

# L'APPROCCIO ANTICIPATORIO IN ROBOTICA { UN'ANALISI COMPARATIVA }

*Calvi G., Tutino A., Pezzulo G.*

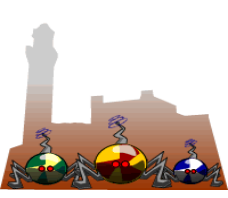
**Workshop Italiano Vita Artificiale**

**Sessione Psicologia e Neuroscienze**

**14 Settembre 2006**

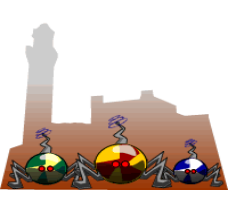
*This work is supported by the EU project **MindRACES**, FP6-511931*





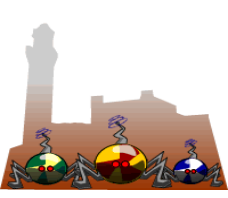
# OUTLINE

- Il dominio dell'anticipazione
- Forward e Inverse Model
- Ruolo dell'anticipazione
- Quattro implementazioni diverse
  - Recurrent Neural Networks – Tani, Nolfi
  - Fuzzy Logic – Pezzulo, Calvi
  - Grafi d'azione – Johnson, Demiris
  - Reti di Bayes – Daerden, Demiris
- Analisi e confronto qualitativo
- Conclusioni



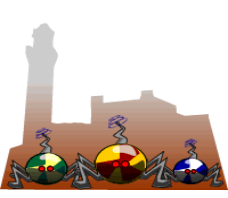
# ANTICIPARE?

- Nell'ultimo ventennio molte evidenze convergenti in psicologia e neurobiologia rafforzano la tesi che i meccanismi anticipatori rivestano un ruolo fondamentale in molte delle funzioni alla radice della cognizione. Ad esempio:
  - Controllo dell' attenzione [Balkenius e Hulth, 1999]
  - Controllo motorio [Wolpert e Kawato, 1988]
  - Categorizzazione e costruzione delle rappresentazioni [Castelfranchi, 2005; Barsalou, 1999; Grush 2004]
- MindRACES : “investigare differenti meccanismi e sistemi cognitivi dotati di capacita' anticipatorie”



# CONCETTI ANTICIPATORI

- **Capacita' anticipatoria** : la capacita' di formulare aspettative sulle conseguenze sensoriali delle proprie azioni
- **Comportamento anticipatorio** : un comportamento che non dipende esclusivamente dallo stato presente e passato ma anche e soprattutto da *previsioni, aspettative e credenze* sul futuro.
- **Comportamento adeguato** : un comportamento le cui conseguenze soddisfano le aspettative sensoriali del sistema [Wolpert e Kawato, 1988]
- Dai **Sistemi Reattivi (S - R)** ai **Sistemi Anticipatori (S - R - E)**



