NUMERO: 1867A - ANNO: 2016

A P P U N T I

STUDENTE: Bettale Valentina

MATERIA: Biomeccanica e biodinamica sperimentale, Appunti + domande d'esame svolte + esercitazioni - prof. Audenino

BIOMECCANICA e BIODINAMICA SPERIMENTALE

PROF. AUDENINO

esame: 2 esercizi (9x2, MAI UGUALE) + 2 domande di teoria (9x2) → media (4:4) — con contenuti (1:30/2:00h) max 36 / 2h

Congela il voto <
- REGISTRA: V (entro 1 settimana)
- se si consegna un altro compito quello prima è cancellato

LIBRO: "INTRODUCTION TO ENGINEERING EXPERIMENTATION"
Wheeler, Ganji
c'è in BIBLIOTECA
CAP 1-2-3-4-5-(6)-(7)-(8)-(9)-(10)-11-(12)

- [1-10] errori statici
- (7) NO
- (8)-(9)-(10) in generale sensori → sensori e misure x la bioing?
- (10) NO
- 11 ↑ dinamica dei sistemi del 1° ordine, esercizio
- (12) NO

↓ chiavetta al prof.

"LABORATORIO"

⚠ DIMENSIONI E UNITÀ

NOI UTILIZZIAMO IL SISTEMA INTERNAZIONALE (SI)
MA IN ALCUNI CASI È ANCORA UTILIZZATO IL SISTEMA ANGLOSASSONE

ESEMPIO: $F = \frac{m}{g_c} \cdot a$ seconda legge di Newton [pg. 4]

PER SI: $g_c = 1$

DIMENSIONE	SI	INGLESE
MASSA	Kg	lbm
LUNGHEZZA	m	ft
TEMPO	s	s
TEMPERATURA	K	°R
CORRENTE ELETTRICA	A	A

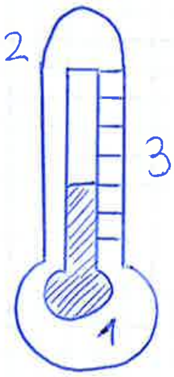
esempio: TERMOMETRO a Hg

il volume di mercurio nel bulbo dipende dalla sua temperatura

principio fisico: dilatazione termica
$\Delta T \rightarrow \Delta V \rightarrow$ dimensione misurata
α = coeff di dilatazione termica

è un sistema totalmente meccanico, senza niente di elettronico e solitamente questi sistemi sono molto più affidabili x il mantenerlo le caratteristiche nel tempo senza bisogno di calibrazione, anzi sono loro stessi usati come dispositivi di calibrazione

le 3 parti sono combinate in questo sistema



1) sensore = bulbo
ampolla che contiene il fluido trasduttore $\Delta T \rightarrow \Delta V$ da misurare

2) sist di condiz = capillare
è un amplificatore, condizionatore di segnale, fa sì che la variazione di lunghezza sia apprezzabile (maggiore ΔV)

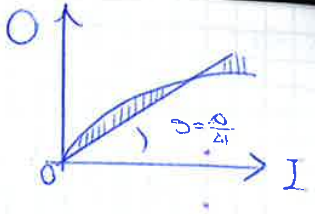
3) indicatore = scala lineare graduata
è riportato sul capillare e serve x misurare l'altezza

le 3 parti sono invece solitamente separate nei moderni sistemi di misura che usano sistemi che rispondono con segnali elettrici.

Validità della misura

l'affidabilità della misura condotta è la parte più importante perché essa è funzione dell'errore accettabile.
non esiste un sistema di misura perfetto!
la deviazione / l'errore deve solamente essere piccolo abbastanza x far sì che l'output possa essere usato x i propri scopi.
(x gestire gli errori servirebbe la statistica → nel libro invece si minimizza solo)
→ qualsiasi misura è caratterizzata da errore!

ma se un sistema non è lineare gli errori non si recuperano, sono errori reali sistematici



b) errori di carico (loading error)

Problema dovuto al fatto che aggiungendo il sensore si modifica la realtà e perciò cambia la misura

ex: voltmetro x sistemi di misura elettrici (resistenza in ingresso ed in uscita)

La misura è diversa in presenza o in assenza di sensore e questo errore si può eliminare ad esempio con sensori non invasivi (ex: termometro a infrarossi)

Si distinguono sistemi di misura invasivi o non.

c) errori di tipo spaziale

se il sensore è sensibile anche ad un'altra variabile oltre al misurando, la grandezza che si misura è affetta anche da altre variabili casuali, quindi spesso questo errore è trattato come casuale xk dipende da variabili non controllabili

ex: sensore di forza inclinato

→ questi errori sistematici cmq non sono ovvi
possono essere ridotti dal processo di calibrazione
e da una correzione analitica

2) casuali / random

- errori dovuti alla carenza di ripetibilità
- è una variabile aleatoria
- mediando molte volte lo si porta a zero
- la media delle misure contraddistingue i 2 tipi di errore

$\boxed{\text{errore casuale}_{max} = \text{lettura} - \text{media delle letture}}$ si definisce il max

- più difficili da gestire

$\boxed{\text{errore sistematico} = \text{media delle letture} - \text{valore vero}}$

- più le misure sono numerose, + il risultato è esatto

GLI ERRORI CASUALI POSSONO ESSERE CAUSATI:

a) DAL SISTEMA DI MISURA STESSO / DALLA STRUMENTAZIONE / DAL SISTEMA SPERIMENTALE
EX: STRUMENTO ELETTRONICO CON UN RUMORE INTRINSECO

b) DALL'AMBIENTE CIOÈ DAL RUMORE AMBIENTALE DOVUTO A CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

c) DA TUTTE LE VARIABILI NON CONTROLLATE, che causano un effetto sistematico, ma casuale
EX: TEMPERATURA O UMIDITÀ DELL'ARIA

d) DAL RUMORE ELETTRICO (SOPRATTUTTO X I SEGNALI BIOLOGICI, che sono segnali piccoli $\triangleq$ mV)

POSSONO CMQ ESSERE MINIMIZZATI ELIMINANDO LE VARIABILI NON CONTROLLABILI.

ESEMPIO 2.1

MISURE DELLA TENSIONE DI UNA BATTERIA CON VOLTMETRO DIGITALE

10 MISURE: 5,98 - 6,05 - 6,10 - 6,06 - 5,99 - 5,96 - 6,02 - 6,09 - 6,03 - 5,99

6,11 V VALORE VERO → SI CONOSCE SOLO IN CALIBRAZIONE, NON QUANDO SI È IN SPERIMENTAZIONE

ERRORE CASUALE? ERRORE SISTEMATICO? massimo

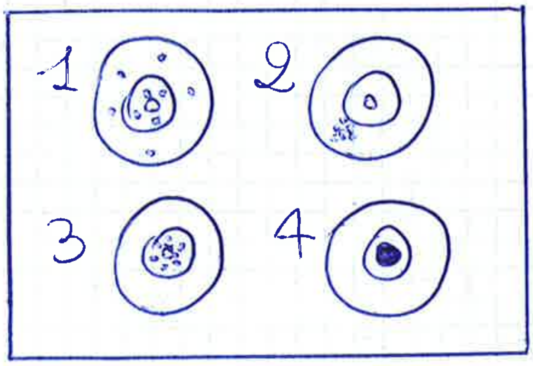
$$\text{media} = \mu = 6{,}03\ V = \frac{\sum V}{10}$$

$$SE = \mu - W = 6{,}03 - 6{,}11 = -0{,}08\ V$$

$$MCE = 5{,}96 - \mu = -0{,}07\ V$$ → INVECE DI FARE LA STATISTICA, LA NORMA DA NOI USATA STIMA L'ERRORE CASUALE MASSIMO

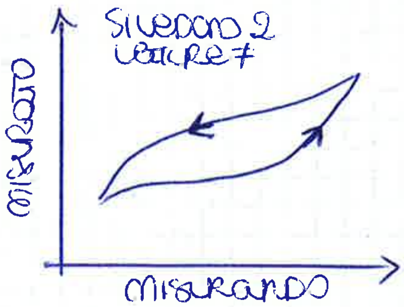
L'accuratezza viene dichiarata dal produttore
Ex: [0,5V] → ±5% → l'errore è ±0,25V sempre, non dipende dalla lettura → soltanto ha un valore così assoluto

• **Precisione**: è relativo solo all'errore random/casuale
serve per definire la ripetibilità (stabilità) di una misura
ma soltanto la misura nelle stesse condizioni, si ottengono valori diversi
→ L'accuratezza non può essere meglio della precisione (benché possa essere molto peggio)



1. non accurato, non preciso
2. non accurato, preciso
3. non preciso, accurato
4. accurato e preciso

• **Isteresi**: per lo stesso valore di misurando, si possono leggere ≠ misurazioni se si incrementa o decrementa la misura. errore che deriva da fenomeni parassiti (attrito)

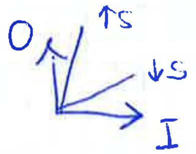


- bisogna fare sempre tt e 2 le curve
- è una delle maggiori cause di errore
- è un errore sistematico che si ripresenta sempre =, ma i suoi effetti sono casuali, soprat. xk non si sa se si sale o si scende o l'ampiezza del ciclo

• **Risoluzione**: è la minima quantità che si riesce a vedere (minima variazione che può essere apprezzata)
xk l'output cambia in step discreti mentre il misurando è continuo
è un errore casuale, che non ha niente a che fare con l'accuratezza
soprat. in sistemi digitali in cui si entra in analogico e si esce in digitale
è l'inabilità del sistema del seguire i cambiamenti del misurando

• **Zero offset**: errore se l'interpolazione non passa da zero
x toglierlo si cambia solo il sistema di riferimento
solitamente si controlla lo zero prima di usare lo strumento, e un grande spostamento può voler dire che esso è danneggiato o malfunzionante

• **Sensitività / sensibilità**: rapporto tra la differenza degli output e la differenza degli input, cioè la pendenza della retta



$$\boxed{S = \frac{d(O)}{d(I)} \cong \frac{\Delta O}{\Delta I}}$$

↑ FS = ↓ sensitività

va all'inverso del fondo scala
serve una un'elevata sensitività x avere un elevato segnale e ↓ l'errore, che è un errore sistematico che può nascere durante la calibrazione
è un errore sia sulla misura che sullo span
essendo sistematico, l'errore si corregge ricalibrando il sensore

→ per questo x la calibrazione si utilizzano sistemi meccanici, perché mantengono le caratteristiche anche nel tempo

• altri errori: drift, varia la grandezza misurata nel t
stabilità termica, misure dipendenti dall'ambiente

esempio 2.2
uno strumento può misurare una velocità angolare tra 0/5000 rpm, con un'accuratezza del ±5% su FS. c'è uno zero offset di 200 rpm, che si legge quando la velocità è zero. errore massimo se si legge 3500 rpm?

FS = 5000 rpm
AC = ±0,05 · 5000 = ±250 rpm
OO = 200 rpm
Emax = 200 + 250 = 450 rpm ← si legge su qualsiasi misura

molto alto! +10% FS!

L'accuratezza è una specifica dell'incertezza che di solito combina inevitabili errori casuali e sistematici associati

Segnali Biomedici

- Piccola ampiezza 5μV - 5mV
- necessità di amplificazione ↑ rapporto S/N
- N. bit di conversione ↑ CMRR
- bande basse in f, talvolta con continua
- grandezze spesso inaccessibili direttamente
- elevata dispersione del risultato
- stringenti norme di sicurezza
- limitazione delle energie utilizzabili

⚠ x prima cosa bisogna scegliere range e banda x scegliere il sensore (range =, ↑ precisione)

Specifiche richieste:

- Balistocardiografia (lettino mobile che vibra col battito cardiaco → si sentono le accelerazioni)

range	banda
0/7 mg	DC-40

  ↳ è come un accelerometro < piezoelettrico XX / estensimetrico ✓

  piccolo, se cade x terra si spacca

- pressione vescicale

  0-1 bar DC-10

- pressione arteriosa

  80/120 mmHg DC-50 → serve x vedere il transitorio } I segnali ECG e EEG sono degli spike

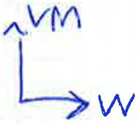
Caratteristiche interne

- accuratezza = $\frac{V_{misurato} - V_{vero}}{V_{vero}}$
- impedenza in ingresso e uscita
- tensione di alimentazione
- tensione in uscita
- risposta in f
- \+ quelle già descritte

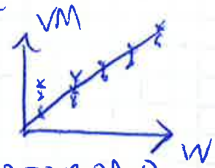
CALIBRAZIONE STATICA = lenta, prima di fare la misura si raggiunge l'equilibrio

Nella calibrazione, il sistema è utilizzato per fare misure di valori noti del misurando, usandone un tot in grado di coprire tutto il range del sistema.

