

- Corso da 6 crediti (48 ore)
- Orario di Ricevimento: Mercoledì', 16:30-17:30
- e-mail: alberto.finzi@unina.it
- Pagina-web: people.na.infn.it/%7Efinzi/didattica
- Orario:
 - Martedì 11:00 13:00 (C11)
 - Giovedì 11:00 13:00 (C11)

- Completa il corso di Sistemi per il Governo di Robot (Modulo A):
 - **Robotica Probabilistica:**
metodi statistici in robotica, filtri bayesiani
 - **Robotica Mobile:**
metodi per navigazione, localizzazione, mapping, esplorazione
 - **Architetture Robotiche:**
Pianificazione, Esecuzione/Monitoraggio, Apprendimento, Casi di Studio (sistemi autonomi)
 - **Robotica Cognitiva:**
Architetture Cognitive, Controllo Cognitivo, Interazione Uomo-Robot

- Lucidi, dispense e articoli sul sito del corso
- Probabilistic Robotics, Sebastian Thrun, Wolfram Burgard and Dieter Fox, The MIT Press, 2004

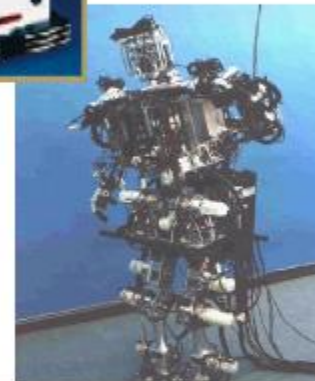
- Modalità di accertamento del profitto:
 - Presentazione articoli
 - Progetto
 - Presentazione e Discussione

- **Industrial Robotics:**
 - Factory, mining, harvesting
- **Field Robotics:**
 - Unmanned Vehicles: UAV, UTV, Planetary Rovers
- **Service Robotics:**
 - Perform services useful to humans and equipment (personal services, household, restaurants, shops etc.)
- **Social Robotics:**
 - Personal services
 - Entertainment

Robotics Today

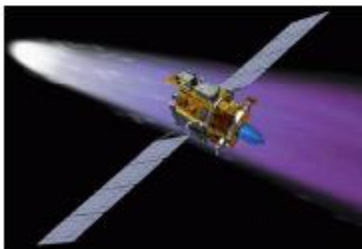


Robotica di servizio



Robotica umanoide

UAV



UTV (robotica mobile)

- **Robotica Classica** (anni '70):
 - modelli esatti, non sensing

- **Paradigma Reattivo** (anni '80):
 - Non modelli, reattivo sense-act

- **Architetture Ibride** (anni '90):
 - Model-based + reattivo

- **Robotica Probabilistica** (anni '90):
 - Modelli inaccurati, sensori inaccurati;
 - Stretta integrazione modello sensore.

Architettura gerarchica

Rappresentazione della Conoscenza
e Ragionamento formale

Mondo Chiuso:

Modello completo dell'ambiente

Decomposizione funzionale e
orizzontale delle attività
[Shakey 1969]



Stanford AI Laboratory / CMU (Moravec)



Schema di Controllo nel paradigma classico



Architettura gerarchica

Rappresentazione della Conoscenza
e Ragionamento formale

Mondo Chiuso:

Modello completo dell'ambiente

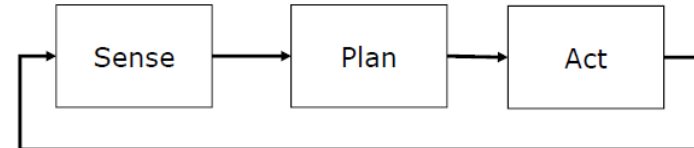
Decomposizione funzionale e
orizzontale delle attività
[Shakey 1969]



Stanford AI Laboratory / CMU (Moravec)

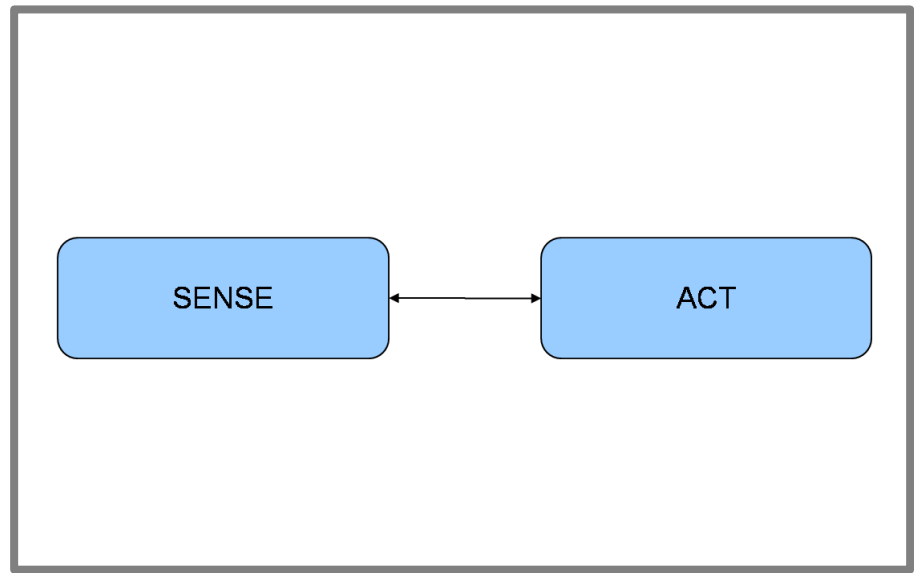


Schema di Controllo nel paradigma classico



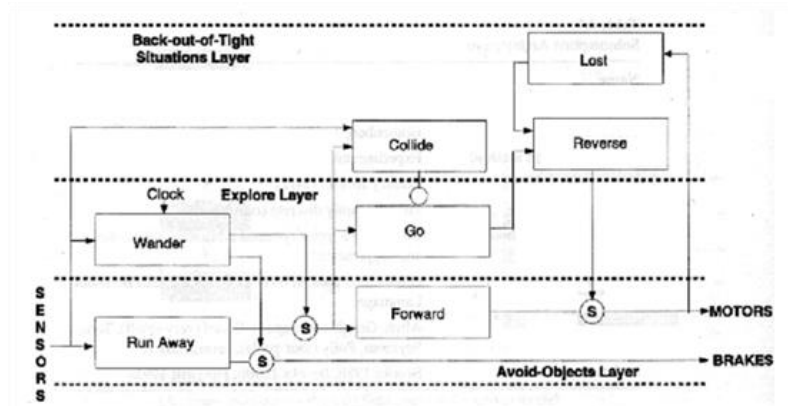
- 70's
- Focus on automated reasoning and knowledge representation
- STRIPS (Stanford Research Institute Problem Solver): Perfect world model, closed world assumption
- Find boxes and move them to designated position

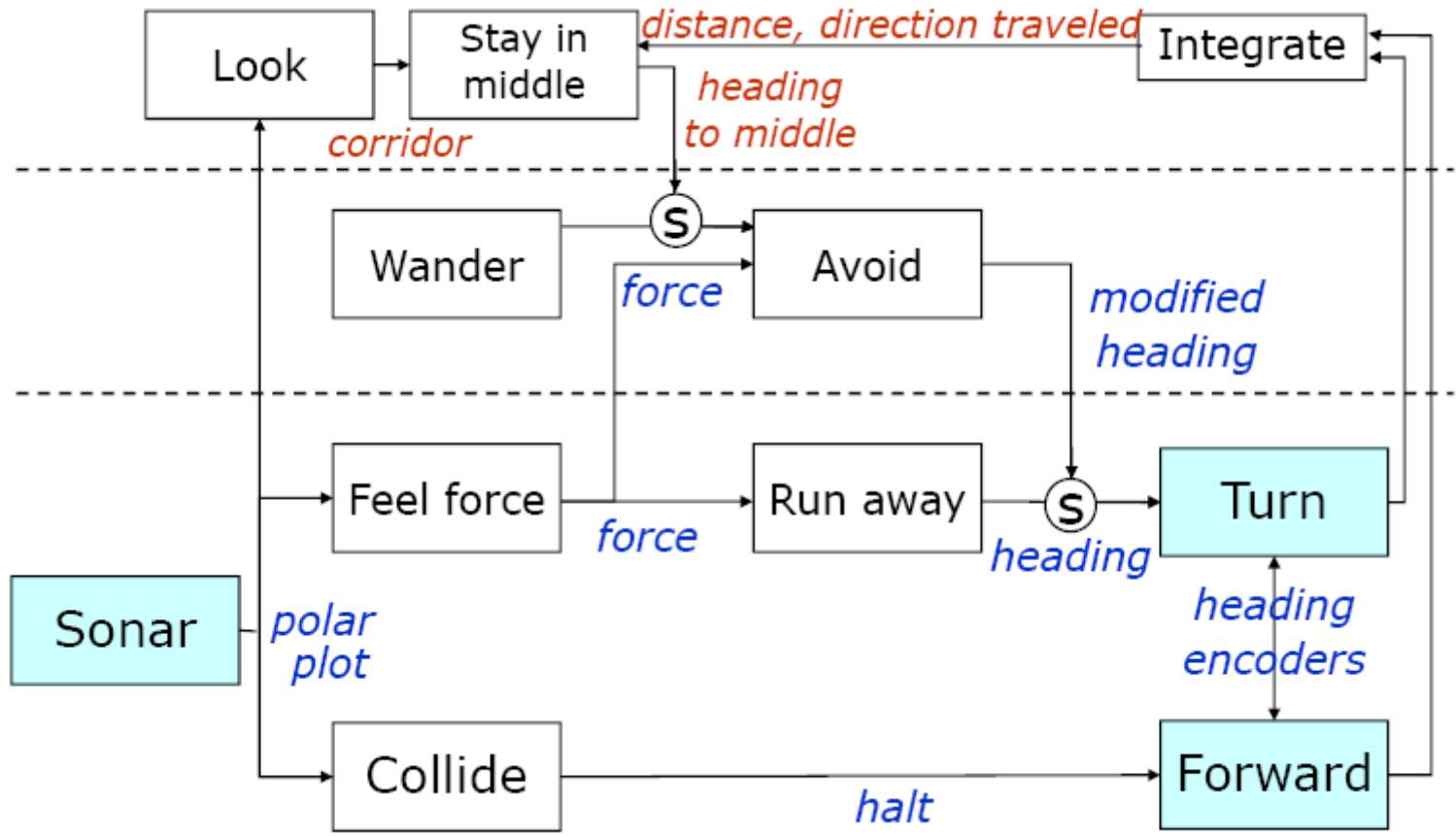
- **Situated:**
interagisce con il mondo
- **No Memory, no model:**
memoria e modello è il mondo esterno
- **Behavior-based:**
sense e act strettamente accoppiati e legati al comportamento



