

Robotica – Robot Industriali e di Servizio

*Lezione 6:
Retroazione di posizione*

Contiene anche un compito a casa!

4 marzo 2014

Il sesto problema

⇒ E adesso che abbiamo i motori, dobbiamo farli muovere!

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 2

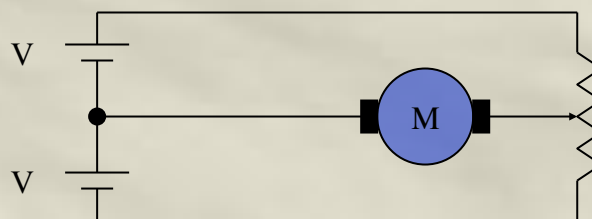
Motori in corrente continua:

- ⇒ Il senso di rotazione dipende dalla polarità della corrente che li attraversa
 - (quasi sempre)
- ⇒ La velocità di rotazione dipende dalla tensione applicata
 - E dalla resistenza del carico
 - E dall'inerzia del carico
 - E dalla temperatura
 - E dallo stato delle spazzole
 - E dallo stato dei magneti
 - E ...

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 3

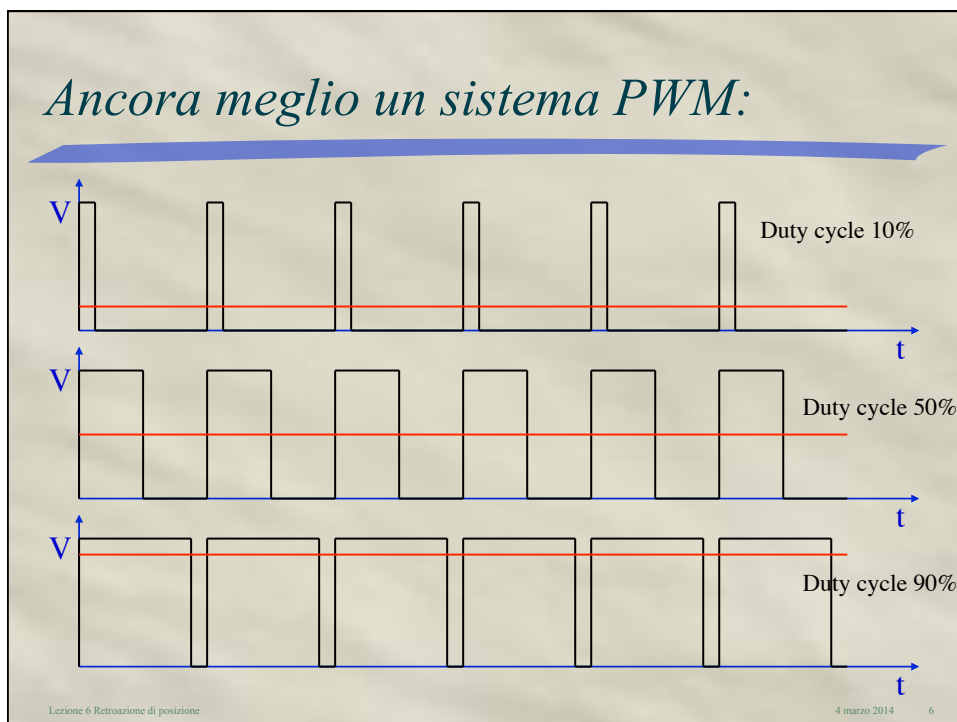
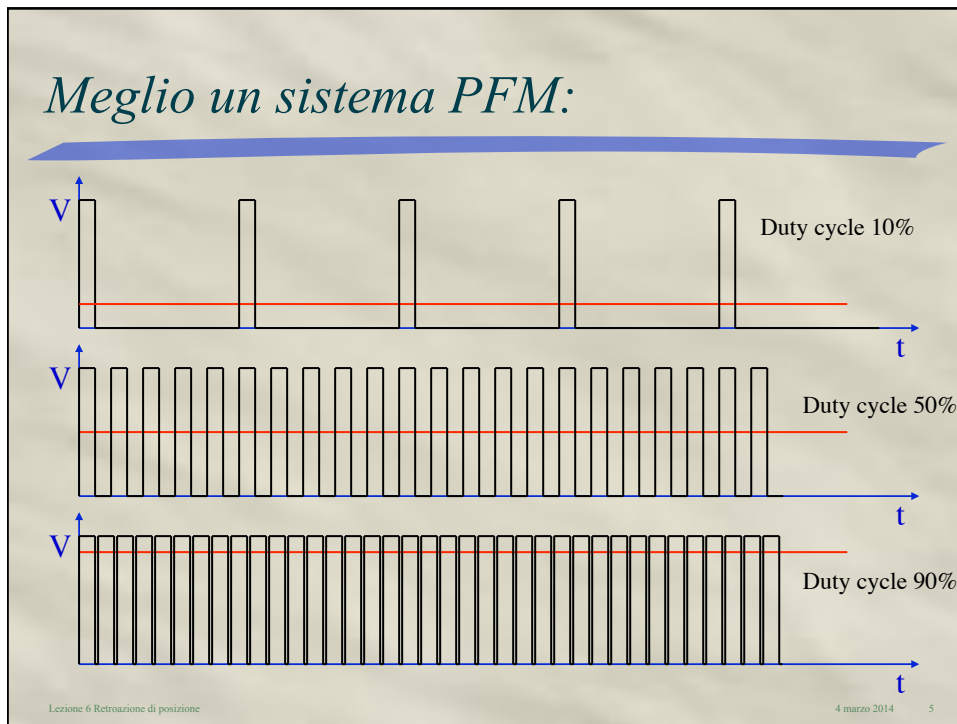
Come alimentare un motore d.c.:



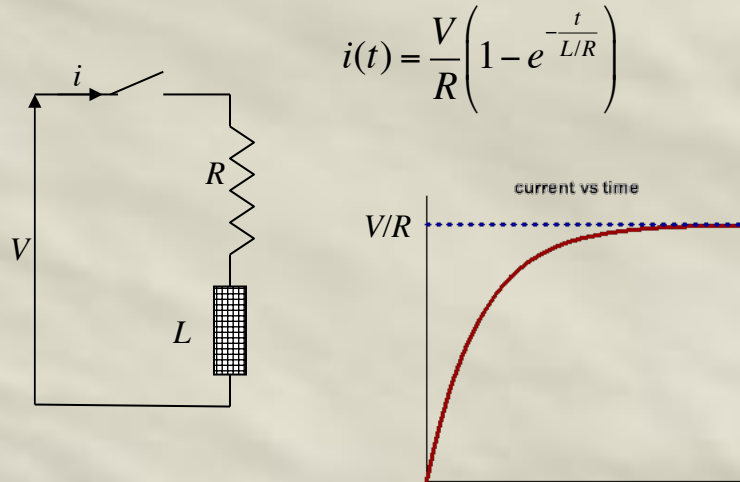
- ⇒ Questo circuito applica ai morsetti del motore una tensione di valore e polarità variabile, ma
- ⇒ Dissipa inutilmente una enorme quantità di energia
- ⇒ Regola male la tensione

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 4



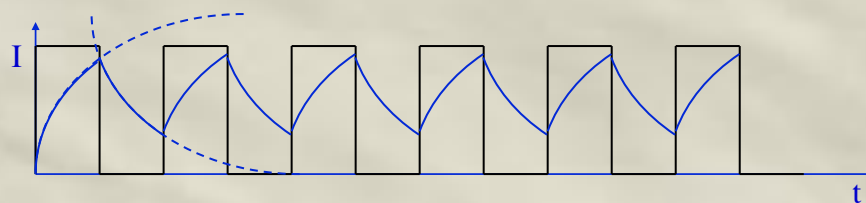
In realtà le cose non sono proprio così:



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 7

E quindi:

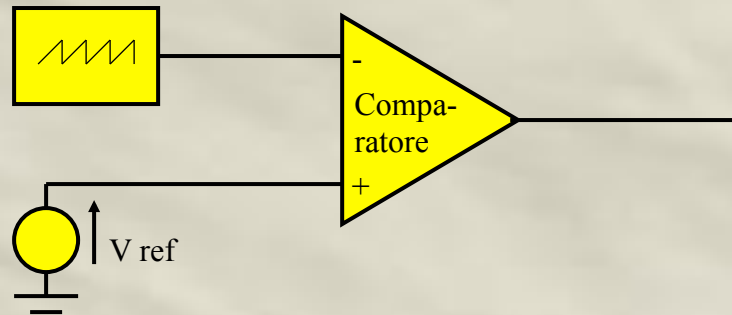


⇒ L'andamento reale della corrente è quello segnato in blu!

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 8

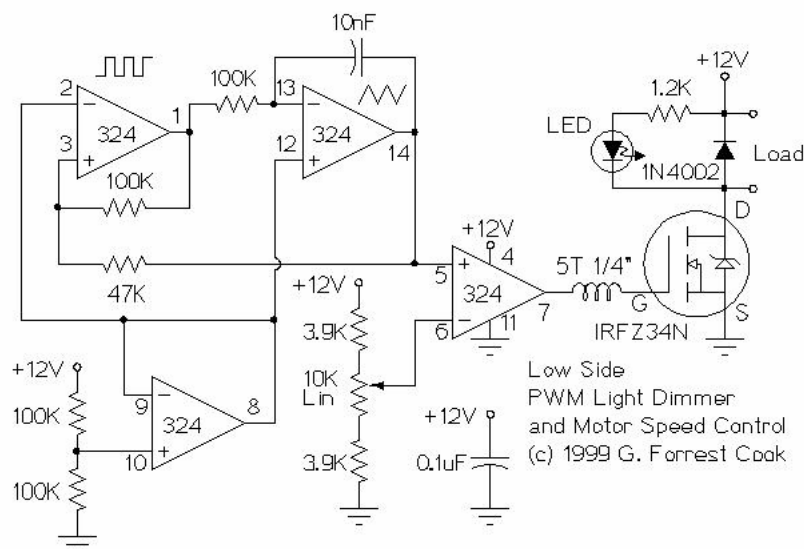
Un circuito per il PWM:



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 9

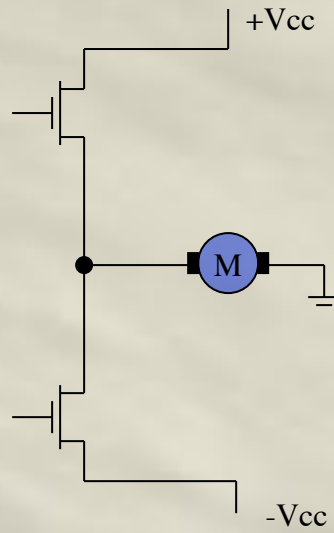
Un circuito per il PWM:



Lez

10

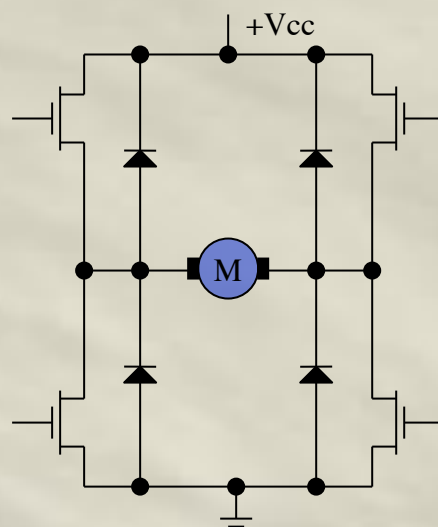
Il circuito di potenza:



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 11

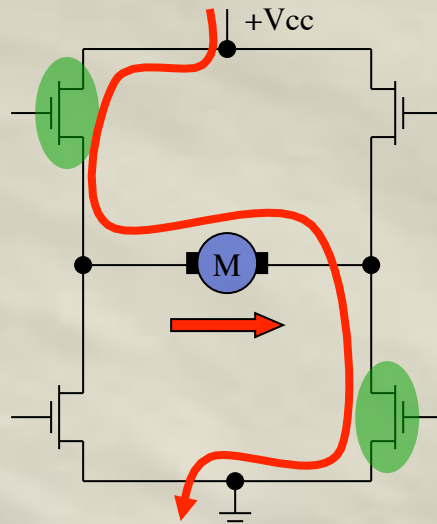
Il ponte H:



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 12

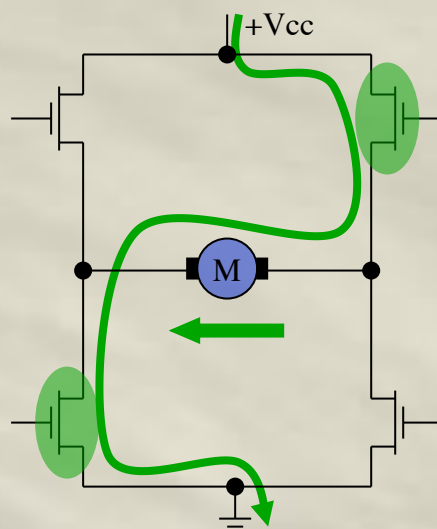
Spiegazione:



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 13

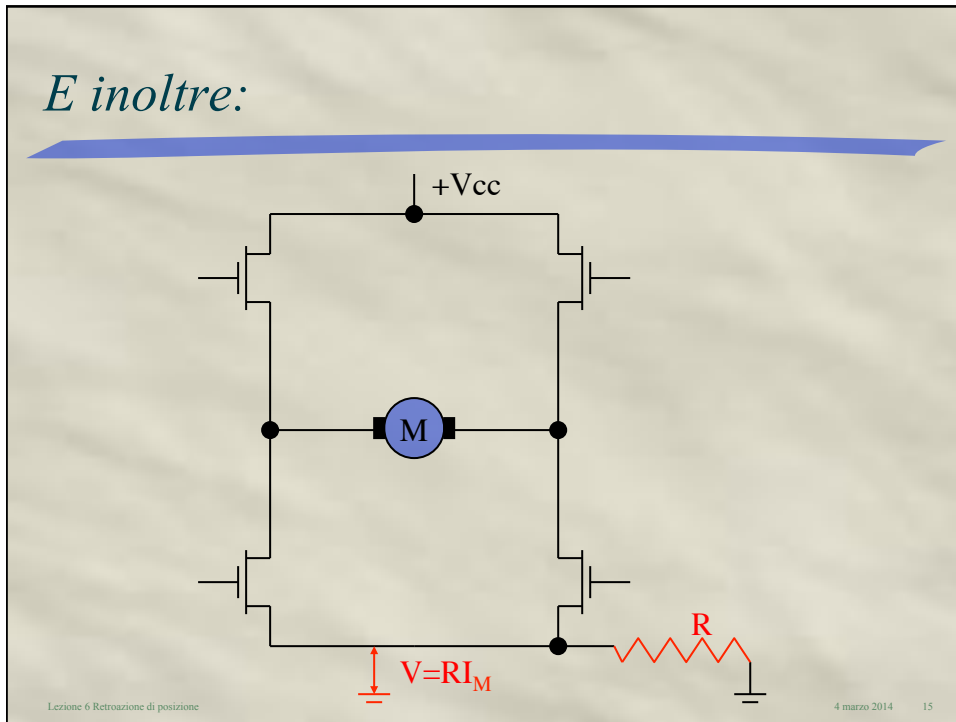
Spiegazione:



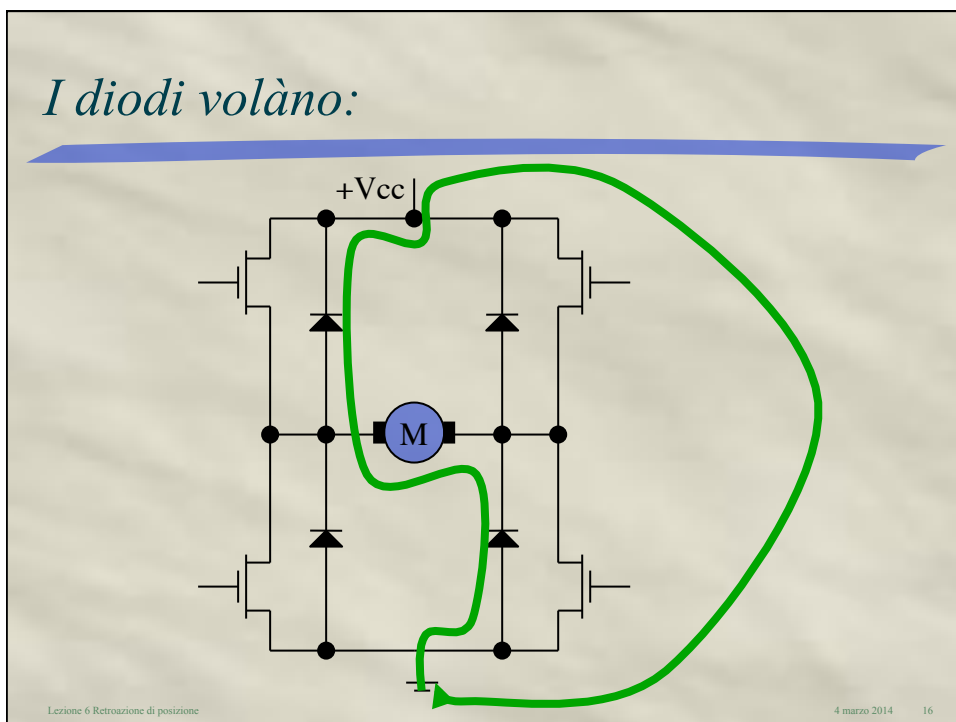
Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 14

E inoltre:

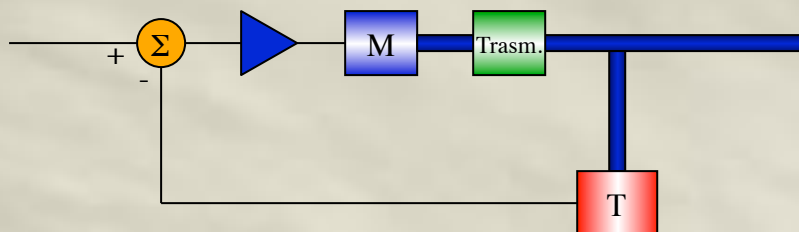


I diodi volano:



Il controllo dei motori

- ⇒ Il movimento dei motori dipende da molti parametri, alcuni dei quali sconosciuti
- ⇒ Occorre un sistema di retroazione:



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 17

Che cosa misuriamo?

$$V = \frac{dS}{dt}$$

$$A = \frac{dV}{dt}$$

$$V = \dot{S}$$

$$A = \dot{V} = \ddot{S}$$

$$V = \int_0^t A(t)dt$$

$$S = \int_0^t V(t)dt$$

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 18

Strumenti a disposizione:

- ⇒ Accelerometri
 - Costosi
 - Non molto precisi
- ⇒ Tachimetri
 - Precisi
 - Abbastanza costosi
- ⇒ Misuratori di posizione
 - Molto precisi
 - Relativamente economici

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 19

Accelerometri

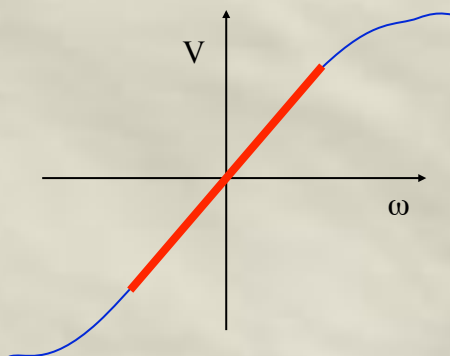
- ⇒ Utili solo quando non c'è un riferimento fisso
 - (veicoli spaziali)
- ⇒ Troppo costosi (quelli precisi)
- ⇒ Troppo imprecisi (quelli economici)
- ⇒ Qualche applicazione secondaria
- ⇒ Ne parleremo in robotica mobile