1° passo: si fa una serie di misure (tot cicli)

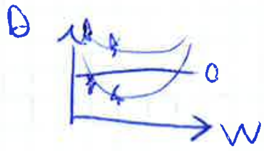


2° passo: si rappresentano le misure su un grafico valore misurato/valore vero, con un segnalino ≠ x ogni ciclo e si fitta x trovare la curva di calibrazione (valutando le sue caratteristiche)

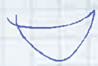


(x ciclo si intende andata e ritorno!! x l'isteresi)

3° passo: si rirappresentano sul grafico di deviazione
la deviazione è la differenza tra ogni misura e la retta di calibrazione



- deviazione = 0, punto sul grafico sullo zero, = la misura è stata predetta correttamente senza errore
- ripetibilità = massimo scostamento tra i valori / le misure ottenute x lo stesso valore vero in condizione di salita o di discesa
- isteresi = differenza massima tra salita e discesa dei valori di una data misura (cioè x uno stesso ciclo)

Nel grafico si apprezzano 2 tendenze sistematiche:
- differenza tra salita e discesa
- i valori diminuiscono e poi aumentano 

→ il modello è errato xk non è una linea, si ha una certa curvatura

- accuratezza = linee orizzontali in modo tale che la regione interna contenga tutti i valori trovati in modo da trovare i limiti + e − dell'accuratezza

MISURE DINAMICHE

LA MISURAZIONE PUÒ ESSERE UN PROCESSO DI TIPO STATICO (ORDINE ZERO) O DINAMICO, IN CUI È IMPORTANTE LA FREQUENZA, CIOÈ IL TRANSITORIO. L'ERRORE DINAMICO NON ∃ SE SI UTILIZZA IL SENSORE SU TEMPI MOLTO LUNGHI RISPETTO AI SUOI INTRINSECI, ALTRIMENTI SE SONO CONFRONTABILI, L'ERRORE ESISTE E BISOGNA MINIMIZZARLO.

ESEMPIO: IL TERMOMETRO

NON È UN SENSORE DI ORDINE 0, XKÈ NON FUNZIONA IN MODO ISTANTANEO MA HA BISOGNO DI ALCUNI MINUTI X FORNIRE LA GIUSTA MISURA ED HA PERCIÒ UN ERRORE DINAMICO

X MISURARE UNA T DINAMICA COME L'H_2O CHE SI SCALDA IN UNA PENTOLA, IL TERMOMETRO NON RAGGIUNGE MAI LA GIUSTA T.

SI APPLICA LA 1ª LEGGE DELLA TERMODINAMICA

$$\text{CALORE} + \underbrace{\text{LAVORO}}_{=0} = \Delta U \text{ ENERGIA INTERNA}$$

$$q = hA(T_\omega - T_t) = mc\frac{dT_t}{dt}$$

$$\Delta T' = T_\omega - T_t = \left(\frac{mc}{hA}\right)\cdot\frac{dT_t}{dt} = \tau\cdot\frac{dT_t}{dt}$$

A = AREA DEL BULBO ; h = COEFF DI TRASPORTO DEL CALORE
T_ω = T H_2O ; T_t = T TERMOMETRO ; m = MASSA DEL BULBO
c = CALORE SPECIFICO X UNITÀ DI MISURA

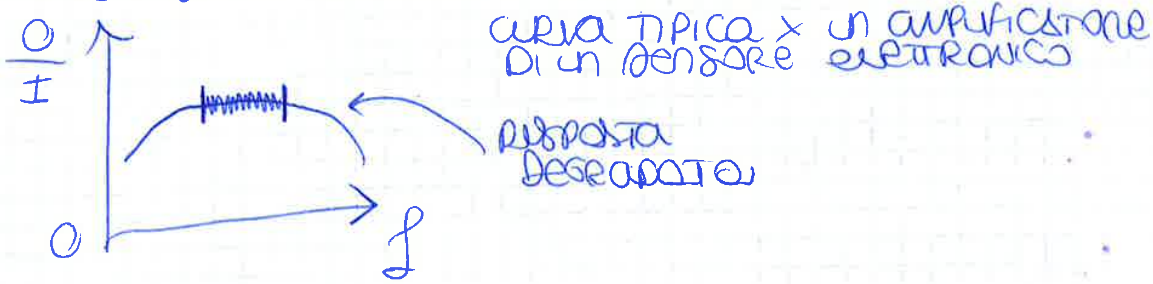
$T_\omega = T_t \rightarrow$ NO ERRORE

$\boxed{\tau = \text{COSTANTE DI TEMPO} \rightarrow 0 \text{ X NON AVERE ERRORE}}$

XKÈ È UN SISTEMA DI I ORDINE DOVE τ È UNA CARATTERISTICA INTRINSECA!

$$\tau = \frac{mc}{hA}$$

nella risposta in frequenza bisogna invece determinare la banda utile del dispositivo, x questo si fanno misure stabilizzate senza transiente con input sinusoidale



se la risposta copre la banda non utile, il segnale risulta distorto e la misura è errata

⚠ spesso non basta l'esame delle specifiche x sapere se il sensore va bene

ex: la cella di carico è un sensore di forza è una molla perché fa una misura indiretta, in realtà misura uno spostamento

- risposta nel t a transiente → τ o settling time
- risposta in f finito il transiente → banda utile

CONDIZIONATORE

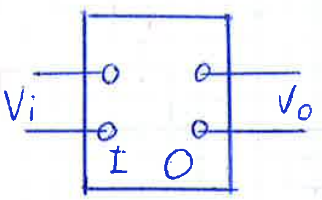
Ha molte e ≠ funzioni:

- amplificazione
- attenuazione
- filtraggio
- differenziazione
- integrazione
- linearizzazione
- combina una misura con un riferimento
- converte R, A, f → in tensione
- converte V → in corrente

anch'esso va calibrato sia da solo che in catena xk l'errore può riguardare una qualsiasi parte della catena!

1a funzione: amplificatore

è impo capire quale è idoneo per la misura da fare.
L'amplificazione è fondamentale perché i segnali sono comuni nel range del mV, ma possono anche essere dei μV e questi segnali sono difficili da trasmettere ed in + alcuni sistemi di processamento richiedono delle tensioni di input tra 1/10 V.
Sono xò soggetti a captazione ambientale, x cui sono affetti da errore.
Lo schema è:

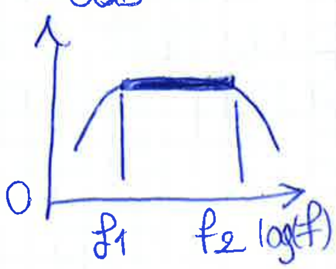


V_i = tensione in ingresso
V_o = tensione in uscita
$V_o > V_i$

ingresso e uscita differenziali
caratterizzato dal guadagno: $G = \frac{V_o}{V_i}$
solitamente $G = [1 \div 1000]$
anche $G < 1$ se $V_o < V_i$ e si attenua
solitamente si esprime in dB: $G_{dB} = 20 \log_{10} \frac{V_o}{V_i}$

è essenziale, ma può dare un serie di errori:

1) Distorsione della frequenza



Gli amplificatori non hanno lo stesso guadagno x tutte le f, xciò la banda di ingresso deve passare dove c'è il giusto guadagno.
2 f_T di taglio definiscono la larghezza di banda e sono individuate dove il G diminuisce di 3 dB (non nella parte piatta)

uno strumento ideale, non darebbe produrre risposta, cioè output = 0, se l'ingresso è lo stesso in modo diff.
nella realtà una risposta c'è ed è + grande in modo diff.
la misura della risposta relativa al modo single/modo diff. è

$$CMRR = 20 \log_{10} \left(\frac{G_{diff}}{G_{cm}} \right)$$

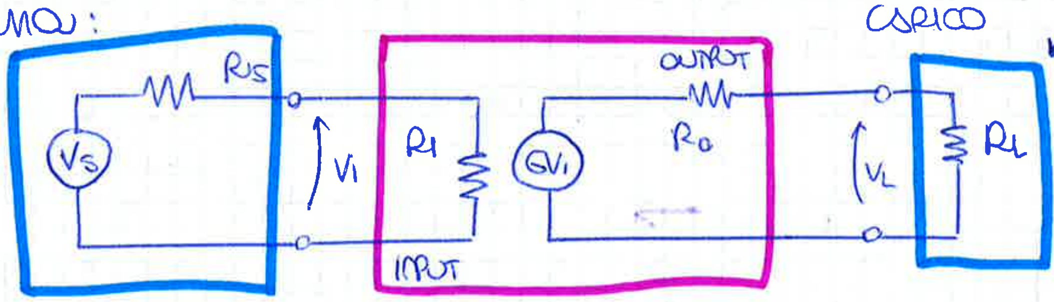
→ guadagno in modo diff.
→ guadagno in modo single

lo strumento è migliore se il CMRR è elevato
se do lo stesso input perciò non esce ∅ altrimenti si avrebbe CMRR = ∞ (perfetto).

④ errore di carico: (di input o di output)

occorre xké l'amplificatore è collegato al sensore e la tensione perciò varia.

schema:



questo errore si propaga poi nei successivi collegamenti

$V_o = GV_i$

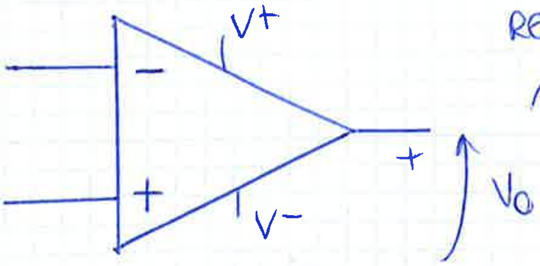
sensore =
generatore di tensione V_s
resistenza interna R_s
(ideale se $R_s = 0$)
in realtà le R sono impedenze

amplificatore =
se collegato si nota che $V_i < V_s$ al posto di $V_i = V_s$
allora c'è un errore di carico
l'input è una resistenza
l'output è un generatore con una R_o in serie

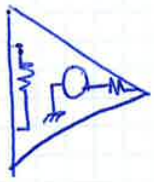
quando sono collegati, scorre corrente in R_s e si ha una caduta di potenziale. x risolvere il problema l'amplificatore deve avere ↑↑ R_i e ↓↓ R_o.
si analizza il circuito risolvendolo:

$$V_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot V_s \quad e \quad V_L = \frac{R_L}{R_o + R_L} \cdot GV_i$$

Ripasso com'è fatto un amplificatore operazionale:



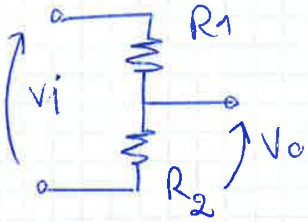
reale



cmq gli amplificatori sono soggetti ad errori come tutti gli altri componenti della strumentazione: errori di non linearità, di isteresi, di stabilità termica.

2ª funzione: attenuazione

Si trova una tensione in uscita troppo alta (rispetto al range di input del componente successivo) e perciò la si riduce con un circuito del genere, lavorando su R_1 e R_2:



si ottiene:

$$V_o = V_i \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

partitore di tensione

questo circuito può dare però eventuali problemi di carico: la corrente che scorre potrebbe modificare V_o ma questo problema può essere evitato $\uparrow \Sigma R_1+R_2$ rispetto alla resistenza di output del sistema che genera V_i, ma se anche R_2 è grande, il problema sarà lo stesso quando si collega un carico in output (su V_o).

$\downarrow R$, $\uparrow$ la corrente e la potenza (dissipata) allora si mettono $\uparrow R$ (R_1, R_2) ma con $\uparrow R$ il comportamento dipende dalla f! anche risolti i problemi dei carichi d'ingresso, c'è il problema dei carichi in uscita. x risolvere il tutto si mette in uscita un operazionale con $G=1$, che "stacca" l'uscita dall'ingresso!!

ex. 3.3:

$V_i = 120V$ voltaggio x un termosifone / riscaldatore

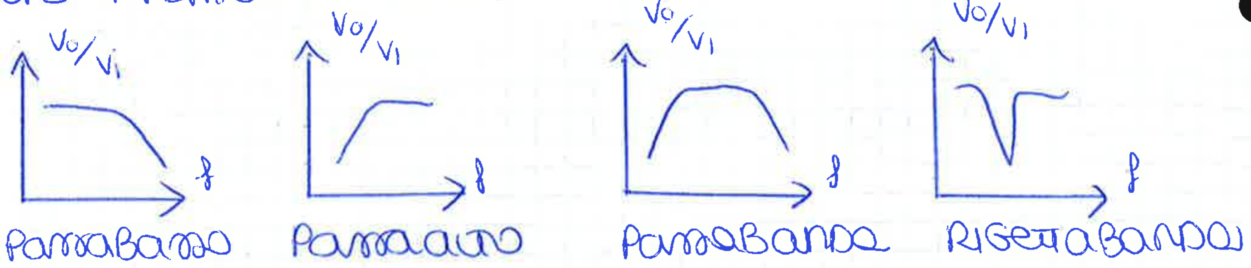
x registrarla bisogna prima attenuarla 15 volte $= G$

$\Sigma R_1+R_2 = 1000\,\Omega$

3ª funzione: filtraggio

serve per rimuovere certe f dai segnali

esistono 4 famiglie di filtri:



Ogni filtro è definito da un ordine che caratterizza la pendenza dell'attenuazione.

ci sono 4 tipi di filtri + utilizzati:
- Butterworth
- Elliptic
- Chebyshev
- Bessel

Il più utilizzato è il filtro passa basso, xk spesso il rumore è ad alta f, oppure per l'aliasing.