Paradigma Sense-Act

- Subsumption Architecture [Brooks 1986]
- Potential Fields

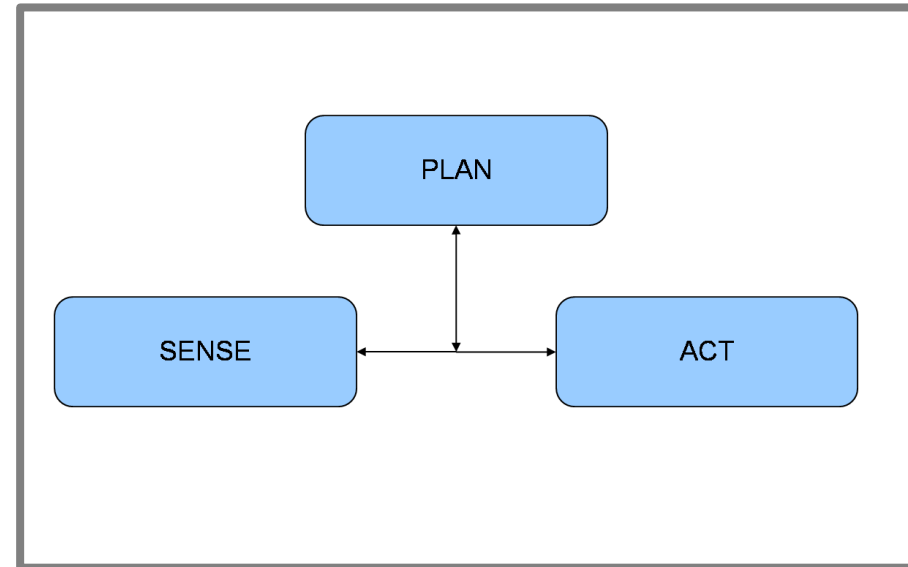




- Combina i due paradigmi (architetture 3T [Gat 1996, Bonasso et. al 1998])
 - Modello per pianificazione e ragionamento
 - Reattivo il controllo di basso livello

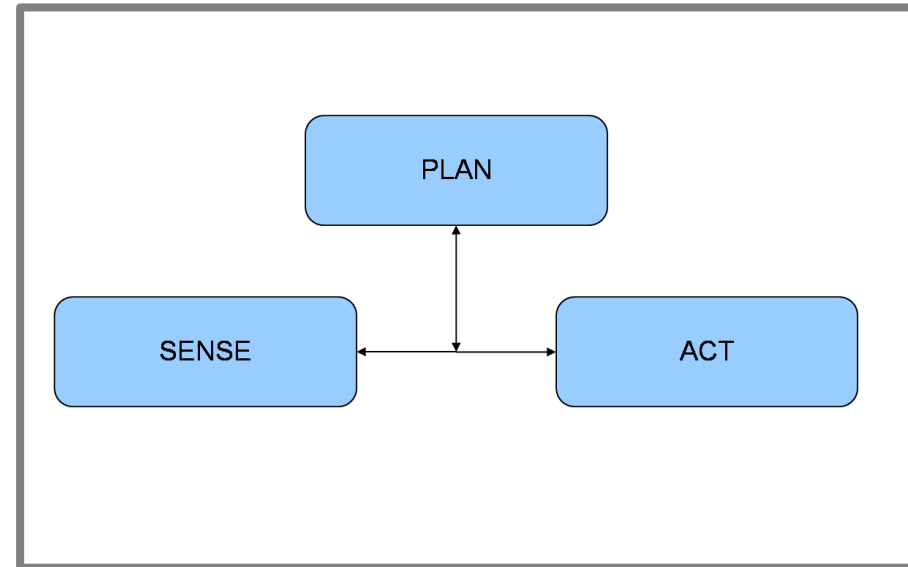
Es. ATLANTIS [Gat 1996]:

- Control Layer,
- Sequencing Layer,
- Deliberative Layer.



Sistema Sense-Act con attività deliberativa

- ATLANTIS [Gat 1996]
- Task Control Architecture [Simmons 1994]
- 3T [Bonasso 1996]
- RHINO [Burgard et al 1995]
- LAAS [Alami 1998]
- CIRCA [Musliner et al 1993]
- ...



Sistema Sense-Act con attività deliberativa

- **Deliberativo:**

pianificazione, ragionamento, decisione

- **Esecutivo:**

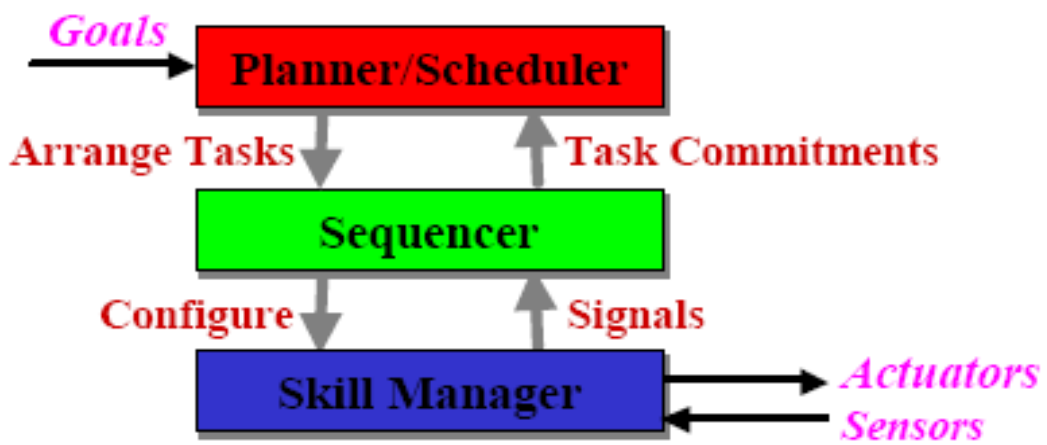
decomposizione e sequenziamento dei comandi,
monitoraggio dell'esecuzione,
gestione dei fallimenti, chiamate pianificatore

- **Funzionale:**

funzionalità di controllo attuative e percettive



- Explicit Separation of Planning, Sequencing, and Control
 - Upper layers provide *control flow* for lower layers
 - Lower layers provide *status* (state change) and *synchronization* (success/failure) for upper layers
- Heterogeneous Architecture
 - Each layer utilizes algorithms tuned for its particular role
 - Each layer has a representation to support its reasoning

