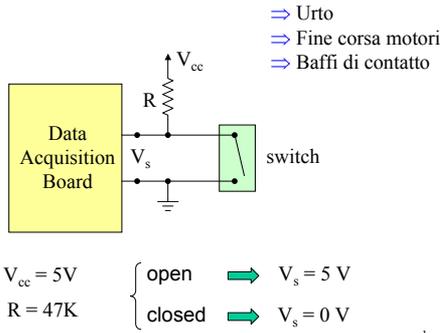


# Sensori di contatto



- $\Rightarrow$  Urto
- $\Rightarrow$  Fine corsa motori
- $\Rightarrow$  Baffi di contatto

---

---

---

---

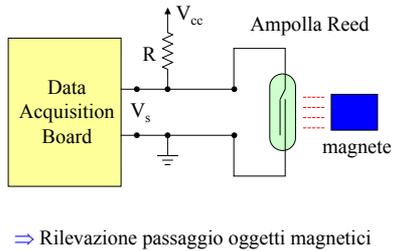
---

---

---

---

# Sensori magnetici




---

---

---

---

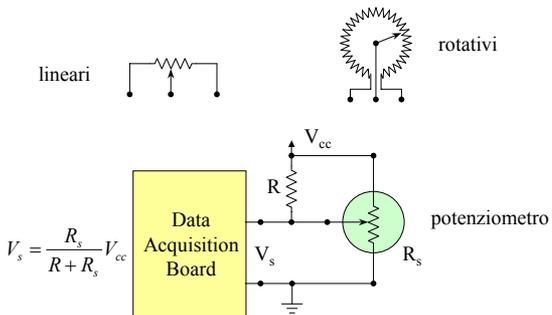
---

---

---

---

# Sensori potenziometrici




---

---

---

---

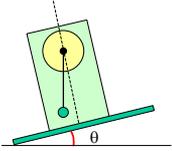
---

---

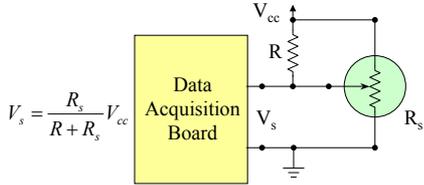
---

---

## Inclinometri



- Consiste in un pendolo collegato ad un potenziometro
- Il pendolo è immerso nell'olio per attenuare le oscillazioni
- Si acquisisce come un potenziometro



4

---

---

---

---

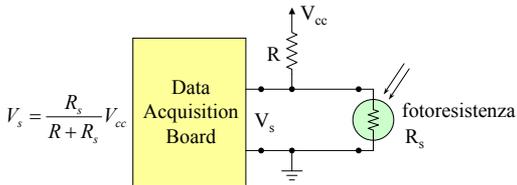
---

---

---

---

## Sensori di luce



- |   |       |   |                     |   |                       |
|---|-------|---|---------------------|---|-----------------------|
| { | dark  | → | $R_s$ alta (10 KΩ)  | → | $V_s = V_{max} < 5 V$ |
|   | light | → | $R_s$ bassa (100 Ω) | → | $V_s = V_{min} > 0 V$ |

5

---

---

---

---

---

---

---

---

## Sensori di luce

Suponendo di utilizzare un ADC a 8 bit si ha:  $\begin{cases} 5 V \rightarrow 255 \\ 0 V \rightarrow 0 \end{cases}$

Il seguente programma normalizza l'uscita tra 0 e 255:  $\begin{cases} \text{dark} \rightarrow V_s = V_{max} \rightarrow \text{out} = 0 \\ \text{light} \rightarrow V_s = V_{min} \rightarrow \text{out} = 255 \end{cases}$

```
int light_sensor(int channel)
{
    int x, norm;
    x = adc(channel) - Vmin;
    norm = (255*x)/(Vmax - Vmin);
    return 255 - norm;
}
```

