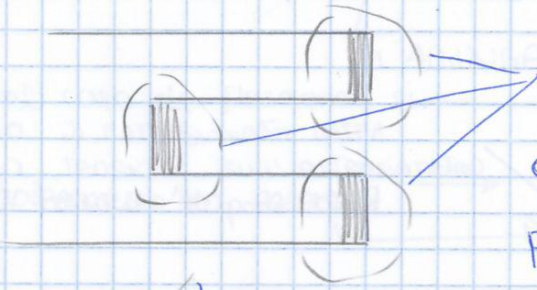
Di solito gli estensimetri sono dell'ordine $100 \div 120\ \Omega$.

STRUTTURA A GRECA

ma! A seconda di dove lo tiro ho una misura diversa? L'allungamento è in una direzione diversa di quella ortogonale e' un disturbo!

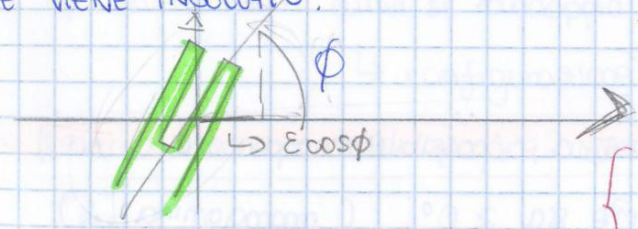
CROSS - SENSITIVITY: devo far sì che i fili siano minimizzati, e quindi la loro resistenza totale è trascurabile rispetto alla principale:

$R = \rho \frac{l}{S}$



GRANDE SEZIONE → piccola R, e quindi trascurabile rispetto alla misura principale

COME VIENE INCOLLATO?



Incollarlo con un angolo rispetto all'asse principale ha 2 effetti:

- $\varepsilon_{mis} = \varepsilon \cos\phi \quad 1 - \frac{\phi^2}{2} = \varepsilon\left(1 - \frac{\phi^2}{2}\right)$
- $\varepsilon_{trasv} = \varepsilon \sin\phi$ → a me non interessa!

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_p - \varepsilon_{mis} = \varepsilon_p \left[1 - \left(1 - \frac{\phi^2}{2}\right)\right] = \varepsilon \frac{\phi^2}{2}$$

(ε_{mis}: quello che voglio misurare; $\cos\phi$: quella misurata)

Quindi, nell'ipotesi di montare storto l'estensimetro (ad ex 6°).

- Variazione della misura: $6° = \frac{1}{10}$ di radiante ↳ 0.5%

ERRORE

Su 1cm → 6° → 1mm

Quindi, ho sbagliato ad incollarlo di 1mm.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 35 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 37 di 90

Con il secondo esperimento non incollato si ottiene una compensazione dell'effetto della temperatura:

$Req = R_0 (1 + k\varepsilon + \alpha_1 T)$

$Re = R_0 (1 + \alpha_2 T)$

$V_u = V \frac{Req}{Req + Re} \approx \frac{V}{2} \left(1 + \frac{k}{2}\varepsilon + \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} T\right)$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 37 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 39 di 90

È più semplice da applicare e ha un incollaggio lento (fin troppo lento!).
Per ridurre questo tempo, si mette l'oggetto in forno a 80°C (ARRENIUS) → 100 volte più veloce → CURING (in forno).
Le superfici devono essere perfettamente pulite

- Pulitura (abrasivi)
- Attivazione (primer)
- Neutralizzazione (per far incollare la colla)

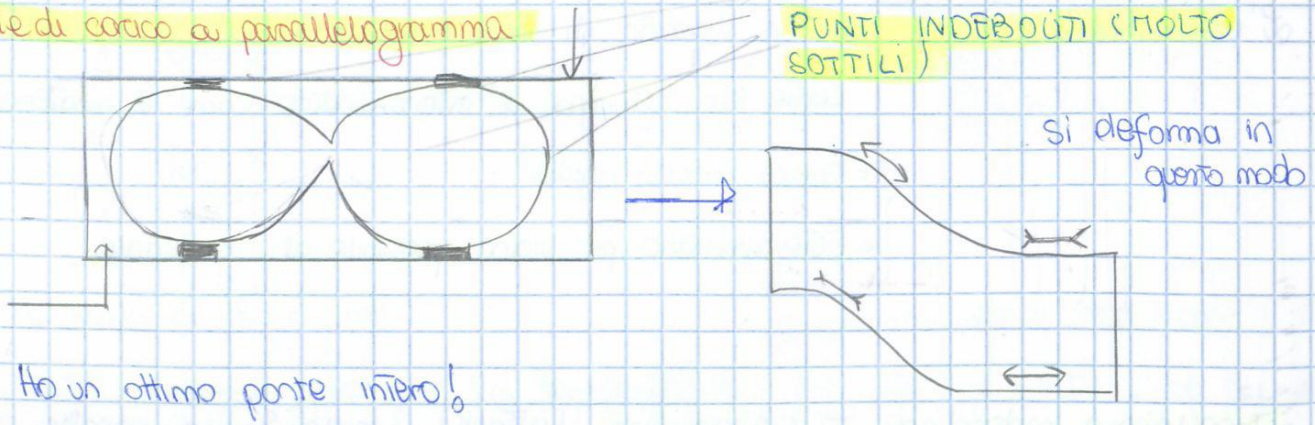
Caratteristiche tipiche

- $k = 2 - 3$ (incertezza 0.5 - 1%)
- $\varepsilon_{max} = 1 - 4\%$ limitata a 0.1 - 0.2% in molti casi
- Sensibilità trasversale 0.4%
- Resistenza 120 - 350 - 1000 Ω (con incertezza tipica 0.2%)
- 0.4 %/°C $K = 2$, $L = 0.2$ %/°C
- $\frac{\mu m}{m}$ °C 10^{-6}/°C → CORREZIONE EFFETTI TERMICI
- Con VAL = 10V, tensioni a fondoscala di 10 ÷ 20 mV

CELLE DI CARICO

Gli estensimetri vanno sui ponti, sui serbatoi ecc... Se voglio utilizzarlo per misurare la forza vanno montate all'interno di una cella di carico. Nella pratica si utilizza un ponte intero

- Celle di carico a parallelogramma



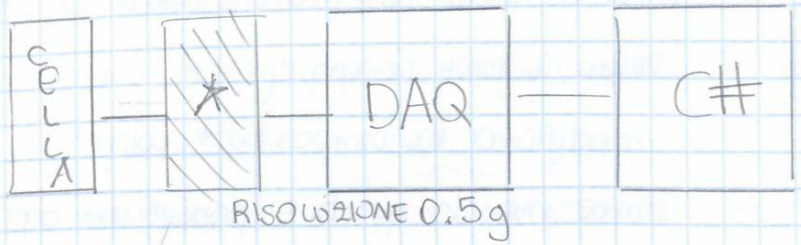
Ho un ottimo ponte intero!

☆☆

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 39 di 90

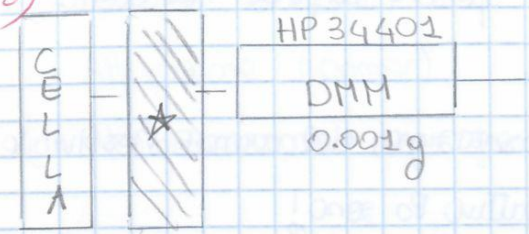
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 41 di 90

2)



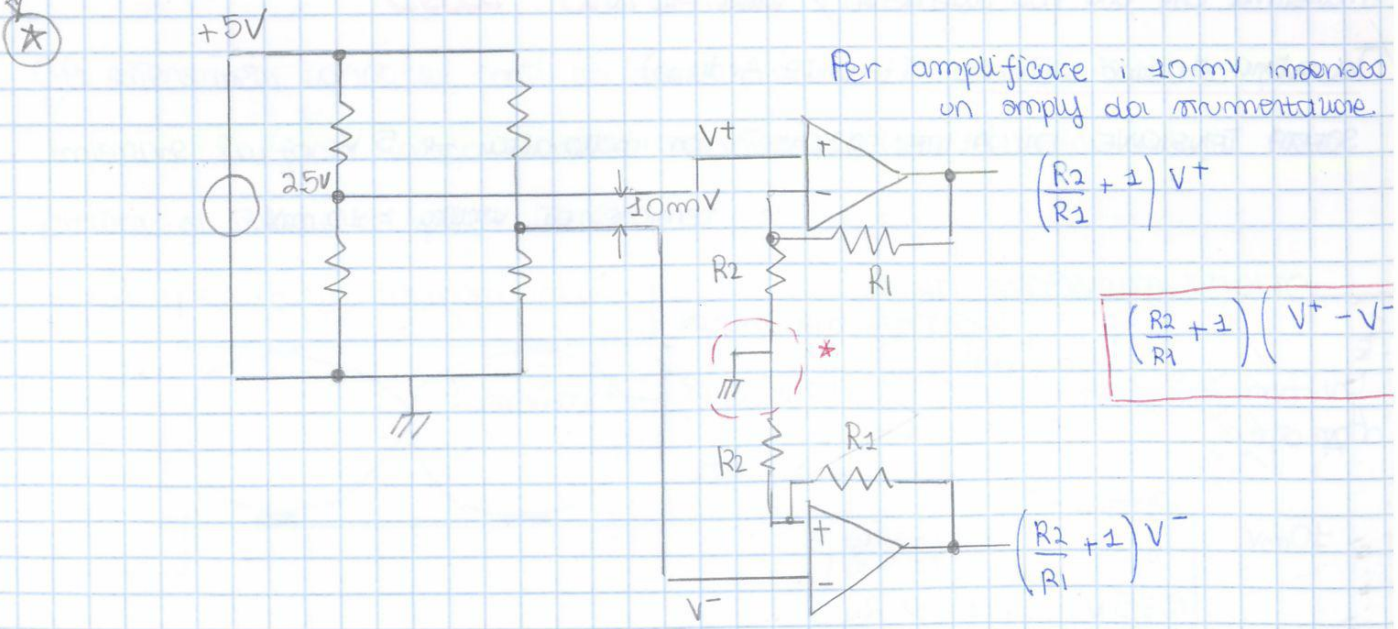
RISOLUZIONE 0,5 g

3)



La scelta dipende dalla natura del rumore. ⚠

C'è modo per migliorare la risoluzione? Facendo delle medie sulle misure considerando la quantizzazione con un rumore. Ma le grandezze sono tra loro correlate! L'operazione di media ha senso se i numeri cambiano intorno alla misura effettuata → A questo scopo ci sono delle apposite apparecchiature DITHER che aggiungono artificialmente del rumore a valor medio nullo con un'ampiezza maggiore dell'LSB. In questo modo riesco a dare un senso all'operazione di media.