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 20

Per misurare la velocità

⇒ Dinamo tachimetriche



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 21

Per misurare la posizione

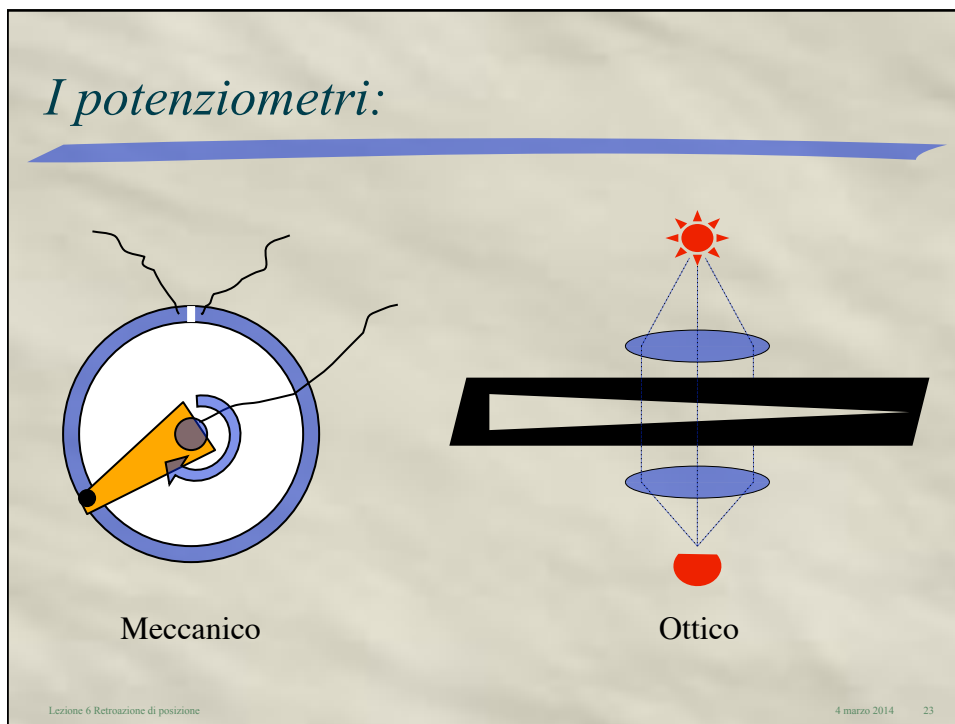
⇒ Potenzimetri

⇒ Resolver

⇒ Encoder

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 22



Uso dei potenziometri:

- ⇒ Collegamento come partitore di tensione o in un ponte
- ⇒ Problemi:
 - Discontinuità sullo zero
 - Non linearità
 - Usura meccanica
 - Rumore

Lezione 6 Retroazione di posizione 4 marzo 2014 24

I resolver

- ⇒ Dispositivi induttivi
- ⇒ Alta precisione
- ⇒ Alto costo
- ⇒ Usati specialmente per i motori brushless



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 25

Gli encoder

- ⇒ Dispositivi optoelettronici in grado di misurare la posizione di un giunto
- ⇒ Modo di movimento:
 - Lineari
 - Rotativi
- ⇒ Modo di misurazione:
 - Assoluti
 - Incrementali
 - Unidirezionali
 - Bidirezionali

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 26

Gli encoder assoluti

00000 01110 11100

⇒ Con N piste si possono discriminare 2^N posizioni diverse

Lezione 6 Retroazione di posizione 4 marzo 2014 27

In forma circolare...

Lezione 6 Retroazione di posizione 4 marzo 2014 28

Confronto fra codici

Nella realtà occorre usare un codice a distanza unitaria

Decimale	Binario	Gray
0	000	000
1	001	001
2	010	011
3	011	010
4	100	110

Note: In the original image, a bracket connects the binary values 001 and 010, with the Gray code values 011 and 000 positioned between them, illustrating the bit change between adjacent states.

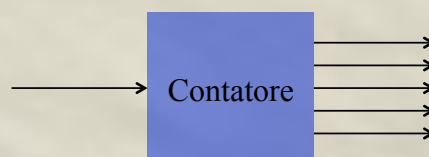
Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 29