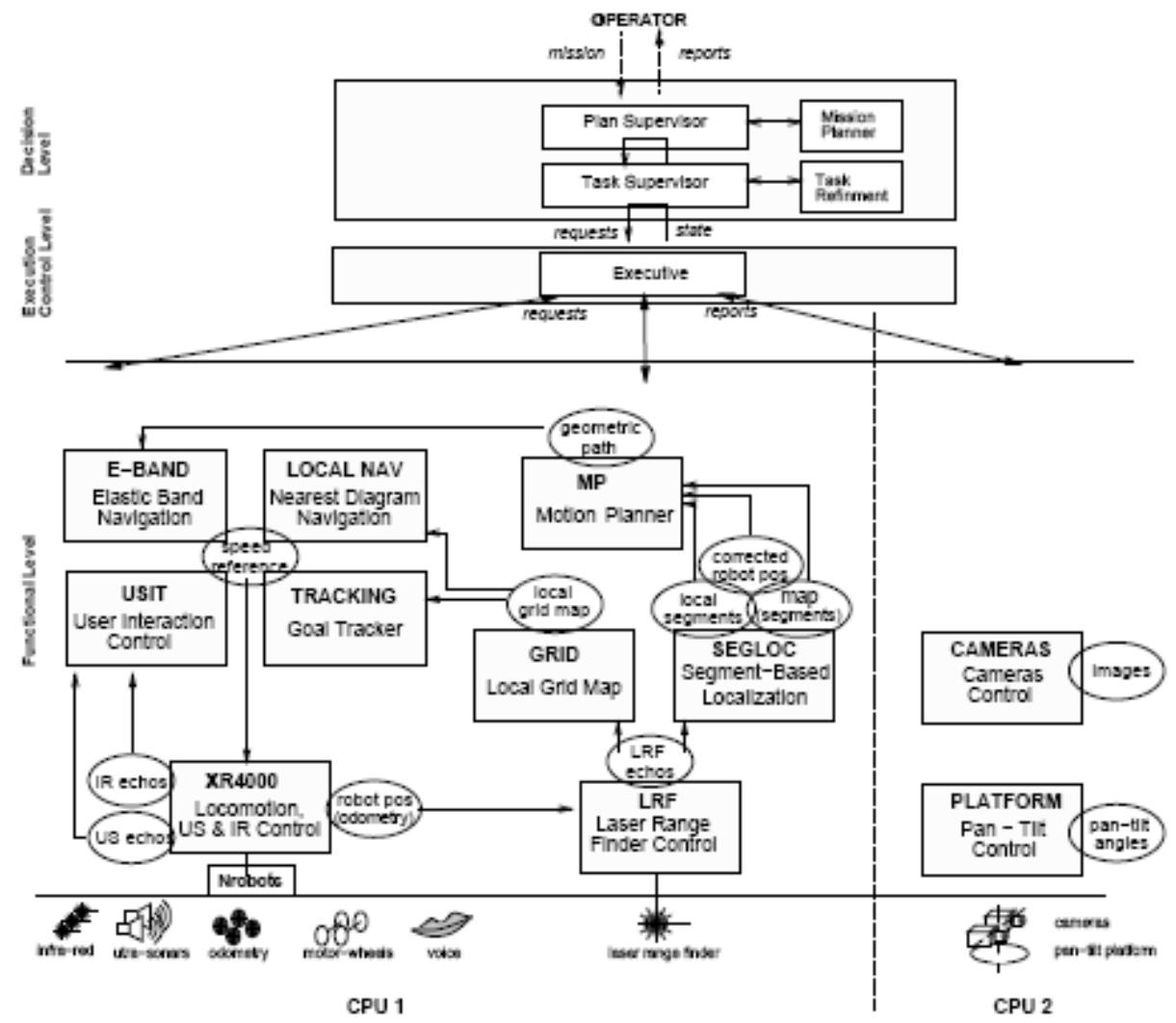


• LAAS architecture:

Tre Livelli:

1. Deliberativo
(temporal planner)
2. Esecutivo
(PRS)
3. Funzionale
(GENOME)

Controllo di Rover



Architettura di RHINO la guida robotica del museo di Bonn (1995); simile MINERVA (1998) ad Atlanta

Architettura a 3 Livelli per un robot mobile:

1. Funzionale:

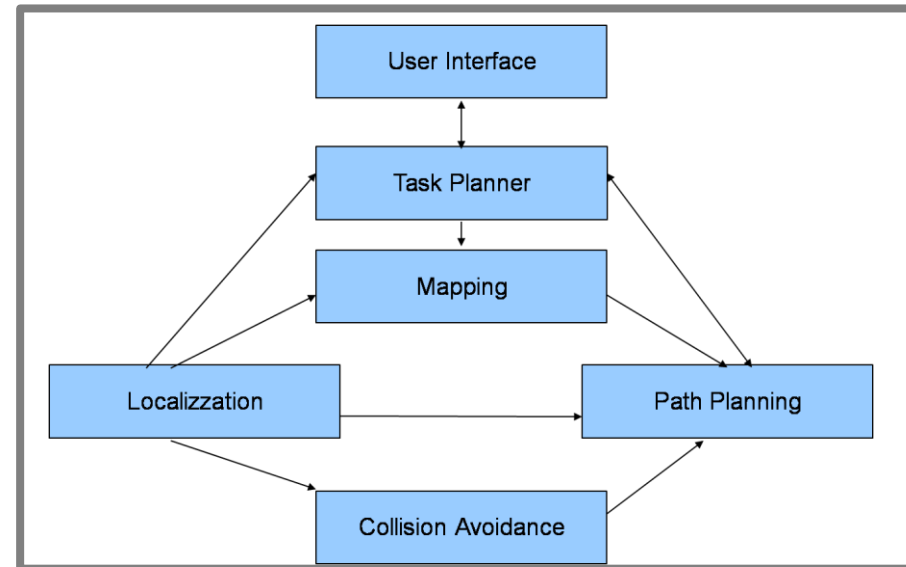
Mapping, Localizzazione, Avoidance

2. Esecutivo:

Sequencer, monitor

3. Deliberativo:

Task Planner



Architetture di RHINO

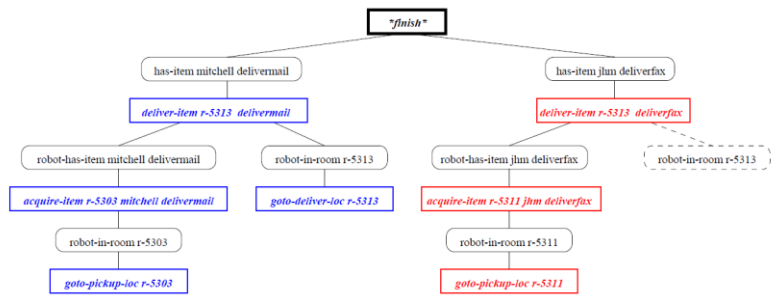


Rhino, 1997

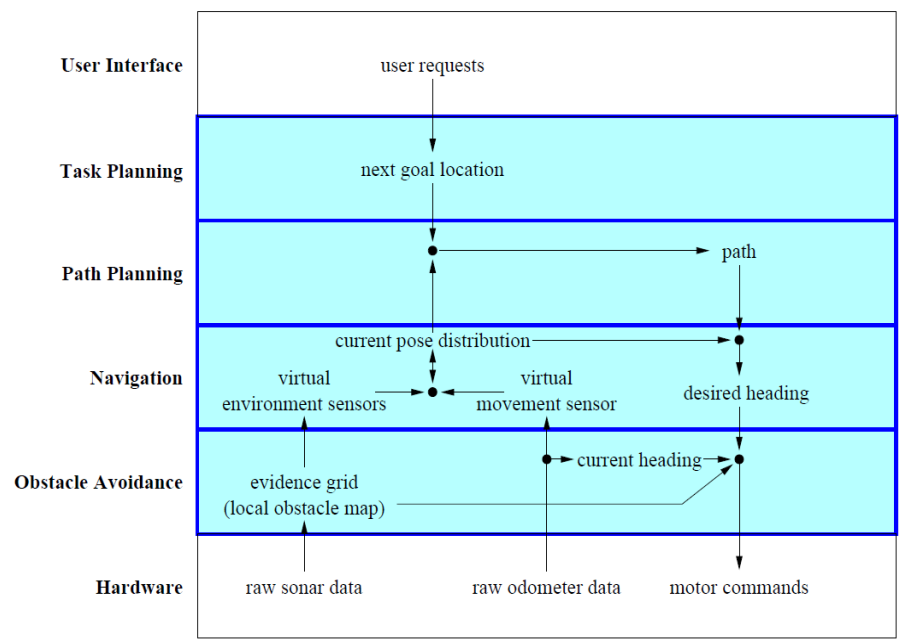


Minerva, 1998

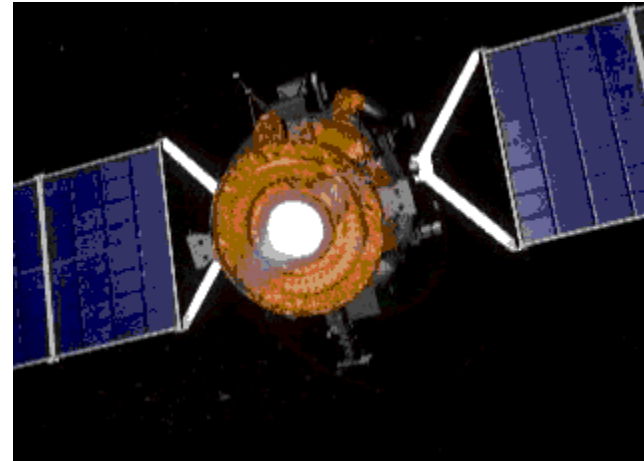
- Livelli bassi lavorano a risoluzione spaziale e temporale più alta
- Livelli alti più astratti e meno reattivi