6

---

---

---

---

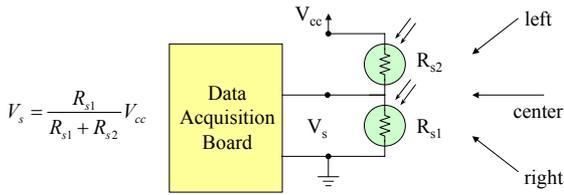
---

---

---

---

# Sensori di luce differenziali



$$V_s = \frac{R_{s1}}{R_{s1} + R_{s2}} V_{cc}$$

- left →  $R_{s1} \gg R_{s2}$  →  $V_s = 5\text{ V}$
- center →  $R_{s1} \cong R_{s2}$  →  $V_s = 2.5\text{ V}$
- right →  $R_{s1} \ll R_{s2}$  →  $V_s = 0\text{ V}$

---

---

---

---

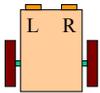
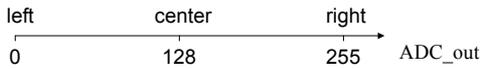
---

---

---

---

# Inseguitore di luce



luce a sinistra

↓  
gira a sinistra

$$V_{dx} > V_{sx}$$

luce a destra

↓  
gira a destra

$$V_{dx} < V_{sx}$$

---

---

---

---

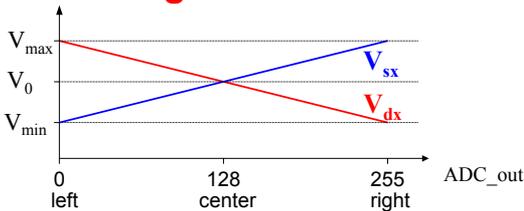
---

---

---

---

# Inseguitore di luce



$$\begin{cases} V_{sx} = V_{min} + K \cdot adc \\ V_{dx} = V_{max} - K \cdot adc \end{cases}$$

$$K = \frac{V_{max} - V_{min}}{255}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Inseguitore di luce

```
int light_follower(int channel)
{
int s;
float K;

K = (VMAX - VMIN)/255.0;
s = K * adc(channel);
left_motor(VMIN + s);
left_motor(VMAX - s);
}
```

10

---

---

---

---

---

---

---

---

## NOTA 1

- Il sensore di luce differenziale non rileva la quantità di luce emessa, ma solo la differenza fra i sensori.
- Se si vuole rilevare sia la differenza che l'intensità occorre utilizzare due canali distinti.

11

---

---

---

---

---

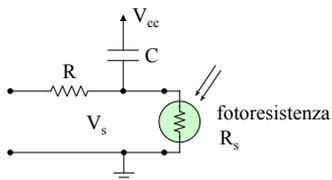
---

---

---

## NOTA 2

- Se non si dispone di un convertitore A/D, la lettura di resistenza può essere effettuata misurando con un timer il tempo di scarica di un filtro RC.



12

---

---

---

---

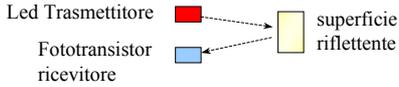
---

---

---

---

# Optosensori a riflessione



- I fototransistor sono più sensibili delle fotoresistenze (basta la luce di un led per attivarli)
- Hanno tempi di risposta più brevi. Si prestano per la lettura di encoder.
- Le fotoresistenze vanno bene per applicazioni a bassa frequenza.

13

---

---

---

---

---

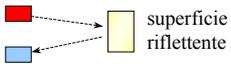
---

---

---

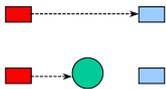
## Usi

### A riflessione di luce



- ⇒ Riconoscimento superfici
- ⇒ Rilevazione di prossimità
- ⇒ Inseguimento di linee
- ⇒ Lettura codici a barre

### A interruzione di luce



14

---

---

---

---

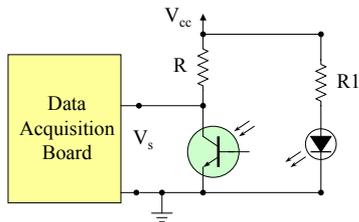
---

---

---

---

# Optosensori a riflessione



- ⇒ E' possibile ricavare la distanza dall'intensità luminosa, ma ...
- ⇒ Sono molto sensibili alle variazioni di luce ambientale
- ⇒ La risposta dipende dalla riflessione della superficie