NB: Controllare la saturazione! → Alla fine viene 0

Elimino ★ :

L'uscita dipende in modo preponderante dal modo comune.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 41 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 43 di 90

5/11/13

FOTOMETRIA

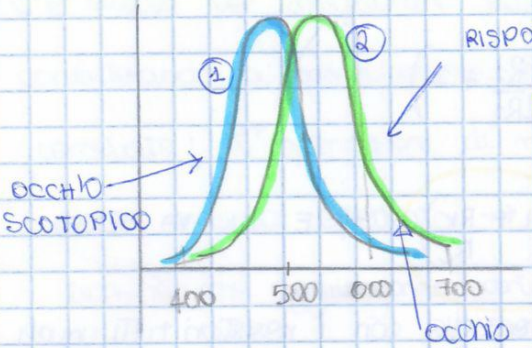
La misura della luce.

La parte che stimola il nostro occhio va dai 380 nm ai 770 nm.
↓ blu ↓ rosso

La radiazione elettromagnetica permette di generare luce.

L'efficienza nel generare luce è data all'occhio ricettore.

↳ OCCHIO STANDARD definito dal CIE



La sensibilità dell'occhio dipende dal livello di illuminamento

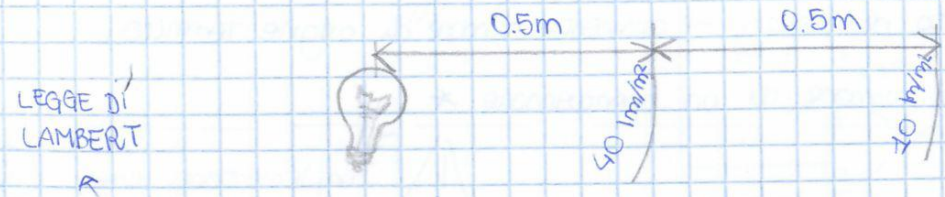
All'interno dell'occhio ci sono due tipi di sensori:

- sensori che funzionano quando ci sono poche radiazioni (occhio scotopico); di solito mai utilizzato
- l'occhio fotopico serve a definire una grandezza di flusso luminoso → il WATT, collegata con il LUMEN da questa curva!

Il legame tra il LUMEN e il WATT deve tener conto delle diverse lunghezze d'onda. (coeffic. che dipende dall'occhio!)

IRRAGGIAMENTO:

$$E_2 = E_1 \frac{d_1^2}{d_2^2} = \frac{I_v}{d^2}$$ ← LEGGE DELL'IRRAGGIAMENTO PER UNA SORGENTE PUNTIFORME



↳ una sorgente si può considerare puntiforme se la distanza dalla sorgente è almeno 5 volte la massima dimensione della sorgente.

$E_v = \frac{I_v \cos\theta}{d^2}$ → se la superficie non è ortogonale al fascio incidente

SUPERFICIE LAMBERTIANA:

superficie che riflette la luce in modo uniforme

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 43 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 45 di 90

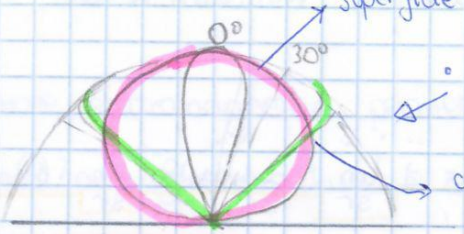
NB: la candela non significa nulla! Bisogna vedere l'area in cui è concentrata!

FOTOSENSORI:

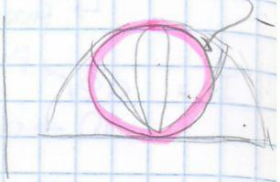
Elementi chiavi di un sensore:

1. RISPOSTA SPAZIALE
2. RISPOSTA SPETTRALE
3. SENSIBILITÀ

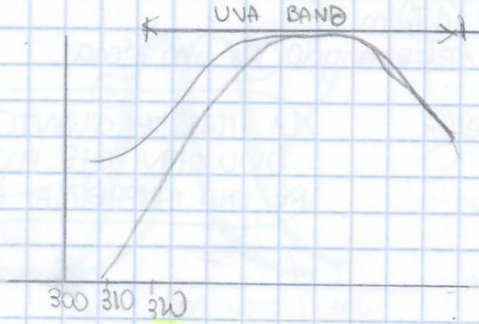
1.



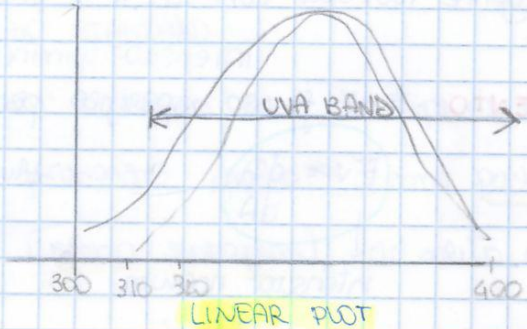
La superficie di Lambert emula la curva ocolare.



2.



LOG PLOT



LINEAR PLOT

3. SENSIBILITÀ

In unità di uscita per livello di illuminamento (A/lux oppure V/lux) per le Termopile

[es: μA/lux → il sensore risponde come l'occhio]

TIPI DI FOTOSENSORI:

- Tubi a vuoto
- Cellule con materiale fotosensibile (foto resistenze)
- Fotodiodi (foto transistor)
- Termopile

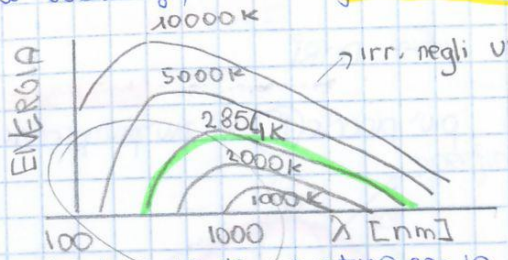
} coprono ampie gamma di lunghezza d'onda

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 45 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 47 di 90

TIPI DI SORGENTI:

LAMPADA AD INCANDESCENZA: (e le lampade alogene) generano luce scaldando un filamento. (Le prime lampade sono state realizzate con il carbone che però bruciava subito!) → I filamenti a tungsteno hanno risolto il problema.



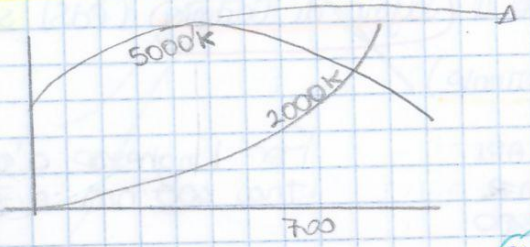
Curva che lega la temperatura con la lunghezza d'onda → pte visibile

LA LUCE È UNA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA

All'aumentare della temperatura:

- il colore si sposta verso λ più basse
- la qtà di energia irraggiata aumenta

2854 K → numero utilizzato dalla CIE come numero di riferimento (lampadina a incandescenza standard)



massimo visibile dall'occhio umano

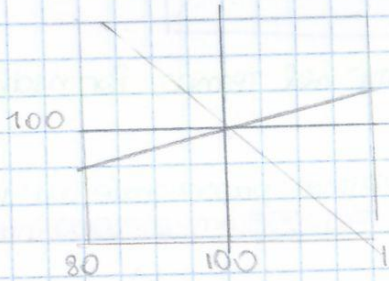
CURVE DEI RASSI

Il tungsteno ha punto di fusione a 3450 K. Vengono quindi fatte lavorare intorno a 2800 K.

Le lamp. a incandescenza producono poca luce in proporzione all'energia che sprecano

↳ SPRECO DI ENERGIA

Se la temperatura aumenta aumenta il rendimento, ma cala la vita utile!



Si ottengono al massimo rendimenti di 10÷15 $\frac{lm}{W}$

LAMPADE ALOGENE: per aumentare la vita si costruiscono lampade di gas alogeni (iodio o bromo) che può formare un composto con il tungsteno evaporato che si deposita sulla superficie della lampada.
Funziona bene se la temperatura è elevata. (lavorano a ~3200, 3500 K).
Funzionano bene per circa 2000 ore. Devono essere fatte di quarzo perché resiste a temperature più alte. (il vetro si ammolla)

TRASPARENTE AGLI UV.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 47 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 49 di 90

La lampada deve essere piccola e di quarzo per resistere alle elevate temperature. Si raggiungono 3000K - 3200K al punto che la lampada inizia a generare UV. (CRITICO!)
Queste lampade generano più luce delle precedenti. ($10 \frac{\text{lumen}}{W}$)

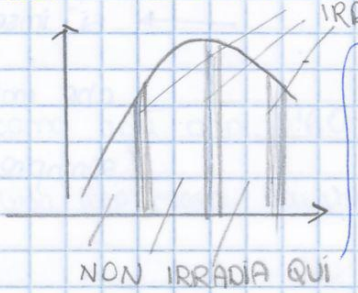
LAMPADE A SCARICA: non si consumano così in fretta. Una scarica tra i 2 elettrodi (proiettore cinema e campi militari) (2 pezzi di carbone in cui scorreva un arco) ionizza il plasma. L'atomo eccitato ritorna indietro. A seconda di cosa metto nel tubo si crea uno spettro di emissione che varia. (10 volte più efficace di quelle a incandescenza)
Con un materiale che assorbe gli ultravioletti (rivestimento con mat. fluorescente)

6/11

LAMPADE FLUORESCENTI: Si può usare una lampada a scarica in vapori di mercurio, che genera molti UV con rivestimento di polvere fluorescente.
Il tipo di luce prodotto dipende dal tipo di sostanza fluorescente.

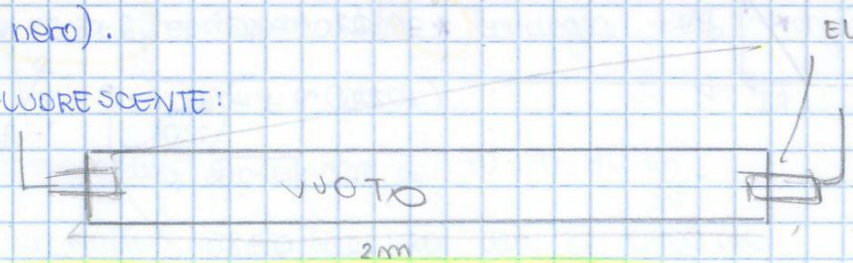
TEMPERATURA COLORE: (IL TUBO IRRADIA COME FOSSE UN CORPO NERO) (Rilassa radiazioni nel campo del visibile)
Lampade fluorescenti a luce calda 2700 K.