La f_T frequenza di taglio è individuata a $G - 3dB$

- Butterworth

  il guadagno è funzione della f: $G = \frac{1}{\sqrt{1+\left(f/f_c\right)^{2n}}}$

  $\uparrow f, \downarrow G$

  n = ordine del filtro

  pendenza: $\boxed{6n \text{ dB/octave}}$ = ROLL-OFF = RO $\qquad f_c = f_T$ "cut"

  $\uparrow$ ordine = $\uparrow n$ = $\uparrow$ pendenza

- Chebyshev

  è più ripido

  ma è peggiore xk ∃ ripple = distorsione in banda passante

  → bisogna dargli un limite

- Bessel

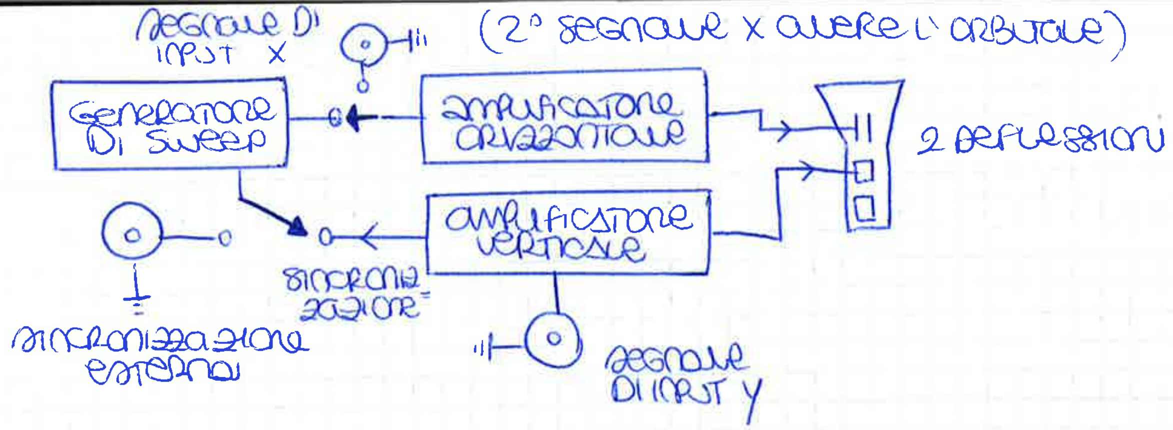
  btw hanno una variazione di fase lineare

  ⚠ può produrre ritardo se non lineare

  Butterworth si può usare solo fino ad una certa f xk poi non è + lineare, mentre Bessel è lineare fino a f_T

  ma Bessel è meno ripido

⚠ compromesso e scelta tra: f_T; classe; ordine; ripple



Possono visualizzare f molto alte 100MHz, ma non sono precisi, accuratezza limitata a 1/2% (xk non è il loro scopo)

REGISTRATORI A CARTA (o DATA-LOGGER)

La tensione di input è usata x far muovere una penna che scrive su di un foglio muovendosi del giusto angolo in direzione del movimento della penna. La f di acquisizione non può essere trp elevata ma qst dispositivo ha una grande capacità di acquisizione, ideale x acquisire pochi segnali x tempi lunghi, come x monitorare la T di una stanza x un anno.
Per ↑ la f di acquisizione bisogna creare delle inerzie molto piccole: non si usano penne ad inchiostro ma pennini termici (proprio xk è un problema meccanico) oppure raggio di luce su carta fotografica.
(stessi problemi che può avere un sensore.)

SISTEMI DI ACQUISIZIONE DI DATI

Sistemi di computerizzazione che acquisiscono, analizzano e registrano, soppiantando tutti gli altri strumenti, con + sensori collegati. (capitolo 4)

TRASMISSIONE ELETTRICA DEI SEGNALI TRA I VARI COMPONENTI

Spesso la connessione elettrica è sottovalutata anche se dà molti problemi perché cattura rumore con ampiezza > del segnale. Si divide in 4 casi ≠, o ≠ metodi di trasmissione del segnale.

Bisogna notare che il collegamento a terra è + x una questione di sicurezza → la terra di sicurezza non é buona x la strumentazione

⚠ non creare mai loop di terra, tutti i cavi vanno collegati nello stesso punto

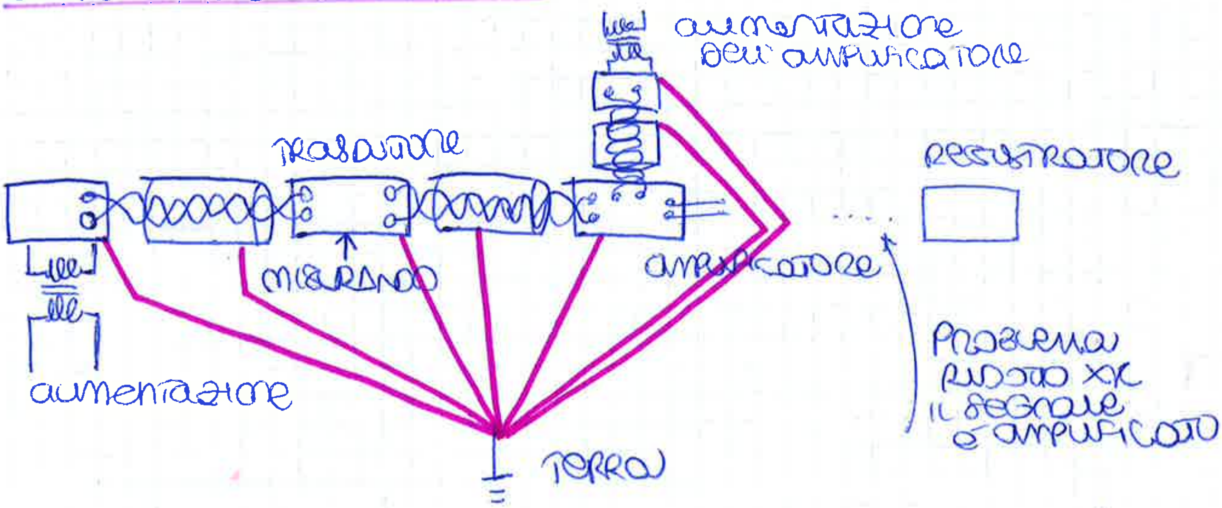
b) x eliminare i campi magnetici, i fili devono essere vicini e attorcigliati x avere spire piccole

se i fili sono vicini, il rumore dovrebbe essere = su tutti e 2 i cavi, x cui é bene lavorare in differenziale

c) usare una terra singola (no collegamenti multipli)

d) usare amplificatori differenziali con ↑ CMRR

e) evitare le alimentazioni ed usare dove possibile le batterie



si riportano a terra nello stesso punto

prima di usare lo strumento bisogna fare il check di segnali di rumore, cioé si osserva quando non capita niente oppure si osservano i risultati applicando un misurando statico → qualsiasi variazione é rumore.

2) Trasmissione ad alto livello

voltaggio di output del trasduttore tra 0/10 V: sono trasduttori + costosi ma i segnali sono - sensibili a interferenza ed é possibile trasmetterli a distanze + elevate. sono + costosi xk includono già l'amplificatore.

SISTEMI DI ACQUISIZIONE DI DATI COMPUTERIZZATI (CAPITOLO 4)

Basati sui calcolatori: con essi si possono avere complessi sistemi con molti canali, alta affidabilità ed alta capacità di immagazzinamento. Il PC da solo non basta, servono pezzi hardware in +.

Si possono usare f di campionamento di 10 MHz e si possono campionare anche più di 3000 sensori.

• PC • workstation • specialized embedded computer

Da base 10 a sistema binario in base 2

1001011

MSB most

LSB least

COMPONENTI DEL DATA-ACQUISITION

- sempre presenti multiplexer e convertitori A/D
- sample & hold x prendere misure nello stesso istante (eliminano la principale caratteristica negativa del multiplexer, che è l'asincronia)
- convertitore D/A se si vuole controllare l'esperimento

Per fare di un computer, un sistema di acquisizione dati, bisogna aggiungere dei componenti.

Solitamente si utilizza N=8, ma ora N=16, 24!
↪ 256 valori

Solitamente questo strumento é descritto da 3 caratteristiche primarie:

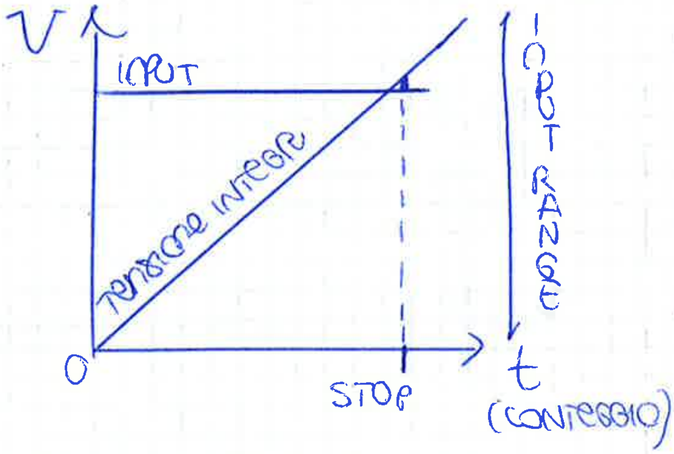
- numero di bit = ↑N = ↑ valori di output = + accuratezza
- range di bit (input)
- velocità di conversione (f_{ac})

Il numero di bit definisce la precisione e l'errore di quantizzazione (E_Q)

L'input range é l'intervallo di tensione che é rappresentabile correttamente, si può selezionare il modo unipolare o bipolare (± V) con E_Q più grandi.

Un tipo di convertitore é l'unipolar single-slope integrating

Da una tensione costante che carica un
↓
circuito integratore
↓
si ottiene tensione a rampa che cresce e
↓
si confronta con il segnale di input
↓
quando la tensione integrata supera l'input, il conteggio si blocca
↓
il clock contato é l'output



é un tipo poco preciso, lento, ed é molto sensibile al rumore presente nel segnale d'ingresso

Questi sistemi sono soggetti a 3 errori sistematici:

- linearità
- zero
- sensitività (guadagno)

uguali x i sistemi generali.

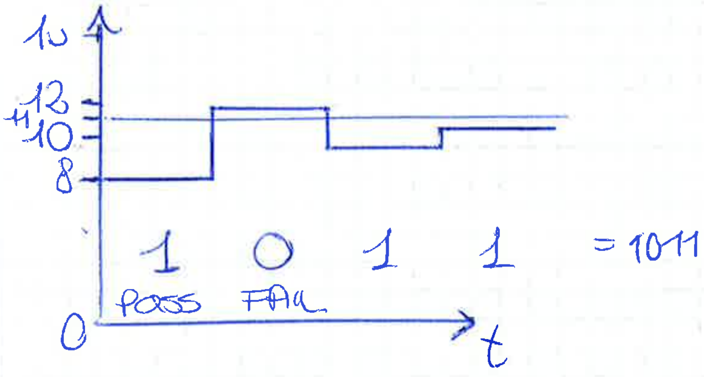
In più c'é un errore suo proprio: l'errore di quantizzazione o di risoluzione, dovuto al fatto che il convertitore cambia una misura analogica in step discreti, ed é trattato come un errore casuale.

$$E_Q = \pm 0{,}5\ LSB = \pm 0{,}5 \frac{V_{RU} - V_{RL}}{2^N} V = \frac{\text{input range}}{\text{numero livelli}}$$

L'E_Q é la quantità minima che si vede.

Convertitore 8 bit = $E_Q \doteq \pm 0{,}2\%$ del range di input, non é un errore piccolo! Con un conv. 12 bit va meglio, $E_Q \doteq \pm 0{,}01\%$

la prima tensione è a metà del range di ingresso: si verifica se l'input sta sopra (1) o sotto (0) e si assegna il bit più sign. (MSB). procedendo si genera una tensione a metà della precedente metà sopra/sotto. si procede così fino al LSB.



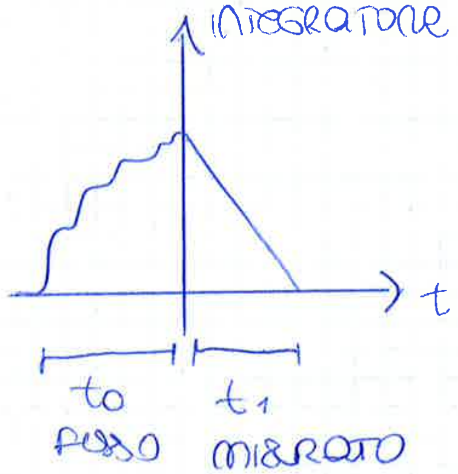
si usano $2^N - 1$ comparatori
fatte le comparazioni in 1 passo

parallel or flash A-D

conversione in 1 singolo step - 10ns

★ una variazione è parallel or flash) dove in 1 colpo solo si generano tutte le possibili tensioni e si trova subito la conversione. è più costoso se a + bit xk bisogna generare + tensioni. poco preciso xk non toglie il rumore in ingresso. ($t_{conv} = 100\ ns$) ← HALF-FLASH A/D

★ un altro convertitore comune utilizzato x i voltmetri è l'integratore dual-slope. è molto preciso ma lento, x cui è utile x misure statiche dove non serve velocità.



si integra il segnale in ingresso x un tempo t_0 noto, poi si riscarica la tensione con una costante nota fino a zero misurando il tempo t_1 a cui ci si arriva. si ottiene

$$t_1 = t_0 \frac{V_i}{V_r}$$

V_i → da misurare
V_r → x scaricare
t_1: misurato
t_0: fisso

è più preciso xk integra il segnale, mediando a zero il rumore (come il rumore di rete)

3) convertitori D/A

servono x far sì che il PC utilizzi i risultati acquisiti x modificare alcuni aspetti del sistema di misura. molti dispositivi sono soliti controllare un sistema, come

Specifiche:
100/200 canali
$f_s = 1 MHz$ → distribuita poi sui vari canali! ridotta anche dall'uso degli amplificatori programmabili
risoluzione fino a 24 bit

miglior rapporto qualità/prezzo x piccoli esperimenti.

PC = personal computer

2) Sistemi esterni

meglio x PC portatili e non fissi.
i sistemi di acquisizione sono in moduli separati dal PC e si collegano ad esso attraverso porte o adattatori connessi al bus interni.
Si hanno un elevatissimo numero di canali (10^3), acquisiscono segnali da 10^2 di sensori, e controllano il processo.

maggiori performance dei PC — process control computers

3) Connessione digitale

c'è un grandissimo numero di connessioni standard tra i dispositivi digitali, basati però tutti sullo spedire impulsi sincronizzati con il clock o con una data f. così il livello di tensione può essere letto periodicamente ed il suo valore (1 o 0) costituisce un singolo bit.