15

---

---

---

---

---

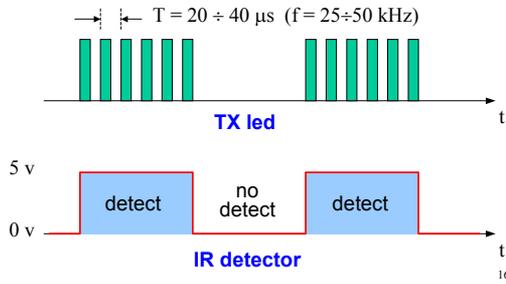
---

---

---

# Sensori IR a modulazione

Per ridurre la sensibilità alla luce ambientale, si usano raggi infrarossi modulati ad impulsi:



---

---

---

---

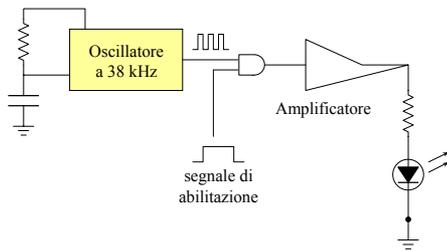
---

---

---

---

# Circuito modulatore



---

---

---

---

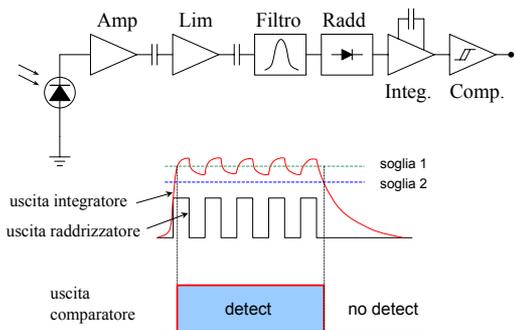
---

---

---

---

# Circuito demodulatore



---

---

---

---

---

---

---

---

## Sensori di prossimità a IR

- I demodulatori commerciali ad infrarossi forniscono un'uscita binaria (detect/no detect), in quanto pensati per ricevere da telecomandi (dunque devono funzionare a qualsiasi distanza).
- Nelle applicazioni robotiche, tuttavia è importante anche avere un'informazione di prossimità, per sapere quanto è distante un oggetto.
- Tale informazione può essere ricavata collegandosi al pin corrispondente all'uscita dell'integratore.
- Sul demodulatore Sharp GP1U52, l'uscita dell'integratore ha un range tra 1.8V (no detect) e 2.5V (detect).

19

---

---

---

---

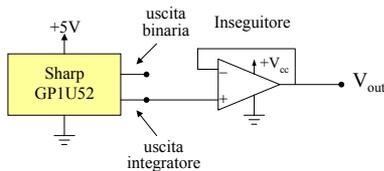
---

---

---

---

## Amplificazione segnale integrato



- Per acquisire il segnale in uscita dall'integratore, occorre interporre un amplificatore operazionale ad alta impedenza, per evitare una caduta di tensione sulla resistenza interna.
- In questo modo, però, non si sfrutta il range di tensione disponibile (l'uscita del convertitore varierebbe tra 92 e 128).

20

---

---

---

---

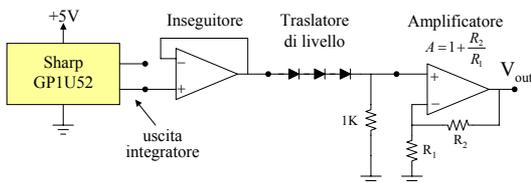
---

---

---

---

## Amplificazione segnale integrato



- I tre diodi traslano il livello di tensione di  $3 \times 0.6 \text{ V} = 1.8 \text{ V}$
- La resistenza da 1K è necessaria per attivare i diodi.
- All'uscita del traslatore la tensione varia tra 0V e 0.7 V
- Con  $R_2 = 3.3\text{K}\Omega$  ed  $R_1 = 1\text{K}\Omega$  si ha  $A = 4.3$ , per cui  $V_{\text{out}}$  varia fra 0V e 3.01V (valore max raggiungibile con  $V_{\text{cc}} = 5\text{V}$ ).