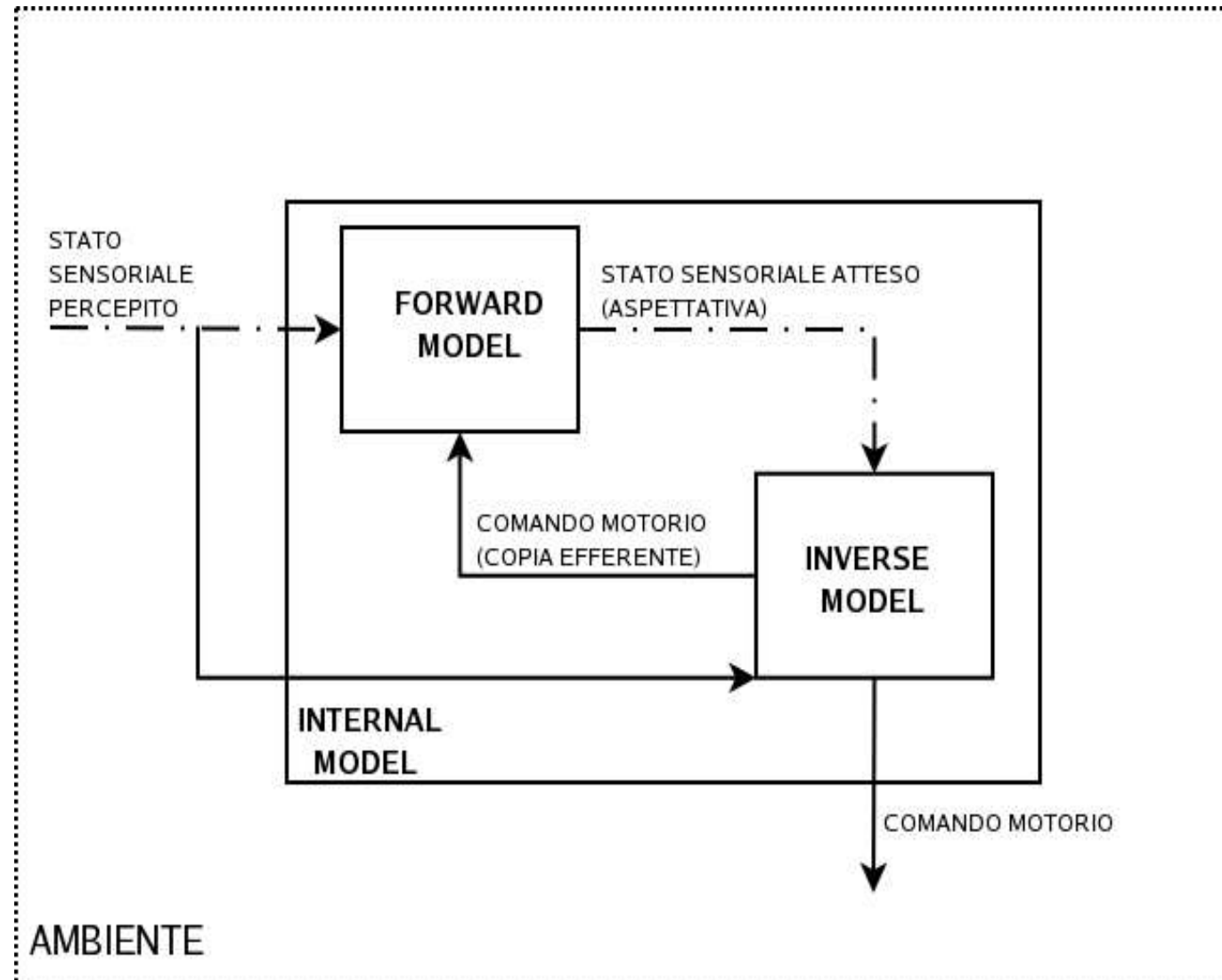
# INTERNAL MODEL

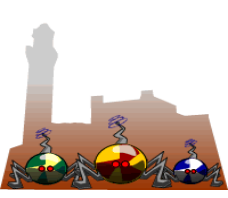
- **Forward Model:** dotano un sistema di capacita' anticipatorie

- Input : comando motorio
- Output : stato sensoriale

- **Inverse Model :** dotano il sistema della capacita' di produrre comportamenti motori sulla base di stimoli sensoriali

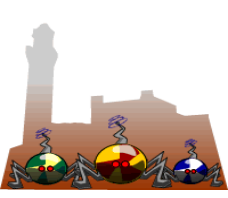
- Input : stato sensoriale
- Output : comando motorio





# CASE STUDIES

- *Differenti ruoli dei meccanismi anticipatori in diversi sistemi software*
- *Differenti risultati prodotti dai meccanismi anticipatori in esperimenti diversi*
  
