

## *Robotica – Robot Industriali e di Servizio*

### *Lezione 22: Il problema della localizzazione*



5 maggio 2014

## *Sensori di campo magnetico (bussole)*



⇒ Il campo magnetico terrestre permette misure estremamente precise, ma:

- C'è solo sulla Terra;
- Si sposta nel tempo (declinazione “temporale”);
- Non è diretto verso il nord geografico (declinazione “zonale”);
- È deviato da materiali magnetici fissi (declinazione “locale”);
- È deviato da materiali magnetici mobili (declinazione “accidentale”);
- È deviato dallo stesso robot (deviazione di bussola)

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 2

## Bussole elettroniche

- ⇒ È certamente possibile costruire una bussola elettronica prendendone una tradizionale, collegandola ad un encoder assoluto e leggendone i segnali, ma si può fare molto meglio...
- ⇒ ...costruendo bussole a stato solido, senza alcuna parte in movimento

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 3

## Bussole "fluxgate"

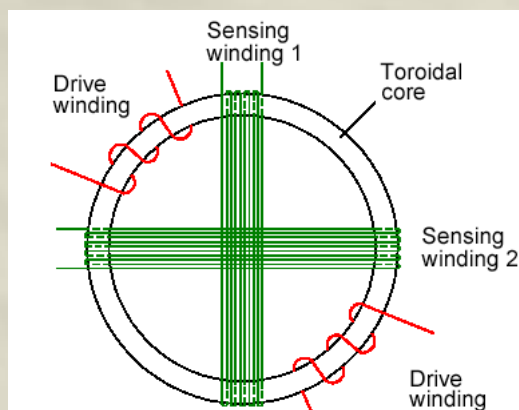


Figure 2.18: Two channel ring core fluxgate with toroidal excitation. (Adapted from [Acuna and Pellerin, 1969].)

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 4

### *Altre bussole magnetiche:*

- ⇒ Basate su sensori a effetto Hall
- ⇒ Basate su sensori magnetoresistivi
- ⇒ Altri sistemi
- ⇒ Sono ormai molto, molto economiche

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 5

### *Sistemi inerziali*

- ⇒ Per evitare i problemi connessi con il campo magnetico, facciamo ricorso a sistemi che sfruttano le leggi della meccanica, in particolare l'inerzia dei corpi

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 6

## *Un giroscopio...*

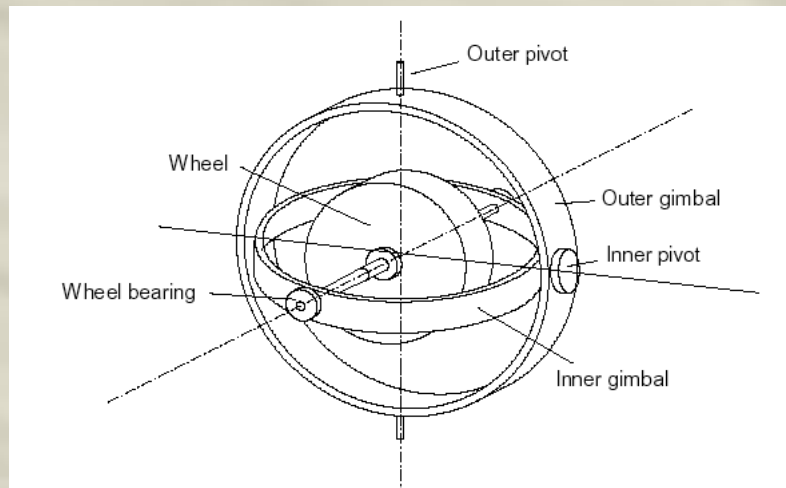
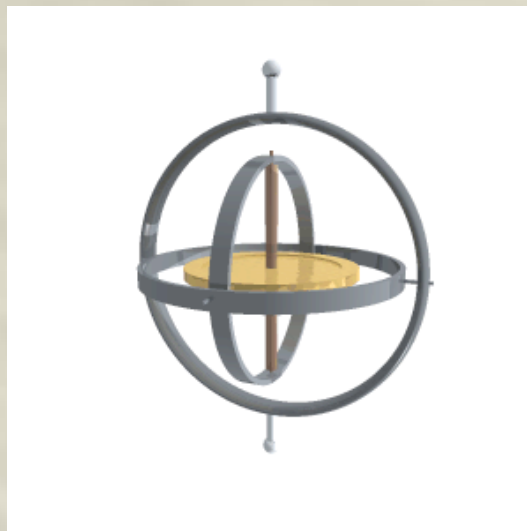


Figure 2.1: Typical two-axis mechanical gyroscope configuration [Everett, 1995].