Il corpo nero viene simulato:
(IL SOLE IRRADIA A TUTTE LE LUNGHEZZE D'ONDA)



Il colore che si vede dipende da quanta luce riflette l'oggetto. (Se non riflette nulla è nero).

TUBO FLUORESCENTE:



COME FUNZIONA?

Applicando una tensione, la ddp non è in grado di superare la rigidità dielettrica dell'aria (campo elettrico che consente la ionizzazione)
↳ 3KV/mm (rig. dielettrica dell'aria secca) e scende quando decresce la pressione.

Quindi, come si accende? Si genera un impulso alto (10.000, 20.000, 30000V) sufficiente a perforare l'isolante e gli elettroni iniziano a passare.
Devo anzitutto predisporre degli elettroni "facili"; e questo si ottiene

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 49 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 51 di 90

Se tolgo lo starter quando c'è la scarica non succede niente. Al posto dello starter meccanico si utilizza quello elettronico. I tubi diventano neri poiché il metallo si deposita agli estremi.

La pressione interna è tale per cui all'accensione è possibile generare tutta la luce necessaria. Se il tubo è piccolo, la scarica si accende a regime ridotto (pochi UV), → DIFETTO DELLE LAMPADE PICCOLE: nelle prime accensioni la luce è poca e dopo 30÷40 s si genera la luce necessaria.

CFL: LAMPADE FLUORESCENTI COMPATTE

↳ efficienza: 50/60/70 lm/W (dipende dal punto di lavoro, ma si paga in termini di durata!)

100 W 10 lm/W → 1000 lm (lumen generati)

Se si irradiassero sull'intero angolo solido
↳ $\frac{1000 \text{ candele}}{4\pi\ (\sim 12)}$

Se irradiasse $\frac{1000 \text{ lm}}{100 \text{ sr}} = 100 \text{ cd}$

LED DI POTENZA: nata intorno agli anni '60. Facendo una giunzione di GaAs era possibile generare una luce rossa. Cambiando diversi materiale si produceva una luce diversa.

↳ LED BIANCO: funziona come il ~~led~~ tubo fluorescente. All'inizio la dimensione del diodo non era propriamente ideale. Tecnologia COB → chip on board (per mettere tanti diodi vicini e piccoli).

L'efficienza energetica è passata a $70 \div 80 \div 90 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$.

Vantaggio: no reattori, no starter, vita oltre le 10000 ore

ESEMPIO DI CALCOLO: DIMENSIONAMENTO IMPIANTO + TAVOLO DI LAVORO

Quanti lux voglio? 1000 lux

$1\text{m} \times 2\text{m} = 2\text{m}^2$

$2000 \text{ lux} \cdot 2\text{m}^2 = 2000$ lumen (per illuminare il tavolo) $\text{lux} = \frac{\text{lumen}}{\text{m}^2}$

$\Phi = E_v \cdot A = 1000 \cdot 2 \cdot 10 = 20000$ lm $\quad P = \frac{\Phi}{\text{eff}} = 2000$ W

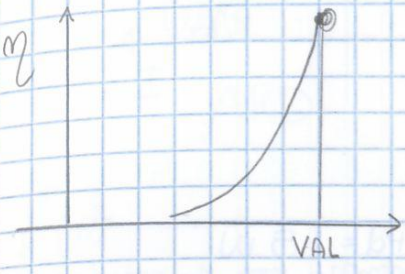
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 51 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 53 di 90

PROGETTO LAB FOTOMETRIA

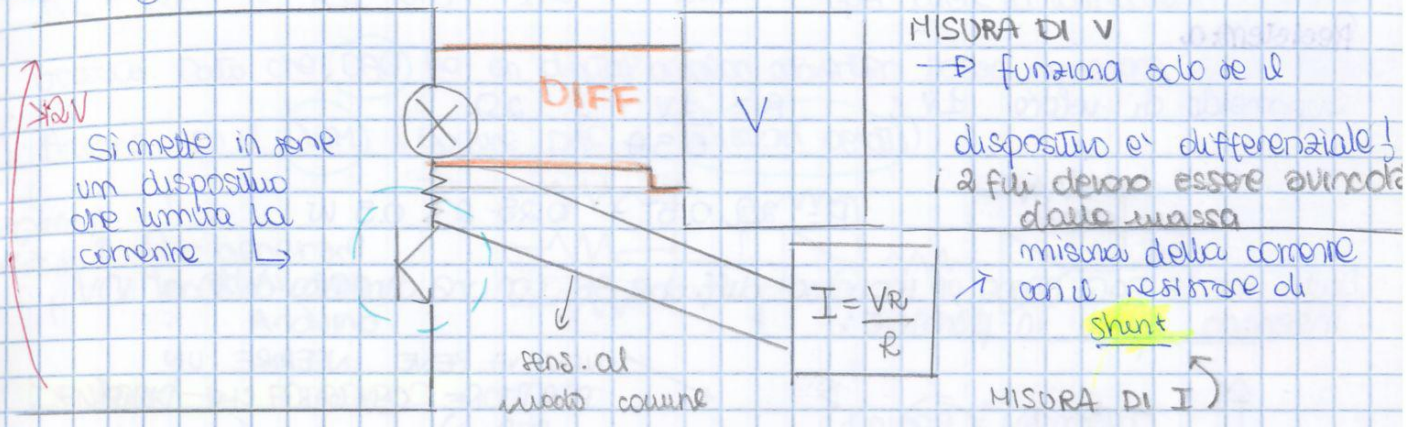
11/11/13

Il sensore di illuminamento è dato come sensibilità A/lux (risposta spettrale simile a quella dell'occhio umano.



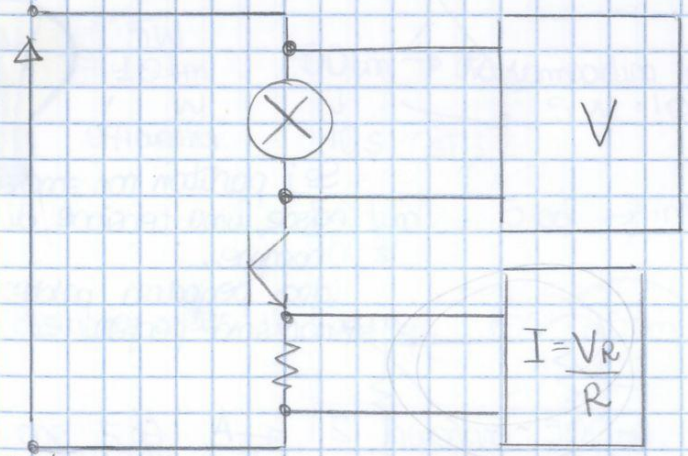
A qualsiasi tensione di alimentazione la lampadina innesca ma non sempre alle lunghezze d'onda utili!

Come regolare l'alimentazione? Come trovare il punto di lavoro?



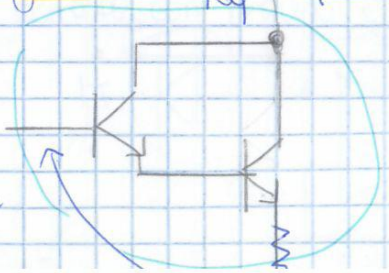
⚠ Quando la lampada è quasi spenta, su R ho una tensione di modo comune molto grande! → Quando devo misurare una piccola tensione diff. misuro quando una piccola tens. differenziale opera è sovrapposta alla tens di modo comune ed eseguo una misura sbagliata

Cambio posizione di R:



Cambiando la posizione di R, dato che $I_E = (1+\beta) I_B$ e supponendo che $\beta = 50$ ho una variazione del 2%. Mi dà fastidio? Dipende dallo scopo.

Se 2% è troppo:
Alzando il guadagno, alzo β_{eq} e quindi posso ridurre l'errore.

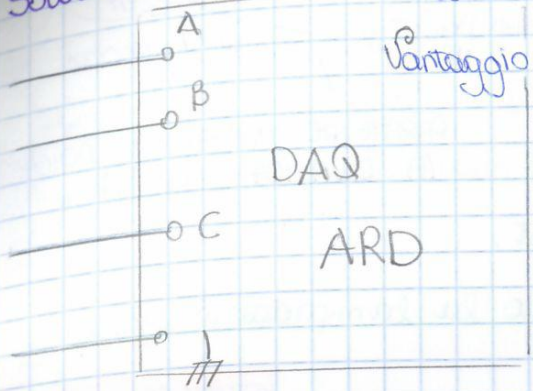


⚠ Conseguenze: V_{CE} più alta, aumento tensione di alimentazione
↳ NESSUN PROBLEMA

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 53 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 55 di 90

SOLUZIONE



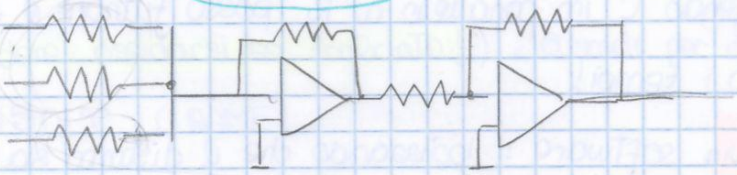
Misuro le 3 tensioni e faccio io la differenza

Vantaggio: i partitori posso scegliermi come voglio!

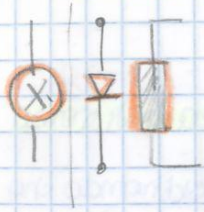
Che tensione dare al BJT affinché si accenda?

$RI + V_{BE} = 2\Omega \cdot 0.5 + 1.2 = 2.2\,V$ → per avere la lampadina completam. accesa. Dato che DAQ ha un digital analog converter posso generare, oppure utilizzo Arduino con il PWM. (oppure DAC a resistori pesati)

Per generare tensioni con Arduino



SENSORE → FOTODIODO



5 μA
100 fc
2850 K
} CARATTERISTICHE DEL COSTRUTTORE
NB: sono giusti se lo spettro è 2850 K

1 piede ≈ 1/3 metro

100 fc ≈ 1000 lux

Sensore che genera $5\,\frac{mA}{lux}$ — SENSIBILITÀ

QUANTI LUX CI ASPETTIAMO DI AVERE?