PCI = peripheral component interconnect

Tipi:

PCI : 33 MHz clock x 32 bit = 1056 Mbit/sec = 133 MB/sec
sono provviste schede di alimentazione e si collegano direttamente al bus

bus x collegare la CPU e le periferiche

PCI x extended
PCI e express
PCI hanno una connessione diretta con il PC che rende possibile utilizzare la più alta frequenza di trasferimento di dati

USB, ethernet } componenti con opzione di connessione esterna via cavo

si scelgono in base a < velocità di trasferimento dati, lunghezza max cavi

più recentemente ci sono anche le connessioni wireless che però hanno una distanza limitata, ma permettono una mobilità così il sistema di misura non è confinato in una stanza

SOFTWARE X I SISTEMI DI ACQUISIZIONE

SONO FONDAMENTALI E BISOGNA SAPER GESTIRE L'INTERO SISTEMA. AD ESEMPIO, X PRENDERE UN DATO, BISOGNA SEGUIRE ED ESEGUIRE PIÙ ISTRUZIONI:

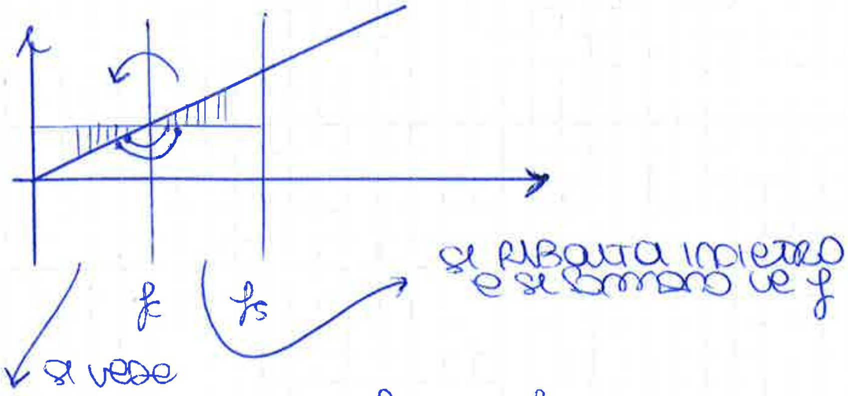
- MUX: SCEGLIERE UN CANALE
- ADC: CONVERTIRE
- PRENDERE IL RISULTATO E MEMORIZZARLO

OGNI APPLICAZIONE HA BISOGNO DEL SUO SPECIFICO SOFTWARE.

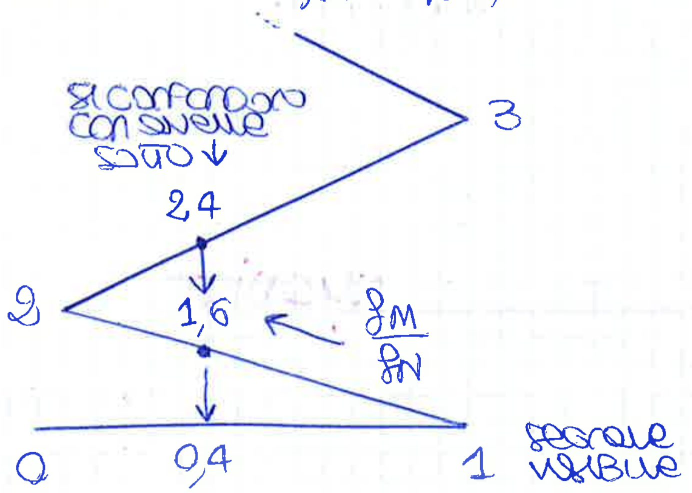
SOLITAMENTE PRIMA DEL CAMPIONAMENTO SI INSERISCE UN FILTRO PASSA-BASSO ANALOGICO → FILTRO ANTIALIASING che GARANTISCE che SOPRA $f_T = f_N = f_s/2$ NON ARRIVA PIÙ NIENTE → IL SEGNALE DEVE AVERE f_m DEFINITA.

DATA f_s, LA MACCHINA POTREBBE INSERIRE AUTOMATICAMENTE UN FILTRO A $f_T = f_s/2$ SE AVESSE LA PENDENZA ∞.
NON ∃ QUESTI FILTRI, LE SCHEDE IN AUTOMATICO CAMPIONANO A $f_s = 2{,}5\, f_m$ CIOÈ UN VALORE DI f_N MAGGIORE.

I FILTRI SONO ANALOGICI XKE NON SI RISOLVE DIGITALMENTE IL RITRATTAMENTO, PROPRIO XKE SI FILTRA PRIMA DI DIGITALIZZARE IL SEGNALE!



X STIMARE L'ALIAS, LA + PICCOLA f DI ALIAS, SE NON SI PUÒ SEGUIRE IL TEOREMA DI NYQUIST, SI UTILIZZA IL FOLDING DIAGRAM:
CONOSCENDO f_m e f_s, SI STIMA f_A CON $f_N = f_s/2$



ESEMPIO:

- $f_m = 80\,Hz$ $f_s = 100\,Hz$
  ALIASING SICURO
  $f_N = f_s/2 = 50\,Hz < f_m$
  $\frac{f_m}{f_N} = \frac{80}{50} = 1{,}6$ 1ª REGOLA
  $1{,}6 \rightarrow 0{,}4$ $f_A = f_m$
  $f_A = 0{,}4 \cdot f_N = 0{,}4 \cdot 50 = 20\,Hz$
  $\sim\!\!> f_m < f_s < f_s^W$
  $f_A = f_s - f_m = 100 - 80 = 20\,Hz$

il segnale è continuo nel dominio del tempo).

$$f(t) = a_0 + a_1 \cos(\omega_0 t) + a_2 \cos(2\omega_0 t) + \dots + a_n \cos(\omega_0 n t)$$
$$+ b_1 \sin(\omega_0 t) + b_2 \sin(2\omega_0 t) + \dots + b_n \sin(n\omega_0 t)$$

antitrasformata

la trasformata è data dai parametri:

$a_0 = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)\,dt$ = valor medio

$a_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos(n\omega_0 t)\,dt$ = integrale su un periodo di un'armonica, n volte la sperimentale

$b_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin(n\omega_0 t)\,dt$ = si possono anche esprimere in notazione esponenziale

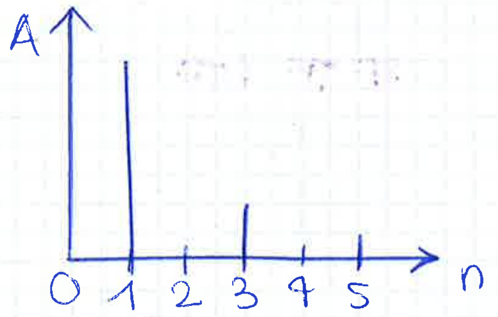
solitamente sono valutati con metodi numerici

sperimentalmente il segnale è periodico (xk il tempo di acquisizione è limitato) ed è discreto nel t ed in ampiezza, per cui $\int$ diventa Σ.

se una funzione è pari, $f(t) = f(-t)$, allora è rappresentata solo dai termini in coseno $b_1 = b_2 = \dots b_n = 0$. se è dispari, $f(t) = -f(-t)$, si rappresenta coi termini in seno, $a_1 = a_2 = \dots a_n = 0$

il dente di sega è dispari e in più i coefficienti b pari $b_2 = b_4 = b_6 \dots$ sono nulli.

si trova che le ampiezze delle varie armoniche decrescono:



cioè dovuto al fatto che diminuisce l'energia delle armoniche superiori per cui nell'analisi si possono scartare le $f >$ di una certa scelta f_m xk il loro contenuto non è di interesse

con le serie si vede quante/quali armoniche prendere x avere un'approssimazione o un errore soddisfacente. Già solo 1ª e 3ª armonica approssimano bene l'andamento del dente di sega ad eccezione per il punto angoloso. se l'approssimazione è accettabile si individuano le f da scartare.

esempio 5.2 per funzione triangolare con espressione analitica data

PARAMETRI TRA CUI LA FONDAMENTALE:

Δt = INTERVALLO DI CAMPIONAMENTO

Δf = DISTANZA TRA 2 RIGHE SPETTRALI, DIFFERENZA TRA LE ARMONICHE

ex: $T = 10$ s

$N = 1000$ campioni

$f_c = \frac{N}{T} = 100$ Hz

$\Delta t = \frac{1}{f_c} = 0{,}01$ s

$\Delta f = \frac{1}{T} = 0{,}1$ Hz RIS

$F_{max} = \frac{f_c}{2} = 50$ Hz

DATI N e f_s T IL RESTO È BLOCCATO

$f_c - f_s$

CAMPIONI = SAMPLE

LA DFT È IMPLEMENTATA SUL CALCOLATORE MA IL TEMPO DI RISOLUZIONE È $\propto$ A N^2. SE SI HANNO TANTI CAMPIONI I TEMPI DIVENTANO PROIBITIVI PERCIÒ C'È UN ALTRO ALGORITMO FAST

FFT PIÙ VELOCE, IL CUI $t \propto N \cdot \log_2(N)$ MA N DEVE ESSERE PERCIÒ UNA POTENZA DI 2 (ALTRIMENTI ANCHE MATLAB USA L'ALGORITMO TRADIZIONALE)

NUOVO ESEMPIO DE LA FUNZIONE HA 2 COMPONENTI SINUSOIDALI

$f(t) = 2\sin(2\pi 10 t) + \sin(2\pi 15 t)$

SI IPOTIZZA DI DISCRETIZZARE UN SECONDO DEL SEGNALE IN 128 CAMPIONI

$T = 1$ s

$N = 128$

$f_s' = 128$ Hz

$\Delta t = \frac{1}{128}$

$\Delta f = 1$ Hz

Δf = RISOLUZIONE

$F_{max} = 64$ Hz

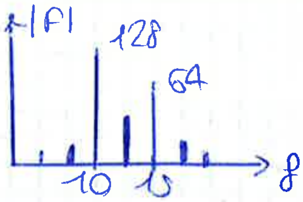
($f_{max} = 15$ Hz $= f_N \rightarrow f_s = 30$ Hz!)

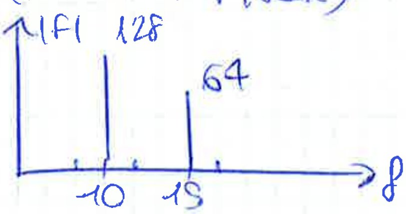
ESSENDO $f_s' > f_s$ DOVREBBE FUNZIONARE MA IN REALTÀ ANCHE SE I CONTENUTI A $f_1 = 10$ Hz E $f_2 = 15$ Hz SONO EVIDENTI, CI SONO ACCANTO DELLE RIGHETTE SPETTRALI, FREQUENZE CON CONTENUTO ENERGETICO E SONO DOVUTE AL PICCOLO NUMERO DI PUNTI (N) USATO x DISCRETIZZARE IL SEGNALE = LA POTENZA SI SPOSTA SU ALTRE f (LEAKAGE)

SE SI $\uparrow$ N: $N = 512$, $f_c = 512$ Hz, $T = 1$ s, $\Delta t = \frac{1}{512}$ s, $\Delta f = 1$ Hz

$F_{max} = 256$ Hz

LO SPETTRO È MIGLIORE: È MEGLIO IL CAMPIONAMENTO PIÙ FITTO ANCHE SU f DI NON INTERESSE (xké È $\uparrow F_{max}$)





È UNA SODDISFATTO IL TEOREMA DI CAMPIONAMENTO!

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 51 di 276

Nel metodo di Welch si possono anche sovrapporre i segmenti fino a un 50% max, altrimenti senza overlap come in Bartlett si buttano via le code.

Selezionare f_s

Solitamente lo sperimentatore seleziona la massima frequenza di interesse f_c. Ma il segnale può avere f significative anche per valori $> f_c$. Non è un problema x i registratori analogici, ma x quelli digitali, xk registrando il segnale solo per discreti valori del tempo, si commette generale alias cioè segnali falsi sulla registrazione.
Se la frequenza massima del segnale è f_m, x il teorema di Nyquist, la f_s deve essere $f_s > 2 f_m$ anche se $f_c < f_m$!!
Seguendo questo teorema è possibile ricostruire il segnale originario, utilizzando le serie cardinali

$$f(t) = \frac{1}{\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(n\Delta t) \frac{\sin\left[\pi\left(\frac{t}{\Delta T} - n\right)\right]}{\frac{t}{\Delta T} - n}$$

$n\Delta t$ = campioni presi
$\Delta T = 1/f_s$ periodo di camp.

Si ricostruisce il segnale analogico anche se non si hanno ∞ campioni, quelli più vicini hanno peso maggiore, mentre sulle code non è ben ricostruito. Cmq la ricostruzione si fa raramente.
Solitamente l'utilizzo di $\uparrow f_s$ elimina il bisogno di ricostruire il segnale, come $f_s = 50 \cdot f_m$.

