



Robotica Mobile

Locomozione

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

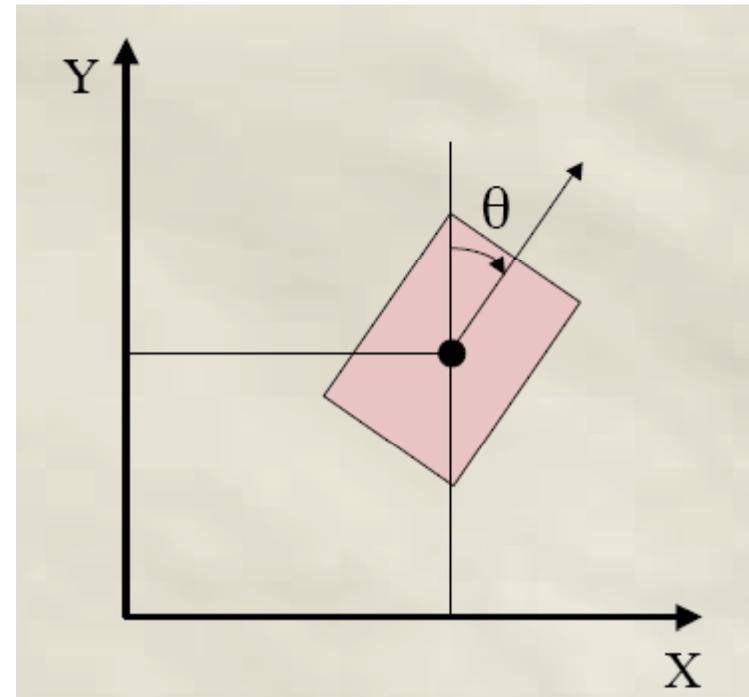
Mezzo di spostamento:

Ruote, Cingoli, Zampe, Altro

Numero di punti di appoggio:

Tre, Quattro, Sei, Altro

- Consideriamo Robot per mobilità di superficie;
- Tre gradi di libertà:
 - x , y , Θ (azimuth)





- 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
 - Asse ruota con il movimento sul terreno

- **Robot anolonomo**

- Può raggiungere qualunque posizione del suo spazio di lavoro, ma non in qualunque modo (automobile)

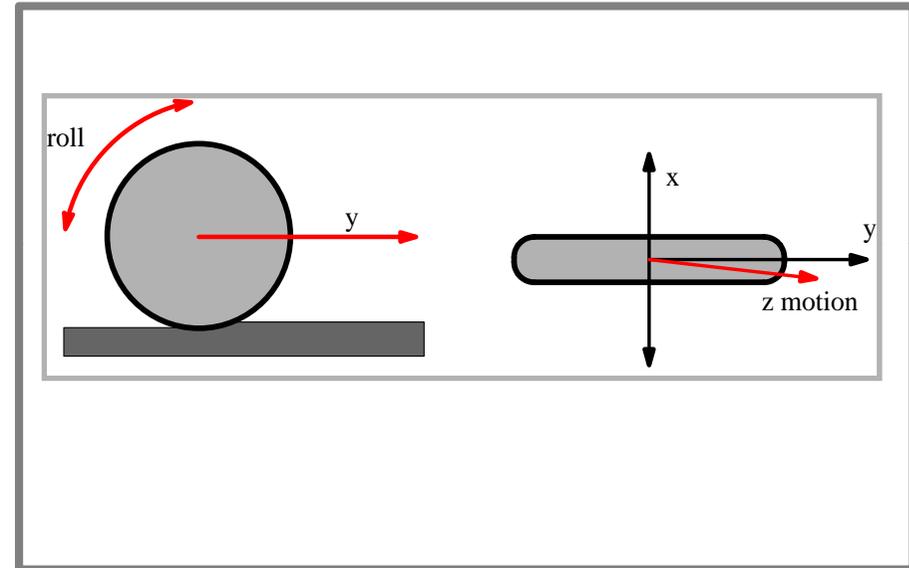


- **Robot oloonomo**

- Può raggiungere qualunque posizione (X, Y, θ) seguendo qualunque percorso (sul suo spazio di lavoro) (treno su rotaie)

A vehicle is holonomic if the number of local degrees of freedom of movement equals the number of global degrees of freedom.