$\left(\frac{5\,\mu A}{100\,fc} = \frac{5\,\mu A}{1000\,lux} = \frac{5\,ma}{lux}\right)$

5W
$10\,\frac{lm}{W}$
efficienza

50 lm → la lampadina produce 50 lumen

10 s (ST

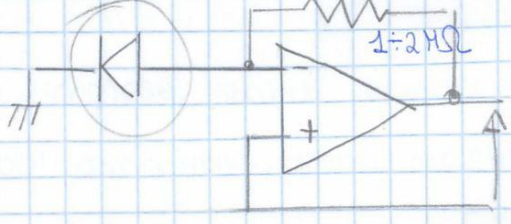
$5\,W \cdot 10\,\frac{lm}{W} = 50\,lumen$

$I_v = \frac{50\,lm}{10\,s} = 5\,cd$ → intensità luminosa

A che distanza metto il sensore? EX: 25cm $E_v = \frac{I_v}{d^2} = \frac{5}{0.25 \cdot 10^{-1}} = 400\,lux$

Dato che $5\,\frac{nA}{lux}$ → Si generano 500 nA → per sapere che tipo di corrente dobbiamo misurare

Come misurare corrente con Arduino e DAQ? Con un amplificatore a transresistenza.



© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 55 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 57 di 90

TERMOMETRIA A RESISTENZA

La misura della temperatura può essere fatta in vari modi:

- Termoresistenze (RTD) 'quasi lineari'
- Termoresistenze non lineari (termistori)

METALLI PURI → termoresistenze (lineare che varia poco)

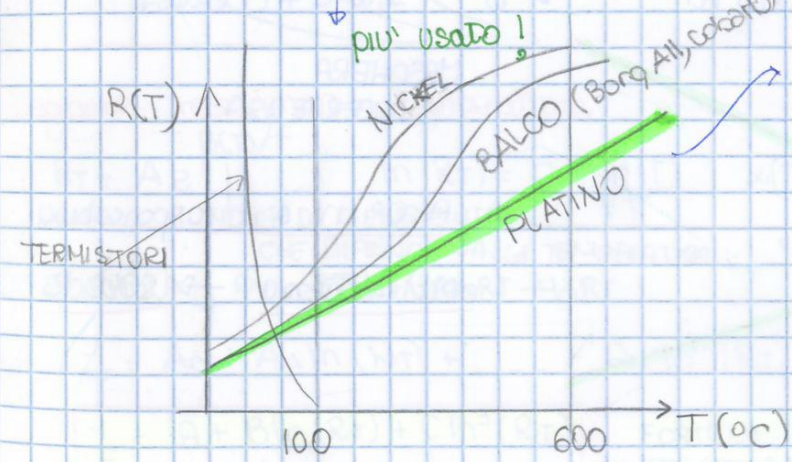
IMPASTI DI OSSIDI O SEMICONDUTTORI (hanno un coeff di temperatura fortemente variabile) → termistori → di solito negativo

- **TERMORESISTENZE**: si sfrutta la variazione di resistività con la T di metalli puri

coeff: 0.4 %/C°. Il metallo deve avere una resistenza che varia SOLO con la temperatura (e non deve ossidarsi se saldato!). Quindi per questo motivo non si superano i 150 °C (RAME).

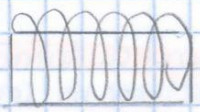
RAME, NIKEL, PLATINO, TUNGSTENO, VARIE LEGHE

↓ più usato!



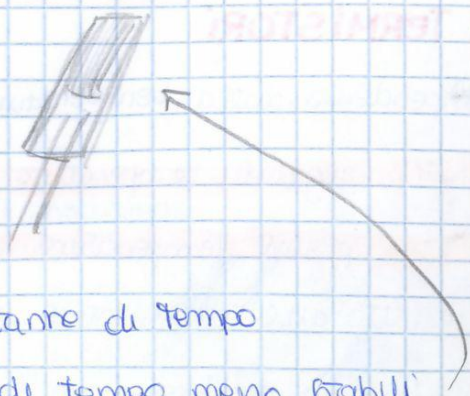
Poche variazione, ma può essere utilizzata in un vasto range

TECNOLOGIE COSTRUTTIVE



ATTENZIONE! Se il materiale è dilatato cambia anche il filo!

Resistore a strato sottile



- A filo avvolto: costose, stabili, grande costante di tempo
- A film: ridotte dimensioni, piccola costante di tempo, meno stabili

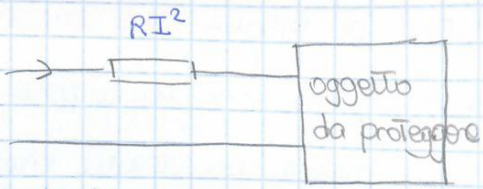
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 57 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 59 di 90

- PTC come sistema di protezione.

Comportamento della resistenza all'aumentare della temperatura.

MODO:



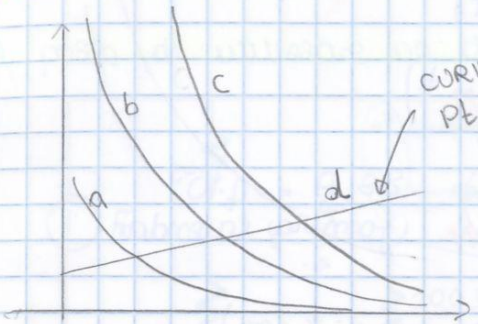
Quando la corrente cresce, la temperatura cresce. Superando $T_{CRITICA}$, R_{CRESCE}! (di colpo diventa molto grande!) Quindi passa poca corrente, sufficiente a tenere calda la resistenza!

CONSENTONO QUINDI DI PROTEGGERE L'OGGETTO DAL SOVRACCARICO.

Tale oggetto apena sia per sovraccarico di corrente che di temperatura

NB: Ad alte temperature non funzionano poiché

Andamento termistori



→ lineare, ma con piccole variazioni

Se devo utilizzare il sensore in un ampio range bisogna effettuare la compensazione

Legame resistenza - temperatura

$$R_T = A e^{B(T)/T}$$

$B(T)$: INDICE DI SENSIBILITÀ CHE DIPENDE DALLA TEMPERATURA

$$\ln(R_T) = C + \frac{B(T)}{T}$$

→ linearizzando l'equazione

$$\alpha(T) = -\frac{B(T)}{T^2}$$

FORMULA DI STHEINHART-HART

$$\frac{1}{T} = A_0 + A_1 \ln(R_T) + ___ + A_N \ln^N(R_T)$$

$$\frac{1}{T} = A + B\ln(R_T) + C\ln^3(R_T)$$

FORMULA CHE DESCRIVE IL LEGAME TRA RESISTENZA E TEMPERATURA DI UN NTC

dipende dal tipo di NTC

funzionano bene in piccoli campi di Temperatura

In campi di 50-70°C l'approssimazione della curva è entro 0.01°C

NB: In un piccolo campo di temperatura!

I sensori variano poco la propria resistenza

- Necessità di sistemi di misura con elevata risoluzione
- Resistenze dei cavi e di contatto

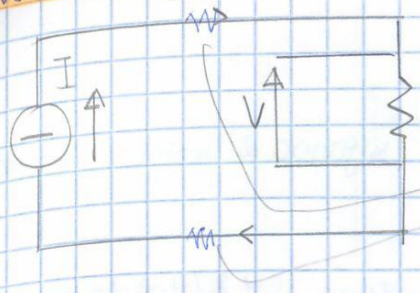
↳ AUTORISCALDAMENTO

↳ FORZE ELETTROMOTRICI

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 59 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 61 di 90

Per risolvere tale problema: connessione 4 morsetti.



$R = \frac{V}{I}$ Si considera come un bipolo.

NON MI IMPORTANO QUESTE CADUTE

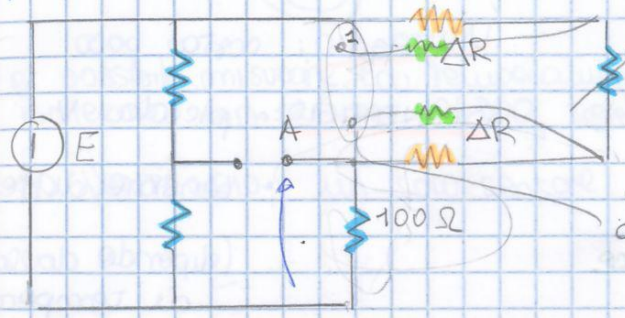
ma per misurare R non posso direttamente cortocircuitare R_i? No perché anche le resistenze dei fili cambiano con la temperatura

$4\,\Omega$ $1\,^\circ C$ variazione di temperatura di $1\,^\circ C$ ambiente

$4 \cdot 10^{-3} \cdot 1\,^\circ C \cdot 4\,\Omega$

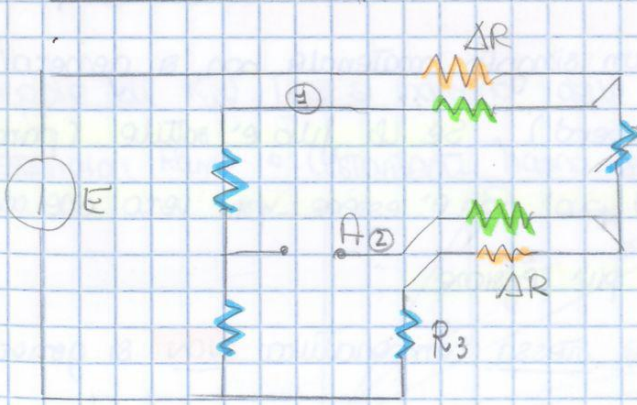
$1.6 \cdot 10^{-2}\,^\circ C$

Se al posto di utilizzare un ohmetro mettessi un ponte di wheatstone? (*)



$$V_A = \frac{E\,R_{100} + \Delta R}{\Delta R + R_{100} + R_{100} + \Delta R}$$

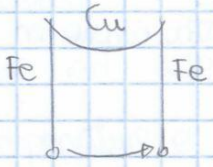
dove collegarli?