Se invece ogni tanto serve $\downarrow f_s$, si può procedere xk $f_s > 2 f_m$ è molto ampio e elimina più alias, non solo nella fascia $0 - f_c$ di interesse. Se si seleziona una f_s compresa tra $f_m < f_s < 2 f_m$ e se $f_c < f_m$ appunto, allora si avrà alias sul segnale, ma non quello f di interesse! La frequenza di alias è infatti $f_a = f_s - f_m$ (1° piega)
se ad essa si fa cadere la massima f di interesse $\rightarrow f_c = f_a$ si ottiene che $f_s = f_c + f_m$! e così f_s basta x non avere alias nella parte di interesse! Tutto ciò è però possibile xk non c'è segnale sopra f_m!

o $\boxed{DR = 20\log_{10}(2^{N-1})\ dB}$ x I BIPOLARI

IL SEGNALE IN INGRESSO NON DEVE SUPERARE L'IR.
SI PRENDE L'INPUT MASSIMO E LO SI BUTTA GIÙ, LO SI PORTA A MENO DEL BIT - SIGNIFICATIVO (=0).
X SELEZIONARE IL FILTRO SERVONO f_T E LA VELOCITÀ DI ATTENUAZIONE.
IL NUMERO DI OTTAVE RICHIESTE X ATTENUARE UN SEGNALE DEL NUMERO DI dB CORRISPONDENTI AL DR È:

$$\boxed{\begin{array}{l} N_{oct} = \dfrac{DR}{RO} \rightarrow \dfrac{dB}{dB/oct} \\ f_m = f_c \cdot 2^{N_{oct}} \qquad \text{SPESSO } f_T = f_c \text{ f DI INTERESSE} \\ f_s = 2 f_m \end{array}}$$

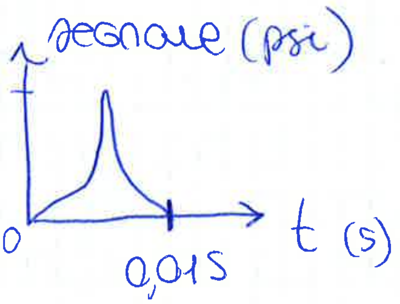
È UN APPROCCIO CONSERVATIVO XK SI FA UN CAMPIONAMENTO MOLTO + ALTO DELLA f DI INTERESSE E XK SI SCALA RISPETTO AL MAX DR, QUANDO INVECE L'INPUT HA SPESSO AMPIEZZA MOLTO MINORE! E RICHIEDONO - ATTENUAZIONE

CON + INFORMAZIONI SI PUÒ RILASSARE IL CONCETTO ↓ f_s E ↓ PENDENZA DEL FILTRO

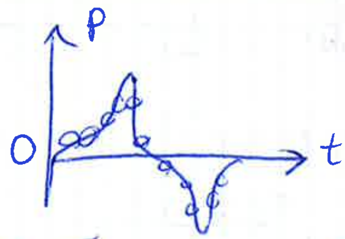
SOLITAMENTE SI USANO FILTRI DI ORDINE 5/6 XK DI ORDINE 1 AD ESEMPIO BUTTERWORTH ATTENUA DI SOLI 6dB/oct

ESEMPIO 5.3

CONVERTITORE 8bit BIPOLARE
$f_s\ max = 10'000$
FILTRO E $f_s = ?$



IL TRANSIENTE È UN SEGNALE CHE ASSOMIGLIA AD UN URTO, CIOÈ MEZZA SINUSOIDE. SICCOME NON È PERIODICO, SI RADDOPPIA IL SEGNALE SIMMETRICAMENTE, COSÌ NON SI DEVE + FILTRARLO XK LO SI È RESO PERIODICO (↑T, ↓Δf vv). CAMBIA L'ENERGIA DEL SEGNALE MA NON IL CONTENUTO IN f.



SI CALCOLA LA FONDAMENTALE A $f_0 = 32{,}9$ Hz E $\omega_0 = 2\pi f_0$. USANDO METODI NUMERICI SI SONO CALCOLATE LE PRIME 20 COMPONENTI DELLA FS RAPPRESENTATE COME CAMPIONI. RICOSTRUENDO PERCIÒ IL SEGNALE NEL TEMPO SI VEDE CHE BASTANO 20 ARMONICHE, PER CUI $f_c = 20 \cdot f_0$!!!
CON LE FORMULE E UN FILTRO DI ORDINE $n=4$ SI OTTIENE $f_m = 2213$ Hz E $f_s = 4426$ Hz E VA BENE XK $f_s\ max = 10'000$ Hz
SI PUÒ USARE IL CONCETTO DI PRIMA X ↓ f_s! (UN X ↓ DISTORSIONE DI FASE)

LINEE GUIDA X COSTRUIRE ISTOGRAMMI:
- 10/15 COLONNE
- COLONNE CON STESSO SPESSORE
- NO GAP

∃ DUE TIPI DI VARIABILI ALEATORIE < CONTINUE / DISCRETE

DEFINIZIONI

- **POPOLAZIONE**

COMPRENDE L'INTERA COLLEZIONE DI OGGETTI, CIOÈ TI L'INSIEME DEGLI INDIVIDUI CHE SI STANNO CONSIDERANDO. SOLITAMENTE NON SI PRENDE MAI TI LA POPOLAZIONE X FARE UN'ANALISI STATISTICA, MA UN CAMPIONE, TRAMITE UN PROCESSO DI INFERENZA STATISTICA.

- **CAMPIONE**

IL CAMPIONE È UN SOTTOINSIEME RAPPRESENTATIVO DELLA POPOLAZIONE SU CUI È FATTO L'ESPERIMENTO

- **SPAZIO CAMPIONE**

È L'INSIEME DI TUTTI I POSSIBILI RISULTATI DELL'ESPERIMENTO. PUÒ ESSERE DISCRETO (DADO) O CONTINUO

- **VARIABILE CASUALE** (VS VARIABILE DETERMINISTICA)

I FATTORI NON CONTROLLABILI CHE INFLUENZANO UN ESPERIMENTO, DANNO DEI RISULTATI CHE SONO CASUALI NON UNICI E RIPRODUCIBILI. PUÒ ESSERE CONTINUA O DISCRETA.

- **FUNZIONE DI DISTRIBUZIONE**

RELAZIONE GRAFICA O MATEMATICA USATA X RAPPRESENTARE I VALORI DI UNA VARIABILE ALEATORIA (EX: DENSITÀ DI PROBABILITÀ)

- **PARAMETRO**

ATTRIBUTO NUMERICO DELL'INTERA POPOLAZIONE, COME IL VALOR MEDIO: μ È DETERMINISTICO SE CALCOLATO SULLA POPOLAZIONE, ALEATORIO SE CALCOLATO SU UN CAMPIONE ($\bar{x}$)

ci sono anche momenti del 3° e 4° ordine con cui si valutano simmetria e normalità.

PROBABILITÀ

è un valore numerico che esprime il numero di successi rispetto al totale / numero di occorrenze.

probabilità di un evento = $P(A) = \frac{m}{n}$ $m \rightarrow$ occorrente, $n \rightarrow$ totale eventi

Proprietà:

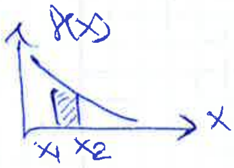
- $0 \leq P(X) \leq 1$ (numero positivo)
- $P(A)=1$: l'evento A accade certamente
- $P(A)=0$: l'evento A non accade
- $P(\bar{A}) = -P(A)+1$: evento complementare
- probabilità di A o B se sono mutuamente esclusivi
  $P(A \text{ or } B) = P(A)+P(B)$
- prob di verificarsi contemporaneamente se sono indipendenti
  $P(AB) = P(A)P(B)$
- probab si verifica A o B o entrambi
  $P(A \cup B) = P(A)+P(B)-P(AB)$

spesso si utilizza una distribuzione empirica come la funzione densità di probabilità per calcolare dei parametri che predicano poi il comportamento della popolazione.
La f relativa è il numero di campioni in ogni classe diviso il numero totale di campioni.

si definiscono:

- funzione di probabilità di massa (x variabile discreta)
  si sommano le probabilità di tutti gli x_i
  $\sum_{i=1}^{N} P(x_i) = 1$
  e si calcolano direttamente valor atteso e varianza
  $\mu = \sum_{i=1}^{N} x_i P(x_i)$ e $\sigma^2 = \sum_{i=1}^{N} (x_i-\mu)^2 P(x)$

- funzione densità di probabilità (x var. continua)
  $P(x_i<x<x_i+dx) = f(x_i)\,dx$
  $P(x_1<x<x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)\,dx$



© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 59 di 276

alcune funzioni di distribuzione sono usate in applicazioni ingegneristiche:
per le variabili discrete: binomiale e Poisson

– Binomiale

descrive variabili che assumono solo 2 valori successo o fallimento e la probabilità di successo (p) rimane costante durante l'esperimento che consiste di (n) prove indipendenti.

la probabilità di trovare r successi in n prove è

$$\boxed{P(r) = \binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r} = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r (1-p)^{n-r}}$$ calcolo combinatorio

con $n-r$ numero di volte che non si è verificato
il valor medio è $\mu = np$
la deviazione standard è $\sigma = \sqrt{np(1-p)}$
la probabilità cumulata è $P(r \leq k) = \sum_{i=0}^{k} P(r=i) = \sum_{i=0}^{k} \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i}$

esempio 6.3

solo 10% di PC richiedono una riparazione nel periodo di garanzia
se ci sono 20 PC, probabilità che a 5 serve la riparazione?

- guasto / non guasto → distribuzione binomiale

$n = 20$ PC
$p = 0{,}9$
$1-p = 0{,}1$ (10%)
$r = 15$
$n-r = 5$

$$P(r) = \binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r}$$

$$P(15) = \binom{20}{15} (0{,}9)^{15} (0{,}1)^5$$

$$\binom{20}{15} = \frac{20!}{15!(20-15)!} = 15{,}504$$

$$P(15) = 0{,}032 = 3{,}2\%$$

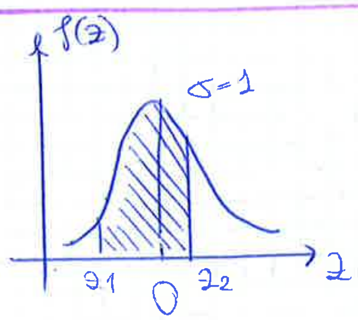
probabilità che ci siano esattamente 5 PC che... bla bla.

– Poisson

usata x stimare il numero di occorrenze casuali di un evento in uno specifico intervallo di tempo o spazio se la media delle occorrenze è nota. Si conoscono xciò gli eventi e quante volte non si è realizzato nella binomiale, mentre nella Poisson non si conosce quante volte non si è realizzato xk ci si riferisce ad un intervallo di tempo.

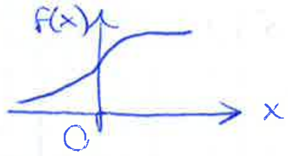
IN QUESTO MODO IL CALCOLO DI PROBABILITÀ CUMULATA DIVENTA

$$\boxed{P(x_1 \le X \le x_2) = \int_{z_1}^{z_2} f(z)\,dz = P(z_1 \le z \le z_2) = P\left(\frac{x_1-\mu}{\sigma} \le \frac{x-\mu}{\sigma} \le \frac{x_2-\mu}{\sigma}\right)}$$



SI RIDUCE AD UN CALCOLO DI AREA, DI SOLITO SI SPEZZA L'AREA SULLO ZERO, XK LA DISTRIBUZIONE È SIMMETRICA

QUESTA DISTRIBUZIONE SERVE X FARE INFERENZA STATISTICA ED È UTILE SE SI VUOLE VALUTARE L'EFFETTO DEL TEMPO (COME X DISPOSITIVI MECCANICI) INVECE È MEGLIO NON UTILIZZARLA SE NON SI VUOLE VALUTARE L'EFFETTO DEL TEMPO (COME PER DISPOSITIVI ELETTRONICI AS OLD AS NEW → SI USA LA DISTRIBUZIONE ESPONENZIALE)
X VEDERE SE LA GAUSSIANA COME MODELLO VA BENE, SI FANNO SU ISTOGRAMMI X VEDERE COME SI PRESENTA LA DISTRIBUZIONE OPPURE SI CALCOLA LA PROBABILITÀ CUMULATA X VEDERE CHE ABBIA LA SEGUENTE FORMA



ESEMPIO 6.9:

ABBIAMO UNA DISTRIBUZIONE NORMALE CON $\mu = 10$, $\sigma = 1$. PROBABILITÀ CHE LA LETTURA SIA $[9;12]$, $[8;9{,}55]$, $[\le 9]$ $(\ge 12]$

X USARE LA TABELLA DELLA NORMALE STANDARD SI CALCOLA

$$z_1 = \frac{x_1 - \mu}{\sigma} = \frac{9-10}{1} = -1$$
$$z_2 = \frac{x_2 - \mu}{\sigma} = \frac{12-10}{1} = 2$$

SI CERCA LA PROBABILITÀ TRA QUESTI 2 PUNTI $[-1;2]$

SI DIVIDE RISPETTO ALLO ZERO $[-1,0]$ E $[0;2]$
E SI RIPORTA IN SIMMETRIA SUL POSITIVO

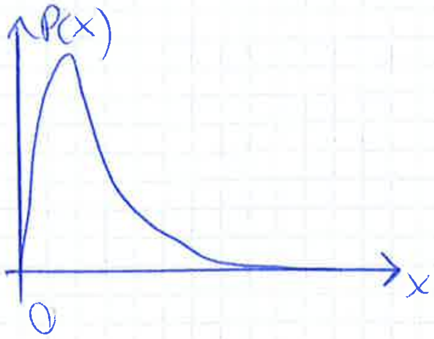
$[0;1] = 0{,}3413 = P(-1 \le z \le 0)$
$[0;2] = 0{,}4772 = P(0 \le z \le 2)$
$\rightarrow P(-1 \le z \le 2) = \Sigma = 0{,}8185 = 81{,}85\%$

$z_1 = \frac{x_1-\mu}{\sigma} = 8-10 = -2$ $\qquad z_2 = \frac{9{,}55-10}{1} = -0{,}45$ $\qquad [-2;-0{,}45]$

$[0;2] = 0{,}4772 = P(-2 \le z \le 0)$
$[0;0{,}45] = 0{,}1736 = P(-0{,}45 \le z \le 0)$
$\rightarrow P(-2 \le z \le -0{,}45) = 0{,}4772 - 0{,}1736 = 0{,}3036$ $(30{,}36\%)$

– LOGNORMALE

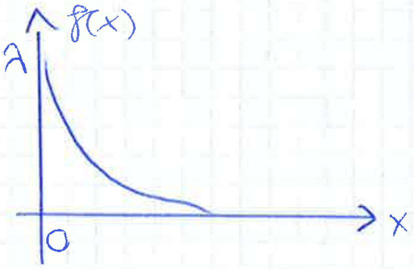
Nella distribuzione lognormale, il logaritmo della grandezza è distribuito normalmente.