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 7

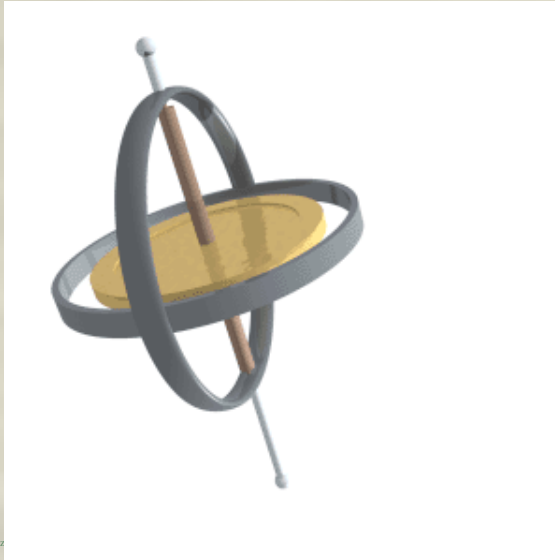
## *Il giroscopio si mantiene sempre parallelo a se stesso*



Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 8

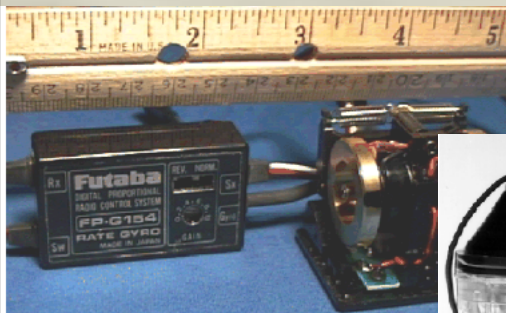
## La precessione:



Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 9

## Giroscopi meccanici



**Figure 2.2:** The Futaba FP-G154 miniature mechanical gyroscope for radio-controlled helicopters. The unit costs less than \$150 and weighs only 102 g (3.6 oz).



**Figure 2.3:** The Gyration GyroEngine compares in size favorably with a roll of 35 mm film (courtesy Gyration, Inc.).

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 10

### *Giroscopi piezoelettrici*

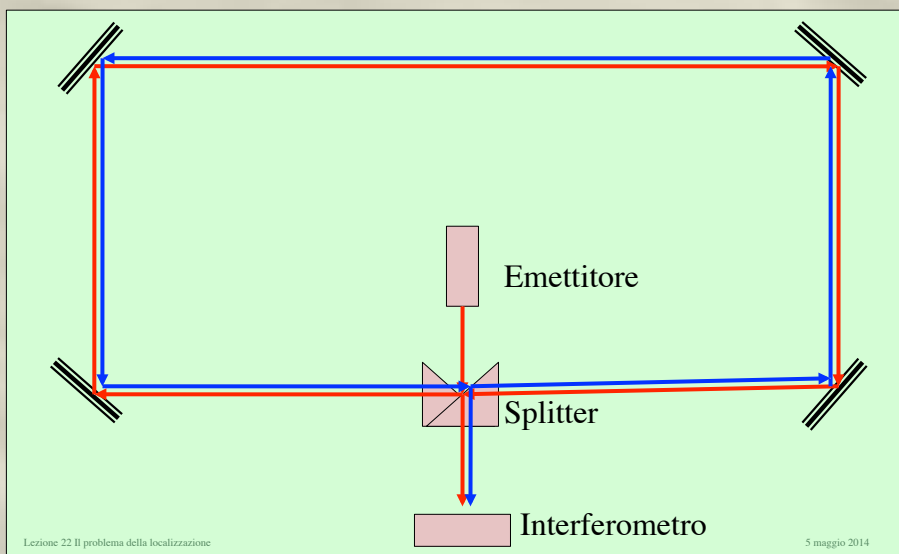


**Figure 2.4:** The Murata Gyrostar ENV-05H is a piezoelectric vibrating gyroscope. (Courtesy of [Murata]).

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 11

### *Giroscopi ottici:*



Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 12

## *Giroscopi ottici*

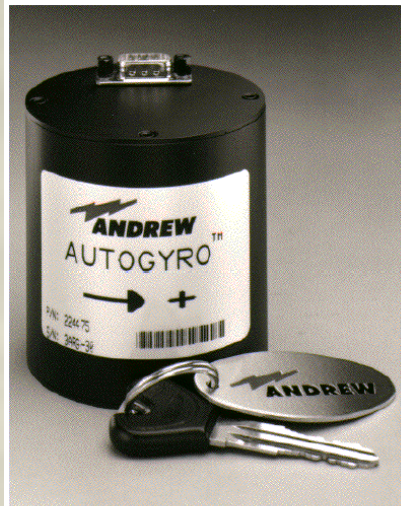


Figure 2.11: The Andrew Autogyro Model 3ARG.  
(Courtesy of [Andrew Corp].)