- Guida Differenziale (AmigoBot, Pioneer 2-DX):
 - 2 ruote motrici indipendenti e una pivotante;
- Guida Macchina (Ackerman steering):
 - 4 ruote con sterzo
- Sincrono:
 - 3 ruote motrici collegate e strezanti;
- Ruote omniridirezionali (mecanum):
 - 3 Ruote fisse

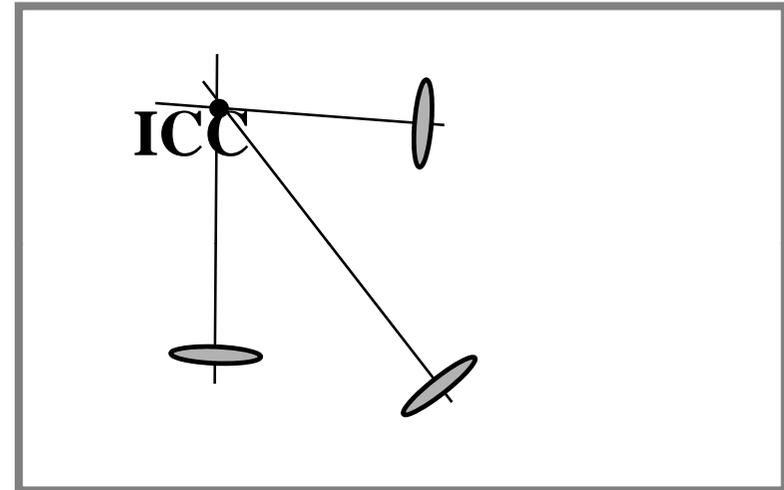


Locomozione su ruote



Centro Istantaneo di Curvatura

Ogni ruota ha il suo asse.
Gli assi devono convergere su un centro istantaneo di curvatura (**ICC**).



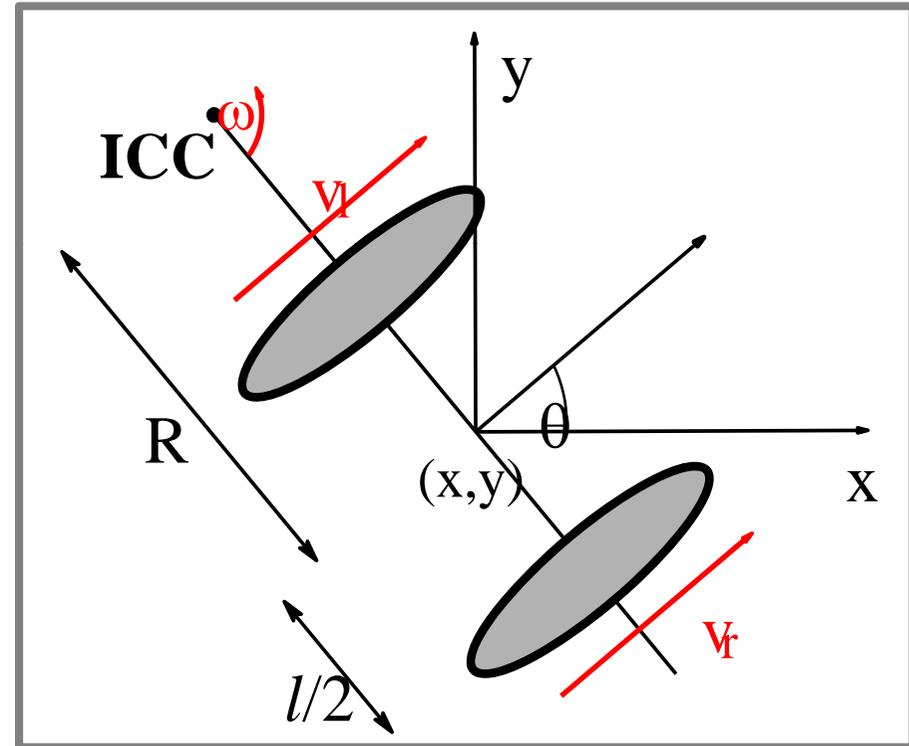
$$\text{ICC} = [x - R \sin \theta, y + R \cos \theta]$$

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

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

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

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



Cinematica diretta:

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

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

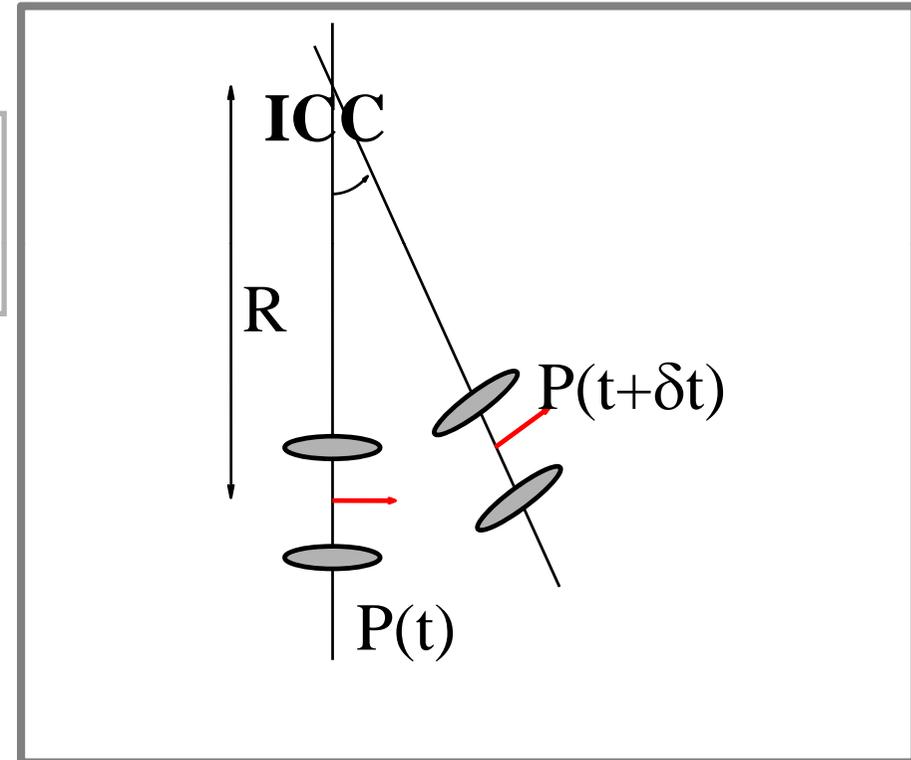
$$y(t) = \int_0^t v(t') \sin[\theta(t')] dt'$$