- solo valori positivi
- fortemente asimmetrica
- valori molto piccoli ma occasionalmente molto grandi
- $y = \ln(x)$ = normale
- $\mu = \ln(m)$, $\sigma = \ln(s)$
- $m, s \in X$, $\mu, \sigma \in Y$

– ESPONENZIALE

Mentre in Poisson si valuta il verificarsi più volte di un evento in un certo Δt, con la distribuzione esponenziale si valuta la distanza di tempo tra 2 eventi successivi casuali. È importante per predire il guasto di componenti in modo casuale (strumenti elettrici) e non un guasto dovuto ad effetti sistematici di usura (strumenti meccanici).



I calcoli fanno riferimento ad una popolazione iniziale sempre =, x cui se uno strumento si rompe non viene rimpiazzato → si parla di probabilità a priori ed è x questo che $\uparrow t$, $\downarrow p$ xke anche la popolazione ↓ → si ottiene così l'andamento esponenziale

È anche chiamata distribuzione senza memoria, cioè la probabilità che un evento capiti tra t_0 e $t_0 + T$ non è influenzata dal tempo che è trascorso dall'inizio $t=0$ al tempo presente t_0.

La funzione è descritta:

$$\boxed{f(x;\lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}}$$

con $\lambda > 0$

$f(0) = \lambda$

Si ha che $\mu = \sigma = 1/\lambda$

La probabilità cumulata è $P(x_1 \leq x \leq x_2) = e^{-\lambda x_1} - e^{-\lambda x_2}$

$P(x \leq a) = 1 - e^{-\lambda a}$

Si può integrare xciò non serve la tabella.

↑ CL se la media cadrà in un ↑ intervallo più che cadrà in un ↓ intervallo

si esprime anche $CL = 1 - \alpha$, con α livello di significanza ovvero la % di errore, la probabilità che μ cada fuori dall'intervallo.

Il teorema del limite centrale spiega come fare una stima dell'intervallo di confidenza con un certo CL, x ci interessa la distribuzione delle medie campionarie.

Considerando una popolazione di una variabile casuale X con media μ e σ, si possono prendere ≠ campioni, ognuno grosso n. Ognuno ha media $\bar{x}_i$ → il valore $\bar{x}$ è sempre ≠, è una variabile casuale.

Il **teorema del limite centrale** afferma che, se n = numerosità del campione è suff grande, allora la distribuzione delle medie campionarie $\bar{x}_i$ segue la distr normale con $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, indipendentemente dalla distrib della x!

Di solito come limite si prende $n > 30$, per cui:

- se la popolazione originaria ha distrib normale, $\bar{x}_i$ è normale
- se la " " non ha distrib. normale, ma n è grande > 30, $\bar{x}_i$ è normale
- se la " " non " " e $n < 30$, $\bar{x}_i$ è normale solo in modo approssimato

Così si può usare il teorema x stimare l'intervallo di confidenza:

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma} \sqrt{n}$$

n, noto
$\bar{x}$, misurato
μ, noto
σ, ???

σ non è noto e in genere si sostituisce con S, la deviazione standard del campione, con buona approssimazione proprio se n è largo.

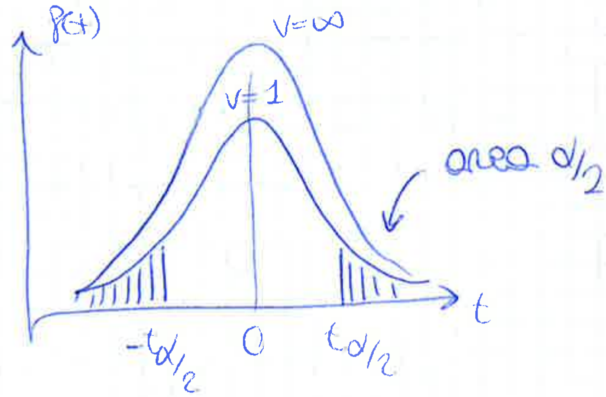
Lavorando in coda 2x, la probabilità che il vero valore di μ cada nell'intervallo di confidenza $\pm z_{\alpha/2}$ è

$$P(-z_{\alpha/2} \leq z \leq z_{\alpha/2}) = 1 - \alpha$$

se $n<30$, ci si aspetta x lo stesso CL, un maggior CI
quindi x campioni non suff. grandi si utilizza la
STUDENT'S t ($t \geq 2$) dove

$$t = \frac{\bar{x}-\mu}{s}\sqrt{n} \rightarrow \text{aggiunge aleatorietà}$$

mentre le distribuzioni normali sono indipendenti dalla taglia del campione, c'è una famiglia di distribuzioni t che dipende da n. La funzione che descrive la distribuzione-t dipende da t e da ν = gradi di libertà, cioè il numero di misure indipendenti — il minimo numero di misure che sono teoricamente necessarie x stimare i parametri statistici. Solitamente 1 gdl è usato x stimare la media, perciò $\nu = n-1$!



la distribuzione è simmetrica
$\uparrow n = \uparrow \nu$ = vicino alla normale
$\downarrow n = \downarrow \nu$ = picco + basso
$\uparrow$ aleatorietà

anche qui si usa x stimare l'intervallo di confidenza di μ

$$P(-t_{\alpha/2} \leq t \leq t_{\alpha/2}) = 1-\alpha$$

$$P\left(-t_{\alpha/2} \leq \frac{\bar{x}-\mu}{s/\sqrt{n}} \leq t_{\alpha/2}\right) = 1-\alpha$$

$$\rightarrow \mu = \bar{x} \pm t_{\alpha/2}\frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{con CL } (1-\alpha)$$

anche loro hanno una tabella di valori comuni.

PER STIMARE LA VARIANZA
si deve stabilire anche un intervallo di confidenza x la varianza (σ^2, S^2).
x le distribuzioni normali, $\exists$ una statistica χ^2.
essendo $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2}{n-1}$ si ha che $\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2}{\sigma^2}$

si ottiene $\chi^2 = (n-1)\frac{S^2}{\sigma^2}$ relazione varianza del campione e della popolazione

Un test semplice è la tecnica τ modificata da Thompson:
- si prendono n misure con $\bar{x}$ e S
- poi le misure si ordinano dal minore al maggiore
- si calcola x ogni misura lo scarto rispetto al valor medio
  $\delta_i = |x_i - \bar{x}|$
- si trova lo scarto maggiore e si elimina però quel x_i, cioè:
- essendo un sistema pratico, ci si riferisce ad una tabella di riferimento, che non dice però la probabilità associata all'errore e che dipende da n
- si trova τ riferito ad n, se $\delta > \tau \cdot S$ si scarta!
- solo un dato può essere scartato, e poi si ricalcolano $\bar{x}$ e S
- si può poi ripetere il test

Non sempre è possibile eliminare gli outlier. Soltanto l'outlier risulta da un problema con il sistema di misura: ad esempio un errore umano nel registrare i dati, che ora è meno comune con i sistemi di registrazione automatici.

esempio 6.18

9 misure di voltaggio:

$M_1 = 12{,}02$ V, $M_2 = 12{,}05$, $M_3 = 12{,}10$

$M_4 = 11{,}98$, $M_5 = 11{,}99$ V, $M_6 = 12{,}03$

$M_7 = 12{,}00$, $M_8 = 11{,}95$ V, $\cancel{M_9 = 12{,}16}$

si calcola media $\bar{x} = \frac{\Sigma M}{9} = 12{,}03$ V, $S = 0{,}07 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \bar{x}_n)^2}{n-1}}$

i valori ordinati vanno da $11{,}95 \dots 12{,}16$.

$\delta_1 = |V_> - \bar{x}| = |12{,}16 - 12{,}03| = 0{,}13$

$\delta_2 = |V_< - \bar{x}| = |11{,}95 - 12{,}03| = 0{,}08$

per $n=9 \rightarrow$ tabella $\tau = 1{,}777 \rightarrow S\tau = 0{,}12$

$\delta_1 > S\tau$!!! deve essere rigettato. (M_9)

si ricalcolano $\bar{x} = 12{,}01$, $S = 0{,}05$

ricalcolando $n=8$, $\tau = 1{,}749$, $S\tau = 0{,}09 \rightarrow$ nessuno eccede $\rightarrow$ stop

Per un insieme di dati, si ottiene r_t dalla tabella (n e α) e si compara con r_{xy} calcolato dai dati.

* se $|r_{xy}| > r_t$ → si ipotizza che y dipende da x in un modo non casuale e ci si può aspettare che un'approssimazione lineare sarà una relazione veritiera

* se $|r_{xy}| < r_t$ → implica che non si può essere abbastanza certi che una relazione lineare esista (non si può escludere sia avvenuto x caso)

[↓ r_{xy} se ↑ Gdl o ↓ α] → tabella
[Ricordo = α è il livello di significatività]

Si chiama test di ipotesi xké ci sono 2 ipotesi:
- H_0 – ipotesi nulla, (l'evento si è verificato x caso)
- H_A – ipotesi alternativa

In realtà i casi sarebbero 4 (V/F etc)
Le 2 ipotesi servono x stabilire se ∃ correlazione o no, appunto.

Non serve x forza una relazione lineare, anche la relazione parabolica va bene, mentre alcune non vanno bene come quelle circolare.

2 precauzioni:
- 1 solo dato "brutto" può influire molto su r_{xy} se possibile gli outliers devono essere eliminati prima di valutare r_{xy}
- un valore significativo di r_{xy} non implica che un cambio in una variabile causa il cambiamento di un'altra variabile.

Bisogna sempre aggiungere della conoscenza xké non basta affidarsi alla statistica e ricordarsi che serve un elevato numero di punti! (↑n)

Successivamente si vuole determinare quanto buono è il fit, cioè la bontà del modello. Si utilizza il coefficiente di determinazione:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum(ax_i + b - y_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} = \frac{\text{devianza di } Y \text{ rispetto retta}}{\text{devianza totale di } Y}$$

è la varianza residua, che si è minimizzata

La varianza si calcola $S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$

mentre la devianza è $S^2(GdL) = S^2(n-1)$

A rigore, r^2 non è una misura di goodness of fit xk bisogna vedere che il modello di retta (lineare) sia corretto.

- $r^2 \cong 1$ se il modello è corretto (rapporto $\to 0$)
- $r^2 \cong 0$ se il modello non spiega come varia y (rapporto $\to 1$) la retta non è il modello giusto

Ma se $r^2 = 1$ preciso, è un errore, xk siccome y è random ci deve ma essere una varianza residua.

Un altro modo x valutare la bontà del modello è confrontare le varianze, quella totale, indipendente, rispetto a S_{xy} calcolata come

$$S_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}}$$

2 xk x il calcolo a numeratore si sono usati a e b
fosse stata una parabola si metteva $n-3$
xk sono i GdL residui

che è l'errore standard della stima

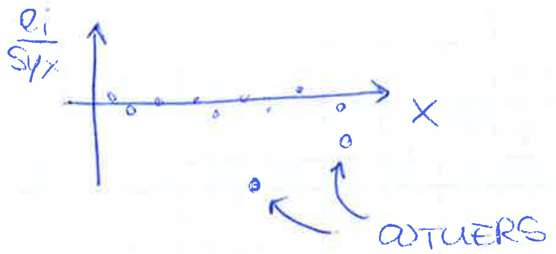
Ogni tanto si forza la linea di regressione lineare a passare per l'origine, questa forma è utilizzata x calibrare gli strumenti in cui lo zero offset può essere aggiustato prima di effettuare le misure.

La retta diventa $y = ax$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2} \qquad S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}}$$

essendo un modello diverso, i termini cambiano tutti.

Di solito si scartano i valori oltre 2σ o 3σ.
Il metodo di Montgomery dice di calcolare il rapporto dei residui su $S_{y/x}$ e fare un grafico.
I rapporti, chiamati residui standardizzati si possono graficare come funzione di x, di y, o del tempo o della sequenza in cui sono state fatte le misure.



Se i residui hanno una distribuzione normale, si può dire che sono outliers quelli che superano 2σ con solo lo 0,05 di possibilità di errore

Ma ci sono un po' di problemi:
1) se il data set è troppo piccolo, il potenziale outlier ha un effetto massiccio sul valore di $S_{y/x}$
2) se i dati stessi non sono lineari: il modello è errato, il punto considerato non è un outlier, diagrammando i residui non si trova un outlier ma una tendenza sistematica.

Riassumendo, gli outliers in (x,y) data sets non possono essere determinati dalle semplici regole, bisogna sempre tenere conto delle conoscenze pregresse e di come sono stati presi i dati.

