



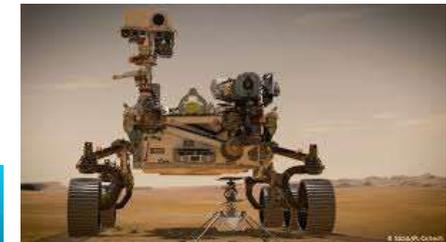
Robotica Mobile

Materiale tratto da: Introduction to Mobile Robotics, Univ. of Freiburg (Prof. Dr. Wolfram Burgard, Dr. Cyrill Stachniss, Dr. Giorgio Grisetti, Dr. Maren Bennewitz) e Mobile Robotics, Univ. of Oxford (Prof. Paul Newman)



- **Robot capaci di muoversi/spostarsi in un ambiente:**

- Superficie (terra);
- Fluidostatico (acqua);
- Fluidodinamico (aria);
- Fluttuazione (spazio)
- Altro ...



- **Funzionalità basilare di un robot mobile:**

- Capacità di Locomozione:
 - Navigazione;
 - Mapping;
 - Localizzazione;
 - Esplorazione
 - ...



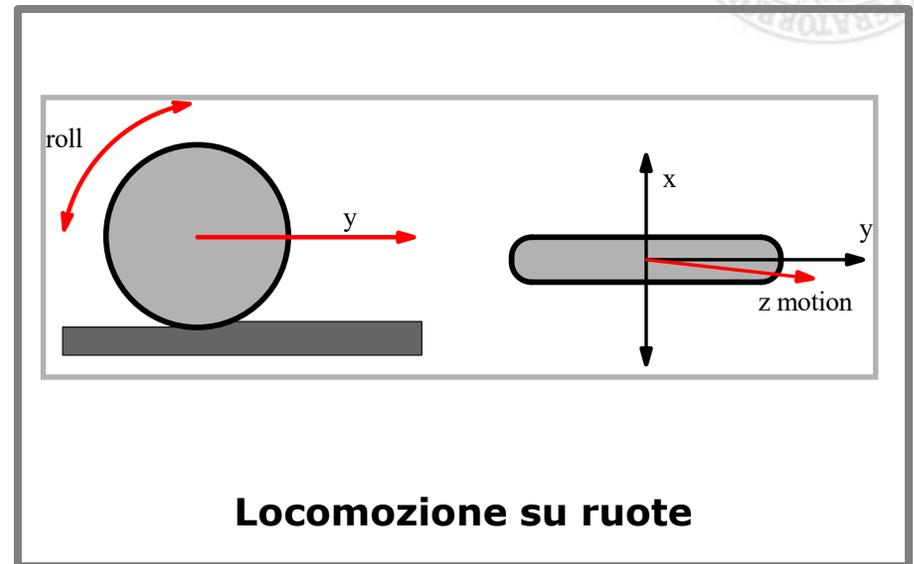


- **Luogo di funzionamento:**
Indoor, Outdoor, Altro
 - **Tipo di terreno:**
Civile piano, Civile multipiano, Sconnesso, Aperto
 - **Tipo di ambiente:**
Sgombro, Ingombro, Dinamico, Statico
 - **Tipo di operazioni:**
Movimento, Trasporto, Interazione ambiente, Interazione uomo
 - **Mezzo di spostamento:**
Ruote, Cingoli, Zampe, Altro
 - **Numero di punti di appoggio:**
Tre, Quattro, Sei, Altro
-



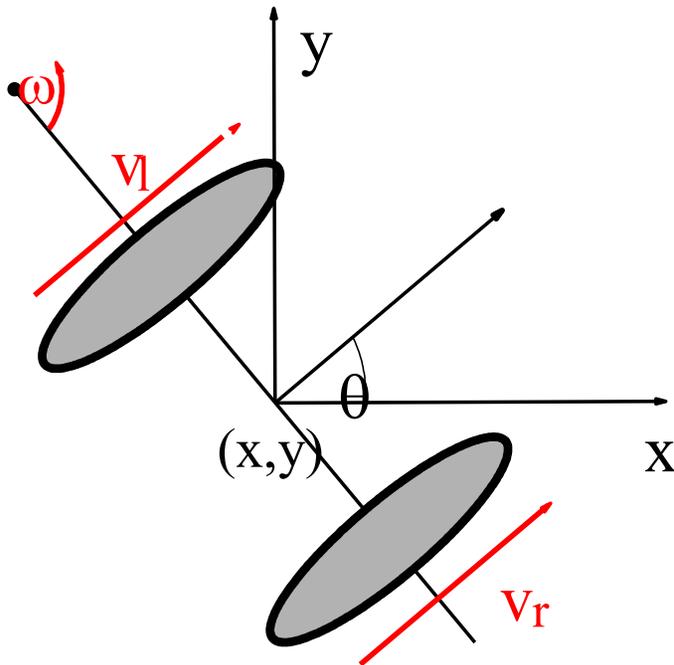
- Consideriamo Robot per mobilità di superficie;
 - Sistemi di Locomozione:
 - **Wheeled (ruote)**: 2, 3, 4 etc.
 - Legged (gambe): 2, 3, 4, etc.
 - Ruote Motrici
 - Dotate di motore
 - Ruote Folli
 - Ruotano per il movimento sul terreno
 - Ruote Fisse
 - Asse con angolo costante con l'asse del veicolo
 - Ruote Sterzanti
 - Motore modifica posizione dell'asse rispetto all'asse del robot
 - Ruote Pivottanti/Castor
 - Asse ruota con il movimento sul terreno
-

- **Guida Differenziale**
 - Ruote motrici indipendenti
 - Es. AmigoBot, Pioneer 2-DX
- **Sterzo Ackerman**
 - Ruote con sterzo
 - Carri (1818), macchine
- **Sincrono:**
 - Ruote motrici collegate e sterzanti
- **Ruote omnidirezionali**
 - Mecanum
 - Ruote fisse