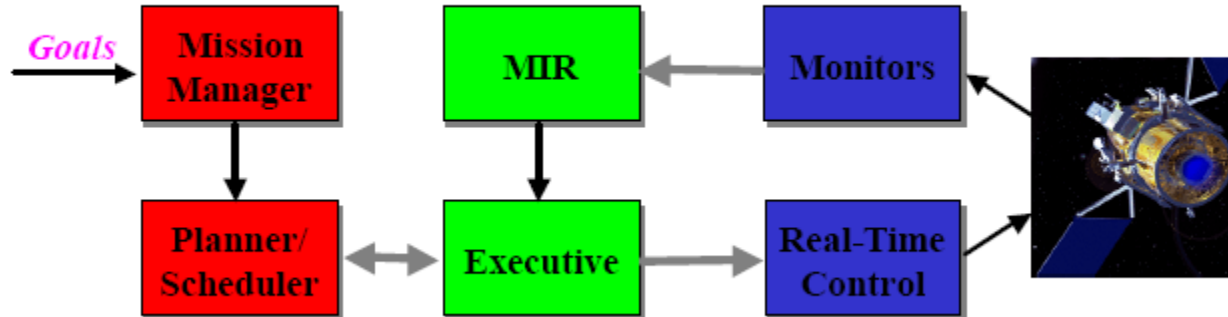
*Xavier
Architecture
(1995)*

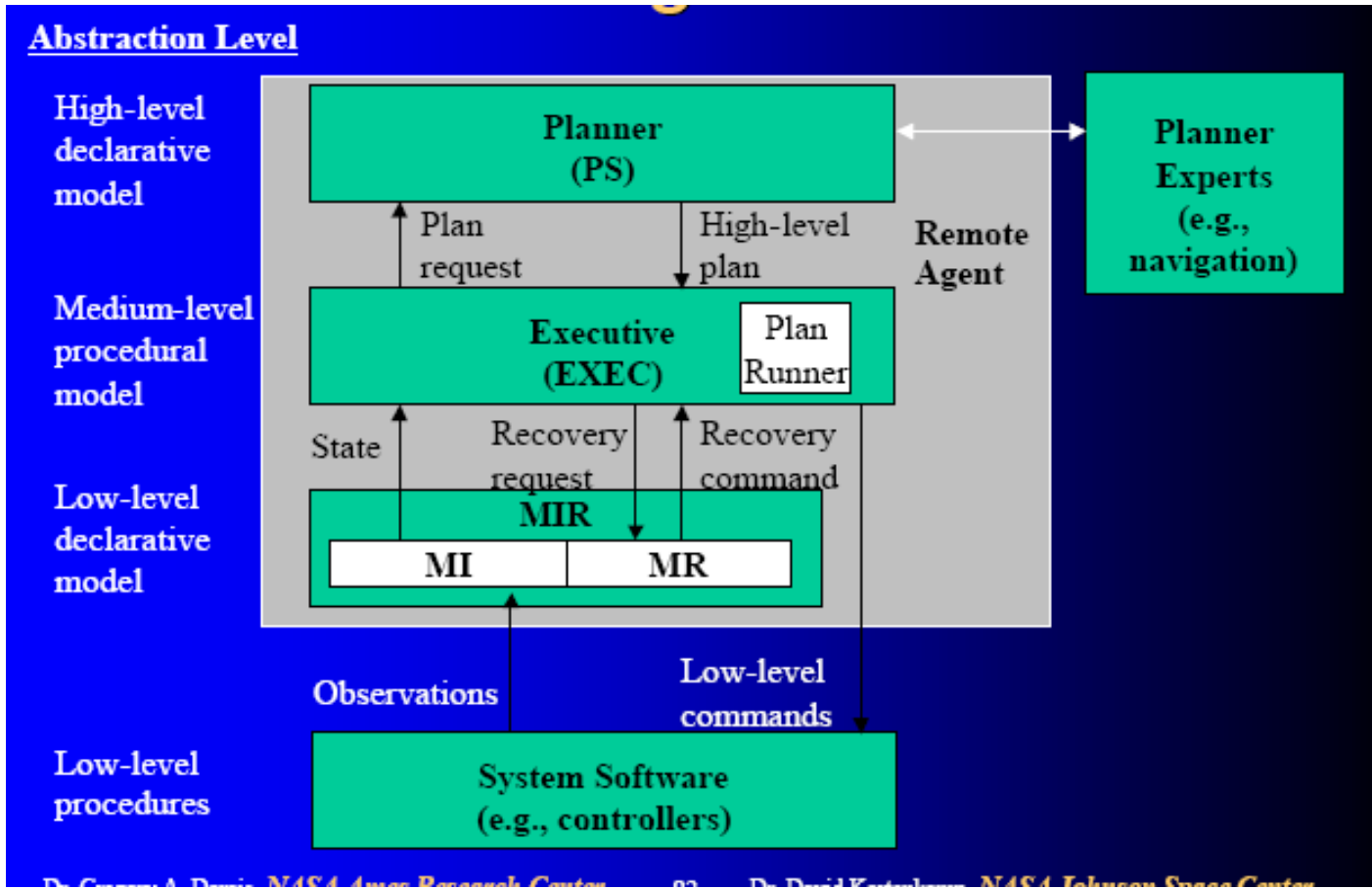


- Missione: testare nuove tecnologie per il New Millennium Program e osservazione Borrelly comet
- Prima Sonda/Astronave completamente autonoma
- Attività gestite da pianificatore e sistema di esecuzione automatica (RAX: Remote Agent Experiment).
- Diagnosi, Pianificazione, Esecuzione Duttile



- **Remote Agent:** controllo della sonda DS1
 - Tre Livelli:
 - Pianificazione e schedulazione temporale
 - Esecuzione, Monitoraggio e Diagnosi
 - Controllo





Problematiche architetture 3T:

Architetture modulari ma ...

1. Architetture eterogenee (modelli diversi)
2. Livelli di astrazione separati, deliberazione solo al livello alto di astrazione (task and mission planning)
3. Difficile interfacciamento deliberativo-reattivo:
 - Pianificazione-Esecuzione
 - Ripianificazione
 - Esecuzione-Monitoraggio-Controllo
4. Sistema esecutivo sviluppato ad-hoc spesso solo sequencer e dispatcher

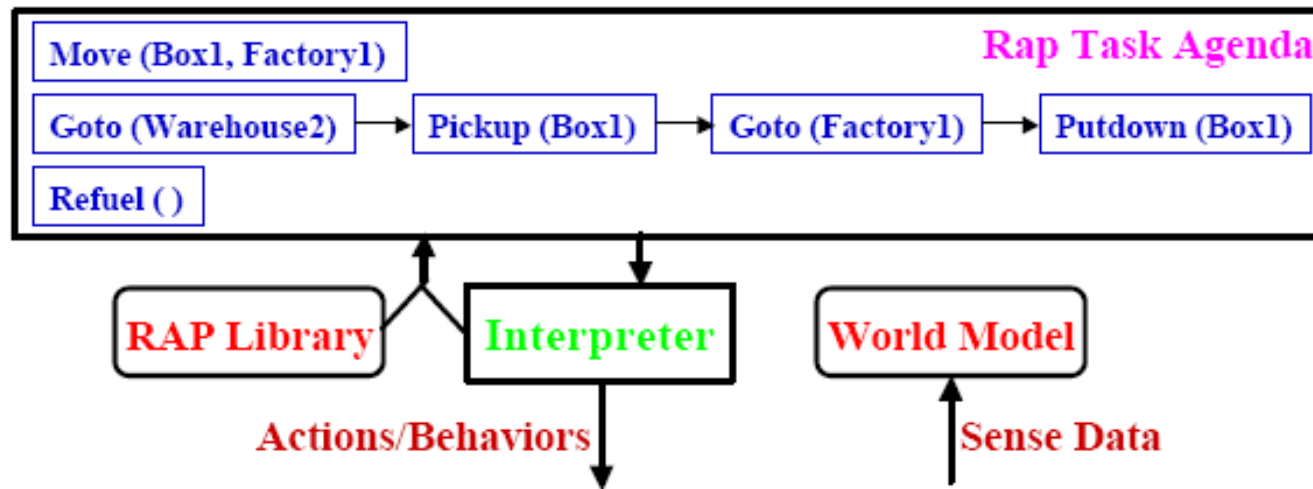
- Forms a Bridge Between Planning and Behaviors
 - Discrete vs. continuous control
 - Symbolic vs. numeric representations
 - Real-time considerations
- Basic Roles
 - Decompose task into subtasks and dispatch tasks
 - Monitor execution for contingencies and opportunities
 - Reschedule tasks (or schedule new tasks) upon failure
- Differences Between Approaches
 - Methods for distributing functionality
 - Representation of domain and control knowledge
 - **RAP** (Firby); **TCA/TDL** (Simmons); ESL (Gat); PRS (Georgeoff)

Bilanciamento Reattività e comportamento goal-oriented

- Reactive Action Package
 - Autonomous process that pursues a planning goal
 - Sensing (monitoring) intrinsic part
 - Goal satisfaction always verified
 - Multiple methods to achieve goals

```
(define-rap
  (index (move ?thing ?place))
  (succeed (location ?thing ?place))
  (method (context (and (location ?thing ?loc) (not (= ?loc UNKNOWN)))
    (task-net
      (t0 (goto ?loc)      ((truck-location ?loc) for t1))
      (t1 (pickup ?thing) ((truck-holding ?thing) for t2)
          (truck-holding ?thing) for t3)))
      (t2 (goto ?place)   ((truck-location ?place) for t3))
      (t3 (putdown ?thing))))
  (method (context (location ?thing UNKNOWN))
    (t0 (goto WAREHOUSE)))
```

- Methods are Chosen Based on Current Situation
- If a Method Fails, Another is Tried Instead
- Tasks do not Complete Until Satisfied
- Methods can Include Monitoring Subtasks to Deal with Unexpected Contingencies and Opportunities



• TAC architecture:

- Interprocess comm
- Task decomposition and temporal constraints
- Resource allocation
- Execution monitoring
- Exception Handling

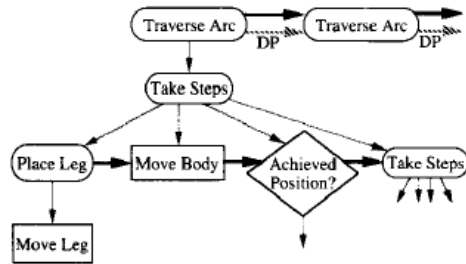


Fig. 4. Task tree for autonomous walking.