- Nolfi e Tani, 1988 e 2004 : **Learning to perceive the world as Articulated : An Approach for Hierarchical Learning in Sensory-Motor Systems**
  - Mixture of experts di Moduli RNN: chi anticipa correttamente e' piu' esperto in un sotto dominio del problema
- Pezzulo e Calvi, 2005 : **Fuzzy Based Schema Mechanisms in AKIRA**
  - Reagire vs Anticipare : chi regola il proprio comportamento basandosi sulle aspettative ha piu' successo di chi reagisce semplicemente agli stimoli
- Johnson e Demiris, 2005 : **Hierarchies of Coupled and Forward Models for Abstraction in Robot Active Planning, Recognition and Imitation**
  - Anticipare l'effetto dei propri comandi motori: l'imitazione diventa semplice
- Dearden e Demiris, 2005 : **Learning Forward Models for Robots**
  - Apprendere da previsioni errate : come apprendere la struttura di modelli diretti (e inversi) grazie al fallimento delle proprie aspettative

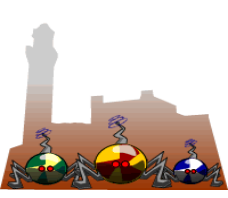


# ESPERTI NELL'ANTICIPARE 1/2

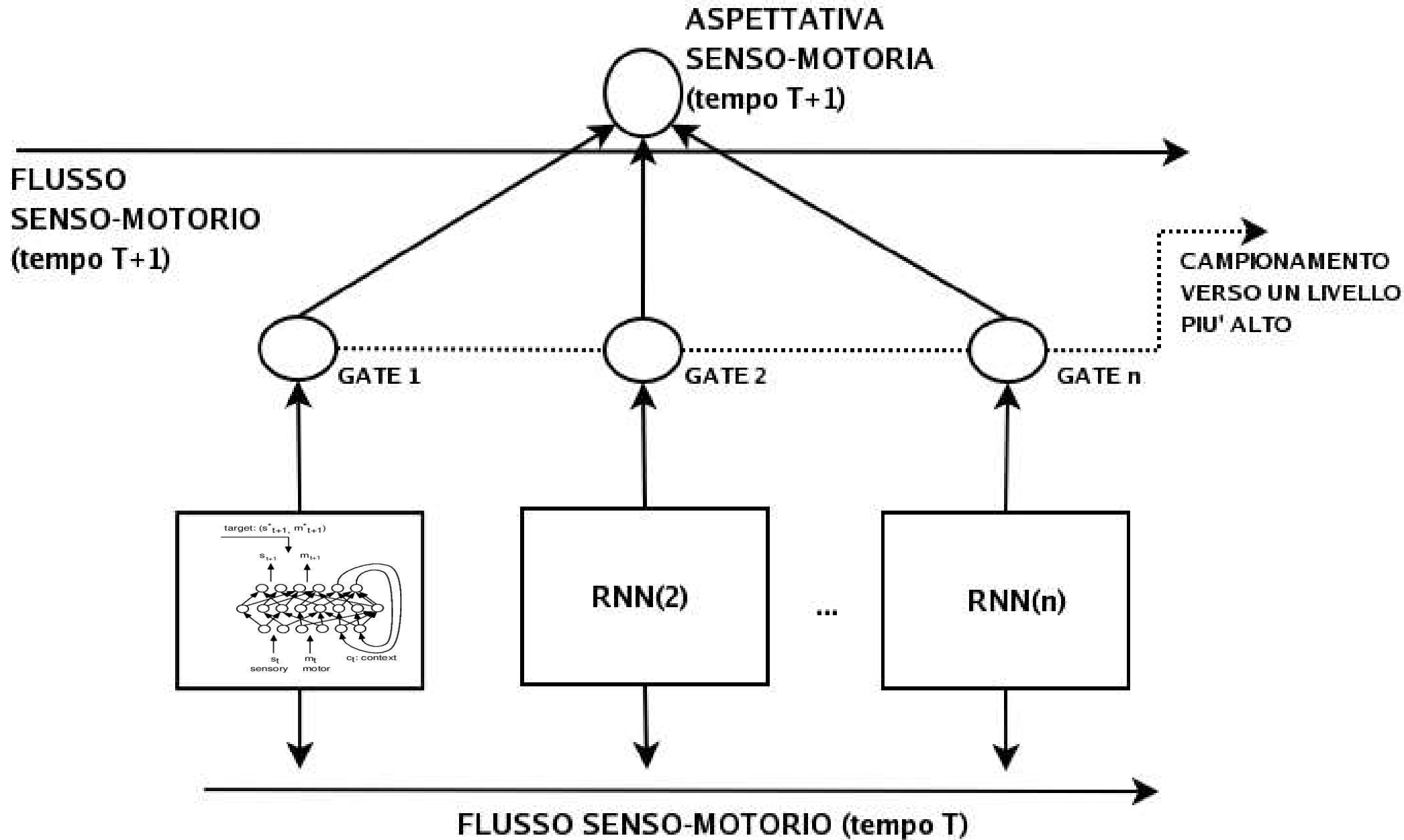
(Nolfi e Tani)