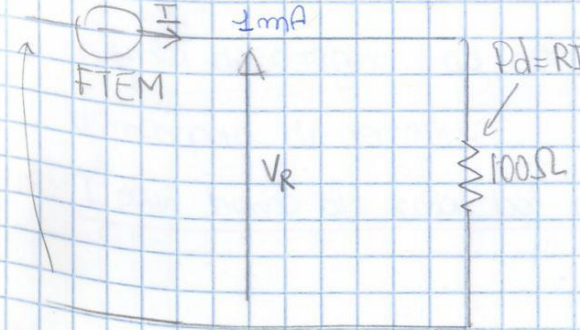
Se $R_T << R_3$
↳ SOLUZIONE 4 FILI
↳ lo compenso a 0°

Se $R_T = R_3$
↳ soluzione a 3 morsetti

Problema 3: forze elettromotrici



materiali diversi con temperature diverse fanno nascere una tensione.

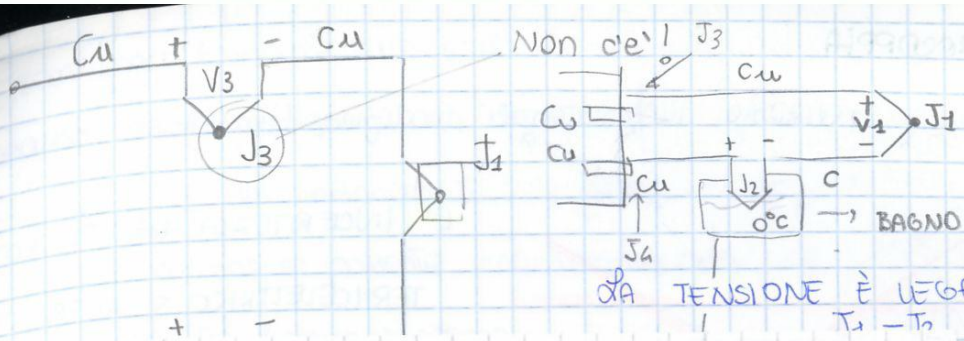


Quando faccio la misura collego vari tipi di materiale la tensione che nasce dipende dal materiale e dalla temperatura

$$\frac{\Delta}{R} = \frac{V}{I} = \frac{V_{FT} + V_R}{I} = \frac{V_{FT}}{I} + R$$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 61 di 90

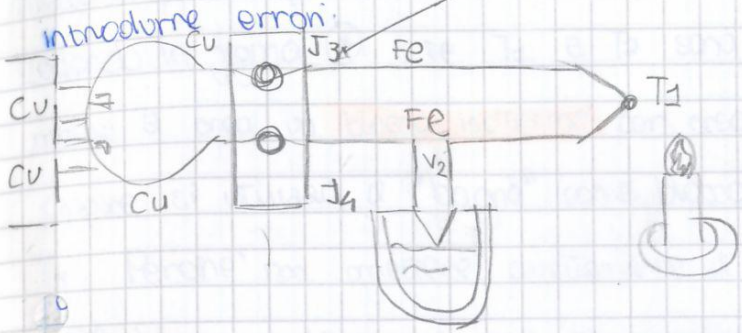
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 63 di 90



J2 → Temp. nota
J1 → giunto caldo

LA TENSIONE È LEGATA AL SALTO TECNICO: $T_1 - T_2$

In presenza di 2 materiali diversi quello che si fa è inserire un blocco isotermo, così da non introdurre errori:



NB: è possibile misurare la temperatura del blocco isotermo. (AD ESEMPIO Pt100, Termoresistenza)

↳ VANTAGGIO: un solo sensore

TO

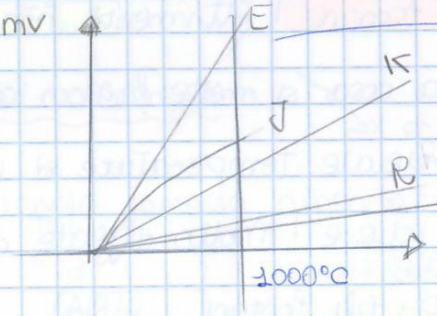
empio 0°C

n contano! NO DDP Per questo elev. conduc. termica le stesse T (alluminio)

nica T è incognita e- Perché la temp. AMB, mentre quelle e (grande campo).

Termocoppie di K, J, T... si indicano delle coppie già formate di specifici materiali.

Ad esempio: Rame e Costantana hanno una determinata pendenza



alti poteri termoelettrici

bassi poteri termoelettrici

Ci sono termocoppie ad andare bene ad alte temperature! Ad esempio, se in presenza di ossigeno, ad alte temperature è meglio evitare di fare la termocoppia di ferro!

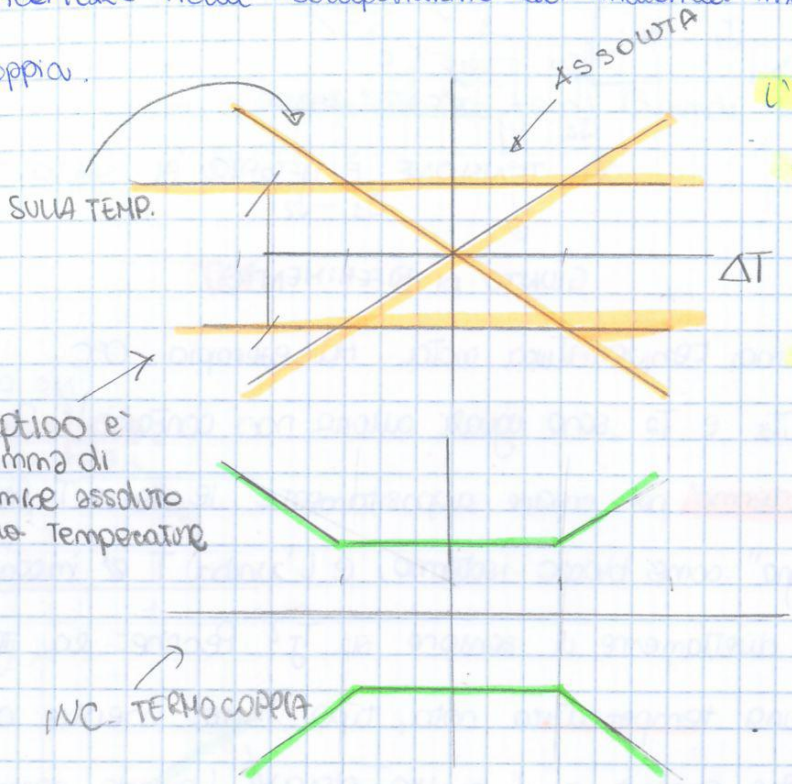
NB: I cavi hanno dei colori ben precisi!

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 63 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 65 di 90

INCERTEZZA TERMOCOPPIA

Le incertezze nella composizione dei materiali modifica l'incertezza della termocoppia.



L'INCERTEZZA SU DEL POT. TERMOELETTRICO SI RIPERCUOTE SULLA TEMPERATURA.

↙ INCERTEZZA ASSOLUTA ↘

Si prende la più grande.

Ad esempio:

termocoppia di tipo J:

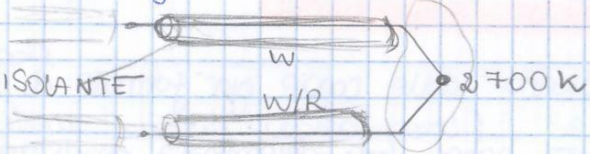
grado 1: 2,2°C o 0,75%
grado 2: 1,1°C o 0.4°C

ΔT = 10°C incertezza 2,2°C
ΔT = 500°C incert. 0,75% · 50 = 3,75°

CAVI DI ESTENSIONE

→ pto di fusione più alto

Le termocoppie di tungsteno-renio vanno ad alte temperature.



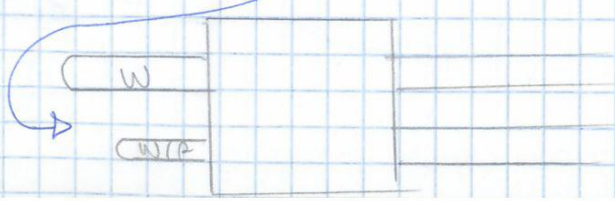
DATO CHE...

Ma! Questi fili non si devono toccare! Altrimenti non misuro niente!

Bisogna mettere un isolante ... ma cosa si mette? Non la plastica, ma fondono a 60 ÷ 100 °C! Ad elevate temperature si utilizza l'allumina, l'ossido di magnesio che è una polvere! Molto difficile da usare e arriva a 1600 °C! → SCOMODI DA USARE Quindi teniamo i fili lontani. (ARIA)

A cosa serve? A misurare la temperatura della fiamma! (FIAMMA OSSIDRICA)

Il cavo di estensione è fatto degli stessi materiali della termocoppia, isolando il quale lavora a temperatura più basse. Esso viene collegato tramite un connettore asimmetrico:



IL CAVO DI ESTENSIONE È FATTO DELLO STESSO MATERIALE DELLA TERMOCOPPIA E VIENE ISOLATO (CON PLASTICA) PERCHÈ: IAN

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 65 di 90

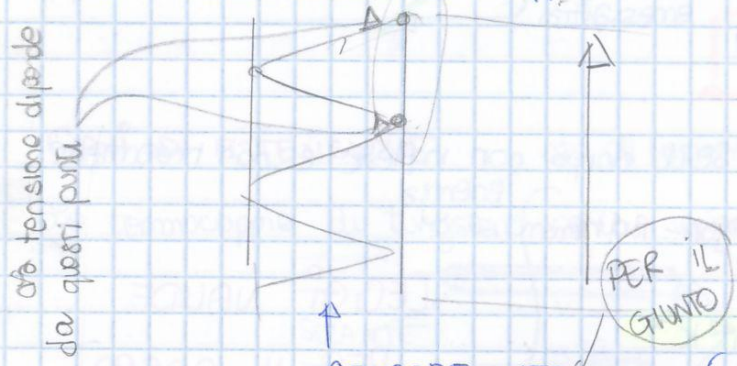
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 67 di 90

PIROMETRO OTTICO

DAL TUBO VOGLIO VEDERE SOLO L'OG
DI CUI VOGLIO MISURARE LA TEMPERATU

Se ad esempio prendiamo una lampadina: e faccio scorr corrente

Nel momento in cui la temp. del filamento è uguale a quella che c'è all'esterno. Aumentando la corrente, il filamento diventa luminoso, fino a quando non scompare. In quel momento posso individuare la temperatura. QUANDO IL FILAMENTO SCOMPARE, VUOL DIRE CHE HO LA STESSA TEMPERATURA Avvicino vicino si rischia di non vedere energia. Dato che la misura dipende dalla sensibilità dell'occhio, l'incertezza è di 1°C. Se si utilizza un fotodiodo (1800÷2000 nm (λ)), che è sensibile anche agli infrarossi la misura è molto più accurata! (0.01 °C). In questo è possibile fare misure a T molto più basse! Per lunghezze d'onda più grandi ma anche il fotodiodo ha dei limiti, quindi il misuratore per eccellenza è la termocoppia! Si inseriscono una schiera di termocoppie



TERMOPILA: funziona ben oltre i 20μm di lunghezza d'onda e a qualsiasi temperatura (sia caldo che freddo).