21

---

---

---

---

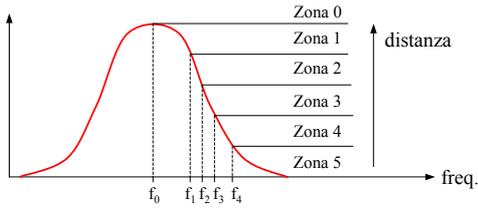
---

---

---

---

## Prossimità con variazione di frequenza



- Si inviano segnali modulati a frequenze diverse, partendo dalla frequenza centrale del filtro di demodulazione:  $f_0, f_1, f_2, f_3$
- Se si riceve un segnale riflesso, si aumenta la frequenza.
- Quando il segnale non viene ricevuto alla frequenza  $f_i$  allora l'oggetto si trova nella zona  $i$ .

22

---

---

---

---

---

---

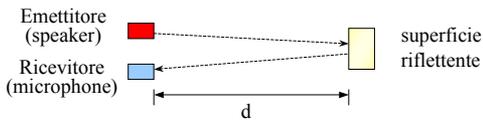
---

---

---

---

## Sensori a ultrasuoni



$V_s$  = velocità del suono ( $\cong 300$  m/s)

Ritardo dell'eco: 
$$\Delta T = \frac{2d}{V_s}$$

Distanza oggetto: 
$$d = \frac{V_s \Delta T}{2}$$

23

---

---

---

---

---

---

---

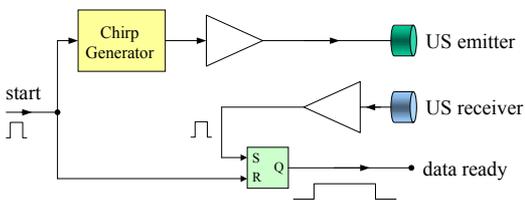
---

---

---

## Segnalazione del ritardo

In questa soluzione, il computer genera l'impulso di start e conta via software finché il segnale di data ready non è alto.



24

---

---

---

---

---

---

---

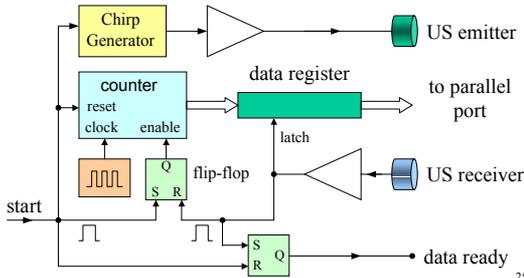
---

---

---

## Circuito di pilotaggio US

In questa soluzione, il circuito si occupa del conteggio, e il computer legge il risultato appena il dato è pronto.



---

---

---

---

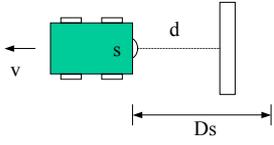
---

---

---

---

## Controllo di prossimità



**GOAL:** Controllare un veicolo per mantenere il sensore ad una distanza  $d > D$  da un ostacolo.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Proximity control loop

```
void dist_control()
{
  int d, Ds;
  float y, K;
  while (1) {
    get_parameters(&Ds, &K);
    d = prox_sensor();
    if (d > Ds) y = 0;
    else y = K*(Ds - d);
    output(y);
  }
}
```

---

---

---

---

---

---

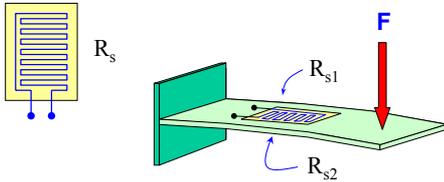
---

---

# Sensori di forza

## Estensimetri (strain gauges)

Sono delle resistenze che variano con la deformazione:



Montaggio differenziale

28

---

---

---

---

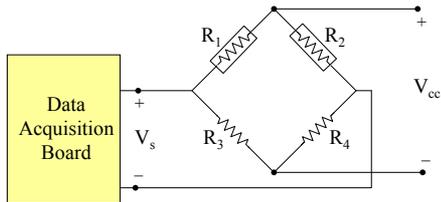
---

---

---

---

## Sensori di forza: acquisizione



$$V_s = \left( \frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) V_{cc} \quad \text{se} \quad \begin{cases} R_3 = R_4 = R \\ R \gg R_1, R_2 \end{cases}$$

$$V_s = \frac{R_2 - R_1}{(R_1 / R + 1)(R_2 / R + 1)} V_{cc} \cong (R_2 - R_1) V_{cc}$$

29

---

---

---

---

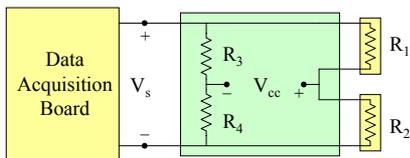
---

---

---

---

## Sensori di forza: acquisizione



### Vantaggi della lettura differenziale

1. Aumenta il segnale dovuto alla forza, in quanto le variazioni di resistenza sono di segno opposto
2. Riduce gli effetti termici, in quanto le variazioni di resistenza sono dello stesso segno

30

---

---

---

---

---

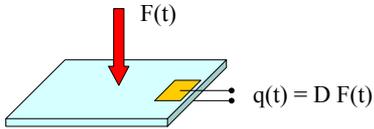
---

---

---

## Sensori piezoelettrici

- Generano una carica proporzionale alla forza normale esercitata sulla loro superficie.
- Tipici materiali utilizzati a tale scopo sono i polimeri. Il Fluoruro di Polivinilidene (PVF2) è disponibile in film e diventa piezoelettrico se sottoposto ad un forte campo elettrico.



Per il PVF2 si ha:  $D \cong 20 \text{ pC/N}$

31

---

---

---

---

---

---

---

---

## Sensori piezoelettrici: parametri

Per un film di area  $A$  e spessore  $d$  possiamo scrivere:



$$\begin{cases} R_s = \rho \frac{d}{A} \\ C_s = \varepsilon \frac{A}{d} \end{cases} \quad \text{Per il PVF2 si ha: } \begin{cases} \rho = 10^{15} \Omega \text{ mm} \\ \varepsilon = 10^{-13} \text{ F/mm} \end{cases}$$

Dunque se  $A = 1 \text{ mm}^2$  e  $d = 0.01 \text{ mm}$  si ha:

$$\begin{cases} R_s = 10^{13} \Omega \\ C_s = 10 \text{ pF} \end{cases}$$

32

---

---

---

---

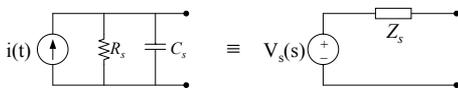
---

---

---

---

## Sensori piezoelettrici circuitto equivalente



$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = D \frac{dF(t)}{dt} \quad \begin{cases} V_s(s) = I(s)Z_s \\ Z_s = \frac{R_s}{R_s C_s s + 1} \end{cases}$$

Si noti che la costante di tempo non dipende dalle dimensioni del sensore:

$$\tau = R_s C_s = \rho \frac{d}{A} \varepsilon \frac{A}{d} = \rho \varepsilon \cong 100 \text{ s}$$

33

---

---

---

---

---

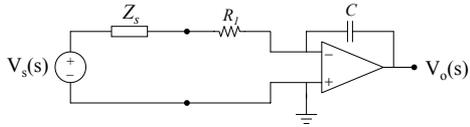
---

---

---

# Sensori piezoelettrici

## Lettura di carica



Trascurando  $R_s$  si ha:

$$\frac{V_o(s)}{V_s(s)} = -\frac{1/sC}{R_1 + Z_s} = -\frac{C_s/C}{1 + R_1 C_s s}$$

Ed essendo:

$$V_s(s) = I(s)Z_s = \frac{I(s)}{sC_s} = \frac{sQ(s)}{sC_s} = D \frac{F(s)}{C_s}$$