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 13

## *Usando i giroscopi, non dimentichiamo che...*

- ⇒ Il giroscopio mantiene costante la posizione del proprio asse
- ⇒ Costante rispetto alle stelle fisse!
- ⇒ Ma la Terra gira
- ⇒ Occorre periodicamente correggere il giroscopio
- ⇒ Anche i giroscopi sono ormai molto economici

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 14

## *Conclusione preliminare sul dead reckoning*

- ⇒ La sola odometria fornisce risultati “probabilistici”, la cui incertezza aumenta con l’andar del tempo;
- ⇒ Questa incertezza può essere ridotta utilizzando più sensori diversi
  - Ma occorrono metodi per combinare informazioni potenzialmente contraddittorie
- ⇒ Occorre ricalibrare periodicamente la posizione del robot effettuando una localizzazione assoluta

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 15

## *Il map-based positioning*

- ⇒ Basato su osservazioni, non su stime
- ⇒ Richiede il possesso di una mappa (rappresentazione geometrica dell'ambiente di lavoro del robot), altrimenti non serve a niente.

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 16



## *Metodi per il map-based positioning*

- ⇒ Innumerevoli combinazioni e possibilità
- ⇒ Le mappe possono essere pre-esistenti, o costruite dallo stesso robot (SLAM – Self Localization And Mapping)
- ⇒ Dobbiamo distinguere fra “riconoscimento topologico” e “riconoscimento geometrico”

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 17

## *I punti cospicui (Landmark)*

- ⇒ Oggetti
  - Fissi
  - Facilmente individuabili e riconoscibili senza incertezze
  - Individuati sulle mappe
- ⇒ Ad esempio:
  - *Fari, campanili, antenne TV, vette di montagne*
  - Landmark riconoscibili otticamente
  - Beacon attivi
  - Beacon passivi (riflettori)
  - Transponder

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 18

## Il luogo di posizione

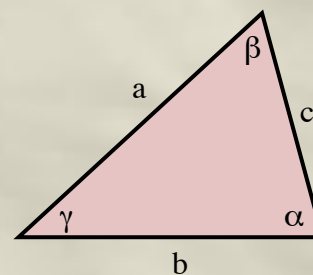
- ⇒ Insieme dei punti che godono della stessa proprietà rispetto a uno o più punti cospicui
  - Retta di rilevamento
  - Cerchio di uguale distanza
  - Cerchio capace
- ⇒ Possono essere rette o semirette, iperboli, cerchi o superfici sferiche

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 19

## Un triangolo...

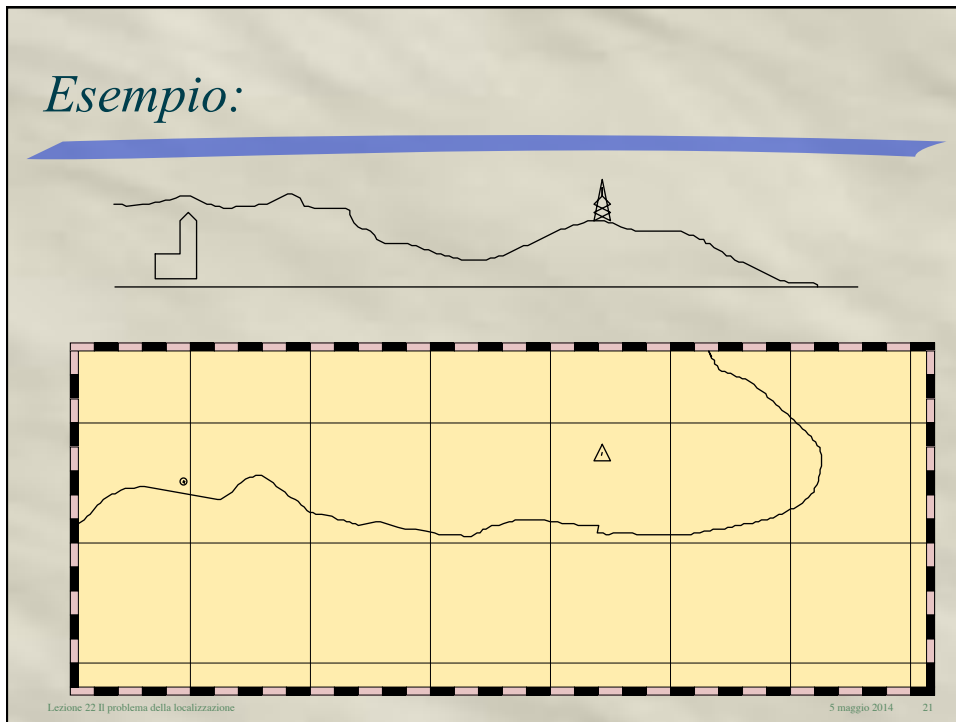
- ⇒ Può essere risolto se si conoscono tre dei suoi sei elementi costitutivi (lati e angoli) fra cui almeno un lato;
- ⇒ Se si conosce la posizione di due vertici può anche essere **situato**;
- ⇒ (Se si conosce la posizione di due vertici si conosce anche un lato;)
- ⇒ Se si misurano gli angoli si parla di **triangolazione**
- ⇒ Se si misurano le lunghezze dei lati si parla di **trilaterazione**
- ⇒ Ci sono soluzioni miste (un lato e due angoli, ecc.)