(fredda perché è la termopila che irradia energia verso l'oggetto)!

Quanto è ben accurata la misura? I corpi nella realtà NON sono neri, quindi c'è un'incertezza aggiuntiva. Come risolvere questo problema? Vado a vedere una specifica lunghezza d'onda! Se il corpo segue la curva del corpo nero, posso ricavare la sua temperatura andando a vedere il rapporto tra le lunghezze d'onda. → CORPO GRIGIO (O COLORATO) e non gli sto sparando contro energia,

PIROMETRO BICOLORE

RAPPORTO TRA LE ENERGIE EMESSE A 2 LUNGHEZZE D'ONDA

$$R = \frac{L_{\lambda 1}(T)}{L_{\lambda 2}(T)} = \frac{\varepsilon_{\lambda 1}}{\varepsilon_{\lambda 2}} \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^5 \cdot \frac{e^{\frac{C_2}{\lambda_2 T}} - 1}{e^{\frac{C_2}{\lambda_1 T}} - 1}$$

(Corpo grigio $\varepsilon_\lambda = \varepsilon_{\lambda 2}$)

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 67 di 90

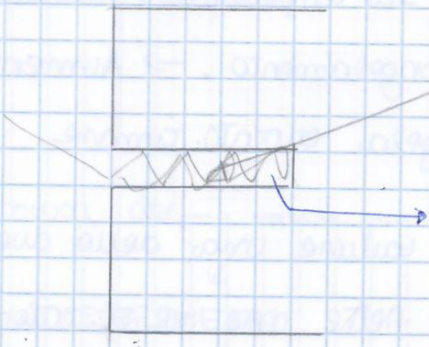
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 69 di 90

Il corpo umano non è un corpo nero, ma in linea di massima ha sempre lo stesso coefficiente di emissività! (~ 0.8)

Problema: se il corpo è trasparente? È come se non ci fosse, e vediamo l'energia del corpo che c'è dietro. Se non è proprio trasparente "vedo" sia quella del corpo che quella ~~c'è~~ che c'è dietro! Per questo motivo si utilizza il PIROMETRO A BANDA STRETTA il quale mi permette di selezionare determinate lunghezze d'onda in cui il corpo non è trasparente (OPACO).

AREA OSSERVATA ED EMISSIVITÀ

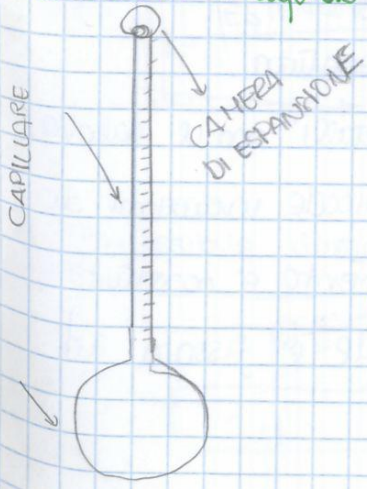
Qualunque pirometro restituisce una misura relativa alla energia che "vede". Quindi ovviamente bisogna stare attenti a quello che "vede" il pirometro. L'oggetto deve essere più grosso del campo di vista. Se l'oggetto è piccolo, il pirometro ha un probe a fibra ottica. Inoltre, hanno un regolatore che deve essere regolato in base all'oggetto.



Facendo un foro abbastanza lungo (5 volte il diametro)

La I^a tecnica di misura è la temperatura a dilatazione.

Termometri a liquido



Il mercurio non si attacca alle pareti, ma è tossico! Incertezza di $\frac{1}{10}$ °C

Si basano sul:

- bulbo, • capillare; camera di espansione

Al posto del mercurio → alcol

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 69 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 71 di 90

SENSORI PER GRANDEZZE CINEMATICHE

Le grandezze cinematiche sono grandezze vettoriali. → DIFFICOLTÀ poiché cambiano in più direzioni. Ho bisogno quindi di misurare (3) componenti e di un sistema di riferimento. (oppure uno monoassiale in cui so dove sto effettuando la misura). cioè devo sapere quale asse sto misurando.

- MISALIGNEMENT: asse di sensibilità reale NON coincide con l'asse nominale,
- CROSS-AXIS: una componente ortogonale all'asse di sensibilità provoca un'uscita spuria;

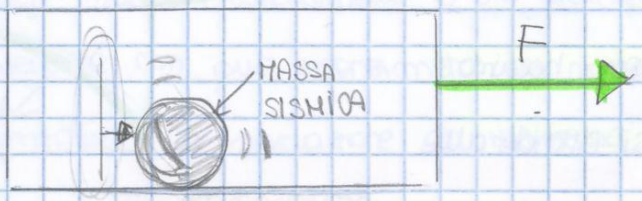
Essi sono intrinsecamente legati (RICORDA)

ACCELEROMETRI: misura l'accelerazione di un corpo.

$a = \frac{dv}{dt}$ $F = m \cdot a$

↳ LEGGE DI NEWTON DALLA QUALE SI PARTE (poiché mi basta misurare una forza)

Il concetto è) partendo da una massa nota invece di misurare un'accelerazione misuro una f

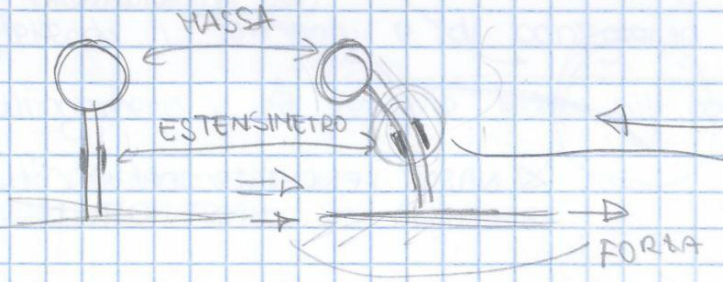


La forza provoca degli effetti fisici. Oppure si può vedere quanta [illegible] applicare per contrastare la caduta

ACCELEROMETRI

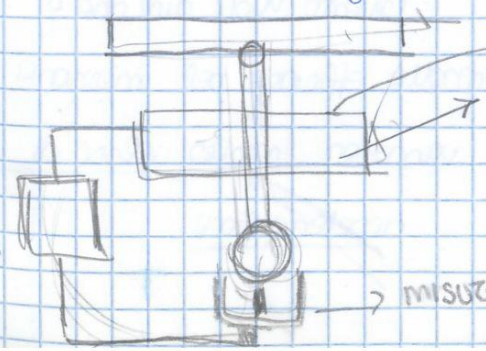
SERVOACCELEROMETRI

(1° accelerometro)



gli estensimetri misurano la deformazione

È impossibile distinguere una forza applicata ~~etc~~ con la forza di gravità!



Bobina: serve per applicare una forza elettromagnetica per tenere fermo il pendolo

servoaccelerometro

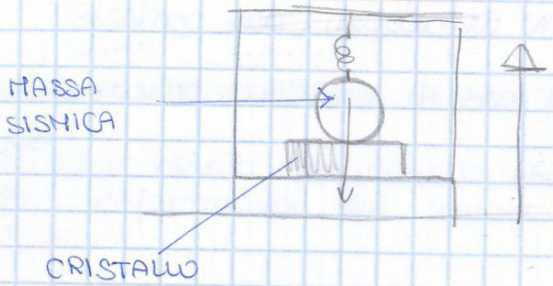
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 71 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 73 di 90

Tipologie costruttive

- metodi piezoelettrici
- metodi capacitivi
- metodi resistivi

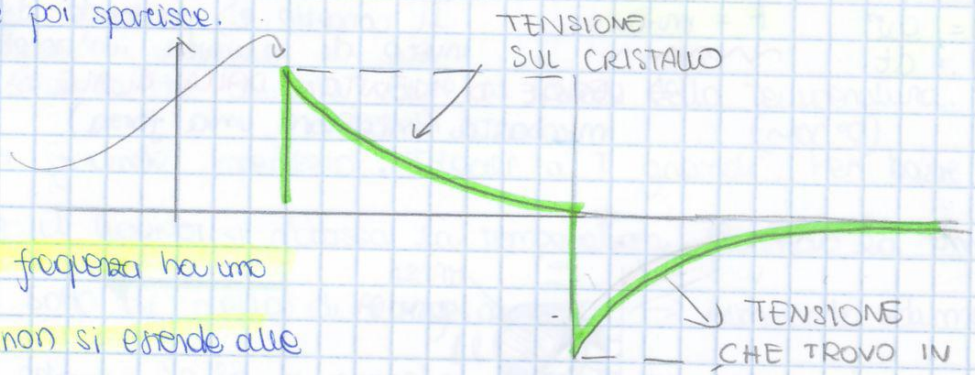
ACCELEROMETRI PIEZOELETTRICI



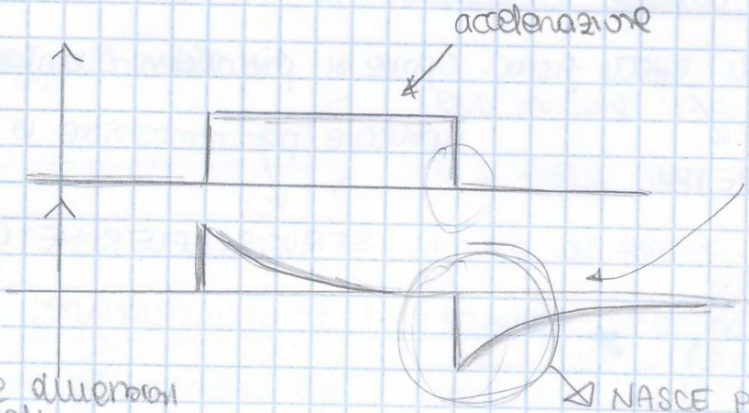
La massa sismica comprime un cristallo piezoelettrico che genera una tensione proporzionale all'accelerazione.

Dopo che è nata la tensione, gli elettroni si riequilibriano. (non si genera una corrente!) e poi sparisce.