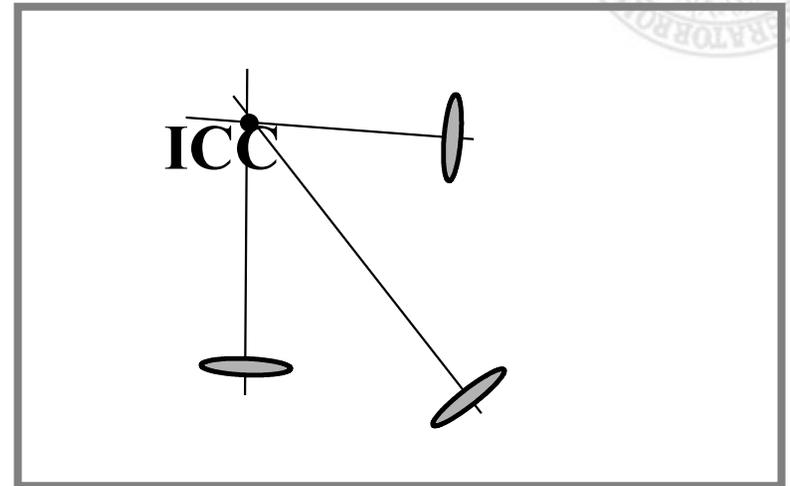
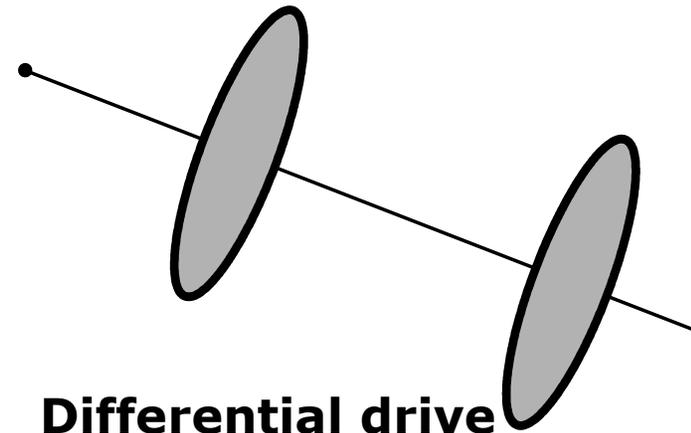


Due ruote montate su un asse comune, ognuna attuata con possibilità di spostamento nelle due direzioni





- Ogni ruota ha il suo asse
- Gli assi devono convergere su un centro istantaneo di curvatura
- ICC - Instantaneous Center of Curvature

**3 wheels****Differential drive**



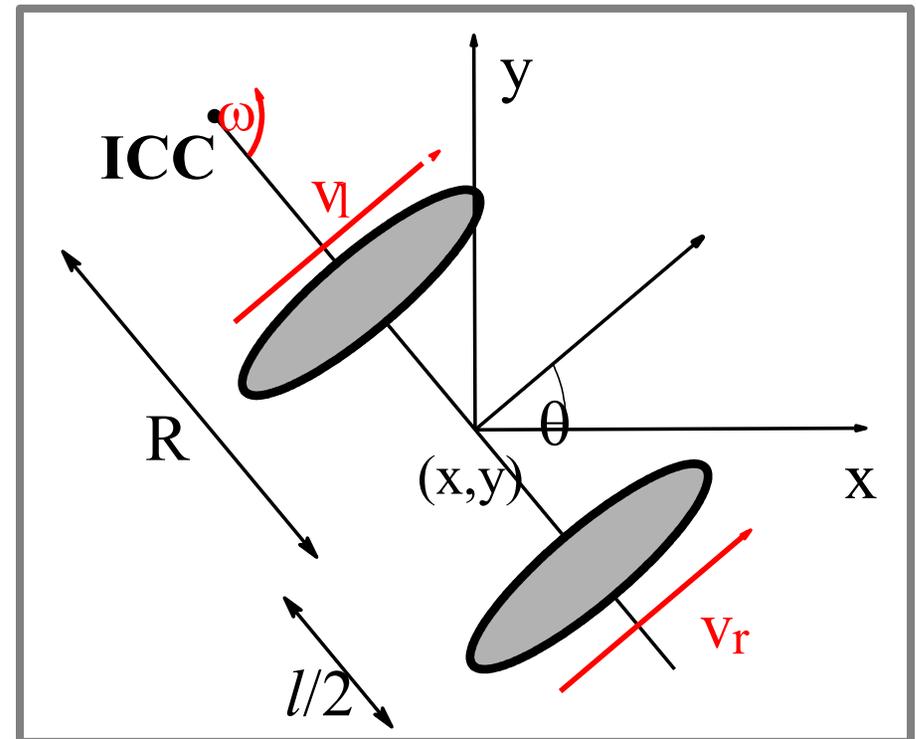
$$\text{ICC} = [x - R \sin \theta, y + R \cos \theta]$$

$$\omega(R + l/2) = v_r$$

$$\omega(R - l/2) = v_l$$

$$R = \frac{l (v_l + v_r)}{2 (v_r - v_l)}$$

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{l}$$

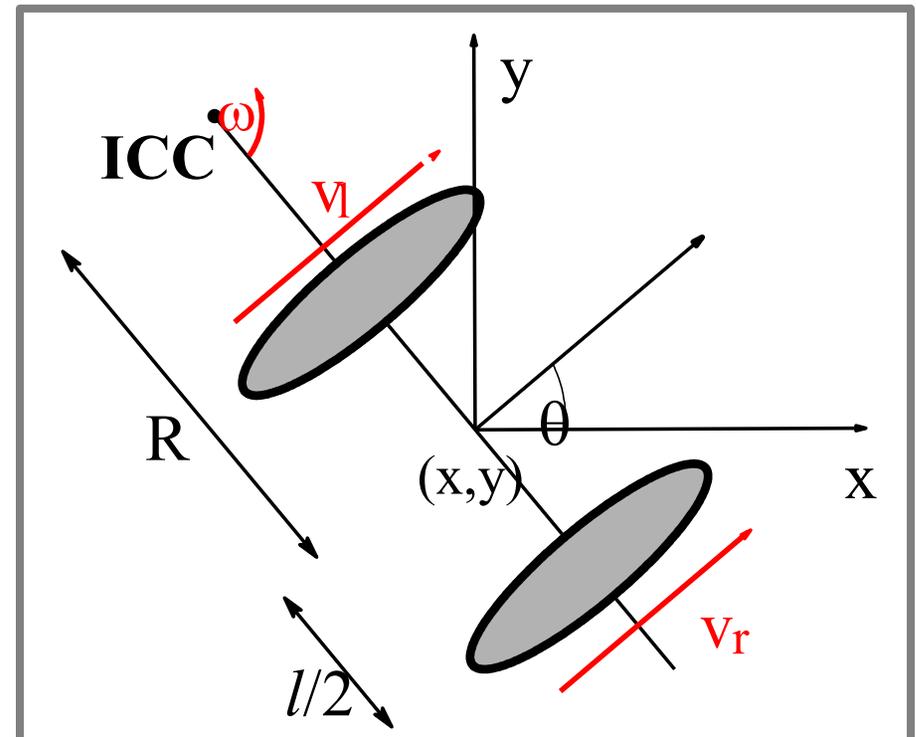




$$\text{ICC} = [x - R \sin \theta, y + R \cos \theta]$$

Tre casi notevoli:

1. $V_l = V_r$
2. $V_l = -V_r$
3. $V_l = 0$ ($V_r = 0$)