Lezione 22 Il problema della localizzazione

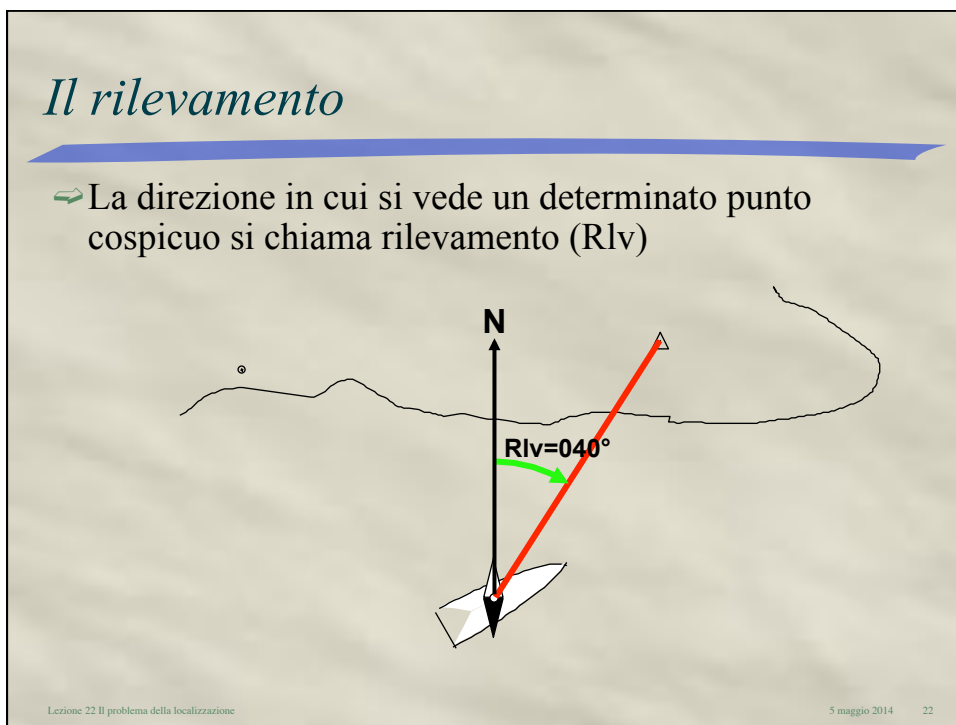
5 maggio 2014 20

### *Esempio:*



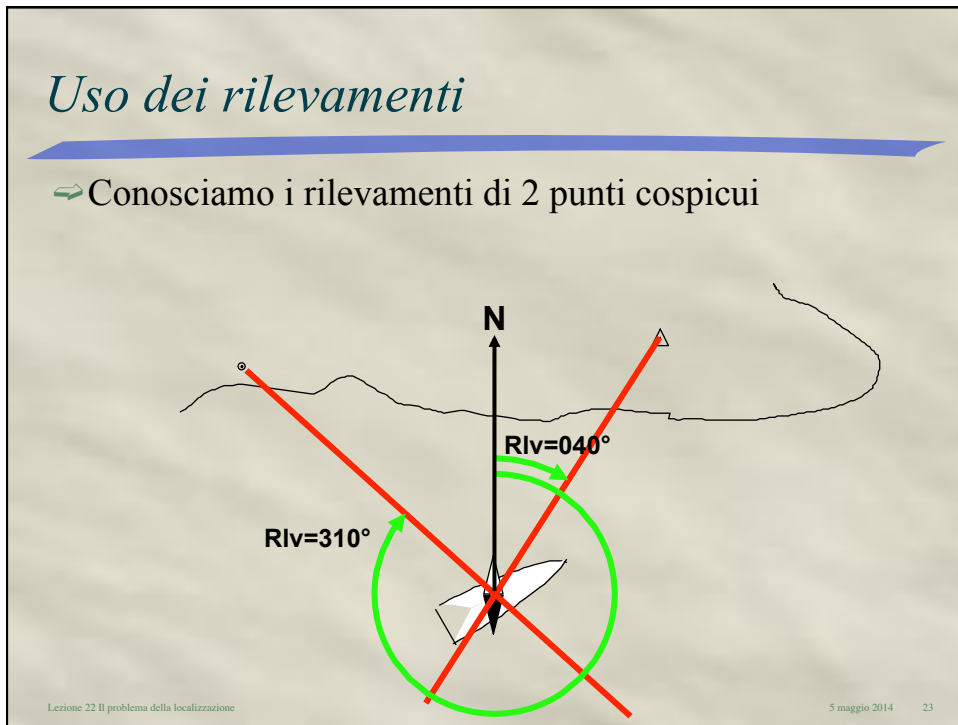
### *Il rilevamento*

⇒ La direzione in cui si vede un determinato punto cospicuo si chiama rilevamento (Rlv)