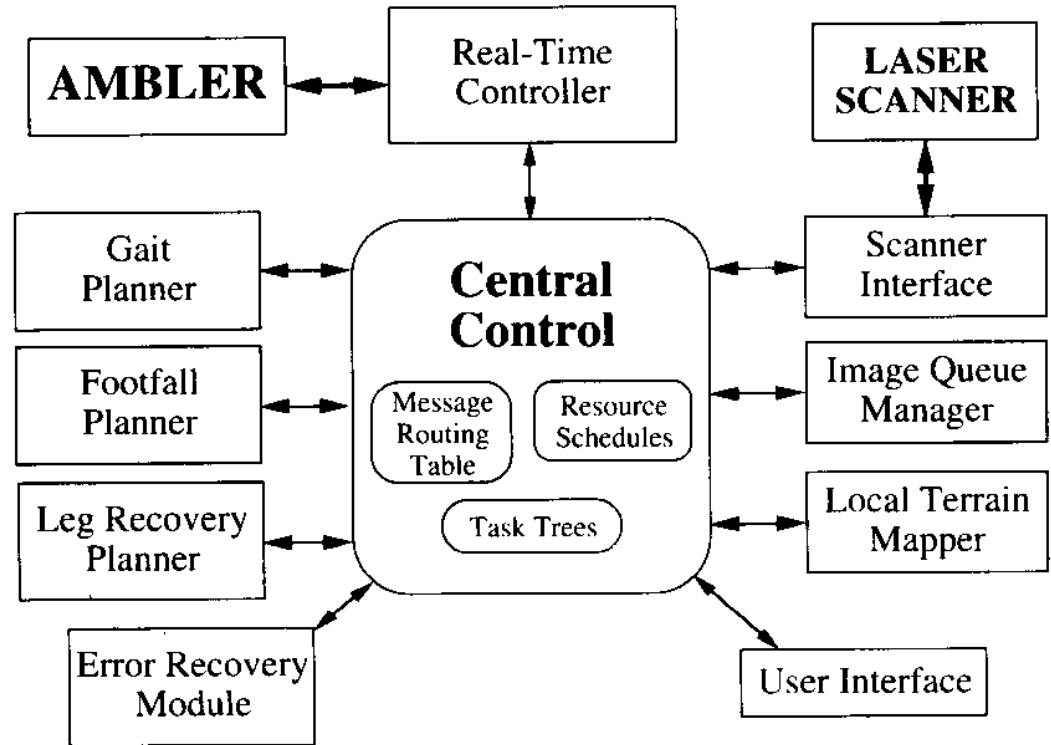
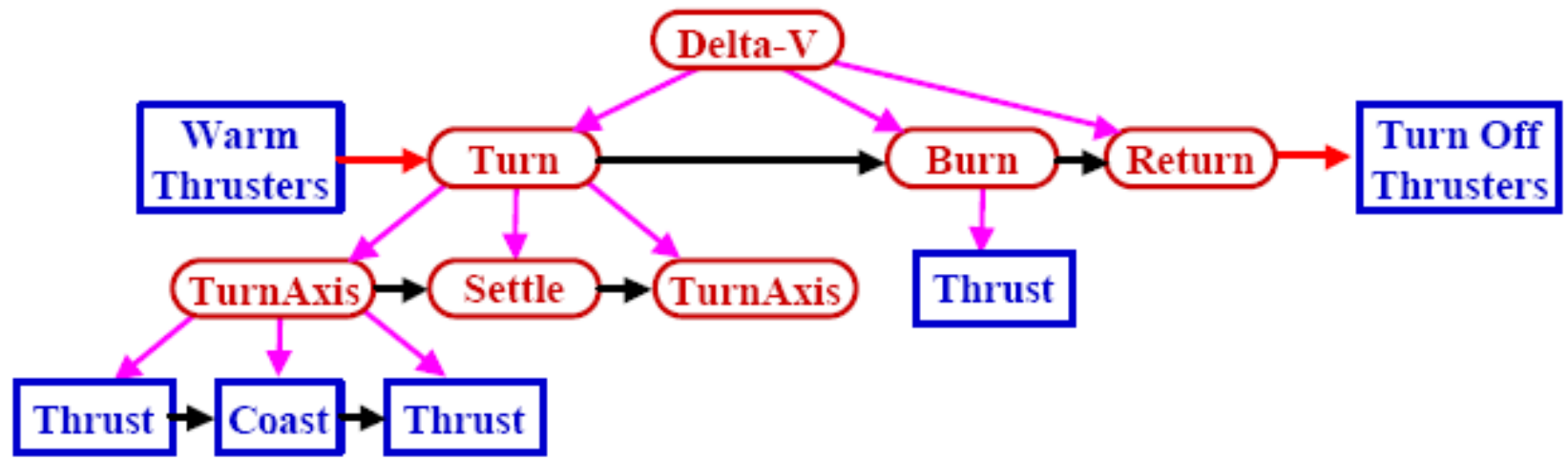
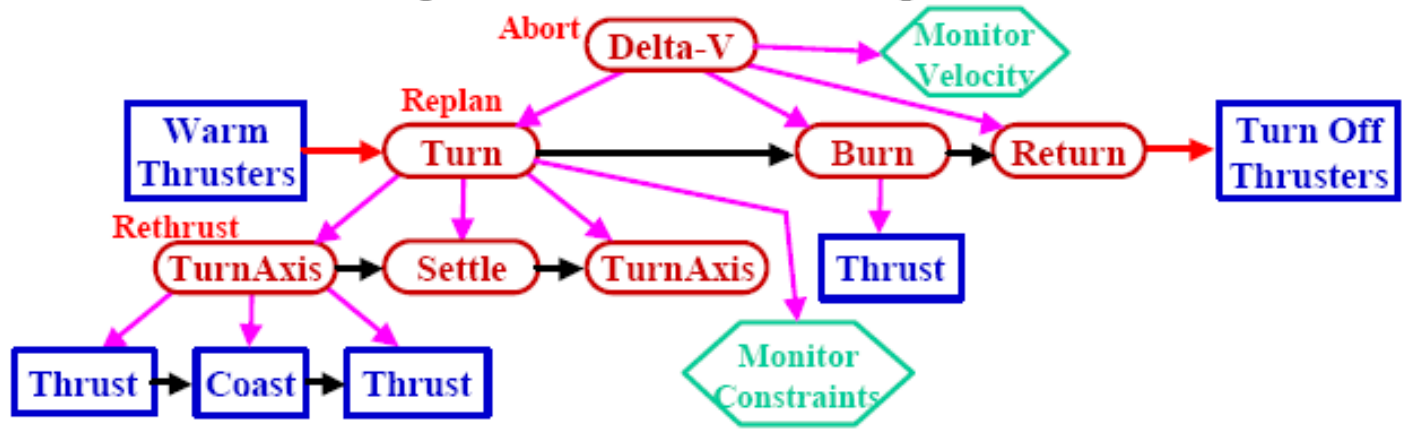


Fig. 3. Modules for the Ambler walking system.

- TCA Maintains and Coordinates *Task Trees*
 - *Execution trace* of hierarchical plans
 - Created dynamically at run time
 - Can be conditional and recursive
 - Temporal constraints (partially) order task execution
 - Planning and sensing treated as schedulable activities; Concurrent planning, sensing, and execution

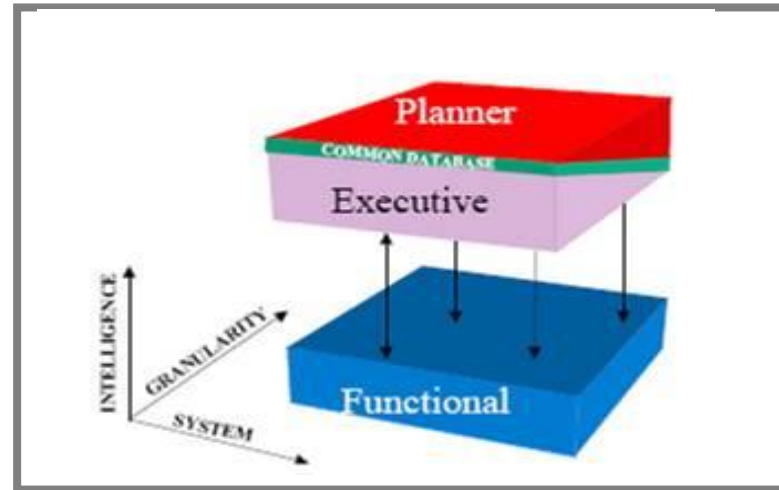


- Task Trees Augmented with *Reactive* Elements
 - Task-specific execution monitors
 - Context-dependent, hierarchical exception handlers