34

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# Sensori piezoelettrici

## Lettura di carica

Si ha: 
$$\frac{V_o(s)}{F(s)} = \frac{V_o(s)}{V_s(s)} \frac{V_s(s)}{F(s)} = -\frac{D/C}{1 + R_1 C_s s}$$

Si noti che:

- ⇒ Il limite superiore di banda non dipende da C ma da  $R_1$ .
- ⇒ La capacità C influisce sulla la sensibilità di risposta.
- ⇒ La corrente di bias dell'amplificatore carica lentamente la capacità C e genera un drift sul segnale. Tale fenomeno si può attenuare ponendo in parallelo a C una resistenza  $R_2$  di valore elevato. Si peggiora però la risposta alle basse frequenze.

35

---

---

---

---

---

---

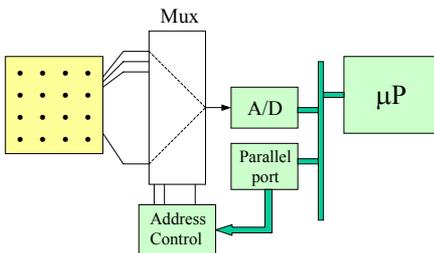
---

---

---

---

# Sensori tattili



36

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# Integrazione sensoriale e riconoscimento

---

---

---

---

---

---

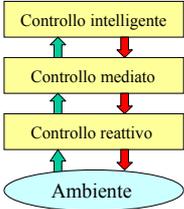
---

---

## Integrazione sensoriale e riconoscimento

Nei sistemi robotici autonomi, le informazioni sensoriali servono ad operare nell'ambiente secondo una strategia di controllo desiderata.

Di solito, il controllo avviene a diversi livelli di astrazione:



---

---

---

---

---

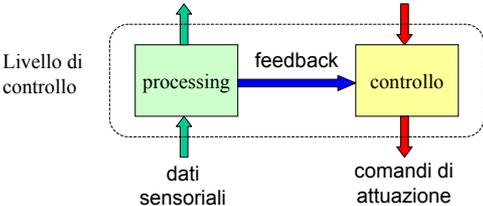
---

---

---

## Livelli di feedback

In ciascun livello, parte dell'informazione sensoriale viene utilizzata come feedback per il controllo, il resto viene inviata ai livelli superiori per essere integrata con gli altri dati.



---

---

---

---

---

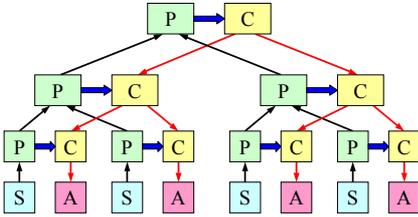
---

---

---

# Controllo gerarchico

Man mano che si sale di livello, l'informazione sensoriale viene sempre più integrata e i comandi di controllo si riferiscono a comportamenti sempre più complessi:



40

---

---

---

---

---

---

---

---

# Riconoscimento di oggetti

Prevede quattro fasi essenziali:

- 1. Rappresentazione**  
Definizione di un modello parametrico
- 2. Classificazione**  
Suddivisione degli oggetti in classi
- 3. Integrazione**  
Acquisizione delle varie caratteristiche previste nel modello
- 4. Identificazione**  
Associazione di un oggetto ad una particolare classe

41

---

---

---

---

---

---

---

---

# Rappresentazione

Il modello di un oggetto è dato dall'insieme delle caratteristiche che lo definiscono. Ad esempio:

caratteristiche	possibili valori
forma	cubo, sfera, cilindro, ...
ingombro	numero reale
colore	rosso, verde, giallo, ...
riflessione	lucido, semilucido, opaco
rugosità	liscio, ruvido, molto ruvido
durezza	numero finito di valori
elasticità	numero finito di valori
peso	numero reale
conduttività termica	numero reale