Ci sono sistemi che possono essere linearizzati: ad esempio

$y = ax^b$ e $y = ae^{bx}$

L'esponenziale non è una combinazione lineare di funzioni

- $y = ae^{bx}$
$\ln(y) = \ln(a) + \ln(e^{bx}) = bx + \ln(a)$

invece il logaritmo sì

- $y = ax^b$
$\ln(y) = \ln(a) + \ln(x^b) = \ln(a) + b\ln(x)$

ln(y) con x = scala funzionale inversa

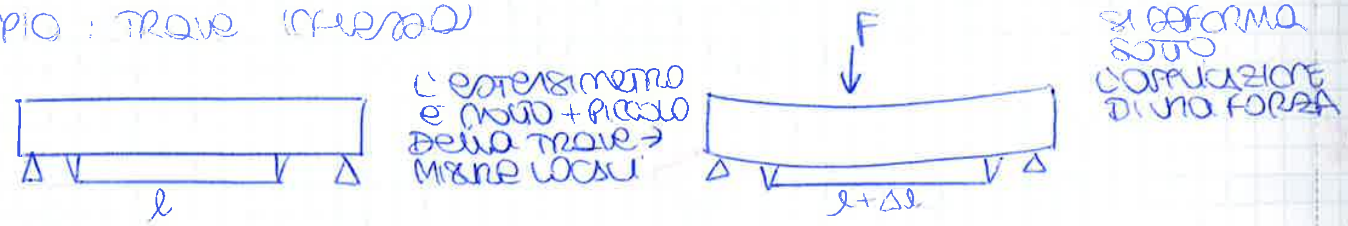
MISURAZIONI di QUANTITÀ SOLIDO-MECCANICHE (CAPITOLO 8)

Si studiano i sensori x misurare ogni grandezza fisica.

MISURA di DEFORMAZIONE

Le strutture si deformano sotto l'applicazione di una forza.
x misurare le deformazioni si utilizzano gli estensimetri (**strain gages**)
Le deformazioni sono utili x misurare indirettamente le tensioni, così come le forze si misurano indirettamente tramite lo spostamento di molle.
Gli estensimetri sono utilizzati in una grande varietà di trasduttori, inclusi quelli x misurare forze, accelerazioni e pressioni, soprattutto xk sono semplici, economici e abbastanza affidabili.

esempio: trave inflessa



Il filo si deforma Δl perciò varia la sua resistenza!
La deformazione è il rapporto $\frac{\Delta l}{l} = \varepsilon$

ε è adimensionale, solitamente si parla di **μstrain**, xk sono deformazioni molto piccole

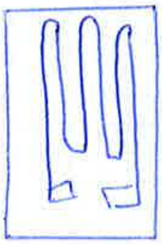
→ lo stretching del filo causa la sua modifica di resistenza elettrica cosicché il filo riesca a rilevare la deformazione

$\varepsilon = 0,2\%$ limite campo elastico/plastico
→ di solito si vuole lavorare in campo elastico per cui $\varepsilon < 0,002 / 0,0014$ → $\mu\varepsilon = 10^6 \varepsilon$

Per i materiali tensionati in una sola direzione, la tensione uniassiale si calcola con la legge di Hooke
$\sigma = E\varepsilon$ → σ: tensione normale, E: modulo di elasticità

Solitamente sono fili in materiale metallico su substrati in plastica e poi incollati sul materiale x la misura con maggior lunghezza in direzione della deformazione, ogni pezzo da ΔR e ci sono piedini x poterlo saldare.

def 2



Oppure possono essere fatti in materiali semiconduttori con il vantaggio di S maggiori ($\simeq 125$), ma non sono abbastanza duttili x cui misurano max $2000\ \mu\varepsilon$.

Lo stato tensionale di un solido è un tensore (no scalare e no vettore) cioè un vettore che cambia con la giacitura composto da 3σ e 3τ → l'estensimetro invece dà 1 solo valore! Questo xè lo stato di tensione superficiale su cui si applica l'estensimetro è + semplice xè è biassiale (o mono). L'estensimetro xò è sottoposto ad altre ε oltre quella che misura in altre ≠ direzioni oltre quella di misura → lo si considera insensibile ad esse!

→ ε_t deformaz. trasversale, $S_t = \frac{dR/R}{\varepsilon_t}$

e si definisce $K_t = \frac{S_t}{S_a}$ sensitività trasversa

Questo K_t deve essere perciò molto basso $<< 0{,}01$ cosicché gli effetti trasversali possono essere non considerati.

Se invece si vogliono misurare le deformazioni nelle 3 direzioni si usano le **rosette** formate da 3 estensimetri:

- rettangolari : $0° - 45° - 90°$
- equiangolari : $0° - 60° - 120°$

misurano ε nella direzione dell'asse dell'estensimetro stesso. Si ottengono le seguenti equazioni:

$$\varepsilon_{\theta_1} = \varepsilon_x \cos^2\theta_1 + \varepsilon_y \sin^2\theta_1 + \gamma_{xy} \sin\theta_1 \cos\theta_1$$
$$\varepsilon_{\theta_2} = \varepsilon_x \cos^2\theta_2 + \varepsilon_y \sin^2\theta_2 + \gamma_{xy} \sin\theta_2 \cos\theta_2$$
$$\varepsilon_{\theta_3} = \varepsilon_x \cos^2\theta_3 + \varepsilon_y \sin^2\theta_3 + \gamma_{xy} \sin\theta_3 \cos\theta_3$$

↓ misurati con le rosette → soluzione x rettangolare / equiangolare

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \varepsilon_{0°} \\ \varepsilon_y = \varepsilon_{90°} \\ \gamma_{xy} = 2\varepsilon_{45°} - (\varepsilon_{0°} + \varepsilon_{90°}) \end{cases} \qquad \begin{cases} \varepsilon_x = \varepsilon_{0°} \\ \varepsilon_y = \frac{2\varepsilon_{60°} + 2\varepsilon_{120°}\ \varepsilon_{0°}}{3} \\ \gamma_{xy} = \frac{2}{\sqrt{3}}(\varepsilon_{60°} + \varepsilon_{120°}) \end{cases}$$

Vediamo il triangolo inferiore

$$\left.\begin{aligned} V_4 &= V_{BC} = I_1 \cdot R_4 \\ V_3 &= V_{DC} = I_2 R_3 \end{aligned}\right\} \quad V_0 = V_{DC} - V_{BC} = V_3 - V_4$$

$$V_0 = I_2R_3 - I_1R_4 = V_{AC}\left(\frac{R_3}{R_2+R_3} - \frac{R_4}{R_1+R_4}\right) = V_S\left(\frac{R_1R_3 + \cancel{R_4R_3} - R_2R_4 - \cancel{R_3R_4}}{(R_2+R_3)(R_1+R_4)}\right)$$

$$V_0 = V_S\left(\frac{R_1R_3 - R_2R_4}{(R_2+R_3)(R_1+R_4)}\right)$$

Su R_3 c'è l'estensimetro il cui valore iniziale è R_{3i}.
Inizialmente si bilancia il ponte x cui $V_0 = 0$ se $R_1R_3 = R_2R_4$!
Dopo la deformazione $R_3 = R_{3i} + \Delta R_3$ e lo sostituiamo.

$$V_0 = V_S\left(\frac{R_1(R_{3i}+\Delta R_3) - R_2R_4}{(R_2+R_{3i}+\Delta R_3)(R_1+R_4)}\right) = V_S \cdot \frac{\cancel{R_1R_{3i}} + R_1\Delta R_3 - \cancel{R_2R_4}}{(R_2+R_{3i}+\Delta R_3)(R_1+R_4)}$$

essendo $\Delta R_3 << R_{3i}$ al denominatore si può trascurare

$$\boxed{V_0 = V_S \frac{R_1\Delta R_3}{(R_2+R_{3i})(R_1+R_4)}}$$

prima non era lineare xk ΔR_3 è sia a denom che a numeratore.

Ora V_0 è una funzione lineare di ΔR_3!

Quindi

$$\Delta R_3 = \frac{V_0\,(R_2+R_{3i})(R_1+R_4)}{V_S \cdot R_1} = dR$$

Dal gage factor

$$S = \frac{dR/R}{\varepsilon_a} \rightarrow \varepsilon_a = \frac{dR/R}{S} \rightarrow \varepsilon_a = \frac{\Delta R_3/R_{3i}}{S}$$

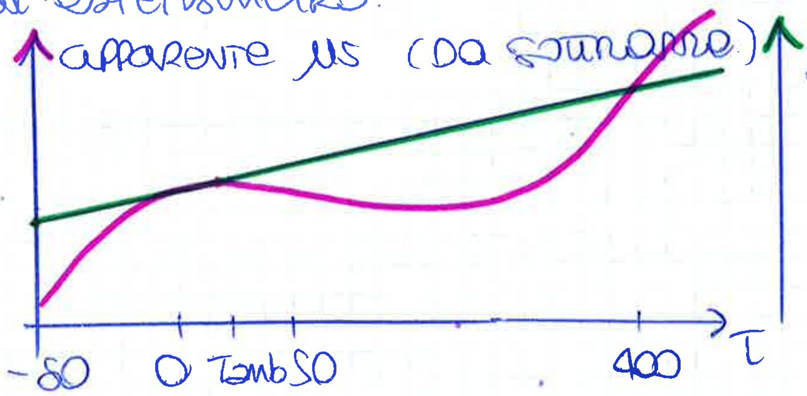
$$\varepsilon_a = \frac{V_0\,(R_2+R_{3i})(R_1+R_4)}{V_S R_1 S R_{3i}} \quad \text{ma } R_1+R_4 \cong R_2+R_{3i}!$$

$$\boxed{\varepsilon_a = \frac{V_0\,(R_2+R_{3i})^2}{V_S R_1 S R_{3i}}}$$

proporzionalità diretta $(R_1 \rightarrow R_2)$

Questo si chiama quarter-bridge circuit xk l'estensimetro è inserito solo in 1 dei 4 ponti. ∃ anche l'half-bridge e il full-bridge.
Siccome non sempre è bilanciato in modo tale che $V_0 = 0$ visto che ogni resistore ha un'incertezza del 0,1%, allora se $V_{0i} \neq 0$ si deve sottrarlo dalla lettura prima di ricavare ε_a.
Usando più estensimetri si ↑ la sensibilità del circuito.

è chiamato dummy gage o gage di compensazione.
c'è un grafico che rappresenta gli effetti della temperatura sull'estensimetro:



attenzione anche ai fili di collegamento, che hanno una resistenza significativa rispetto a quella dell'estensimetro ($1/4\ \Omega$ vs $120\ \Omega$) e può sbilanciare il ponte, in più anche i fili si scaldano.
se si usa un estensimetro di compensazione, bisogna usare i fili di = lunghezza e = diametro x i 2 estens così da minimizzarne gli effetti.
senza la compensazione, si può mettere una resistenza in + x bilanciare inizialmente. comune x le strutture con un gran numero di estensimetri.
x collegare più ponti:

- 1 ponte x ogni estensimetro → meglio! si condivide solo l'alimentazione
- 1 x tutti gli estens e viene switchato canale → mai

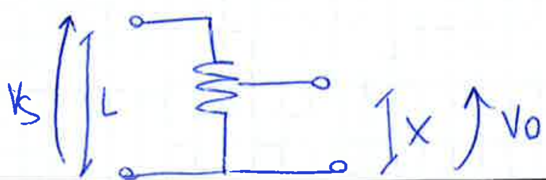
MISURA DI SPOSTAMENTO

molti dispositivi x misurare spostamenti lineari o angolari.

POTENZIOMETRO

c'è una resistenza variabile in funzione della posizione di una slitta (x lo spostamento lineare) ed è un partitore di tensione. è un sensore a 4 terminali dove V_0 in uscita varia tra $[0; V_{AL}]$ cioè è proporzionale ed in particolare è funzione lineare della posizione x della slitta:

$$\boxed{V_0 = \frac{x}{L} V_S}$$

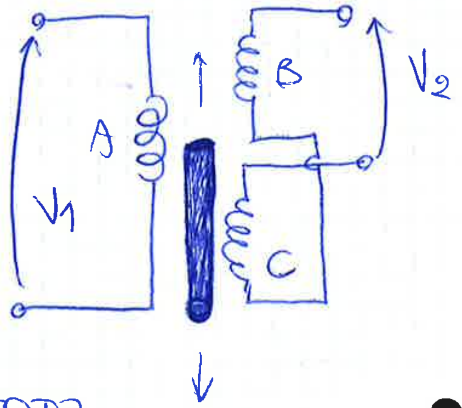


collegato poi ad un voltmetro

sono utilizzati sia x misurare gli spostamenti direttamente, sia in trasduttori come elementi sensibili.
Funzionano appunto utilizzando un campo magnetico alternato e sono perciò dei trasformatori variabili in cui la tensione a primario è fissa mentre la tensione a secondario è variabile e ci fa risalire agli spostamenti.