- Un task complesso di navigazione robotica suddiviso in sotto-task elementari assegnati a gruppi di moduli
- Modulo = RNN (Recurrent Neural Networks)
- Flusso Senso Motorio all'istante  $T \Rightarrow$  Previsione del Flusso Senso Motorio all'istante  $T+1$
- Gate per la discriminazione degli esperti durante l'esecuzione di un certo sotto-task

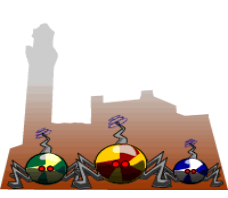
Il matching tra flussi sensomotori percepiti ed attesi consente di individuare l'affidabilità contestuale delle previsioni di ogni esperto



# ESPERTI NELL'ANTICIPARE 2/2





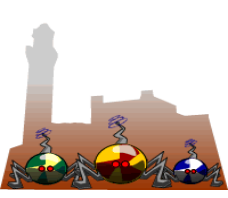


# MEGLIO ANTICIPARE CHE REAGIRE 1/2

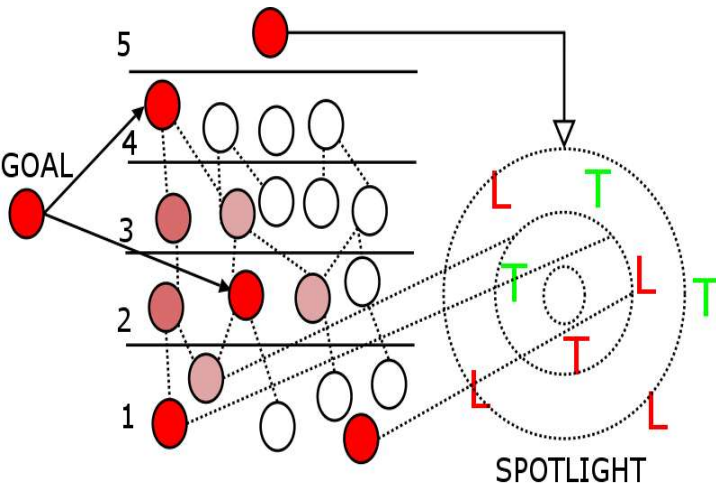
(Pezzulo e Calvi)

- Un task di Visual Search : cercare una T rossa tra distrattori (L rosse e T verdi)
- Ispirato al modello del *Predictive Coding* [Rao & Ballard, 1999]
- Schemi concorrenti specializzati nel riconoscimento di differenti pattern del dominio
- Command Fusion Fuzzy per la generazione del comando motorio finale
- Il sistema basato sugli schemi stimolo risposta (S-R) impiega piu' tempo nel trovare il pattern T rossa di quello stimolo risposta aspettativa (S-R-E)

Il matching tra pattern attesi e percepiti e'  
una misura corretta per valutare  
l'adeguatezza di uno schema percettivo



# MEGLIO ANTICIPARE CHE REAGIRE 2/2



**-T RECOGNIZER-**

forward model:  
MOVE\_LEFT => RED\_POINT(0,0)  
MOVE\_RIGHT => RED\_POINT(0,2)

behavior:  
IF belongs\_to\_line(x,y)  
AND is\_edge(x,y) THEN  
MOVE\_LEFT or MOVE\_RIGHT