42

---

---

---

---

---

---

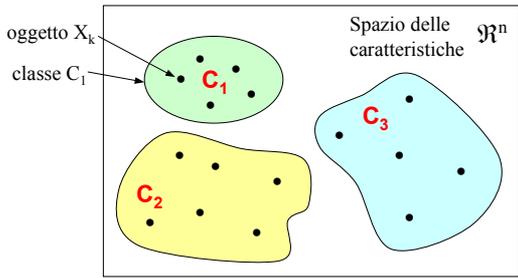
---

---

## Classificazione

⇒ Ogni oggetto è descritto da un vettore  $X$  in uno spazio  $\mathcal{R}^n$

⇒ Gli oggetti sono raggruppati in classi ( $C_i$ ) per similitudine



43

---

---

---

---

---

---

---

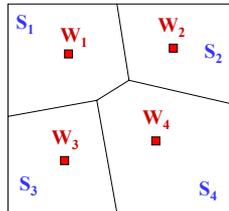
---

## Tassellazione di Voronoi

E' una suddivisione di uno spazio  $S$  in  $n$  sottospazi  $S_i$ , tali che:

$W_i =$  centroide di  $S_i$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bigcup_{i=1}^n S_i = S \\ S_i \cap S_j = \emptyset \quad \forall i \neq j \\ \text{DIST}(X_k, W_i) < \text{DIST}(X_k, W_j) \quad \forall i \neq j, X_k \in S_i \end{array} \right.$$



44

---

---

---

---

---

---

---

---

## Integrazione

Mentre la rappresentazione e la classificazione vengono eseguite off line, l'integrazione e l'identificazione sono eseguite on line.

Nella fase di integrazione vengono acquisite le informazioni necessarie a riempire la tabella delle caratteristiche.

Le grandezze descrittive del modello possono essere rilevabili in modo diretto o indiretto:

### Grandezze dirette

sono rilevabili da una singola acquisizione sensoriale (es., forma, colore, peso, temperatura, ...)

### Grandezze indirette

richiedono l'integrazione di più misure (es., rugosità, durezza, conducibilità termica, ...)

45

---

---

---

---

---

---

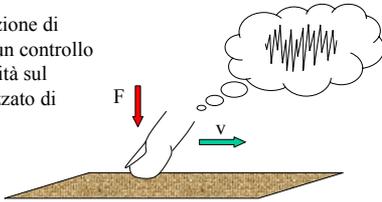
---

---

## Grandezze indirette: rugosità

Il segnale prodotto dipende (oltre che dalla rugosità della superficie) anche dalla forza di contatto e dalla velocità di scansione.

Dunque, la rilevazione di rugosità richiede un controllo ibrido forza/velocità sul terminale sensorizzato di scansione.



46

---

---

---

---

---

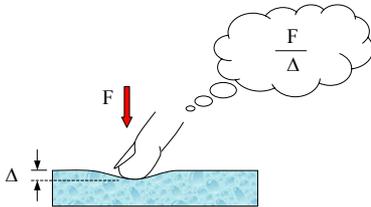
---

---

---

## Grandezze indirette: durezza

La durezza è il rapporto tra forza e deformazione, quindi richiede la misura di due grandezze, che devono essere integrate.



47

---

---

---

---

---

---

---

---

## Identificazione

Il problema dell'identificazione (o del riconoscimento) è quello di valutare l'appartenenza di un oggetto incognito ad una delle classi predefinite.

Esistono due strategie di confronto:

### Strategie globali

L'identificazione avviene confrontando tutte le caratteristiche del modello

### Strategie incrementali

L'identificazione avviene confrontando una caratteristica per volta fino alla completa categorizzazione dell'oggetto

48

---

---

---

---

---

---

---

---

## Strategie globali

I valori delle  $n$  caratteristiche di un oggetto possono essere visti come le coordinate di un punto in uno spazio a  $n$  dimensioni.

A causa degli inevitabili errori di misura, le misurazioni effettuate su un a classe sono meglio rappresentate da una distribuzione di valori.

Poiché l'errore totale di misura è dovuto alla somma di molteplici cause di carattere casuale, per il teorema del limite centrale, la distribuzione può essere considerata di tipo gaussiano.

Dunque una classe  $C_i$  può essere rappresentata da un'ipersfera  $S_i$  con centro nel punto dei valori medi e raggio pari alla deviazione standard.