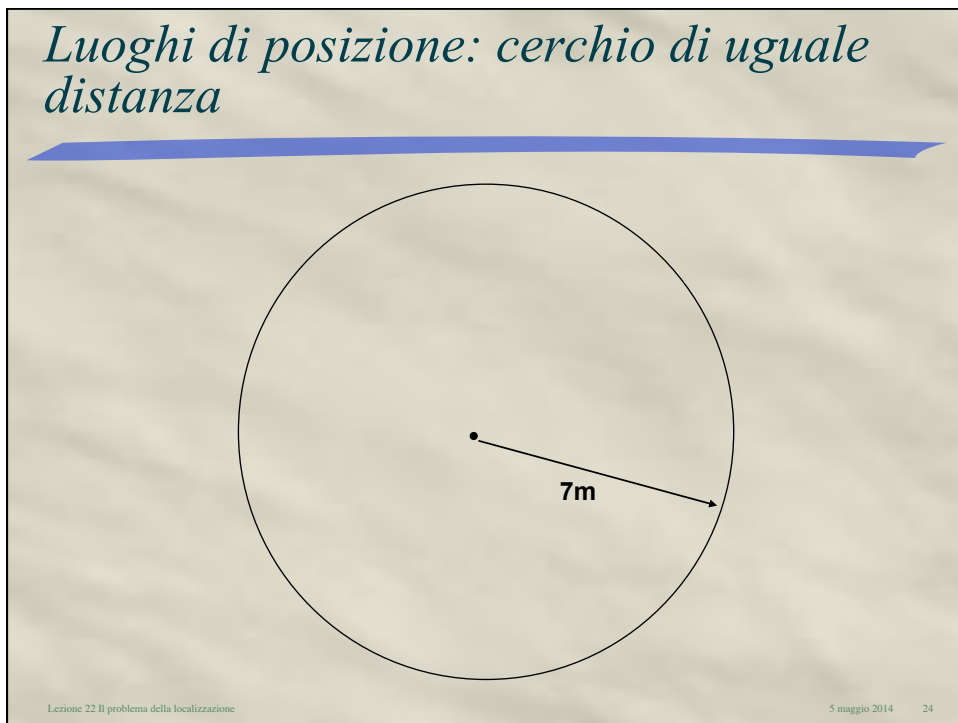


## Uso dei rilevamenti

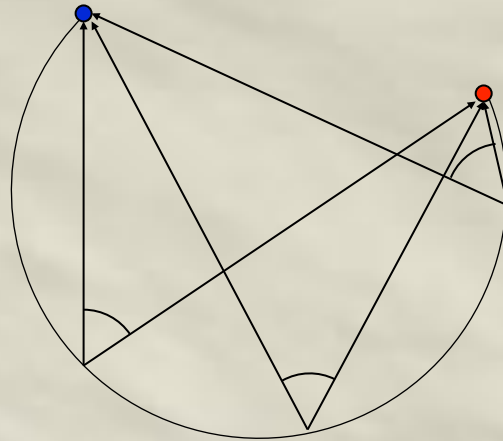
⇒ Conosciamo i rilevamenti di 2 punti cospicui



## Luoghi di posizione: cerchio di uguale distanza



## *Luoghi di posizione: ~~cercchio~~ arco capace*



Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 25

## *Teorema:*

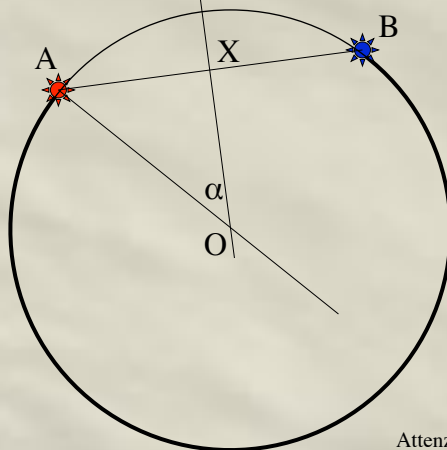
- ⇒ Su un piano, il luogo dei punti da cui due punti dati, A e B, sono visti sotto un determinato angolo orientato  $\alpha$  è un arco di circonferenza avente come estremi i punti A e B.

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 26

## Costruzione di un arco capace

Vedo i landmark A e B sotto un angolo di  $\alpha$  gradi



Per due punti A e B passano infinite circonferenze, aventi tutte il centro sull'asse del segmento AB: Il centro dell'arco capace deve stare sull'asse del segmento che li congiunge

L'angolo al centro è il doppio del corrispondente angolo alla circonferenza: l'angolo BOA deve essere  $2\alpha$

Il triangolo AXO è rettangolo in X: traccio l'angolo  $\text{BAO} = 180^\circ - 90^\circ - \alpha$