**-L RECOGNIZER-**

forward model:  
MOVE\_LEFT => VOID\_POINT(0,0) OR RED\_POINT(0,0)  
MOVE\_RIGHT => VOID\_POINT(0,2) OR RED\_POINT(0,2)

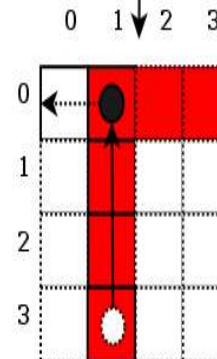
behavior:  
IF belongs\_to\_line(x,y)  
AND is\_edge(x,y) THEN  
MOVE\_RIGHT

<MOVE LEFT>

<MOVE RIGHT>

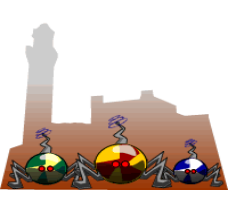
**SPOTLIGHT MOVER**

<MOVE LEFT>



**WRONG EXPECTATION**  
(RED\_POINT(0,0) = FALSE)

**RIGHT EXPECTATION**  
(VOID\_POINT(0,0) = TRUE)

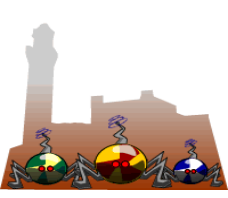


# AZIONI ASTRATTE 1/2

## (Johnson e Demiris)

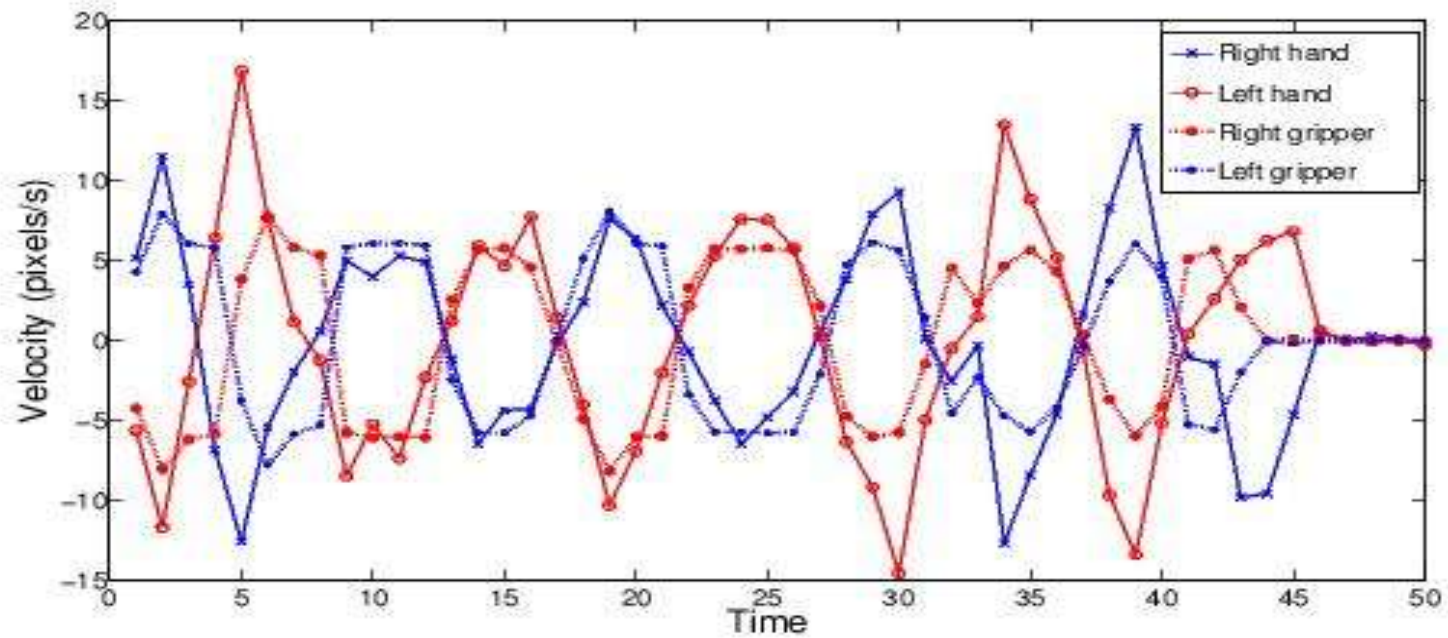
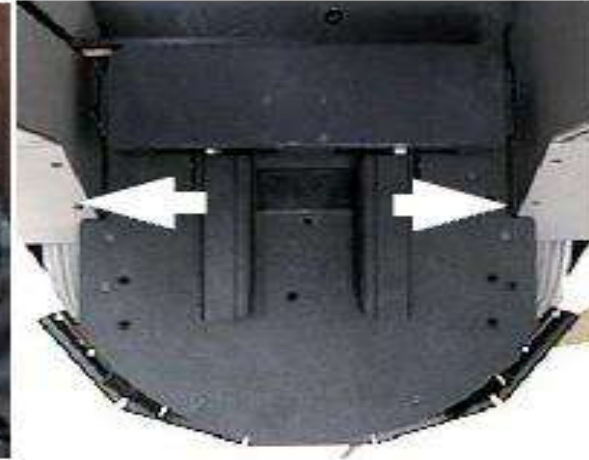
- Problema : cosa vuol dire anticipare l'esito di un'azione come “sollevare un oggetto”?
  - Diverse sotto-azioni elementari coinvolte
  - Anticipazione a tutti i livelli
- Robot pinza con repertorio di azioni combinabili : “Aprire pinza”, “Ruotare verso oggetto”, “Muoversi”, ...
- Quale comando motorio provoca come aspettativa sensoriale quella piu' simile al fenomeno osservato?