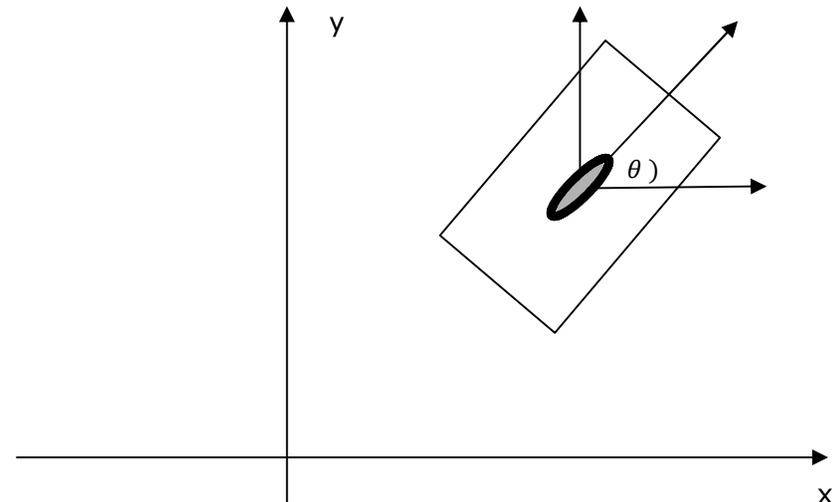


- Robot di una ruota posizionato in un punto
- Si muove con velocità e velocità angolare: (v, ω)
- Posa sul piano:
 x, y, Θ (azimuth)
- Legge oraria:

$$\begin{aligned}x(t) &= \int_0^t v(t') \cos[\theta(t')] dt' \\y(t) &= \int_0^t v(t') \sin[\theta(t')] dt' \\ \theta(t) &= \int_0^t \omega(t') dt'\end{aligned}$$

Ottenuta da:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= v(t) \cos(\theta(t)) \\ \dot{y}(t) &= v(t) \sin(\theta(t)) \\ \dot{\theta}(t) &= \omega\end{aligned}$$





$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega\delta t) & -\sin(\omega\delta t) & 0 \\ \sin(\omega\delta t) & \cos(\omega\delta t) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - ICC_x \\ y - ICC_y \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ICC_x \\ ICC_y \\ \omega\delta t \end{bmatrix}$$

$$x(t) = \int_0^t v(t') \cos[\theta(t')] dt'$$

$$y(t) = \int_0^t v(t') \sin[\theta(t')] dt'$$

$$\theta(t) = \int_0^t \omega(t') dt'$$

Per Diff. Drive:

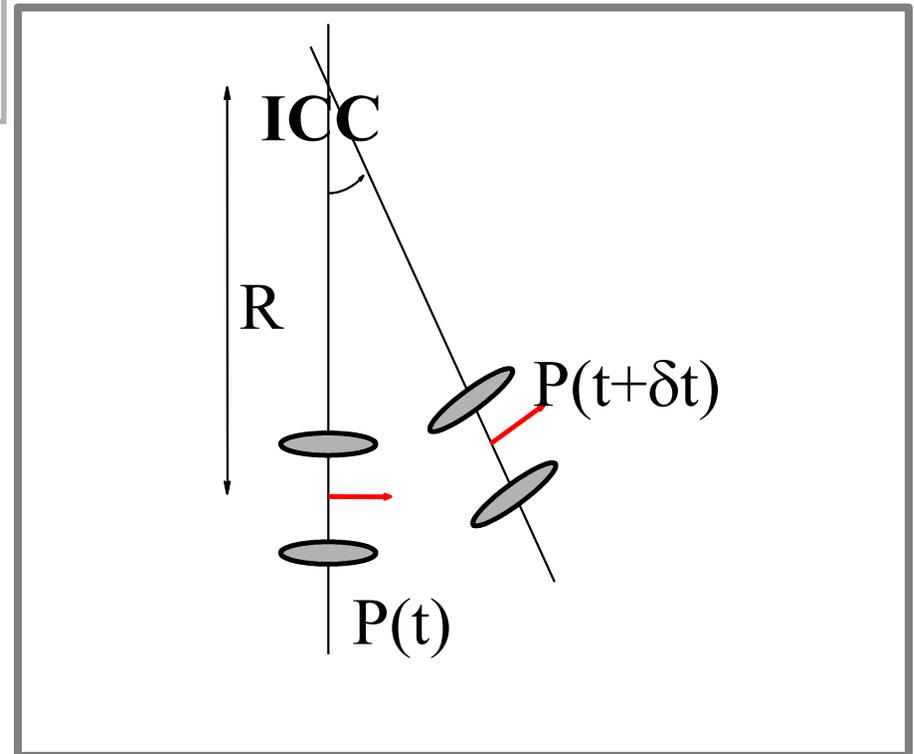
$$v = (v_r + v_l)/2$$

$$\omega = (v_r - v_l)/l$$

$$x(t) = \frac{1}{2} \int_0^t [v_r(t') + v_l(t')] \cos[\theta(t')] dt'$$

$$y(t) = \frac{1}{2} \int_0^t [v_r(t') + v_l(t')] \sin[\theta(t')] dt'$$

$$\theta(t) = \frac{1}{l} \int_0^t [v_r(t') - v_l(t')] dt'$$



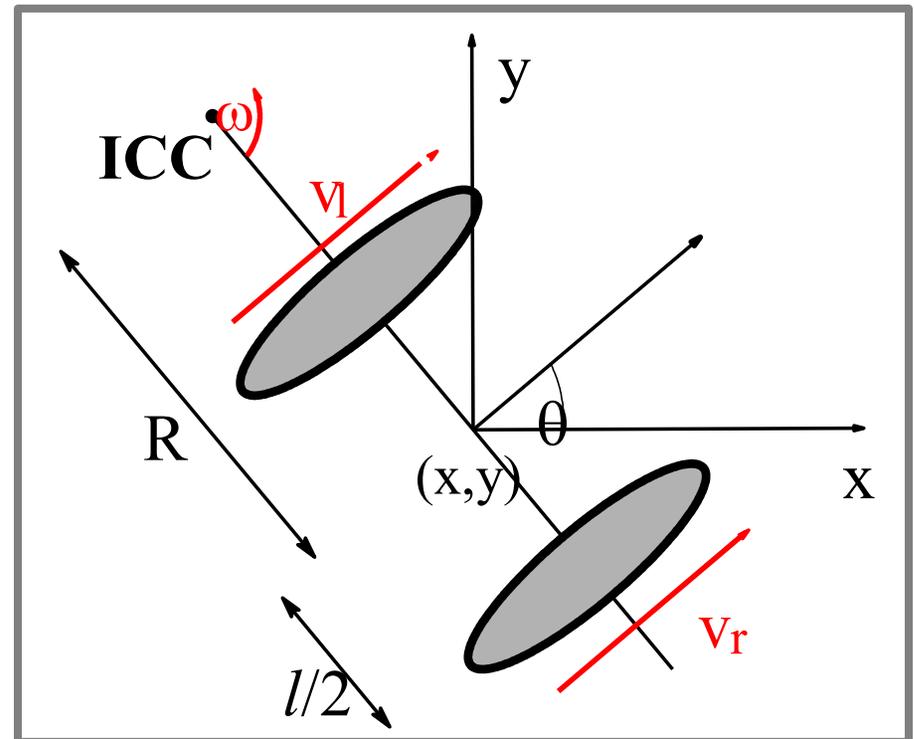


$$x(t) = \frac{1}{2} \int_0^t [v_r(t') + v_l(t')] \cos[\theta(t')] dt'$$
$$y(t) = \frac{1}{2} \int_0^t [v_r(t') + v_l(t')] \sin[\theta(t')] dt'$$
$$\theta(t) = \frac{1}{l} \int_0^t [v_r(t') - v_l(t')] dt'$$

Nota:

Sensibili a piccoli spostamenti ed errori nelle velocità relative.