Gli encoder incrementali unidirezionali

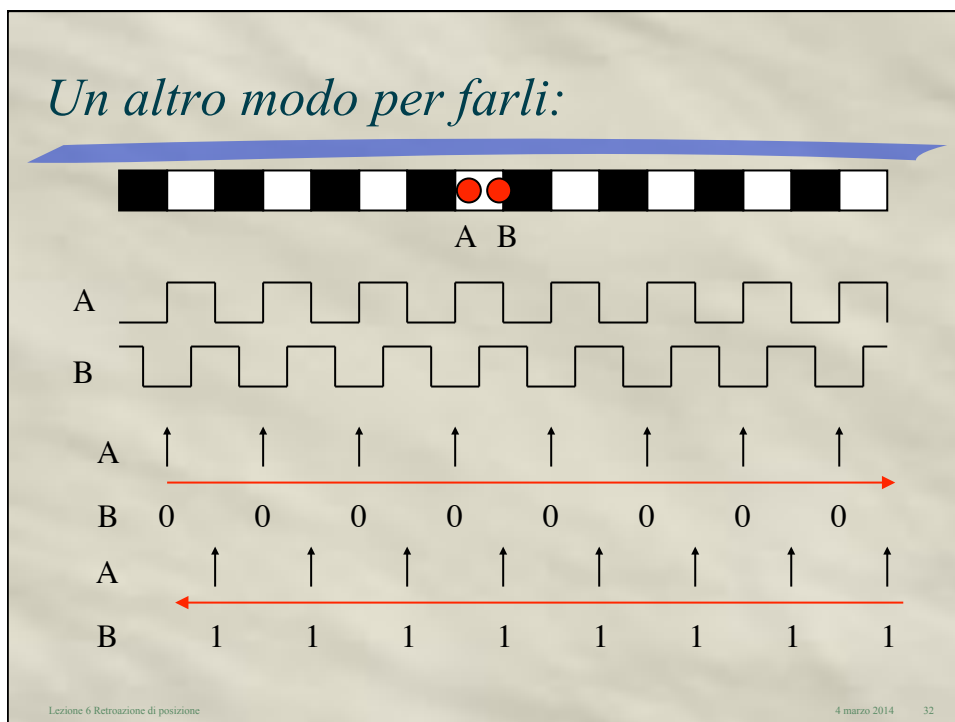
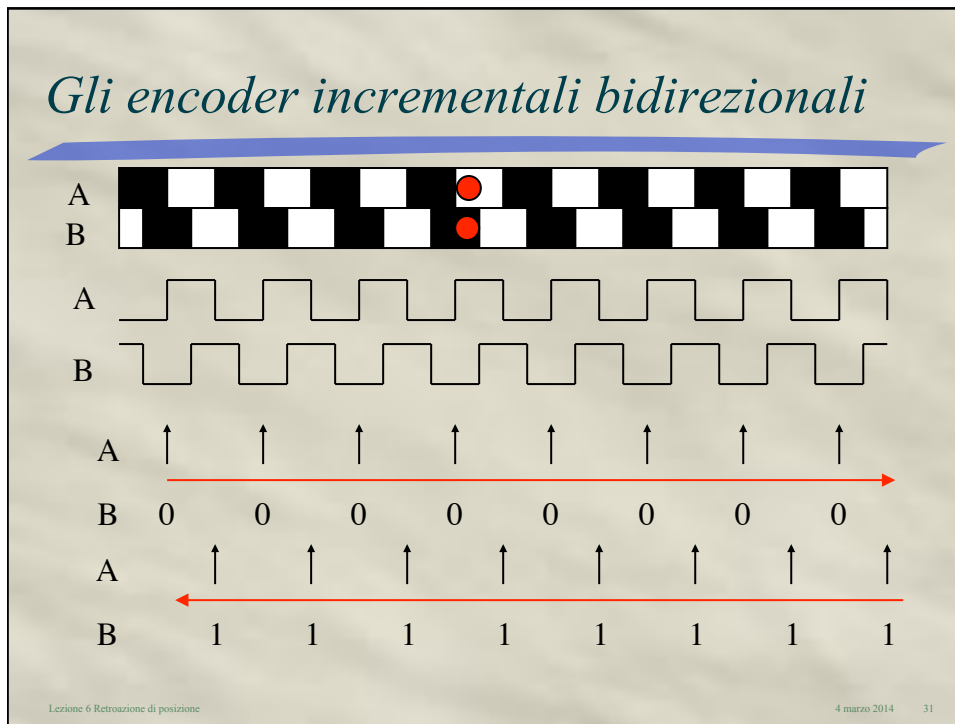


Trasferiamo il compito del “contare” dalle piste a un circuito elettronico:



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 30



Modalità di gestione

⇒ Passo intero:

- $A \uparrow$: if $B=0$ then $P=P+1$ else $P=P-1$

⇒ Mezzo passo:

- $A \uparrow$: if $B=0$ then $P=P+1/2$ else $P=P-1/2$
- $A \downarrow$: if $B=1$ then $P=P+1/2$ else $P=P-1/2$

⇒ Quarto di passo:

- $A \uparrow$: if $B=0$ then $P=P+1/4$ else $P=P-1/4$
- $A \downarrow$: if $B=1$ then $P=P+1/4$ else $P=P-1/4$
- $B \uparrow$: if $A=1$ then $P=P+1/4$ else $P=P-1/4$
- $B \downarrow$: if $A=0$ then $P=P+1/4$ else $P=P-1/4$