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

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

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

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



ICC, w. R

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

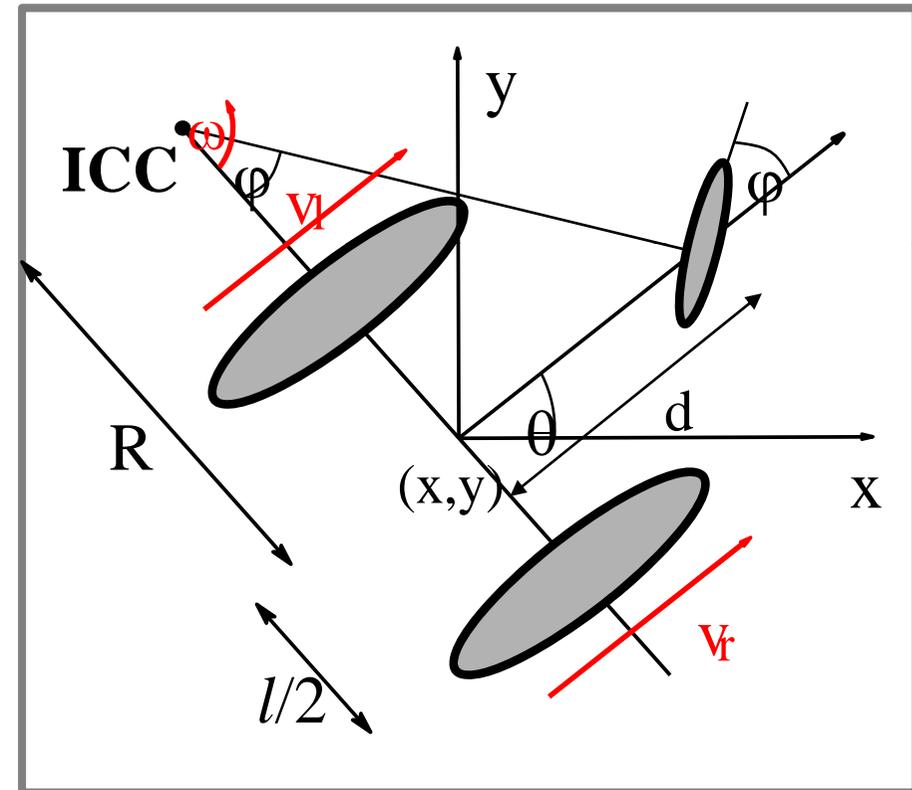
$$R = \frac{d}{\tan \varphi}$$

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

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

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

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

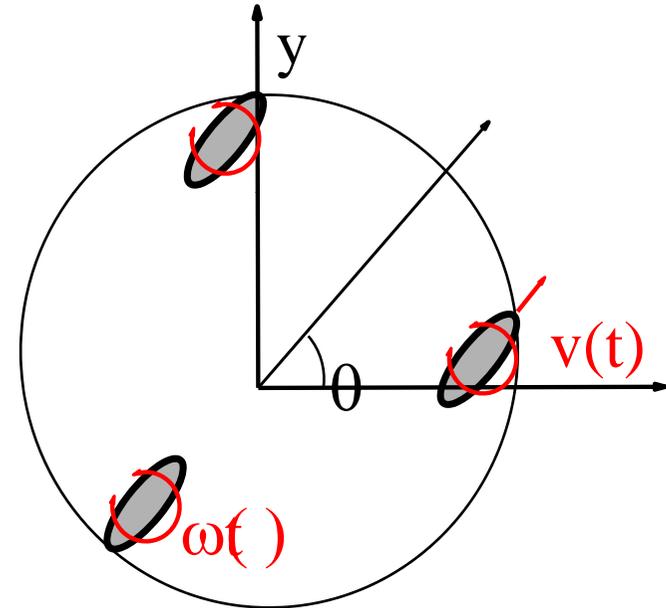


Posa dipendente dalla velocità

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

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

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

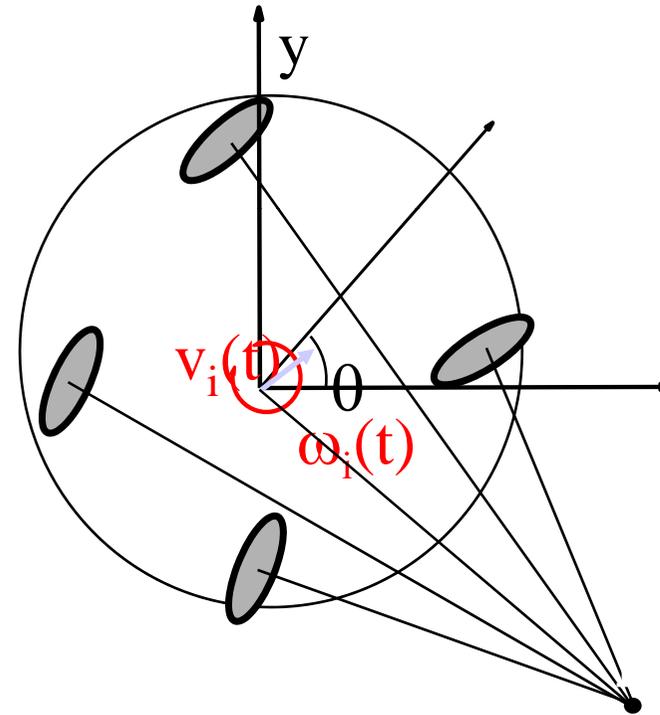


Posa dipendente dalla velocità

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

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

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



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

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

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

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





Vincoli Non-olonomici limitano i movimenti incrementali nello spazio delle configurazioni del robot

Robot con drive differenziale o sincrono si muovono su traiettorie circolari ma non lateralmente

XR-4000 o le ruote Mecanum possono muoversi lateralmente.



Vincoli non-olonomici riducono lo spazio di controllo rispetto alla configurazione attuale (es., il movimento laterale non è possibile).

Vincoli olonomici riducono lo spazio delle configurazioni.



Come si fa a sapere dove si deve andare?

Come si fa a sapere dove si è?

Problemi della localizzazione e dell'autolocalizzazione