Sensibili alle variazioni sul terreno, aiuta una ruota pivottante (caster wheel)





$$\text{ICC} = [x - R \sin \theta, y + R \cos \theta]$$

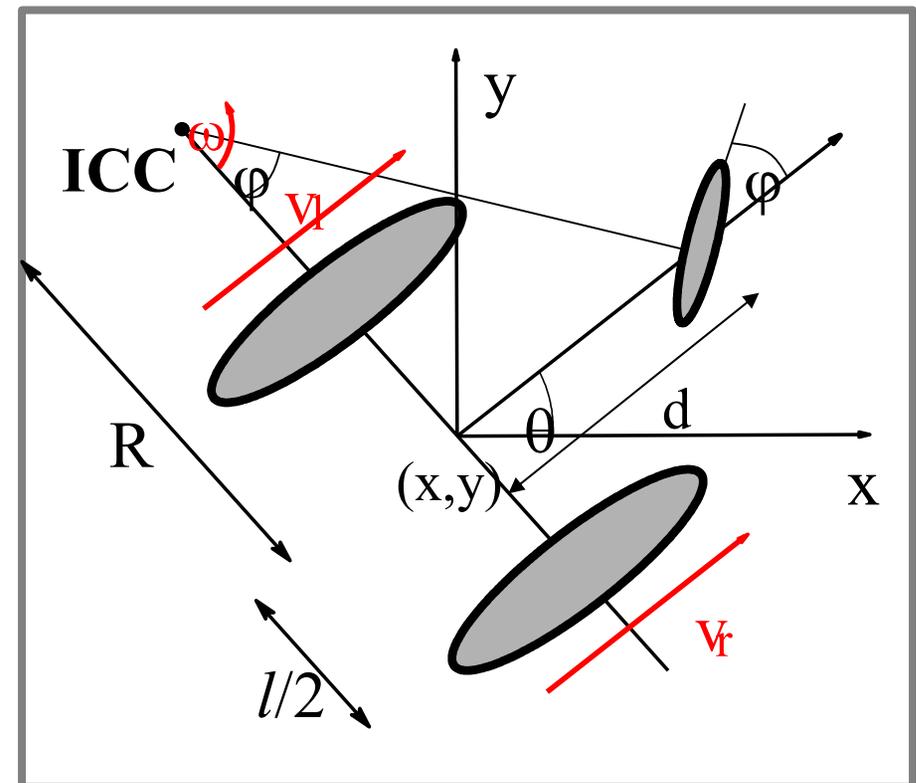
$$R = \frac{d}{\tan \varphi}$$

$$\omega(R + l/2) = v_r$$

$$\omega(R - l/2) = v_l$$

$$R = \frac{l (v_l + v_r)}{2 (v_r - v_l)}$$

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{l}$$



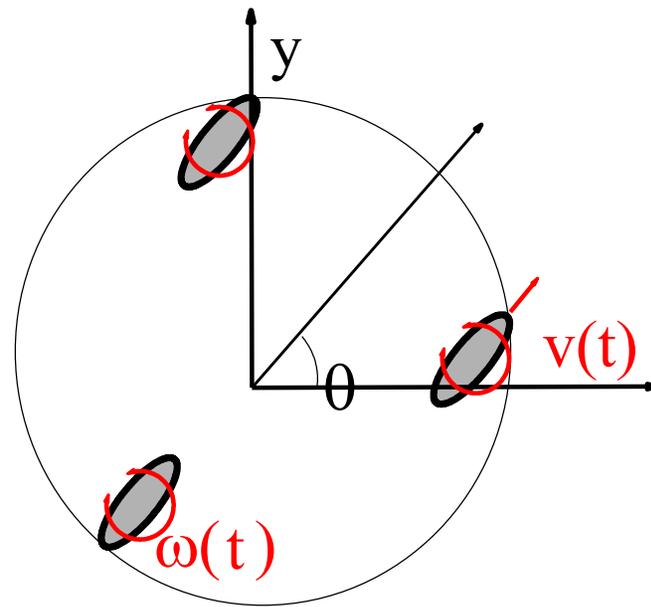


Posa dipendente dalla velocità

$$x(t) = \int_0^t v(t') \cos[\theta(t')] dt'$$

$$y(t) = \int_0^t v(t') \sin[\theta(t')] dt'$$

$$\theta(t) = \int_0^t \omega(t') dt'$$



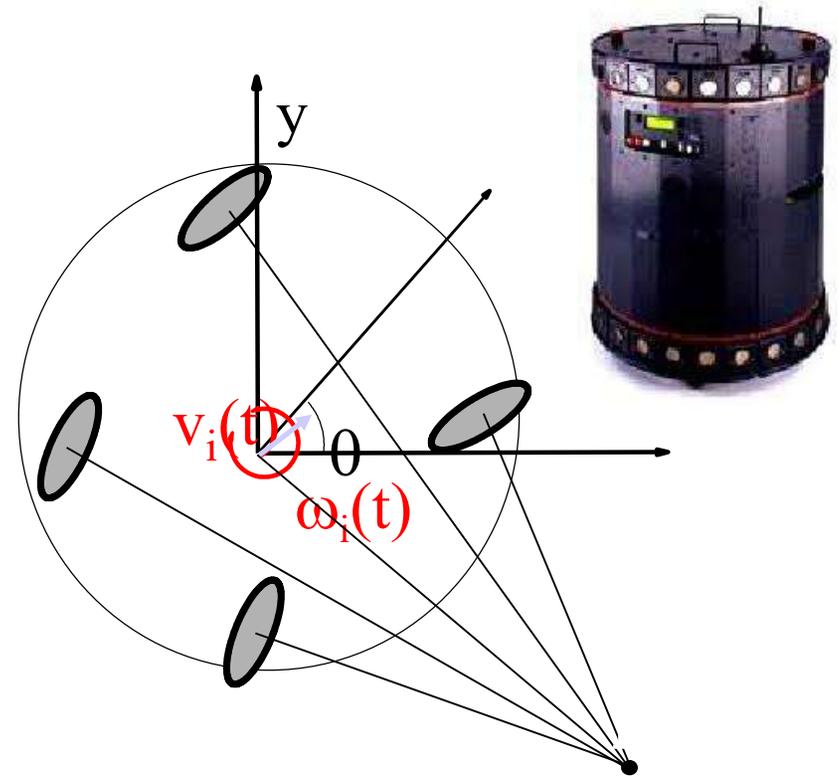
RHINO

Posa dipendente dalla velocità

$$x(t) = \int_0^t v(t') \cos[\theta(t')] dt'$$

$$y(t) = \int_0^t v(t') \sin[\theta(t')] dt'$$

$$\theta(t) = \int_0^t \omega(t') dt'$$



$$v_y = (v_0 + v_1 + v_2 + v_3) / 4$$

$$v_x = (v_0 - v_1 + v_2 - v_3) / 4$$

$$v_\theta = (v_0 + v_1 - v_2 - v_3) / 4$$

$$v_{error} = (v_0 - v_1 - v_2 + v_3) / 4$$





- Come si fa a sapere dove si deve andare?
- Come si fa a sapere dove si è?
- Problemi della localizzazione e dell'autolocalizzazione