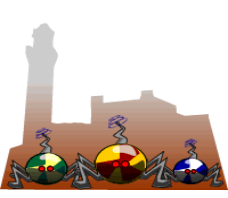
Il matching tra stato atteso e percepito e' valido anche come misura per la selezione delle azioni da eseguire durante un processo di imitazione



# AZIONI ASTRATTE 2/2

(Johnson e Demiris)





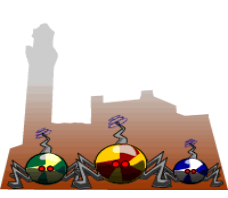
# APPRENDIMENTO ANTICIPATORIO 1/2

(Dearden e Demiris)

- Problema : come apprendere un modello interno in totale assenza di conoscenza a-priori sulla struttura di un robot e dell'ambiente in cui e' immerso?
  - Reti di Bayes : modello diretto/inverso nella stessa struttura
  - Clusterizzazione Lucas-Kanade : estrarre regolarita' dalla percezione
  - Motor Babbling Markoviano : sperimentare gli effetti del proprio sistema motorio

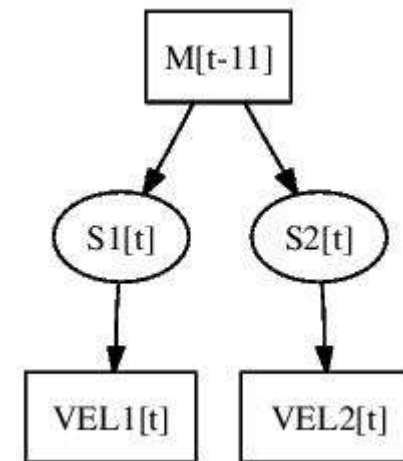
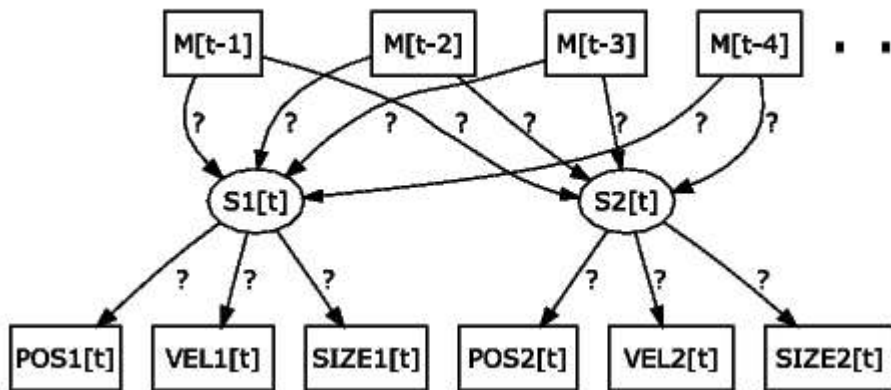
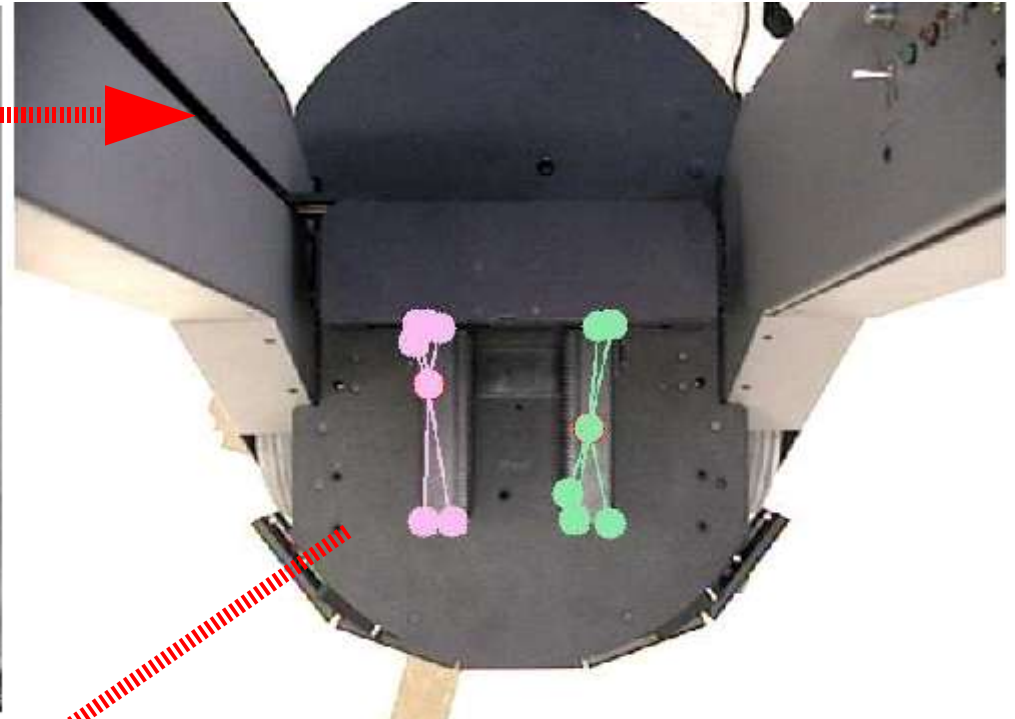
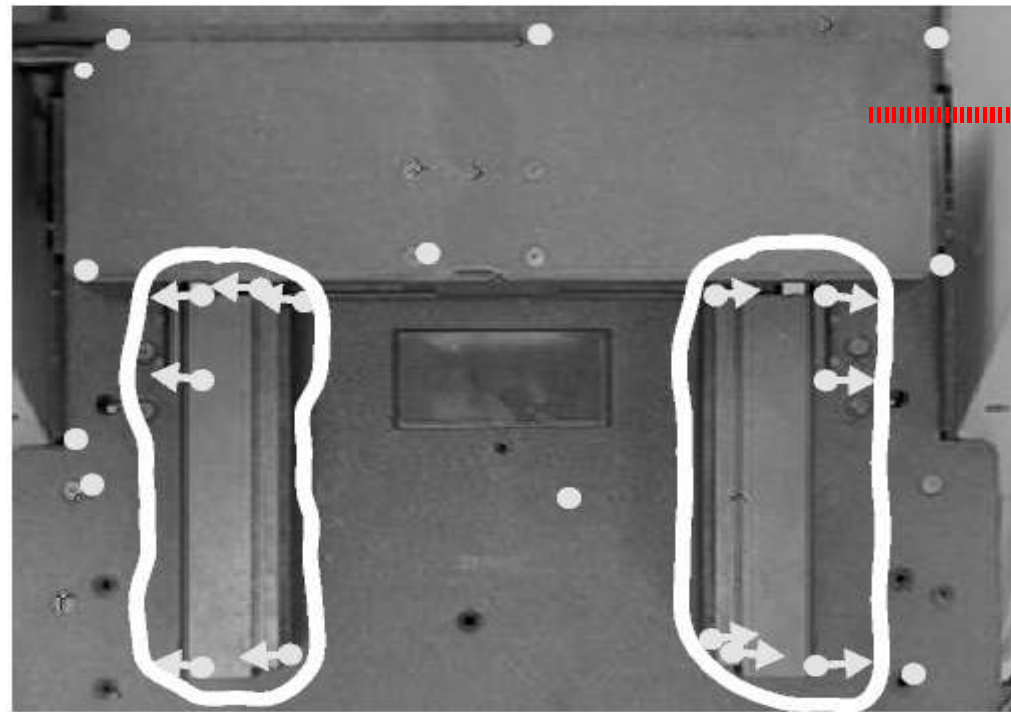
Il matching tra stato atteso e percepito e' in grado di guidare un sistema nella costruzione autonoma dei propri modelli interni