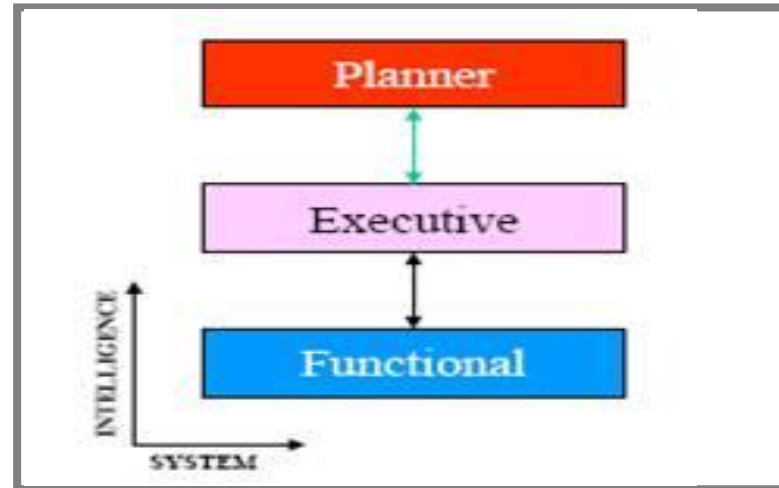


- Replan by Analyzing and Manipulating Task Trees
 - Terminate subtrees
 - Add new nodes and/or temporal constraints

- **Architetture 3T:**
deliberazione ad alto livello di astrazione, esecuzione/reazione a basso livello [Bonasso et al. 1998]
- **Architetture 2T:**
Esecuzione e deliberazione a tutti i livelli di controllo [Claraty]

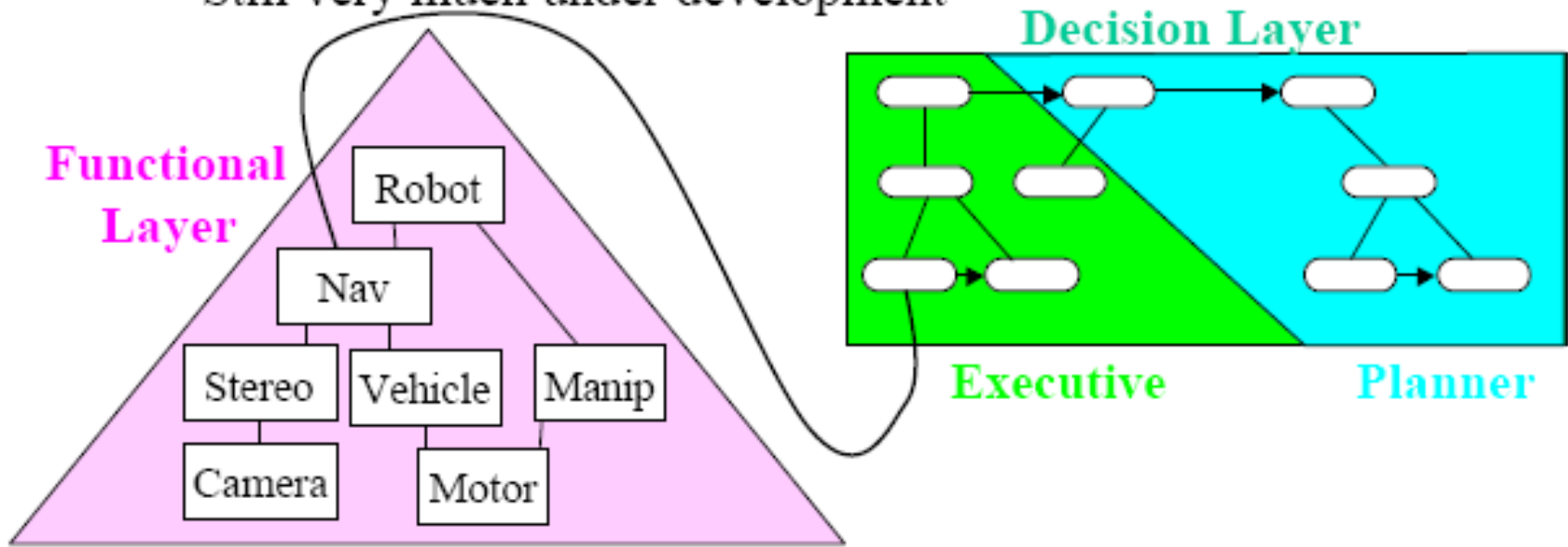


Claraty Architecture (from JPL)

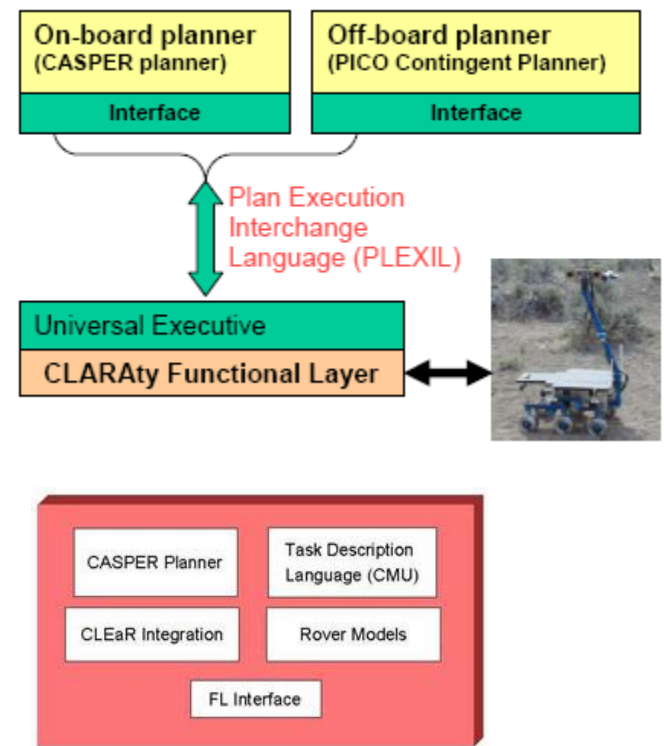
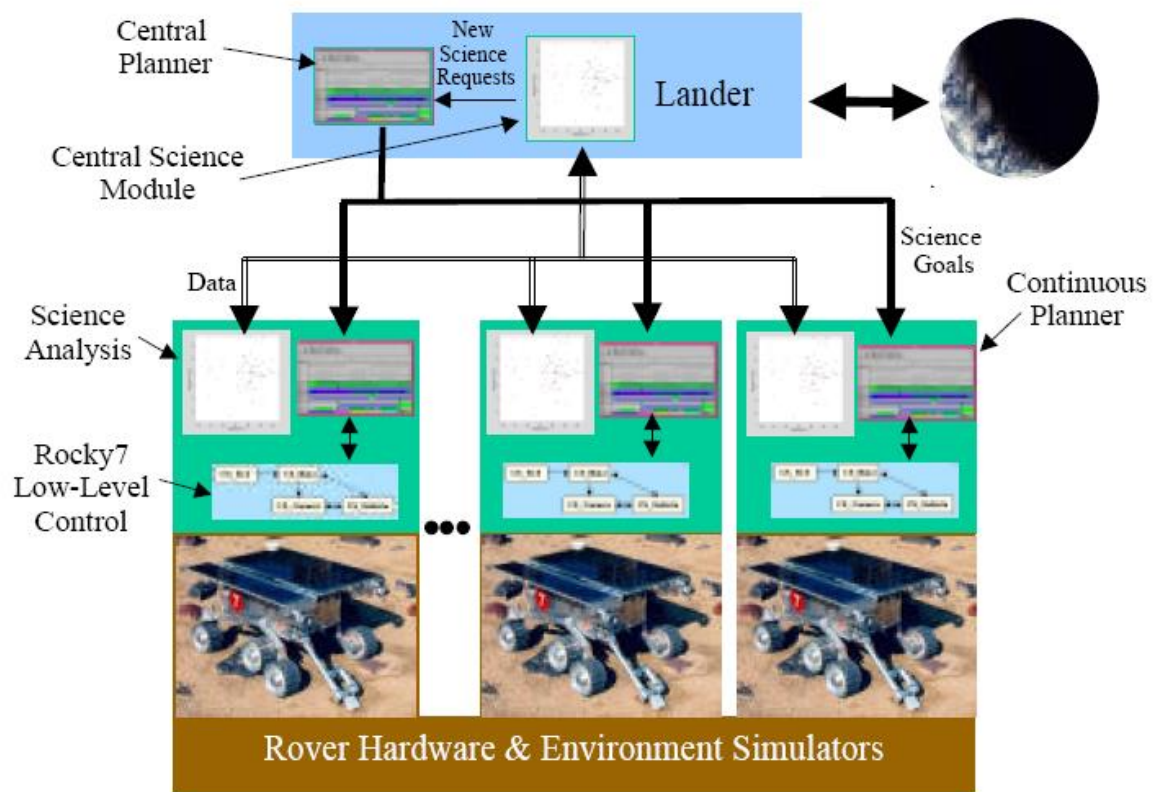


Architecture a 3 livelli

- Two-Tiered Architecture
 - Functional layer: Object oriented, reusable
 - Decision layer: Tightly integrates planner (Aspen) and executive (TDL)
- Developed at NASA for Next-Generation Mars Rovers
 - Still very much under development