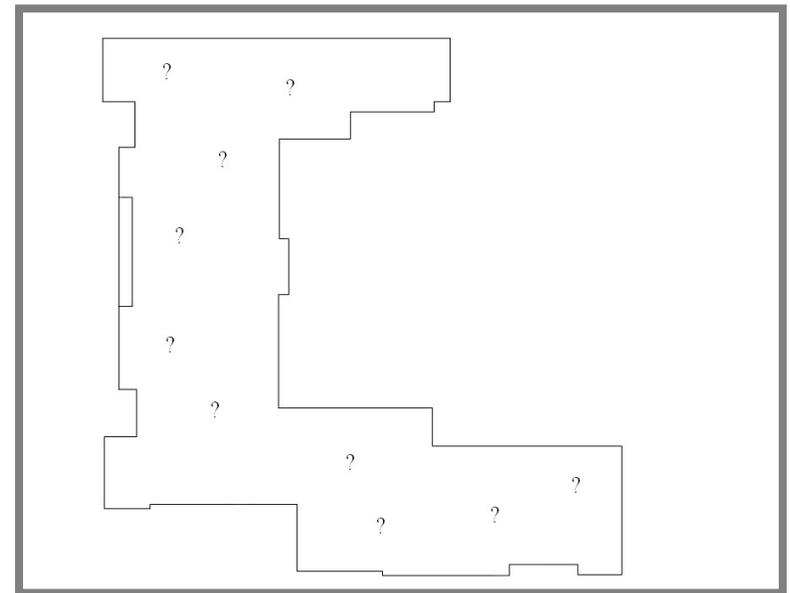
Robotica Mobile

Percezione

Materiale tratto da: Introduction to Mobile Robotics, Univ. of Freiburg (Prof. Dr. Wolfram Burgard, Dr. Cyrill Stachniss, Dr. Giorgio Grisetti, Dr. Maren Bennewitz) e Mobile Robotics, Univ. of Oxford (Prof. Paul Newman)



- Senza conoscere la propria posizione nell'ambiente, i compiti che un robot mobile è in grado di svolgere sono molto limitati.
- Un *sensore odometrico* può calcolare la posizione del robot nell'ambiente.
- Tutti i sensori montati su di un robot, in particolar modo l'odometro, sono soggetti ad imprecisione.





Un robot può localizzarsi:

- Misurando la propria posizione rispetto a punti di riferimento (Map-based positioning)
- Stimando la propria posizione in base al cammino fatto (dead reckoning)



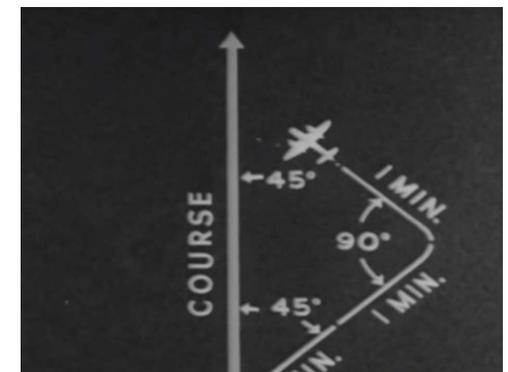
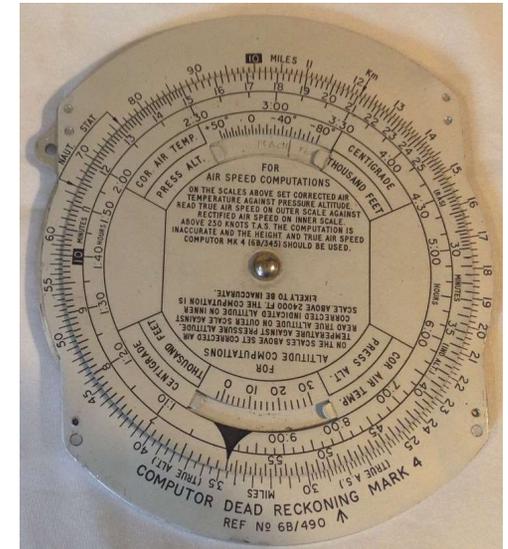
Termine derivante dal gergo dei piloti RAF:

- Deduced reckoning = Navigazione stimata
- Da una posizione di partenza nota, la posizione attuale si deduce integrando il cammino percorso

Occorre conoscere:

- Direzione e spazio percorso
- Direzione, velocità e tempo trascorso
- Accelerazione e tempo trascorso
- Altro ...

Gli errori sono cumulativi





Odometria: misura degli spostamenti del robot dai movimenti delle ruote

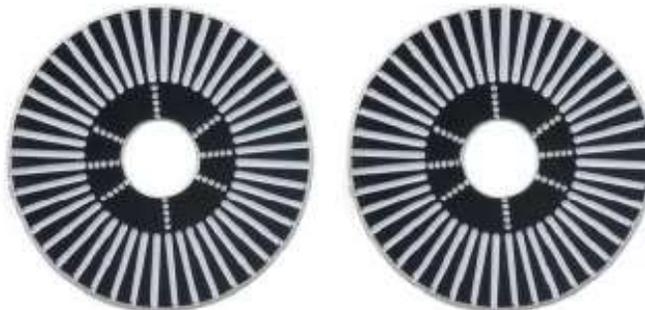
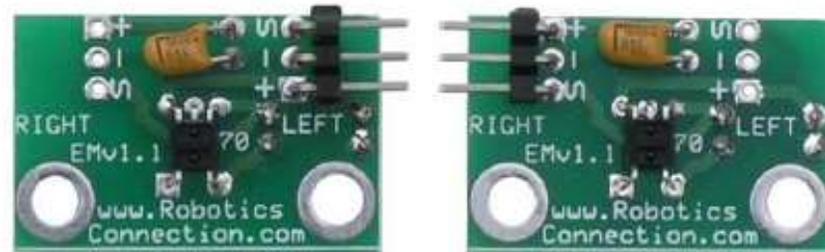
Misuratori di velocità (sonar a effetto doppler)

Sensori orientamento: Bussole (magnetiche, giroscopiche)

Accelerometri: Unidirezionali, Piattaforme inerziali



These modules require +5V and GND to power them, and provide a 0 to 5V output. They provide +5V output when they "see" white, and a 0V output when they "see" black.