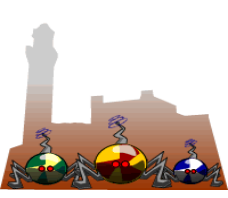




# APPRENDIMENTO ANTICIPATORIO 2/2

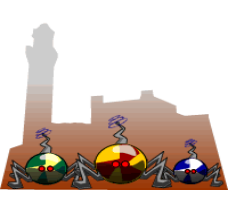
(Dearden e Demiris)





# L'ANTICIPAZIONE ALLA BASE DELLA COGNIZIONE

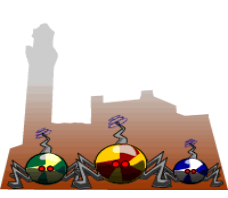
- Quattro architetture diverse implementate con strumenti diversi il cui nucleo operativo e' riconducibile a *coppie forward ed inverse model*
- Ruolo chiave dell'anticipazione in tutte le architetture presentate :
  - *Individuare gli esperti piu' affidabili in base al contesto in un sistema modulare*
  - *Migliorare il rating di successo di un sistema di pattern matching distribuito su un compito di visione attentiva*
  - *Selezionare le azioni corrette durante un processo imitativo*
  - *Guidare un sistema nella costruzione dei propri modelli interni (diretti ed inversi)*



# ANTICIPIAMO

- Una Teoria dell'anticipazione organica deve compediare i ruoli chiave giocati dall'anticipazione nei contesti precedentemente analizzati
- Ulteriori ruoli dell'anticipazione in altri sistemi andrebbero presi in considerazione ed analizzati (i.e. “segnale anticipatorio per colmare input mancanti o rumorosi” - Wolpert e Kawato)
- Sarebbe auspicabile possedere un'architettura software in grado di fornire tutte le funzioni anticipatorie precedentemente analizzate





# GRAZIE!

gianguglielmo.calvi@noze.it

## **Bibliography**

- 1. Nolfi e Tani, 1988 e 2004 : Learning to perceive the world as Articulated : An Approach for Hierarchical Learning in Sensory-Motor Systems**
- 2. Pezzulo e Calvi, 2005 : Fuzzy Based Schema Mechanisms in AKIRA**
- 3. Johnson e Demiris, 2005 : Hierarchies of Coupled and Forward Models for Abstraction in Robot Active Planning, Recognition and Imitation**
- 4. Dearden e Demiris, 2005 : Learning Forward Models for Robots**