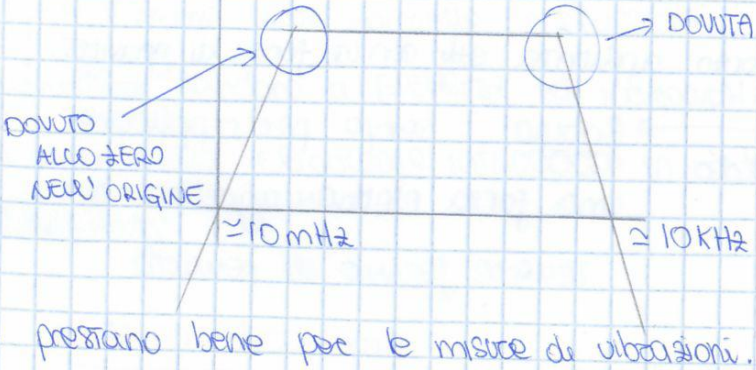
QUANDO APPLICO UN'ACCELERAZIONE:



La sua risposta in frequenza ha uno zero nell'origine (non si arrende alla continua!)



RISPOSTA IN FREQUENZA legata alle dimensioni delle masse



Questo vuol dire che è molto efficace nel misurare variazioni molto veloci di accelerazione.

Si prestano bene per le misure di vibrazioni.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 73 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 75 di 90

20/11/13

TACHIMETRI : GENERALITÀ

Spesso conta una sola velocità: la velocità relativa; quella in cui il corpo si muove. Ci sono 3 metodi principali per la misura di velocità:

- metodi odometrici
- metodi a correlazione
- metodi "doppler"
- metodi basati sul rilievo della velocità dell'aria
- "Assoluti" basati su sistemi di localizzazione

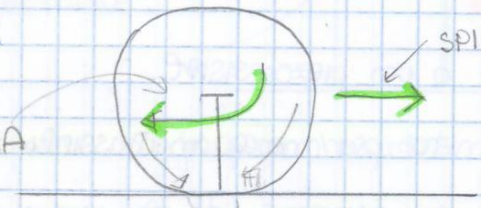
TACHIMETRO ODOMETRICO: determina la velocità come ωR.

↳ si basano su una ruota solidale con il corpo e che rotola sulla superf. di riferimento

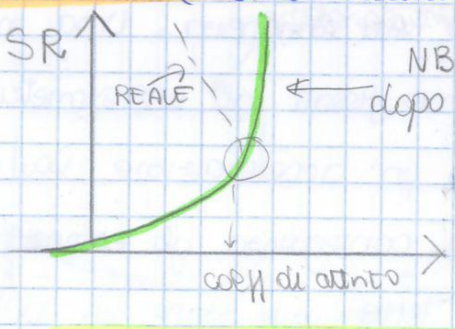
$v = \omega_w R_w$ (w = wheel) → raggio della ruota

velocità di rotazione della ruota

Il raggio è difficile da misurare; è fatto di gomma e si deforma! Quindi non è propriamente tonda. Quello che conta è l'asse di rotazione di questa figura:



Se si spinge in avanti, c'è anche una velocità di trascinamento (SLIP-RATE)

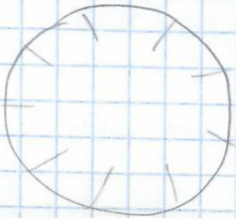


Contributi di incertezza: variazione del diametro e slip-rate ($\div 6,7\%$)

Come eliminare questi problemi?

- Per eliminare lo SR: la ruota non deve trasmettere forza (impossibile poiché le macchine sono tutte a trazione anteriore).
- Per eliminare variazione diametro: impossibile, viene meno l'ammortizzatore

RUOTA FONICA → Per misurare la velocità di rotazione per avere una velocità di risposta buona



← a bassa velocità (poiché si misura il tempo tra 2 impulsi anziché la frequenza degli impulsi)

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 75 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 77 di 90

TACHIMETRI BASATI SUL FLUSSO D'ARIA: si basano sulla velocità di quello che c'è intorno (aria)

come faccio a misurare la velocità di un oggetto in movimento? (con il Tubo di Pitot e il filo caldo). Sono dispositivi da adoperare perché dipende dalla densità dell'aria. (che dipende dalla temp, umidità...)

FILO CALDO: bobina scaldata da corrente e raffreddata in seguito dall'aria. Quindi, paragonandola con una fredda vedo quanto si è scaldato. In realtà funziona al contrario: inietto tanta corrente per quanto voglio che vada veloce.

TACHIMETRI A LOCALIZZAZIONE: (GPS) calcolano la velocità istantanea dallo spostame
Eseguono medie di velocità per ridurre le incertezze di localizzazione
- operano in 3D

GIROMETRI: un oggetto cambia la sua orientazione nel tempo. Gli angoli non sono commutativi. → misurano la velocità angolare
- GIROSCOPIO
- VOLO LIBERO
- ACCELERAZIONE DI CORIOLIS (quelli di oggi)
- SAGNAC (SULLA LUCE)

DISCO CON TRIPLO SUPPORTO CHE RENDE IL SISTEMA INCAPACE DI TRASM COPPIA

Giroscopio — Il momento angolare della massa che ruota tende a conservarsi. — Se si cerca di spostarlo lui resiste
Il disco non viene influenzato. Poiché grazie alle cerniere non ci sono coppie che si formano. Quindi è possibile vedere di quanto è cambiato l'angolo rispetto a prima che iniziasse a girare.

↳ Quello che si fa:
↳ Girometro a giroscopio

Si mette una massa in rotazione (vincolata dalla scatola). Se si vuole cambiare l'angolo ci sono delle forze che si oppongono. (si sente una spinta nella direzione in cui si cambia angolo) → misurazione di coppia che nasce sui cuscinetti a seguito della variazione di direzione dell'asse di rotazione

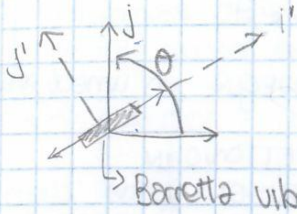
DISEGNO

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 77 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 79 di 90

GIROMETRI A VIBRAZIONE (quelli che si usano oggi) INTEGRATI

L'accelerazione di Coriolis è quel fenomeno per cui, se un oggetto ruota mentre si muove, nascono delle accelerazioni secondarie ortogonali al piano



$$\vec{v} = k\,\text{sen}(\alpha t)\vec{i}'$$

$$\vec{a} = \frac{dv_i}{dt}\vec{i}' + v_i\frac{d\vec{i}'}{dt} + \frac{dv_j}{dt}\vec{j}' + v_j\frac{d\vec{j}'}{dt}$$

$$\vec{a} = Ka\cos(\alpha t)\vec{i}' + Kw\,\text{sen}(\alpha t)\vec{j}'$$

Trovando l'accelerazione sulla particella si trova un contributo dovuto alle particelle che fanno avanti e indietro e un contributo nell'altra direzione. Per misurarlo, con una struttura a corna, si utilizza:

pezzo di silicio che viene fatto vibrare. Quindi, si effettua una misura di capacità.

GIROMETRI LASER: se volessimo capire dove stiamo andando mentre ci muoviamo, è necessario avere dei giometri ben precisi. Sfruttando gli effetti inerziali della luce si può. → PRESTAZIONI ECCELLENTI. Si sfrutta comunque l'effetto doppler. Mando un fascio di luce, se cambio direzione la luce cambia fre

Cavità in cui si fa girare un fascio laser → campo stazionario. Se faccio girare la cavità facendo rimanere fermo il cavo ho valli e picchi bene

A cavità attiva: una cavità dove viene fatto girare 2 fasci laser: uno rotante e uno controrotante → campo stazionario in cui gira la cavità e quindi basta contare i picchi e le valli che ci sono. (che si susseguono a distanze di nm); grande risoluzione.

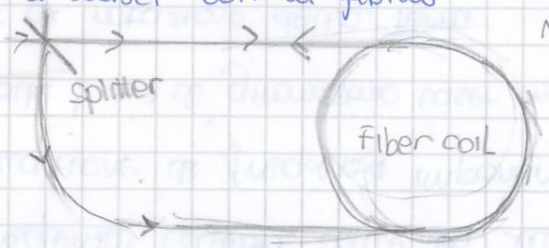
Fibra ottica

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 79 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 81 di 90

• LASER A FIBRA :

Accoppio il laser con la fibra



SVANTAGGIO (se)
NB: Lo splitter si sposta anche solo di 1mm va bene!

Filo lungo, il fascio impiega un sacco di tempo a fare il giro. Dato che ci sono 2 fasci laser, uno arriva dopo e uno arriva prima (aiutato dalla rotazione) → ARRIVANO SFASATI

Sommando i fasci ottengo una diversa intensità luminosa → quindi ricavo lo sfasamento tra i fasci. Dato che conosco la lunghezza e la velocità della luce ricavo lo spazio diverso che hanno percorso → e quindi la velocità angolare.
(+ LUNGO, + FASE)

Lo sfasamento si misura col modulatore elettroottico su uno dei due rami della fibra → ottimo risultato.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 81 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 83 di 90

RESOLVER A RAPPORTO (RAPPORTO TRA TENSIONI)

Corrente alternata che passa nel rotore → si genera un campo elettromagnetico che si accoppia con le altre due bobine (una bobina si accoppia con per un generico angolo l'angolo seno e l'altro con l'angolo coseno) → quindi nasce una tensione ORIZZ. VERTICALE

$V_{S1} = V_R \sin\vartheta$

$V_{S2} = V_R \cos\vartheta$

$\vartheta = \tan^{-1}\left(\frac{V_{S1}}{V_{S2}}\right)$

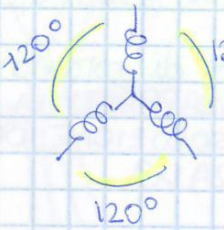
↳ l'angolo è il rapporto tra le due tensioni

RESOLVER A FASE (al contrario di prima...)