Traccio la circonferenza con centro in O e raggio OA

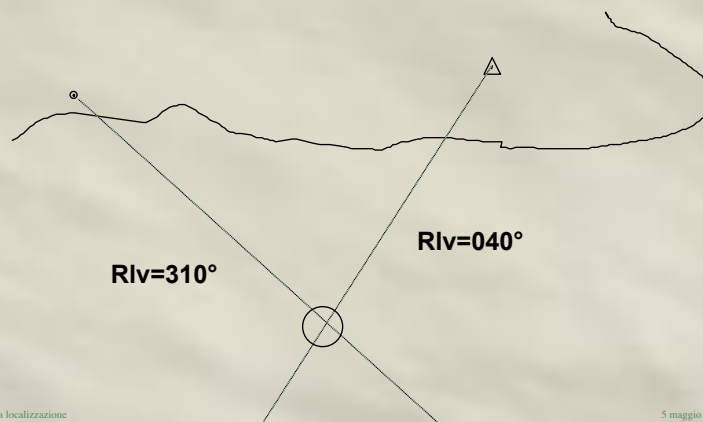
Attenzione: l'angolo AOB è un angolo orientato!

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 27

## Il punto rilevato

⇒ Il punto rilevato (PR) è dato dall'intersezione di due luoghi di posizione, anche di tipo diverso, scelti opportunamente



Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 28

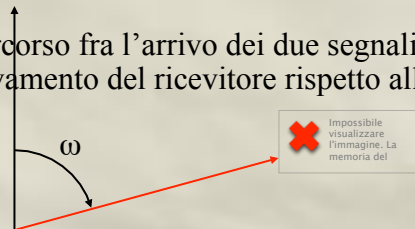
## Il principio del VOR

### ⇒ Stazione fissa:

- Un emettitore di energia direzionale (continuo), che ruota intorno ad un asse verticale a vel. Costante e nota
- Un emettitore omnidirezionale (pulsante), emette un impulso ogni volta che quello direzionale è diretto verso nord
- Per eliminare l'ambiguità, occorre che i due segnali siano distinguibili

### ⇒ Stazione mobile:

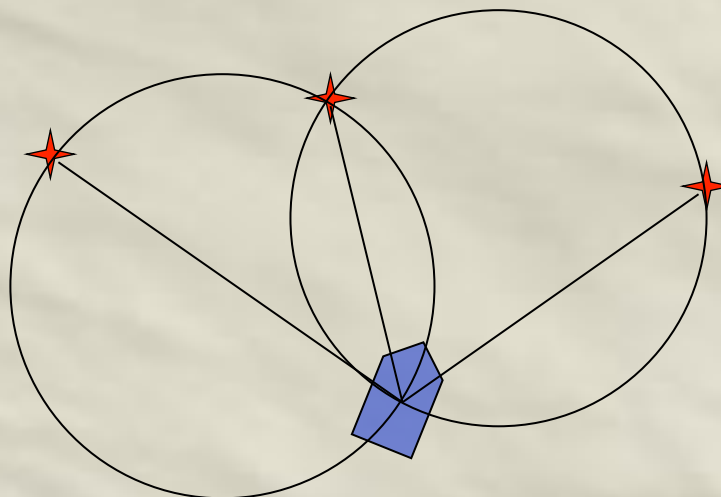
- Misura il tempo intercorso fra l'arrivo dei due segnali, proporzionale al rilevamento del ricevitore rispetto alla stazione fissa