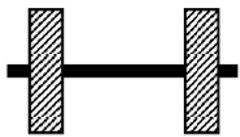
These disks are manufactured out of high quality laminated color plastic to offer a very crisp black to white transition. This enables a wheel encoder sensor to easily see the transitions.



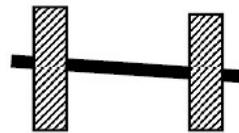
Odometria

Il tracciamento della posizione del robot non è affidabile. Errori accumulati:

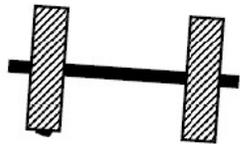
- scivolamenti,
- rotazioni,
- approssimazioni, etc.



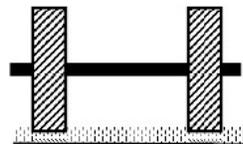
ideal case



different wheel diameters

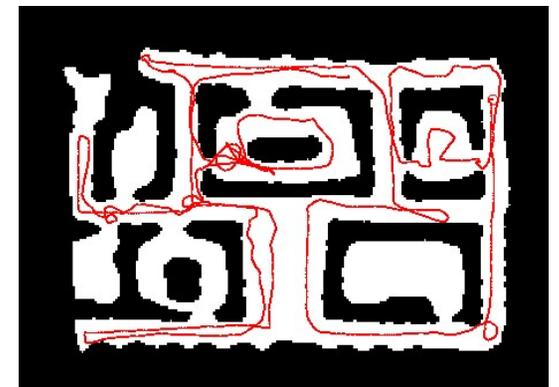
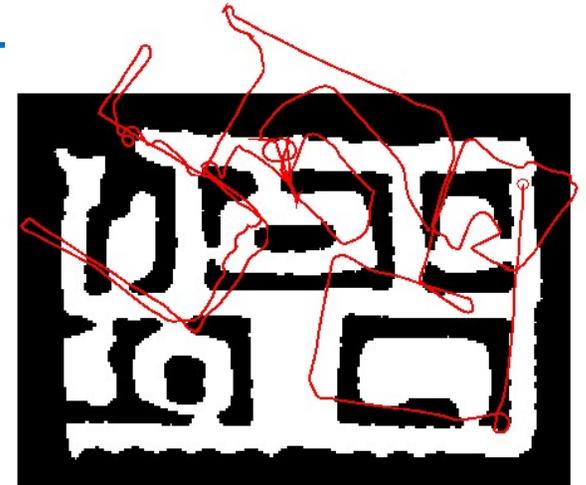
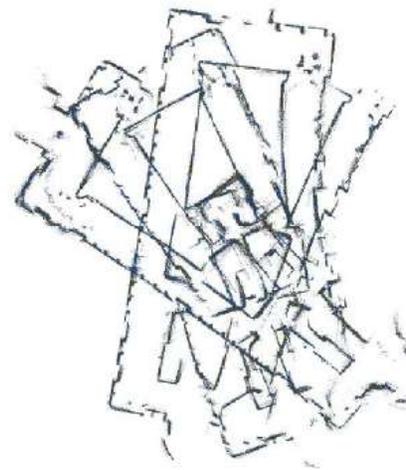


bump



carpet

and many more ...





Per permettere al robot di svolgere in maniera efficiente i propri compiti bisogna:

- Fornire una mappa dell'ambiente in cui deve operare.
 - PRO:** la mappa è estremamente precisa
 - CONTRO:** Il robot può operare solo in quel particolare ambiente
- Fornire gli strumenti adatti per creare autonomamente tale mappa.
 - PRO:** Il robot può operare in qualunque ambiente
 - CONTRO:** la mappa può risultare meno precisa



Problema del Positioning:

Posizionamento con mappe pre-esistenti;

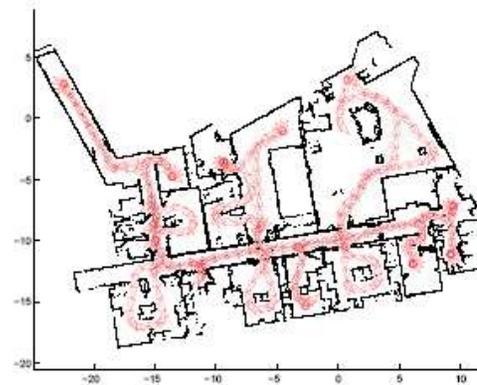
Problema SLAM:

Simultaneous Localization and Mapping: posizionamento in mappe costruite dal robot durante la navigazione.

Riconoscimento topologico e riconoscimento geometrico

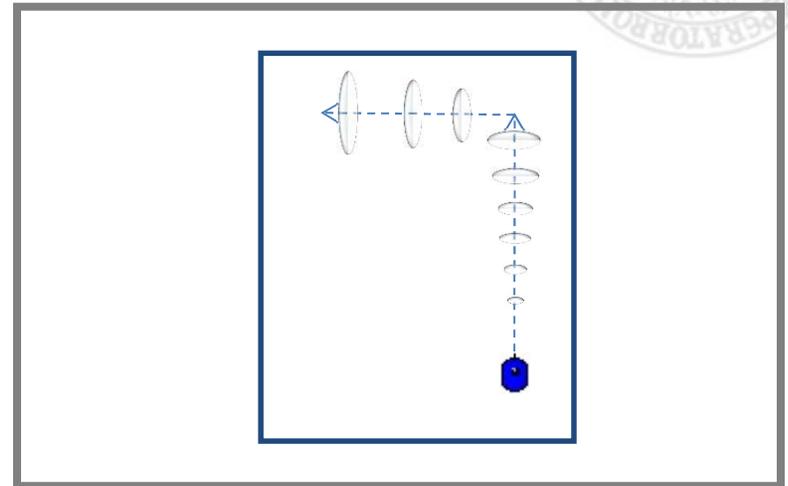
Landmark: oggetti rilevanti, punti salienti

- Fissi;
- Facili da trovare;
- Posizionabili sulla mappa.