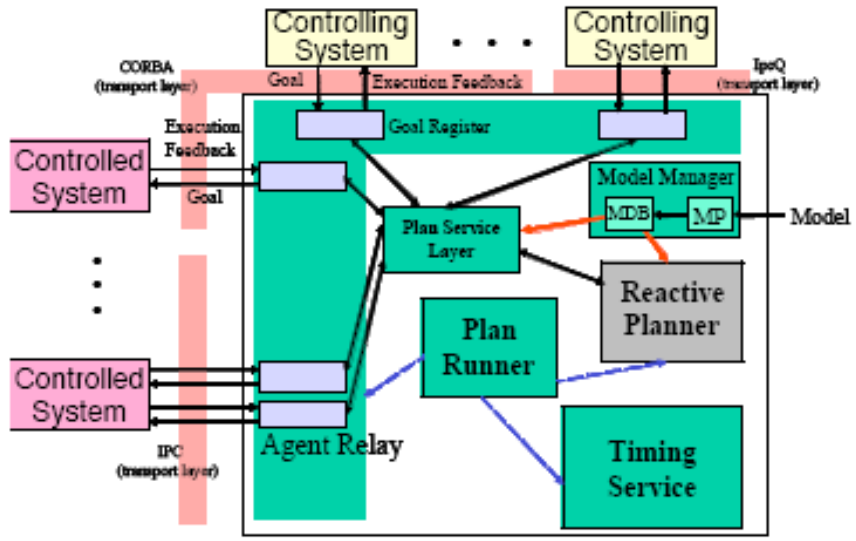
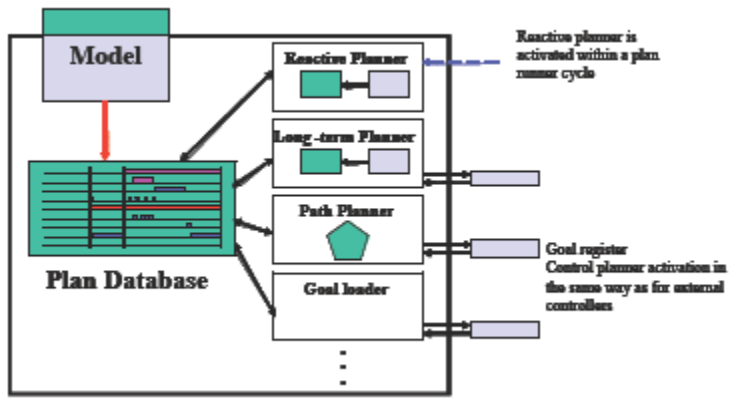


Pianificazione ed Esecuzione continua in CASPER (JPL)



Model-based executive control through reactive planning:

- Pianificazione e schedulazione al livello esecutivo
- Componenti distribuiti con interagiscono con cicli sense-plan-act



Architetture robotiche come architetture cognitive:

- Fusione sensoriale
- Ragionamento
- Deliberazione
- Apprendimento

- Percezione/Riconoscimento e Percezione/Azione
- Attenzione
- Coordinazione senso-motoria
- Motivazione
- Interazione Uomo-Robot

- Autonomia e Flessibilità di comportamento (Robotica di Campo)
- Interazione, Interpretazione, Continuo Apprendimento (Robotica Sociale)

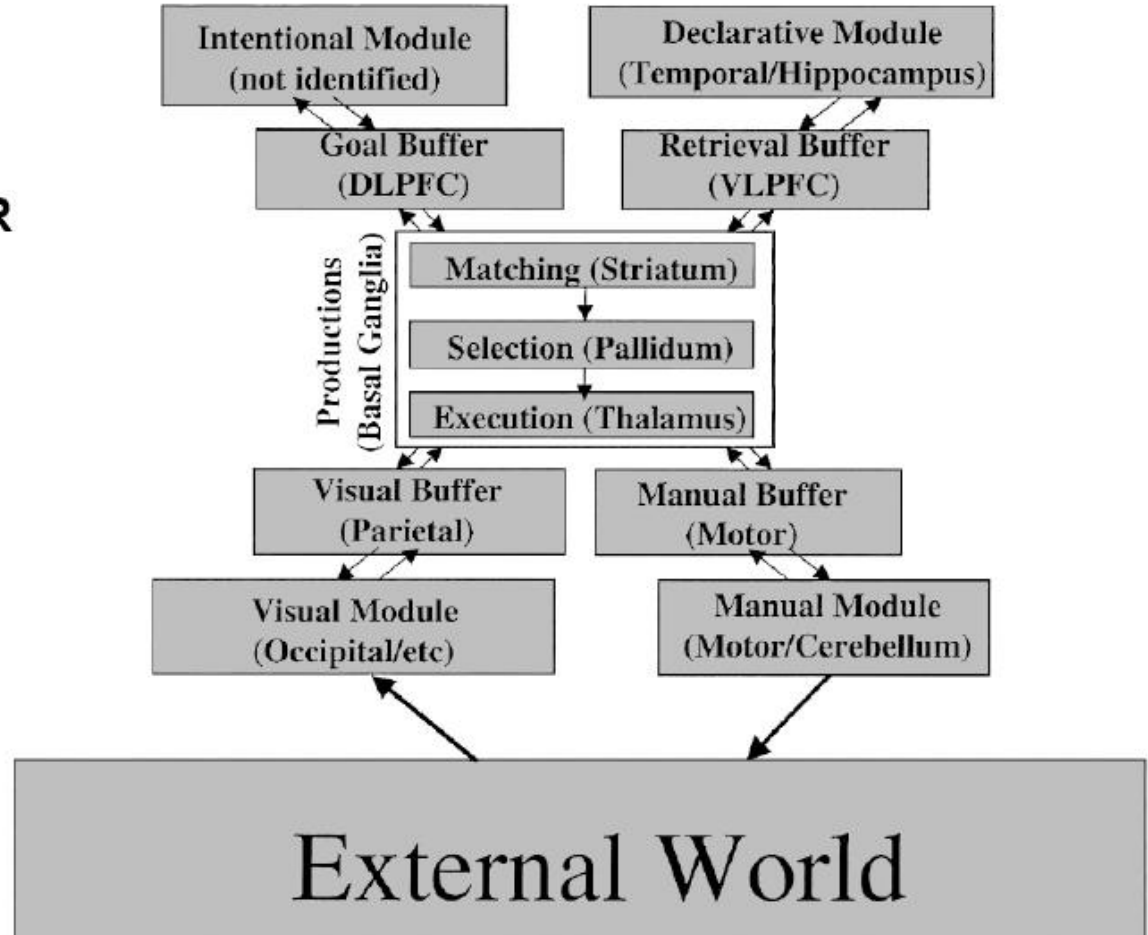
Plausibilità Cognitiva:
Teoria della cognizione
e verifica sperimentale

ACT-R

Embodied Agent:
utilizzata per controllo
di robots.

Due memorie:
procedurale ed
associativa

Continua scelta della
produzione più adatta
al contesto e al goal

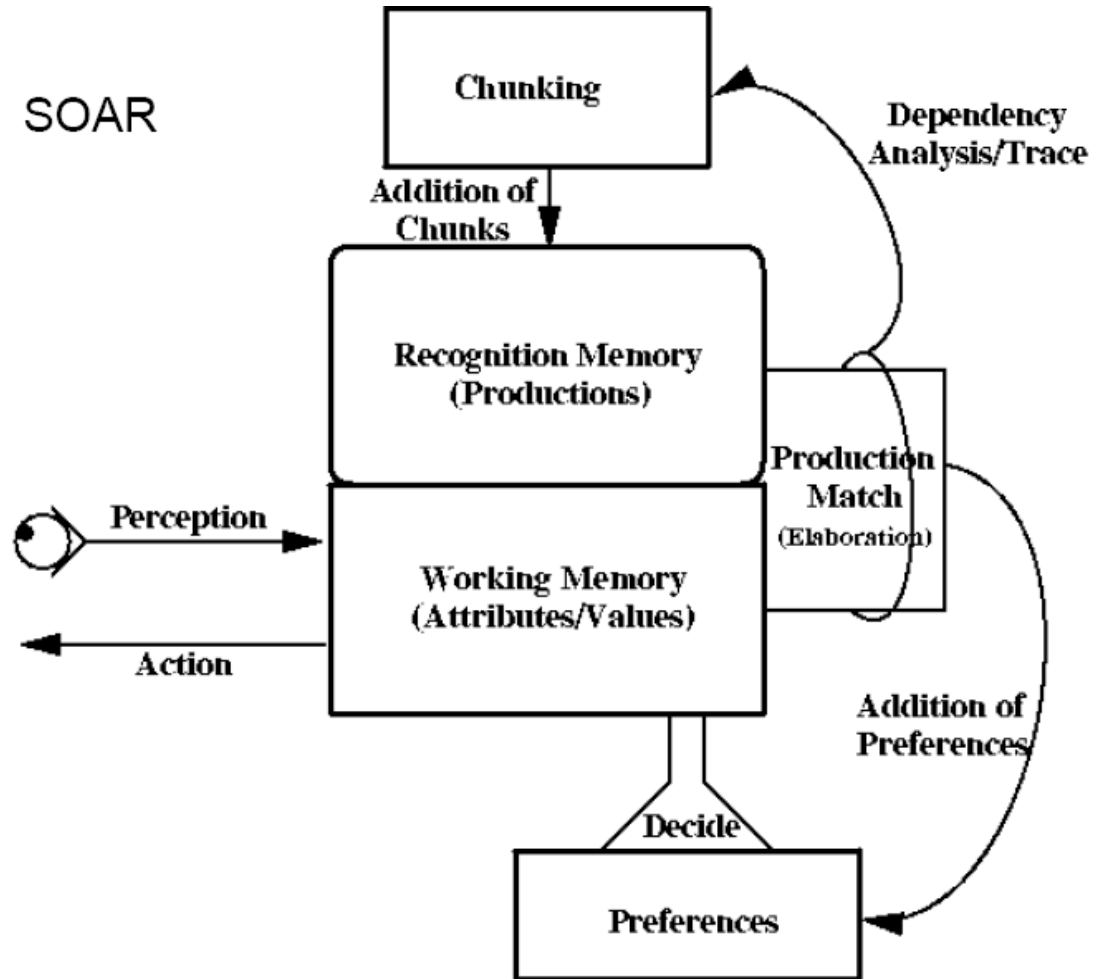


Plausibilità
Cognitiva;