49

---

---

---

---

---

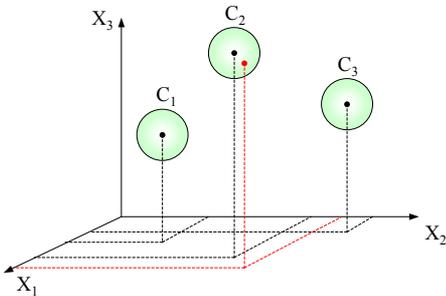
---

---

---

## Classi come ipersfere

Un oggetto  $X$  viene riconosciuto come appartenente alla classe  $C_i$  se è contenuto nell'ipersfera  $S_i$ , ossia se  $dist(X, C_i) \leq \sigma$



50

---

---

---

---

---

---

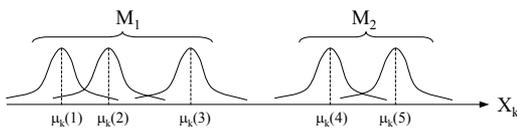
---

---

## Strategie incrementalì

Le caratteristiche vengono misurate una per volta e il sistema tenta il riconoscimento sulla base delle caratteristiche rilevate.

Ad ogni passo, la grandezza  $X_k$  misurata è quella che meglio separa l'insieme delle  $M$  classi in due sottoinsiemi contenenti  $M_1$  e  $M_2$  classi.



51

---

---

---

---

---

---

---

---

# Strategie incrementali

Il processo di suddivisione continua ricorsivamente su ognuno dei sottoinsiemi, finché tutto lo spazio viene suddiviso in  $M$  sottospazi, ciascuno contenente una classe.

Completata la suddivisione dello spazio, la procedura di riconoscimento consiste in una visita di un albero binario in cui

- I nodi interni rappresentano le condizioni di discriminazione di un sottospazio
- Le foglie rappresentano le classi memorizzate nel sistema.

---

---

---

---

---

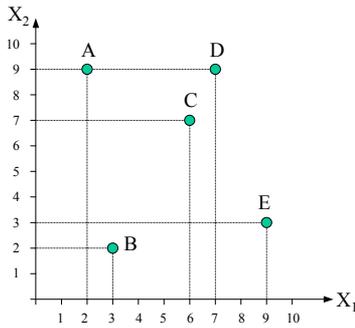
---

---

---

## Esempio

Classi	$\mu_1$	$\mu_2$
A	2	9
B	3	2
C	6	7
D	7	9
E	9	3



---

---

---

---

---

---

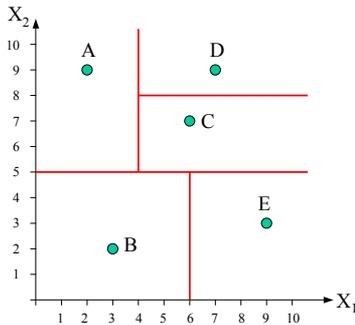
---

---

## Esempio

In ordine vengono scelte le soglie:

- $X_2 = 5$
- $X_1 = 6$
- $X_1 = 4$
- $X_2 = 8$



---

---

---

---

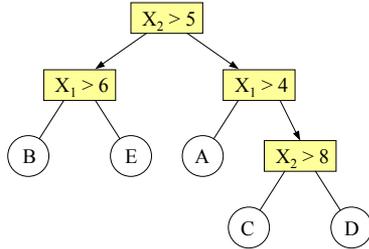
---

---

---

---

## Albero di decisione



55

---

---

---

---

---

---

---

---

## Confronto

La strategia incrementale è più efficiente di quella globale in quanto vengono acquisite solo le caratteristiche necessarie al riconoscimento dell'oggetto.

La strategia incrementale però è meno precisa di quella globale.

Esempio: se l'acquisizione di un nuovo oggetto fornisce i valori  $X_1 = 9$  e  $X_2 = 6$ , la strategia incrementale classificherebbe l'oggetto come appartenente alla classe C, pur essendo E quella a distanza minima.

56

---

---

---

---

---

---

---

---