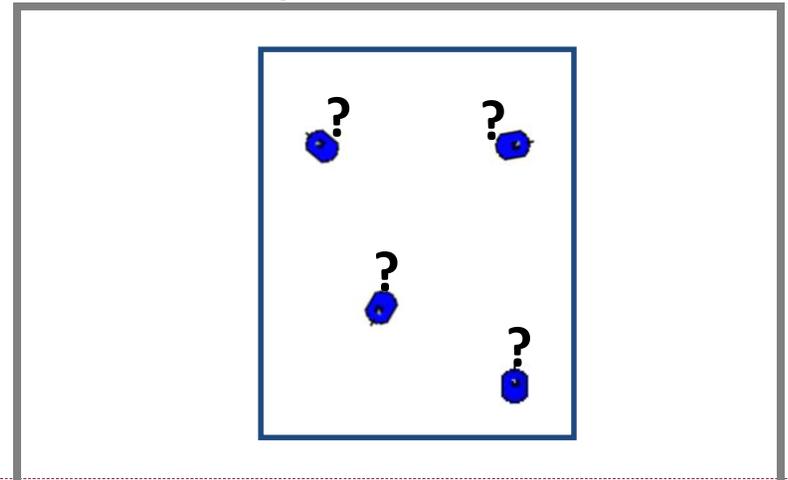




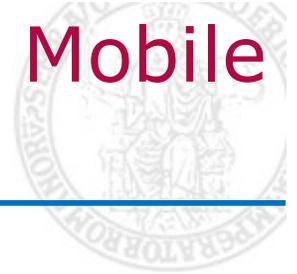
- Position Tracking
 - Posizione iniziale nota
 - Incertezza posizionale locale
- Global Localization
 - Posizione iniziale sconosciuta
 - Incertezza posizionale globale
 - Kidnapped Robot



Position Tracking



Global Localization



- Sensori di Contatto:
 - Bumpers, sensori tattili
 - Sensori Interni:
 - Inertial Measurement Unit - IMU (Orientamento e accelerazione)
 - Wheel encoders (odometria)
 - Sensori di Prossimità:
 - Sonar (tempo di volo)
 - Radar (fase e frequenza)
 - Laser range-finders (triangolazione, tof, fase)
 - Sensori Visuali:
 - Telecamere (localizzazione, mapping, classificazione, interpretazione)
 - RGB-D (localizzazione, mapping, classificazione interpretazione)
 - Sensori Satellitari:
 - GPS (localizzazione)
-



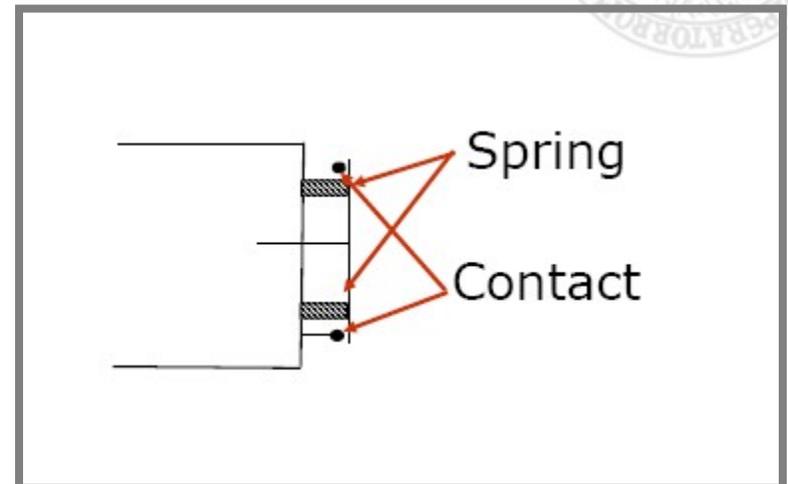
- **Sensori Attivi:**

- Ultrasuoni;
- Laser Range Finder;
- Infrarosso;
- RGB-D

- **Sensori Passivi:**

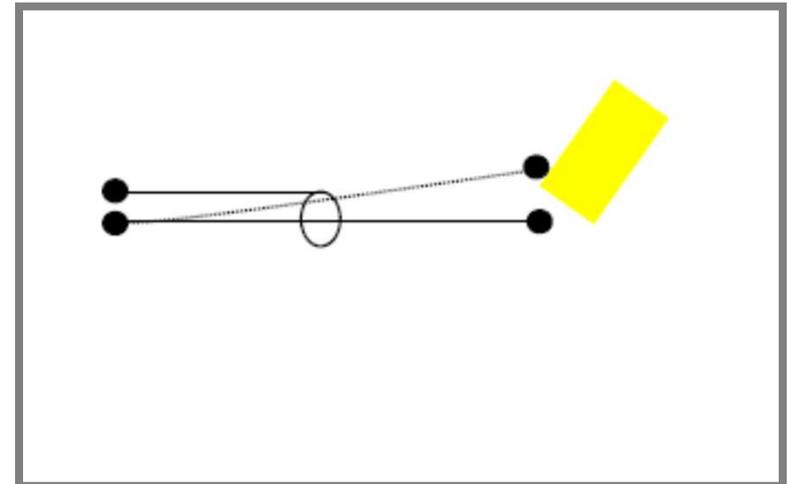
- Telecamera;
 - Contatto;
 - ...
-

- **Bumper:**



- **Sensori tattili:**

Un sensore tattile risponde o riceve segnali o stimoli che dipendono da una pressione, forza, temperature etc.



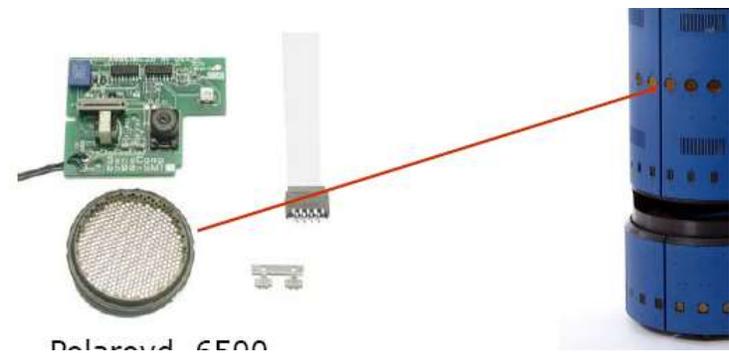
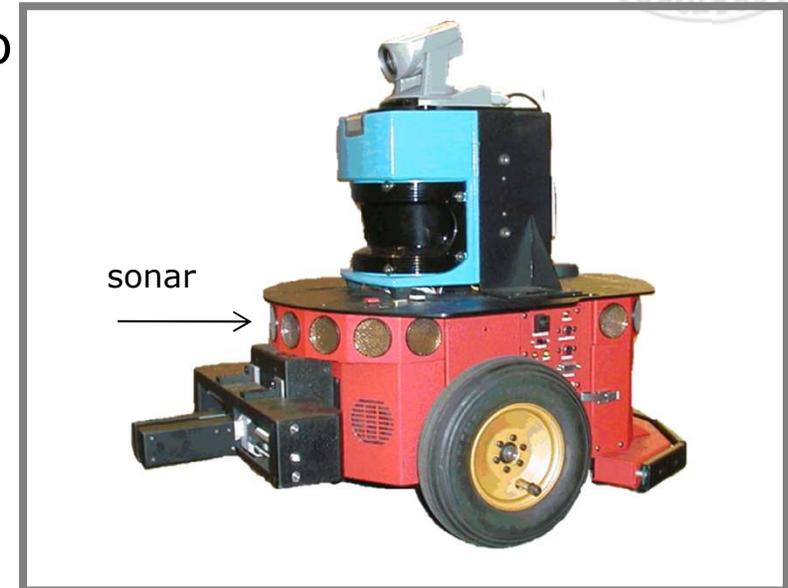
Emettono un segnale ad ultrasuono

- Attesa eco
- Calcolo tempo di volo
- Distanza:

$$d = v \times t / 2$$

v: velocità del segnale

t: tempo passato dalla diffusione del segnale ed eco ricevuto.