Lezione 22 Il problema della localizzazione

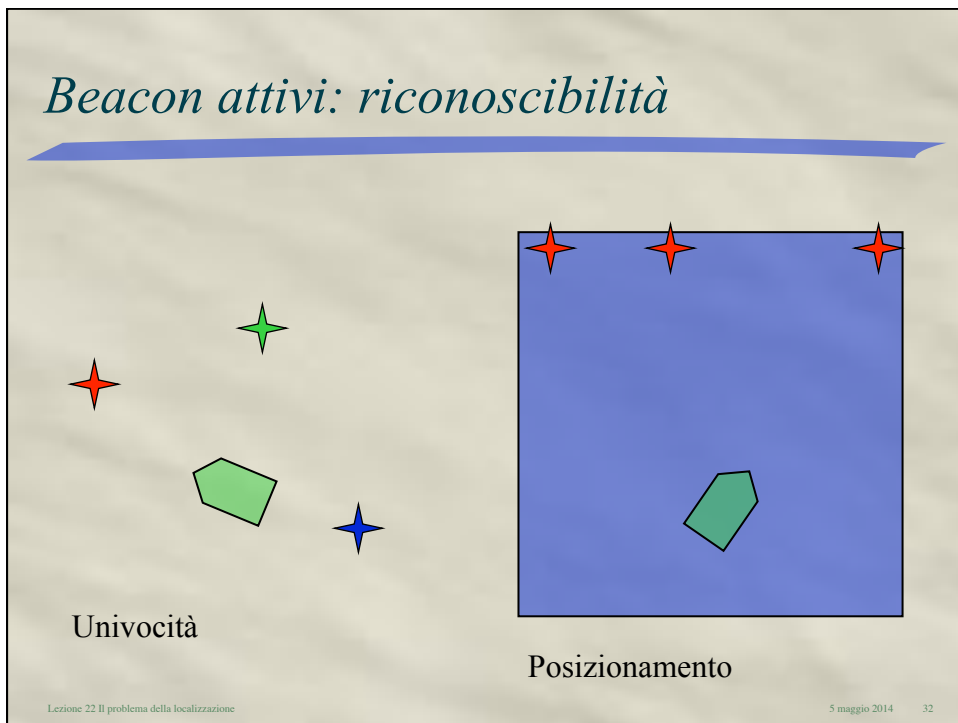
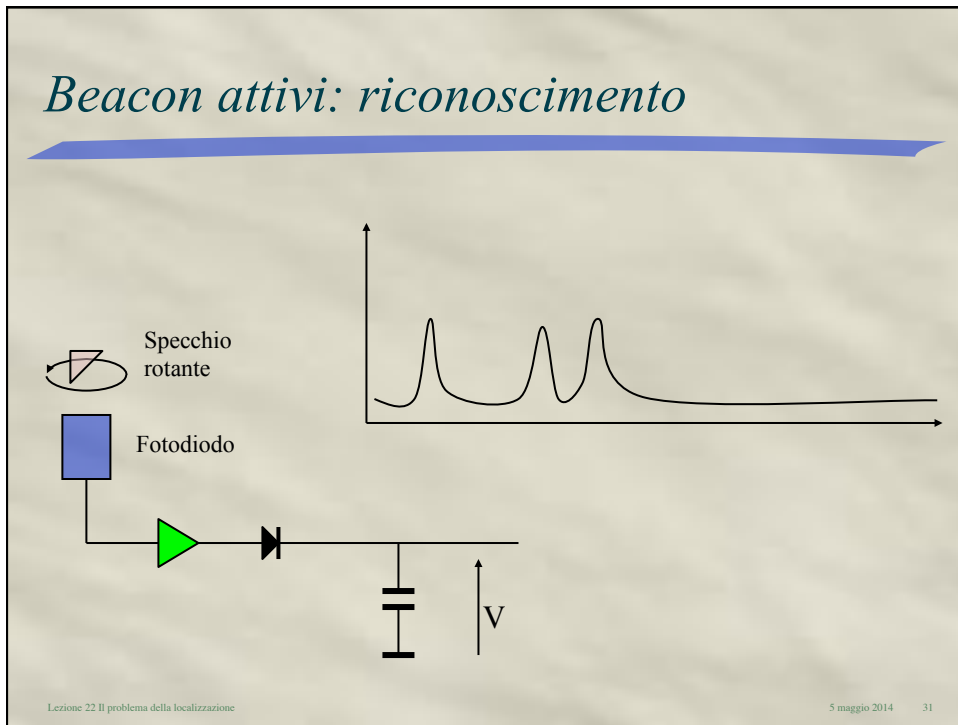
5 maggio 2014 29

## Beacon attivi: principio generale



Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 30





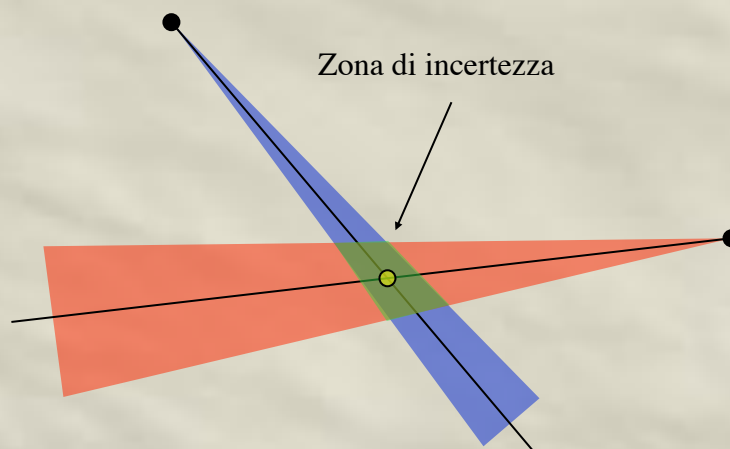
## *Combinazioni usate*

- ⇒ Beacon attivi (IR, eventualmente modulato)
- ⇒ Beacon passivi (catarifrangenti), eccitati da lama (verticale) di luce laser rotante a velocità costante
- ⇒ Transponder: ricevono luce laser (lama verticale) rotante a velocità costante; rispondono con impulsi radio (identificabili)