Si eccitano gli statori e vado a vedere la tensione sul rotore, se eccito ~~gli statori con $V_{S1}\sin\omega$~~ due segnali sfasati tra loro di 90° → si genera una rotazione (CAMPO ELETTROMAGNETICO ALTERNATO ROTANTE) NON CON UN SOLO SEGNALE! $V_R = V_{S1}\sin\vartheta + V_{S2}\cos\vartheta$

- Se invece mettiamo 3 bobine sfasate di 120°:

Ovviamente, si ottiene lo stesso risultato con motori trifase:



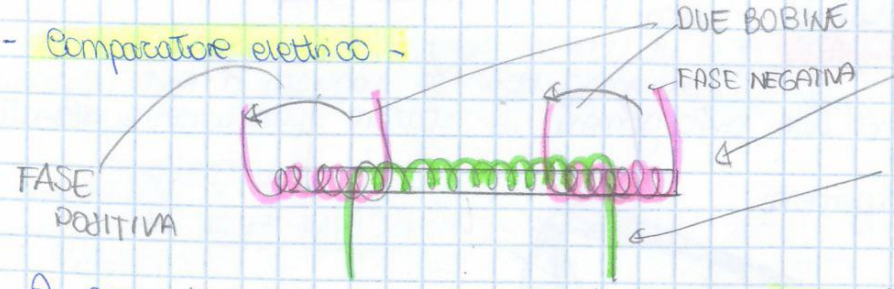
Quindi 3 avvolgimenti alimentati con 3 tensioni sfasate tra loro di 120°.

NB: l'ampiezza è sempre la stessa a prescindere dall'angolo di rotazione, l'unica cosa che vedo è la diff. di fase tra il rotore e una delle due bobine.

PROBLEMA: come faccio a vedere se è stato compiuto un giro? C'è bisogno di un meccanismo che mi consenta di contare i giri. (Teoricamente dovrei fare una demodulazione ~~sfasata~~ sincrona).

Trasformatore differenziale lineare (LVDT)

- Comparatore elettrico -



A seconda dello spostamento dell'asta, la bobina primaria si accoppia più o meno con una delle due. Si esegue la diff fisica dei 2 guadagni, Bilanciamento di zero (annullo) → [illegible]

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 83 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 85 di 90

Se non voglio fare le canne chiuse possono misurare delle eliche che girano alla velocità del fluido. Se gira si misura il volume se lo si ferma si misura la massa.

- **Massa a cono**

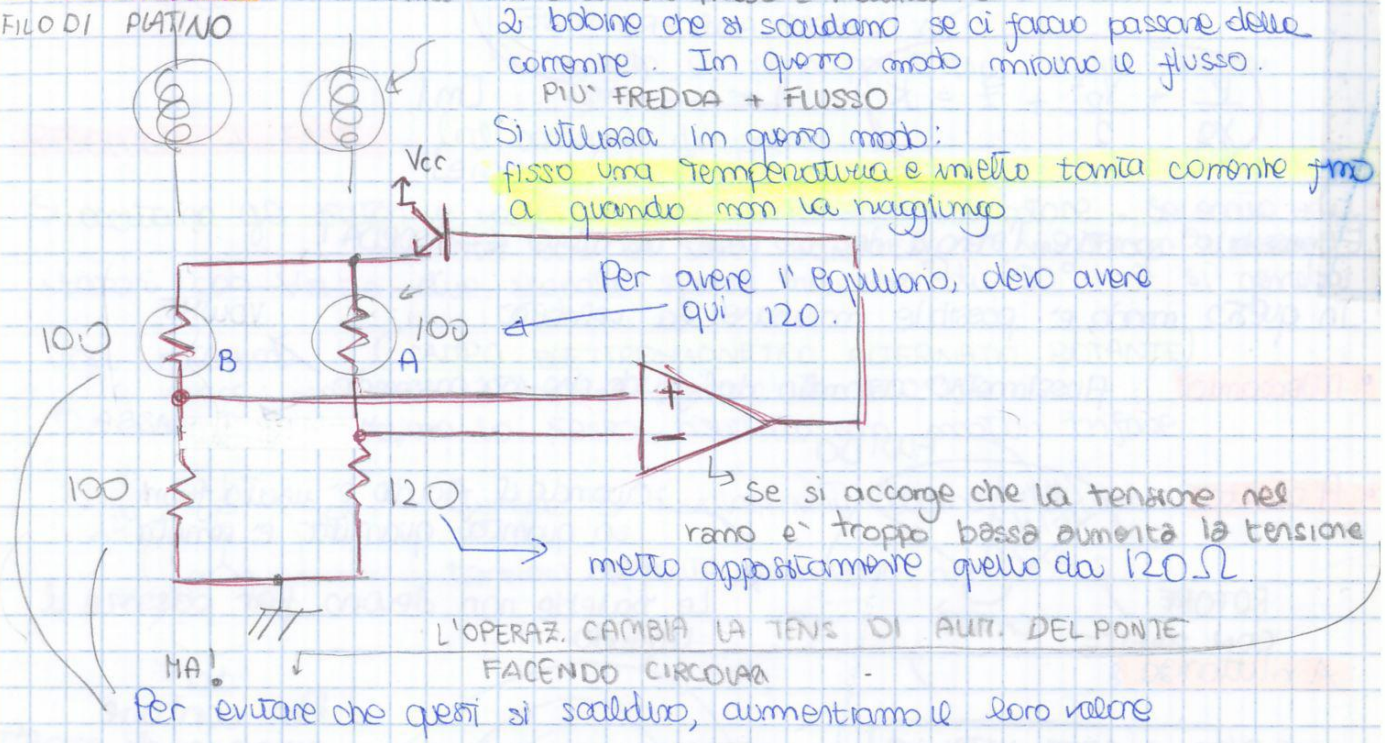
Tagliuzziamo che sonde nel cono fino a quando si forma una linea.

- **A resistenza** – Una investita dal flusso e l'altra no –

2 bobine che si scaldano se ci faccio passare delle corrente. In questo modo misuro il flusso.

PIU' FREDDA → FLUSSO

Si utilizza in questo modo:
fisso una temperatura e metto tanta corrente fino a quando non la raggiungo



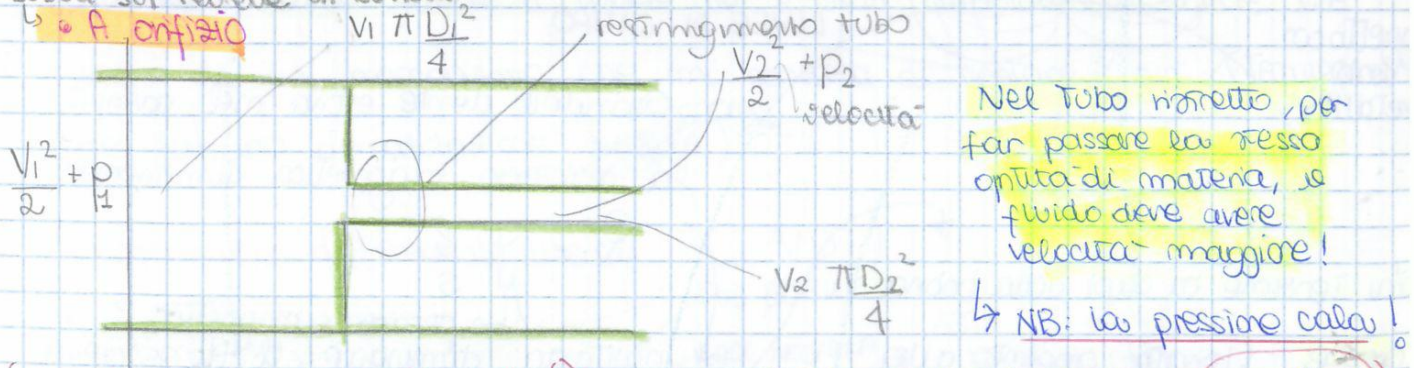
Per evitare che questi si scaldino, aumentiamo il loro valore

Da 100 a 120 → $\Delta R = 20\Omega$ → aumento di 50°

NB: A è costruito piccolo appositamente per permettersi di scaldarsi e quindi misurare la variazione di temperatura.

Basati sul teorema di Bernoulli

- **A orifizio**



Nel tubo ristretto, per far passare la stessa portata di materia, il fluido deve avere velocità maggiore!

↳ NB: la pressione cala!

Se la velocità è + forte → la P CALA! ⚠

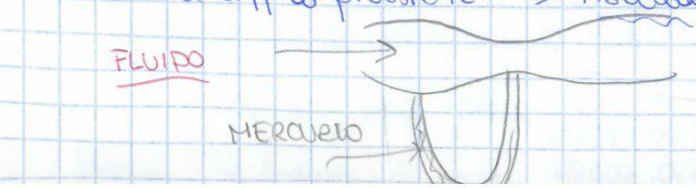
$$P_1 - P_2 = \gamma V_1^2 \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \Rightarrow V = K\sqrt{\Delta P}$$

Proporzionale con energia cinetica

ΔP è la diff di pressione tra due punti

Per evitare che la diff. si trasformi in calore (altrimenti non è più valida)

Ma la diff di pressione → riscalda! Per evitare questo problema:



TUBO DI VENTURI RESTRING GRADUALI

↳ posso vedere la velocità che passa nel Tubo di Venturi

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 85 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 87 di 90

Pt100 → R_0 0.4 Ω/°C 0.4%/°C

Se R = 120Ω quanto vale T?

$R = 100 (1 + \alpha T)$

$120 = 100 (1 + 0.4\frac{\%}{°C} \cdot T)$

$120 = 100 + 0,4T$

$\frac{120-100}{0,4} = T \simeq 50\,°C$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 87 di 90

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 89 di 90

Si raffredda lo specchietto, nel momento in cui si appanna posso t quanto vale il punto di dew point.

NB: lo specchietto si raffredda lentamente.

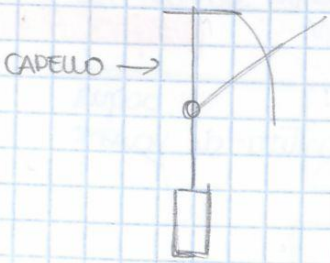
PSICROMETRO: si usano 2 termometri → BULBO SECCO
→ BULBO BAGNATO (UMIDO)

L'UR viene determinata facendo la diff tra le due temperature

Come sono fatti oggi gli igrometri? IGROMETRI CAPACITIVI
↑ L'H_2O È CORNUTA ↑ ☆

IGROMETRI A RISONANZA: si basano sulla variazione di frequenza di risonanza di un oscillatore meccanico dovuto alla variazione di massa di un materiale che assorbe umidità.

IGROMETRI A CAPELLI: Se il capello si allunga, l'ago si allunga e quindi cambia la sua inclinazione.



Come fare la taratura?

Basta farlo raffreddare! → deve segnare 100% di umidità!

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 89 di 90