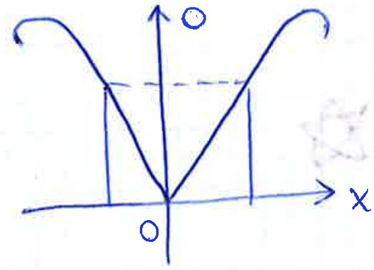
ci sono:

- 1 avvolgimento primario con alimentazione alternata
- 2 avvolgimenti secondari
- il core ovvero l'accoppiamento magnetico è fatto con un cilindro di materiale ferromagnetico tende a concentrare il campo magnetico in sua vicinanza, perciò, essendo che si può muovere, la tensione sarà più alta nell'avvolgimento secondario a cui è più vicino (le linee di flusso vengono concentrate in 1 solo dei 2 avvolgimenti o vengono distribuite)



siccome i 2 coils sono collegati, le tensioni sono opposte, si può avere $V_2 = 0$ se il core è centralizzato.
altrimenti $V_2 \neq 0$.
Bisogna notare 2 cose:

- l'output è dato in valore efficace x cui non si sa in che direzione si è spostato il core → si risolve con il condizionamento
- il sensore è lineare ($V \propto R$) solo in un campo centrale ma poi al di fuori del range diventa abbastanza non lineare



questi sensori sono costruiti come cilindri cavi con gli avvolgimenti attorno al foro centrale dentro cui scorre il core.
non essendoci contatti interni, sono duraturi, affidabili e utilizzabili anche in camera contaminata. Possono essere fatti di svariate taglie, ma essendo che le dimensioni sono = 3 · range, possiedono limiti inferiori e superiori $0,1mm < x < 1m$

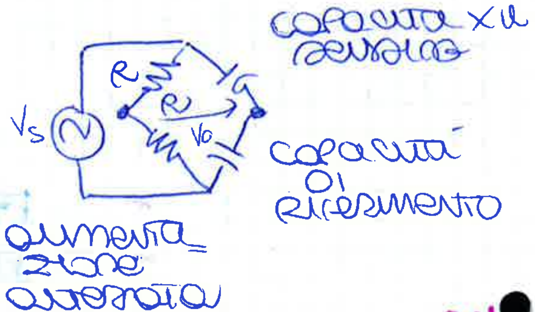
✪ Sensori capacitivi

anche questi sono utilizzati direttamente o dentro sensori (+vuoto) xk sono in grado di misurare spostamenti molto piccoli $0{,}0002\ mm < x < 0{,}2\ mm$
sono perciò molto precisi, anche se ↓ range = ↓ risoluzione
Diversamente dai precedenti questa volta lo spostamento è trasformato in una variazione di capacità, infatti

$$C = k\varepsilon_0 \frac{A}{d} \quad [F]$$

k = costante dielettrica relativa
ε_0 = costante dielettrica del vuoto

è $\propto$ all'area dei piatti del condensatore affacciati
ma è $1/\propto$ alla distanza tra i 2 piatti
facile avere ΔC allontanando o avvicinando i piatti, ma così non è lineare. x essere lineare bisogna far variare A e questo si ottiene muovendo un piatto parallelamente all'altro piatto tenuto fisso.
siccome l'output non è una tensione, serve un sistema di condizionamento e a questo scopo si riutilizza il ponte di Wheatstone:



in questo modo $\Delta V \propto \Delta C$ xk le differenze sono piccole e si possono trascurare gli infinitesimi di ordine superiore.

Tutti i sensori visti finora (3) sono anche misurare gli spostamenti costanti ed hanno un output di tipo analogico.

✪ Digital encoders

sono strumenti intrinsecamente digitali, cioè convertono uno spostamento direttamente in un segnale digitale.
esistono sia lineari che rotativi (360°)

quello rotativo lavora su 4 bit, quindi si hanno solo $2^4 = 16$ valori x cui non è molto preciso xk la risoluzione è $360°/16$. è un disco trasparente diviso in 16 settori ed ogni settore è diviso in 4 bande ognuna delle quali è opaca o trasparente (1 bit)

verificare che questa massa sia sufficientemente piccola x non avere forze di inerzia
esistono cmq dei sensori senza contatto esterno, anche x misurare gli spostamenti, come:

☆ DOPPLER RADAR

si basa sul principio che un'onda radio diretta su un oggetto in movimento, essa subisce una deformazione nella sua frequenza ∝ alla velocità dell'oggetto.
si confronta però la f riflessa con la f incidente = Δf

$$\boxed{f_D = \frac{2V\cos\theta}{\lambda}}$$

il radar sia emette che riceve l'onda

f_D è ∝ solo alla componente di velocità lungo la direzione della radiazione.
non ci sono errori di carico.
sono usati nello sport e nei velox.
il segnale riflesso è però una piccola % del raggio incidente, ma basta x fare una misura di f.
si possono utilizzare al posto delle onde radio, un raggio laser, utilizzati x misure di velocità dei fluidi (laser-doppler). usando il laser si possono anche misurare gli spostamenti, ma serve che tutto il raggio sia riflesso!

ex 8.4:
$v = 30\,m/s$, verso →, $\omega = f = 10'000\,MHz = 10^{10}\,Hz$
$f_D = ?$
$\cos\theta = \cos(0°) = 1$; $\lambda = c/f$ con $c = 3\cdot 10^8\,m/s$

$$f_D = \frac{2V\cos\theta}{\lambda} = \frac{2V}{\lambda} = \frac{2V}{c/f} = \frac{2\cdot 30\,m/s}{\cancel{3\cdot 10^8}\,m/s}\cdot 10^{\cancel{10}\,2}\,Hz = 2000\,Hz$$

☆ UTILIZZANDO SENSORI DI SPOSTAM O ACCELERAZ

se è presente lo spostamento, si deriva ottenendo la velocità: $V(t) = \frac{dx(t)}{dt}$. questi circuiti però tendono ad amplificare le alte f (errore) e in più hanno l'errore di zero. problema anche se la derivata è discontinua xk questo produce degli spike nella velocità

TENSIONE NELLA SPIRA. QUANDO VIENE RIMOSSO, SI HA SEMPRE UNO SPIKE MA DI SEGNO OPPOSTO
PERCIÒ SE IL MAGNETIC PICK-UP È POSTO VICINO AD UNA RUOTA FONICA CON DENTI RETTANGOLARI, SI VEDE UNA STRISCIA CONTINUA DI SPIKE LA CUI FREQUENZA È $\propto$ ALLA VA.
(SE SI MODIFICA IL PROFILO DEI DENTI SI OTTIENE UN IMPULSO SINUSOIDALE)
L'OUTPUT DEL TRASDUTTORE PUÒ ESSERE PROCESSATO IN 2 MODI:

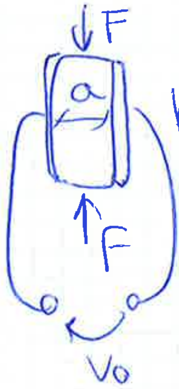
- CONNESSO AD UN CONTATORE DI SPIKE, CHE FORNISCE IL NUMERO IN UN INTERVALLO DI t → RISULTATO DIGITALE
- CONNESSO AD UN TRASFORMATORE DA f A TENSIONE

SONO STRUMENTI
- POCO COSTOSI
- AFFIDABILI
- NON SOGGETTI AD USURA
- SCELTI X SISTEMI INSTALLATI PERMANENTEMENTE
- LAVORANO IN AMBIENTI DEGRADATI E SPORCHI
- POCO SENSIBILI AD EFFETTI DELLA T' XK SI CONTANO SOLO GLI SPIKE
- AUTOMOBILI
- SISTEMA ANTIBLOCCAGGIO MOTO

TACHIMETRO STROBOSCOPICO

È UN OGGETTO DA LABORATORIO, NON UTILE X UN'ACQUISIZIONE DATI COMPUTERIZZATO, MA LA MISURA DEVE ESSERE FATTA DA UN OPERATORE. È UTILIZZATO X LA CALIBRAZIONE.
È COMPOSTO DA UN DISPOSITIVO CHE PRODUCE UN FLASH AD UNA f CHE È CONTROLLATA DALL'OPERATORE, IN MODO TALE DA ILLUMINARE UN MARKER POSIZIONATO SULL'OGGETTO CHE RUOTA. IL MARKER SI VEDE SOLO SE È ILLUMINATO DAL FLASH X CUI LA f DEL DISPOSITIVO È AGGIUSTATA MANUALMENTE IN MODO TALE DA VEDERE UN FLASH (MARKER) AD OGNI GIRO.
X AVERE UN RISULTATO PRECISO SI DEVE AVERE UNA VELOCITÀ DI ROTAZIONE COSTANTE, CHE NON VARIA.
È MOLTO PRECISO XK LA f È GENERATA DA UN CRISTALLO DI QUARZO. PROBLEMA: SE IL MARKER COMPARE + GIRI QUANDO È ILLUMINATO: ALLORA I GIRI SONO UN MULTIPLO INTERO DELLA f DEL FLASH (SOVRACAMPIONAMENTO)
(SI VEDE 1 MARKER OGNI 2 GIRI)

PER FARLO SI UTILIZZA LA DISPOSIZIONE TRASVERSALE:



IN QUESTO MODO LA CARICA È

$Q = F d \, b/a$ DOVE b/a È IL RAPPORTO TRA LE DIM.

SOLITAMENTE QUESTA CARICA È MAGGIORE DI QUELLA OTTENUTA NELL'EFFETTO LONGITUDINALE

LA CARICA PRODUCE UNA TENSIONE CHE PERÒ DIPENDE DA MOLTI FATTORI ≠.

PER QUESTO È MEGLIO MISURARE DIRETTAMENTE LA CAPACITÀ, SENZA DISSIPARLA, UTILIZZANDO UN AMPLIFICATORE DI CARICA

↑↑ R1
↓↓ CORRENTE } $V_o \propto Q$ — DEVE ESSERE MESSO VICINO AL TRASDUTTORE X AVERE FILI CORTI XK

LA LORO CAPACITÀ INFLUENZA LA CALIBRAZIONE.

NON POSSONO MISURARE FORZE (O ACCELERAZIONI) COSTANTI, STATICHE, AL MASSIMO QUASI-STATICHE XK LA CARICA DECADE CON IL TEMPO. IL TEMPO CON CUI IL CONDENSATORE SI SCARICA ✿ DIPENDE DAL SISTEMA DI CONDIZIONAMENTO, X QUESTO I SENSORI SPESSO HANNO UN LIMITE INFERIORE DI RISPOSTA IN f, MENTRE RISPONDONO BENE A MISURANDI AD ↑ f.

SONO SISTEMI DEL 2° ORDINE DOVE SERVE ↑ f NATURALE

E INFATTI I MATERIALI PIEZOELETTRICI SONO MOLTO RIGIDI CON ↑E E CON ↑f_n RISPETTO AGLI LVDT O AGLI STRAIN GAGE (ACCELEROMETRI ESTENSIMETRICI)

✿ SU ALCUNI SI PUÒ ANCHE REGOLARE LA COSTANTE DI TEMPO

GLI ACCELEROMETRI CHE UTILIZZANO COME ELEMENTI SENSIBILI I MATERIALI PIEZOELETTRICI SONO COSÌ COMPOSTI:

- HOUSING X PROTEGGERE IL SENSORE
- MASSA SISMICA ↗ = MOLLA INTRINSECAMENTE PRECARICATA
- ELEMENTO PIEZOELETTRICO X EFFETTO LONGITUDINALE

SI PRECARICA IL SENSORE PIEZO CON IL PESO DELLA MASSA SU DI ESSO, XK IL CRISTALLO DEVE LAVORARE SOLO IN COMPRESSIONE E BISOGNA AVERE UN'OSCILLAZIONE SEMPRE < DEI LIMITI DI PRECARICO. SE SI ECCITA IL VINCOLO CIOÈ L'HOUSING È SOGGETTO AD UN'ACCELERAZIONE, LA FORZA ESERCITATA DALLA MASSA SUL CRISTALLO CAMBIA, GENERANDO IN ESSO UNA CARICA.

UN TEST SEMPLICE È LA TECNICA τ MODIFICATA DA THOMPSON:

- SI PRENDONO n MISURE CON $\bar{x}$ e S
- POI LE MISURE SI ORDINANO DAL MINORE AL MAGGIORE
- SI CALCOLA X OGNI MISURA LO SCARTO RISPETTO AL VALOR MEDIO $\delta_i = |x_i - \bar{x}|$
- SI TROVA LO SCARTO MAGGIORE E SI ELIMINA PERCIÒ QUEL x_i, CIOÈ:
- ESSENDO UN SISTEMA PRATICO, CI SI RIFERISCE AD UNA TABELLA DI RIFERIMENTO, che non dice PERÒ LA PROBABILITÀ ASSOCIATA ALL'ERRORE e che DIPENDE DA n
- SI TROVA τ RIFERITO AD n, se $\delta > \tau S$ SI SCARTA!
- SOLO UN DATO PUÒ ESSERE SCARTATO, e POI SI RICALCOLANO $\bar{x}$ e S
- SI PUÒ POI RIPETERE IL TEST

NON SEMPRE È POSSIBILE ELIMINARE GLI OUTLIER.
SOLTANTO L'OUTLIER RISULTA DA UN PROBLEMA CON IL SISTEMA DI MISURA: AD ESEMPIO UN ERRORE UMANO NEL REGISTRARE I DATI, che ORA È MENO COMUNE CON I SISTEMI DI REGISTRAZIONE AUTOMATICI.

ESEMPIO 6.18

9 MISURE DI VOLTAGGIO: $M_1 = 12{,}02$, $M_2 = 12{,}05$, $M_3 = 12{,}10$ V; $M_4 = 11{,}96$, $M_5 = 11{,}99$, $M_6 = 12{,}03$ V; $M_7 = 12{,}00$, $M_8 = 11{,}95$, $\cancel{M_9 = 12{,}16}$ V

SI CALCOLA MEDIA $\bar{x} = \frac{\Sigma M}{9} = 12{,}03\,V$, $S = 0{,}07 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \bar{x}_n)^2}{n-1}}$

I VALORI ORDINATI VANNO DA 11,95 ... 12,16.

$\delta_1 = |V_> - \bar{x}| = |12{,}16 - 12{,}03| = 0{,}13$

$\delta_2 = |V_< - \bar{x}| = |11{,}95 - 12{,}03| = 0{,}08$

PER $n = 9 \rightsquigarrow$ TABELLA $\tau = 1{,}777 \rightsquigarrow S\tau = 0{,}12$

$\delta_1 > S\tau$!!! DEVE ESSERE RIGETTATO. (M_9)

SI RICALCOLANO $\bar{x} = 12{,}01$, $S = 0{,}05$

RICALCOLANDO $n=8$, $\tau = 1{,}749$, $S\tau = 0{,}09 \rightarrow$ NESSUNO ECCEDE $\rightarrow$ STOP