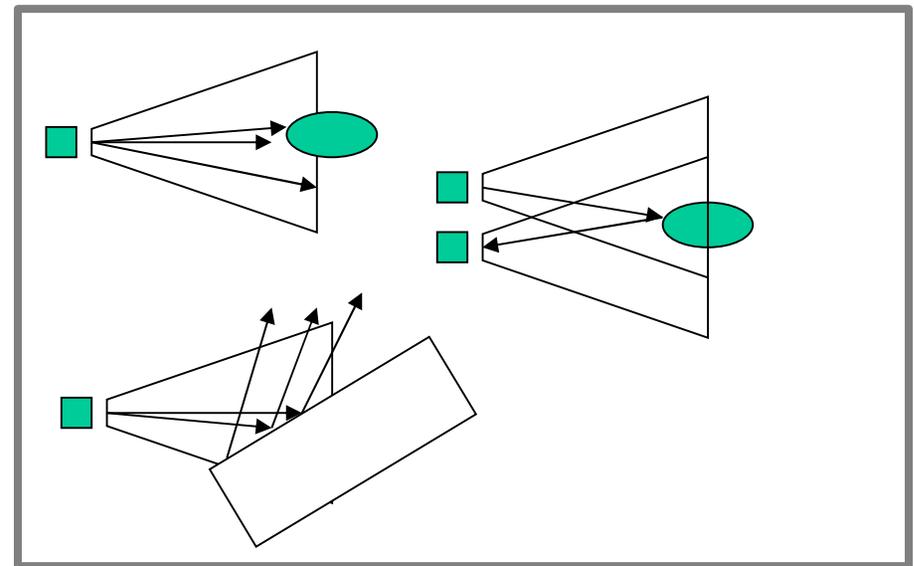
Hokuyo UR-DLX



Cause di errore:

- Angolazione
- CrossTalk
- Riflessione Speculare
- Assorbimento

- Angoli di 15 gradi
- 24 sensori per 360 gradi.
- Se range massimo di 10m
- Tempo di volo: $2 \cdot 10 / 330 = 0.66 \text{sec}$
- Scan completo: 1.45 secs
- Per update più frequenti sensori paralleli.
- Questo aumenta il crosstalk



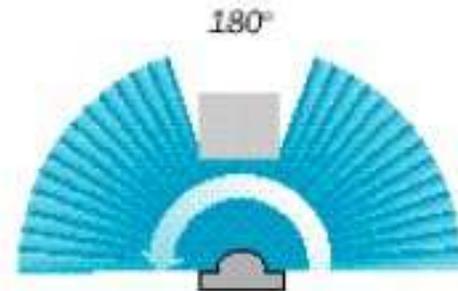
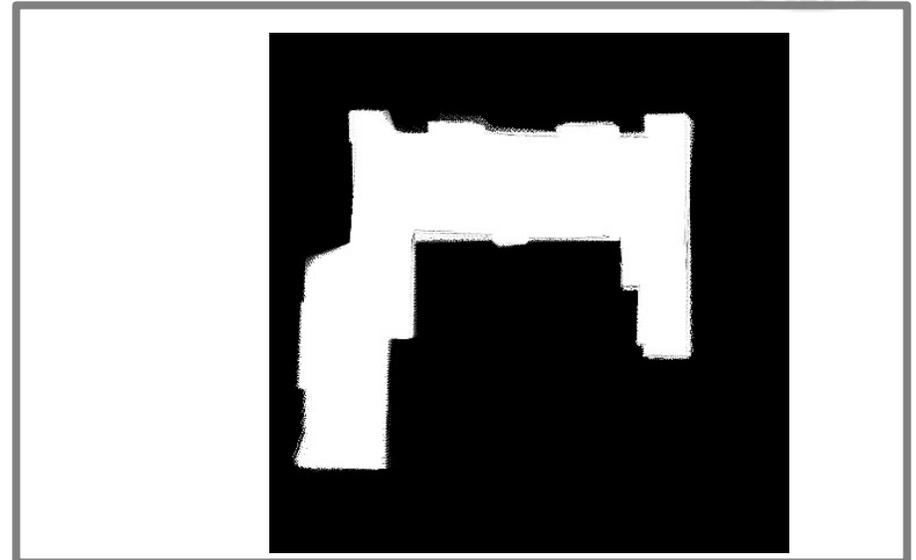
Cause di errore sonar

- Misura la distanza di oggetti
- Tof (phase-shift measurement)
- Alta precisione
- Ampio campo di vista
- Sicurezza nel collision avoidance



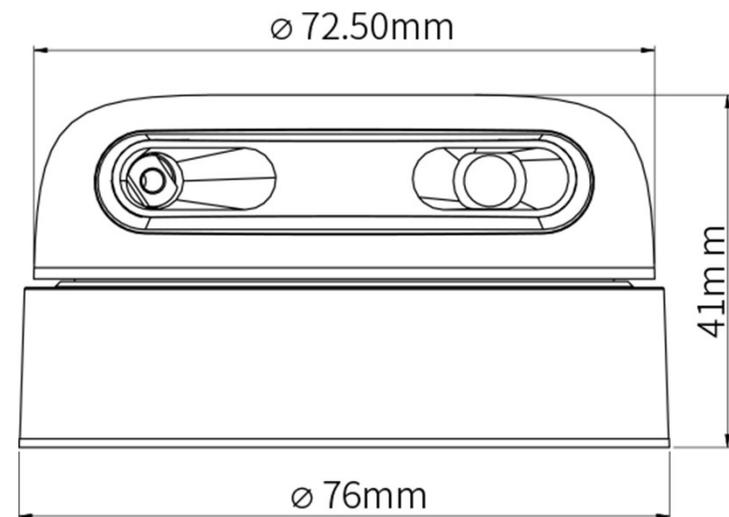


- Tipico profilo di un Range Scanner Laser (SICK su robot mobile)
- Es. SICK LRS:
oltre 180 gradi e fino a 80 metri,
risoluzione angolare da 1...0.25 gradi.
Scan data di 181 scan points a
distanza di un grado. Tempo di risposta
13...53 ms





- RPLIDAR A2:
360 gradi, detection range 0.15 - 12/18 m,
Sampling 2000 – 8000 Hz, Scan Freq. 5 – 10 Hz
Ang. res. 1 degree, Hight 41 mmm, Width 76 mm, Weight 190 g



LiDAR (Light Detection and Ranging)