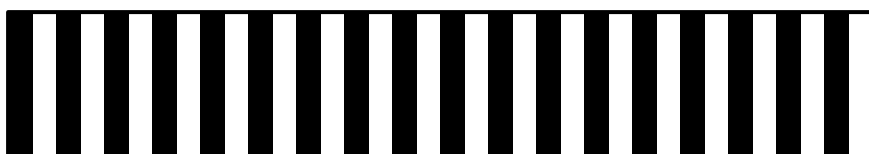
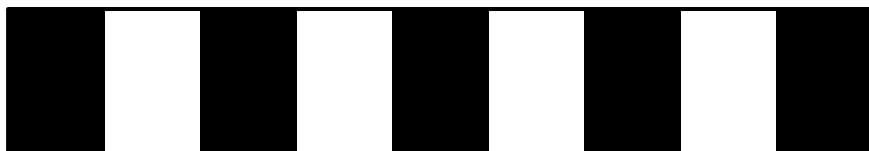
Semplificare la costruzione



⇒ Encoder incrementali:

- Oltre 4000 passi/giro
- Alta precisione angolare
- Errori cumulativi nulli
- Costo medio-basso

Migliorare la risoluzione (1)



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 35

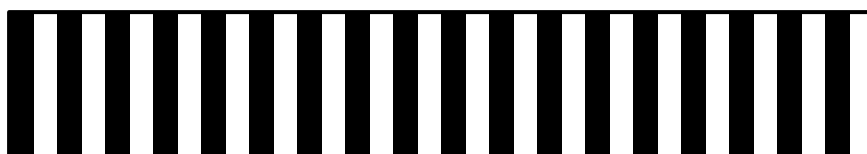
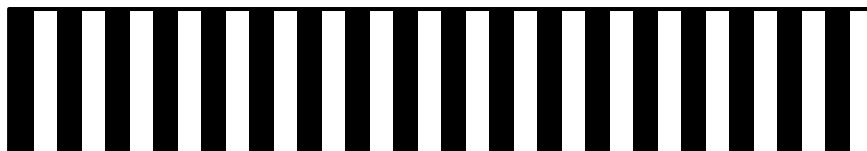
Migliorare la risoluzione (2)



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 36

Migliorare la risoluzione (3)



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 37

Migliorare la risoluzione (4)



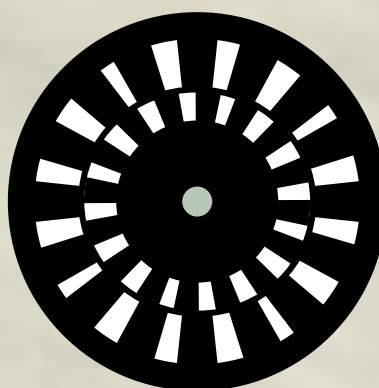
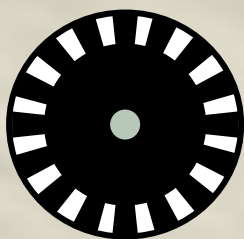
Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 38

Gli encoder rotativi non hanno errori cumulativi!

⇒ Tutti gli errori si annullano al termine di ogni giro.

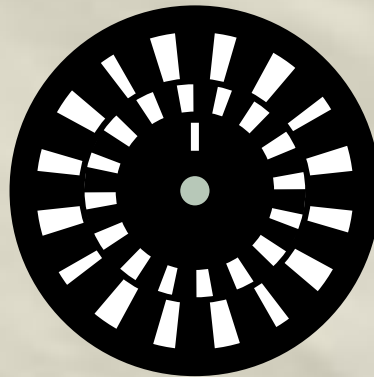
Encoder rotativi



Manca ancora una cosa:

⇒ Gli encoder incrementali vanno “inizializzati”

- Con un riferimento di zero
- Con interruttori elettromeccanici o fotoelettrici
- Con sistemi misti



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 41

Velocità e posizione

- ⇒ La cosa che ci interessa di più conoscere è la posizione
- ⇒ Ma ci serve anche la velocità
- ⇒ Abbiamo detto che la velocità è la derivata rispetto al tempo della posizione, e quindi la posizione è l'integrale della velocità
- ⇒ Possiamo usare una dinamo tachimetrica per misurare la posizione?
- ⇒ In teoria sì, ma se la dinamo ha un errore a valor medio non nullo (e ce l'ha), questo errore viene integrato nel tempo e falsa in maniera inaccettabile la misura.

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 42

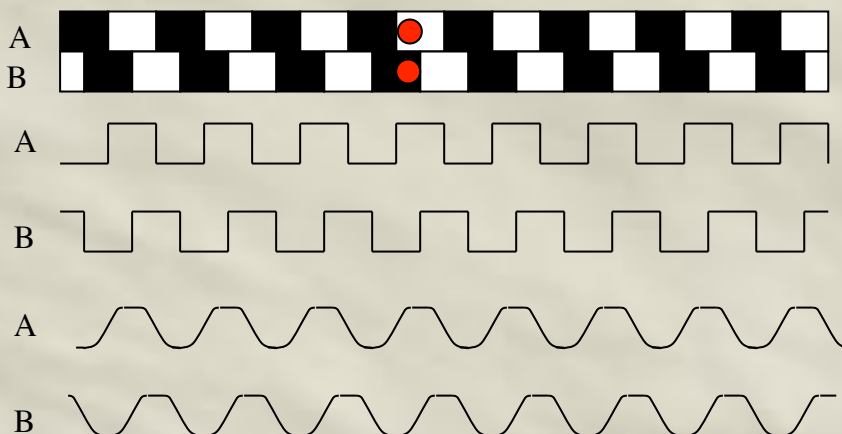
Posizione e velocità

- ⇒ Possiamo usare un encoder per misurare la velocità?
- ⇒ In teoria no, perché il segnale fornito dall'encoder è discontinuo
- ⇒ Quando la velocità è alta, questa discontinuità può essere facilmente filtrata
- ⇒ Quando la velocità è bassa, si può migliorare le situazione usando encoder ad altissima risoluzione...
- ⇒ Oppure sfruttare una particolarità degli encoder

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 43

Gli encoder forniscono segnali rettangolari?