Lezione 22 Il problema della localizzazione

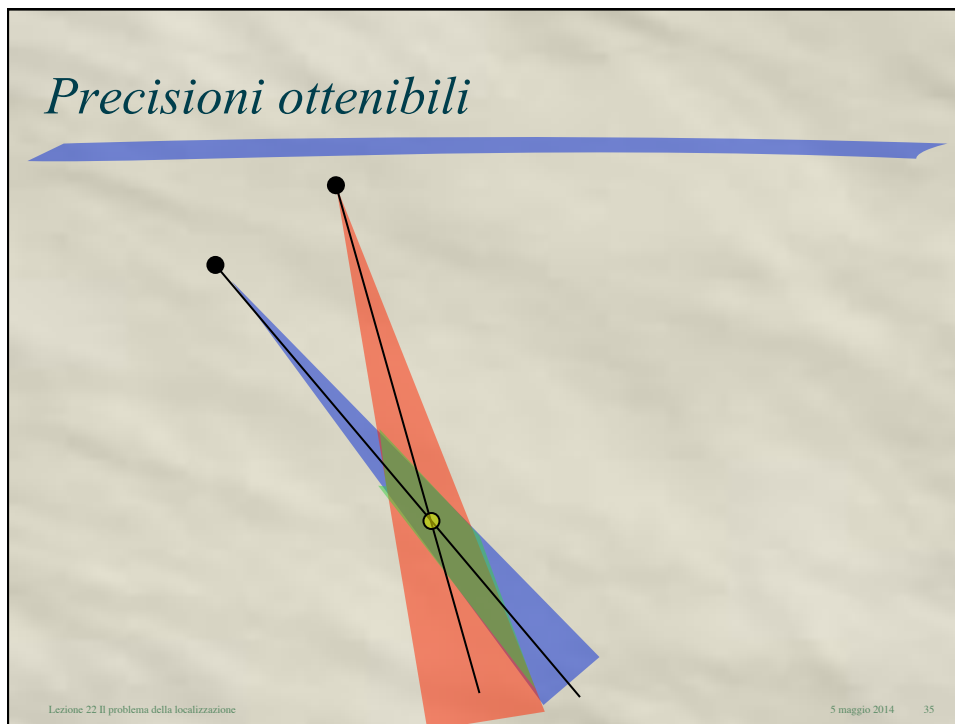
5 maggio 2014 33

## *Precisioni ottenibili*



Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 34



### *La precisione necessaria*

⇒ Nei robot autonomi la precisione della localizzazione non deve essere molto alta:

- Nei robot per interni si tollerano errori di qualche decina di mm
- Nei robot per esterni si tollerano errori di qualche metro
- In genere è sufficiente portare il robot “nei dintorni” del goal
- Poi si usano altri sistemi per l’avvicinamento finale (ammesso che serva)
  - Ottici
  - Meccanici

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 36


## *Se invece vogliamo usare la trilaterazione...*

- ⇒ Occorrono dei misuratori di distanza
  - Transponder radio-acustici
  - Transponder ottici-acustici (forniscono anche il rilevamento)
  - Emittitori radio “a orari fissi” (GPS)
- ⇒ O dei misuratori di “differenza di distanza”

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 37

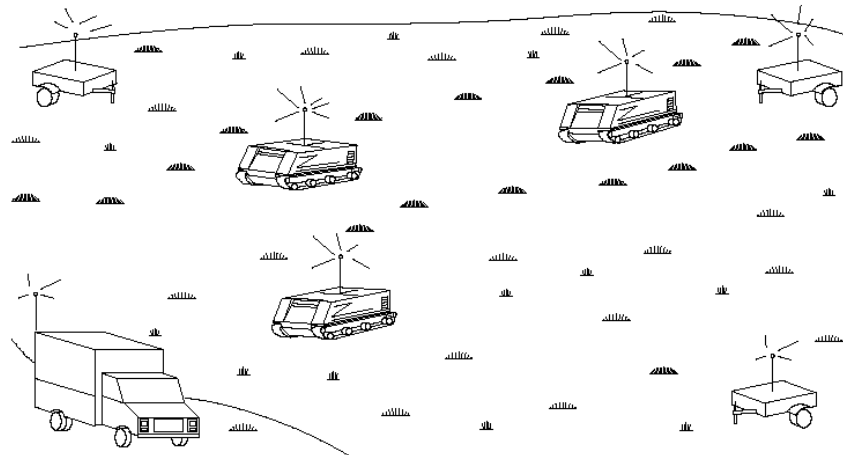
## *Sistemi iperbolici (DECCA, Loran C, ecc.)*

 Impossibile visualizzare l'immagine. La memoria del computer potrebbe essere insufficiente per aprire l'immagine oppure l'immagine potrebbe essere danneggiata. Riavviare il computer e aprire di nuovo il file. Se viene visualizzata di nuovo la x rossa, potrebbe essere necessario eliminare l'immagine e inserirla di nuovo.

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 38

### *Un esempio per uso militare*



**Figure 3.2:** Kaman Sciences 1500 W navigation grid is a scaled-down version of the LORAN concept, covering an area 8 to 15 km on a side with a position-location repeatability of 1 m. (Courtesy of Kaman Sciences Corporation.)

Lezione 22 Il problema della localizzazione

5 maggio 2014 39