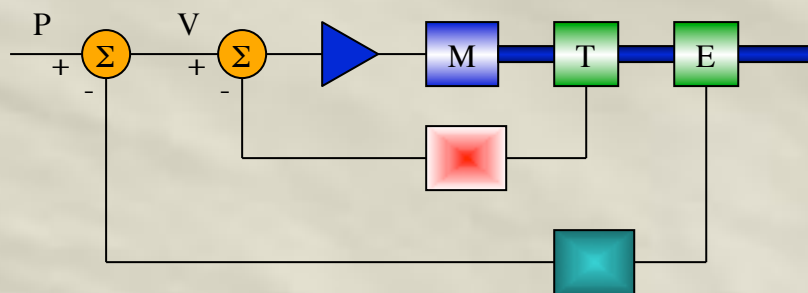


Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 44

Schema globale del controllo dei motori

- ⇒ Il movimento dei motori dipende da molti parametri, alcuni dei quali sconosciuti
- ⇒ Occorre un sistema di retroazione:



Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 45

Dove posizionare i sensori?

- ⇒ Se la trasmissione del moto fosse perfetta, sarebbe indifferente
- ⇒ In presenza di errori, sarebbe meglio metterli il più lontano possibile dai motori
 - Ma questo comporterebbe problemi di controllo
- ⇒ In pratica, vengono messi sull'asse dei motori, trascurando tutti gli altri errori

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 46

Inizializzazione (indexing) di un robot

- ⇒ Normalmente esiste un unico punto (sensore) per ogni asse che costituisce un riferimento fisso (origine dell'asse)
- ⇒ Di solito sta ad una estremità dell'asse
- ⇒ Originare un asse è semplice:
 - Far muovere il motore nella direzione in cui si trova il sensore
 - Fermarsi quando si "tocca" il sensore
 - Muovere in senso opposto finché si libera il sensore

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 47

Attenzione!

- ⇒ Prima dell'originamento, la posizione del robot è incognita
- ⇒ Occorre fare molta attenzione a come ci si muove
- ⇒ Ad esempio, nello SCARA
 - Originare l'asse Z verso l'alto
 - Originare gli altri assi, supponendo che non esistano ostacoli quando l'asse Z si trova tutto in alto
- ⇒ Nei robot articolati questo non si può fare

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 48

Per esempio, nell'Ibm 7545:



- ⇒ Giunto 1: escursione di $\sim 180^\circ$
- ⇒ Trasmissione: rapporto 242:1
- ⇒ Interruttore di fine corsa: determina in quale giro siamo
- ⇒ Encoder: la tacca dello zero determina la posizione precisa
- ⇒ L'originamento quindi richiede un grande movimento del braccio

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 49

Per esempio, nel Puma:



- ⇒ Giunto: escursione di 360°
- ⇒ Trasmissione: rapporto 20:1
- ⇒ Potenzimetro: determina in quale giro siamo
- ⇒ Encoder: la tacca dello zero determina la posizione precisa
- ⇒ L'originamento quindi richiede un piccolo movimento del braccio

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 50

Per esempio, nel Kawasaki RS03:



- ⇒ Giunto: escursione di $\sim 320^\circ$
- ⇒ Trasmissione: rapporto ?
- ⇒ Encoder: assoluto: determina la posizione precisa del giunto*
- ⇒ L'originamento quindi non è necessario

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 51

Nota dalla trasparenza precedente

- ⇒ In realtà, gli encoder del Kawasaki sono incrementali
- ⇒ Ma sono sempre alimentati, anche quando il robot è spento (batteria)
- ⇒ Quindi una volta calibrati si comportano come se fossero assoluti.

Lezione 6 Retroazione di posizione

4 marzo 2014 52

Un'altra definizione:

⇒ Encoder, dinamo tachimetriche ecc. appartengono alla classe dei **sensori**:

Dispositivi che producono segnali (elettrici) dipendenti da uno o più parametri fisici del robot o del mondo circostante secondo una legge nota.

Il compito a casa:

⇒ Usando il manuale del linguaggio AS, cercare di comprendere al meglio possibile tutte le parole del programma seguente

Il programma da analizzare

```
OPENI  
HOME  
JAPPRO #tutorial_centro, 100  
LMOVE #tutorial_centro  
CLOSEI  
LDEPART 100  
DRAW 70,70,0,0,0,0  
DRAW 0,0,-100,0,0,0  
OPENI  
DRAW 0,0,100,0,0,0  
HOME
```