Regole di
produzione; tutti
i task sono goal-
oriented

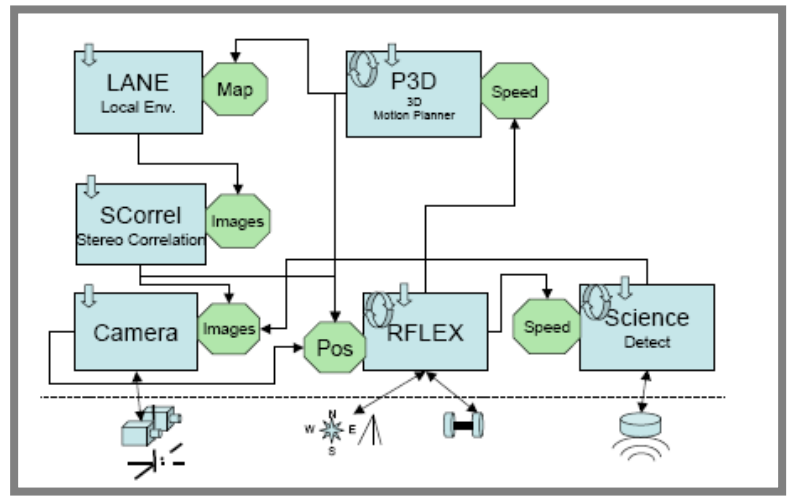
Ciclo di
selezione e
applicazione di
operatori; se
enpasse nuovo
goal

SOAR

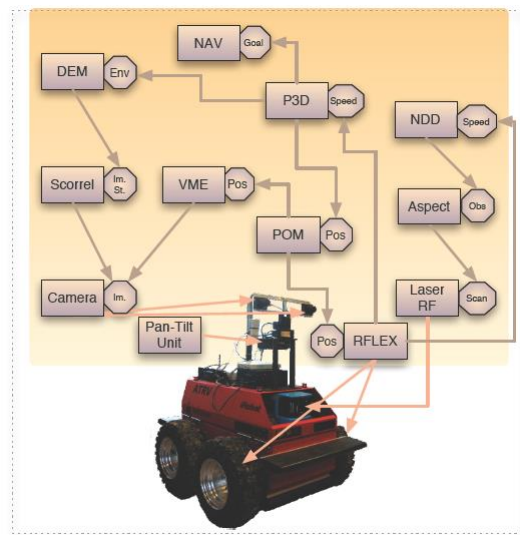


Funzionalità a diversi livelli di astrazione:

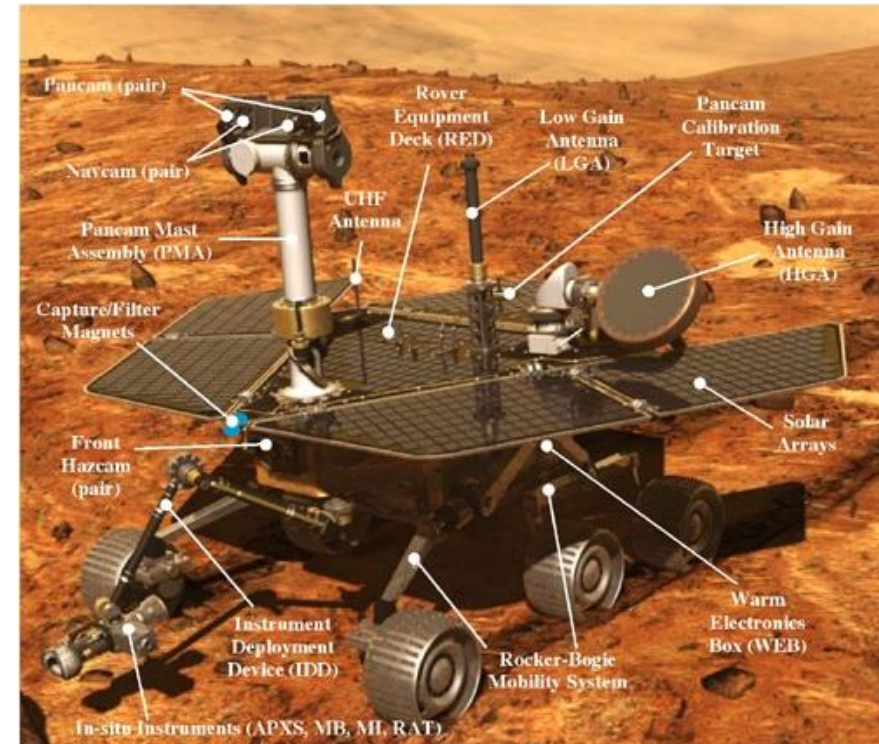
- Avoidance
- Mapping
- Localizzazione
- Navigazione
- Riconoscimento
oggetti, situazioni, luoghi, ...
- Manipolazione di oggetti
- Elaborazione di Immagini
- Interazione Uomo-Robot
- ...



Esempio: GENOME functional layer

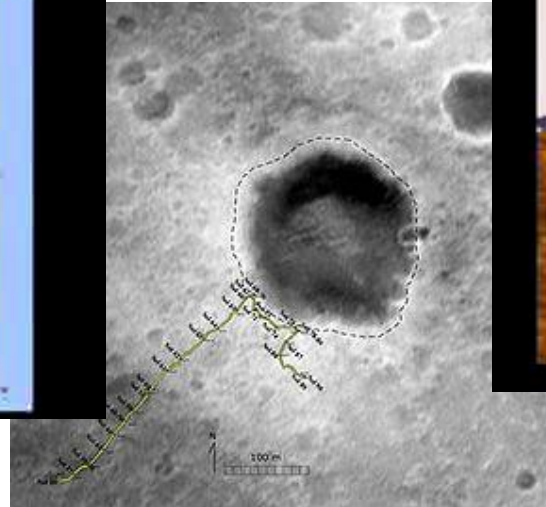
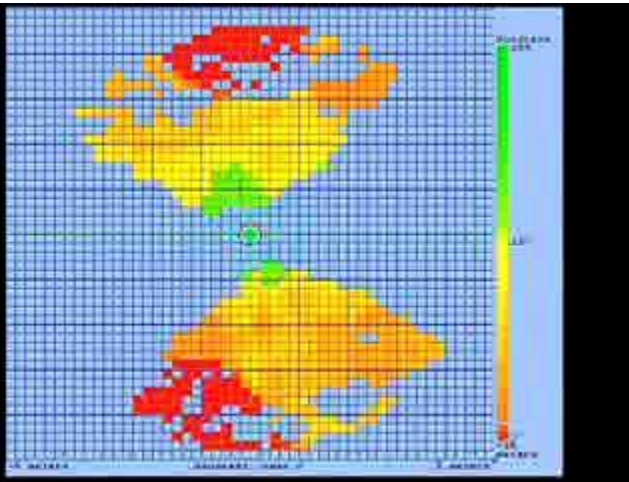


- Robot gemelli (Spirit e Opportunity) su Marte
- Strumenti: 3 telecamere (PAN, MI, Nav), 3 spettrometri (TES, MB, APXS), 1 scavatore.
- Controllo: supervisionato,
Navigazione autonoma (sperimentale)

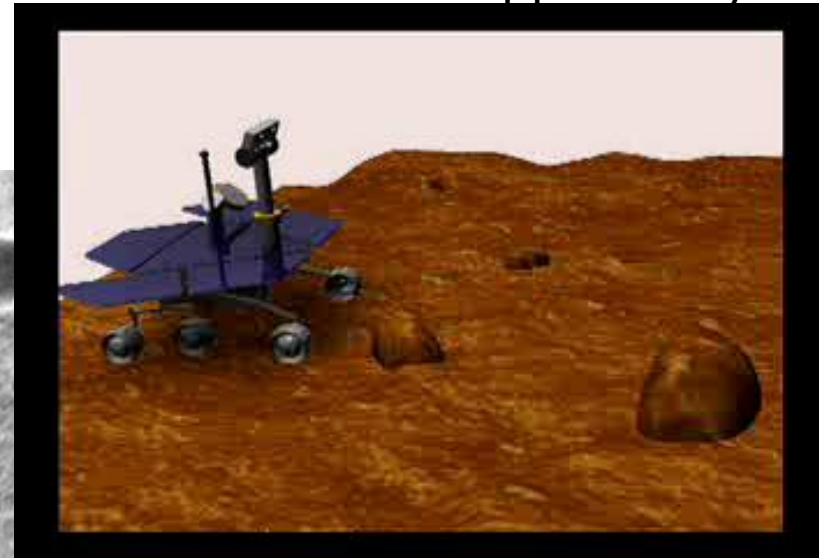


- Mapping Locale
- Navigazione semiautonomo: stereo camera, 3D mapping, obstacle avoidance, pathplanning, odometria visuale
- Opportunity 141 metri nel sol 82 (più di Sojourner!)

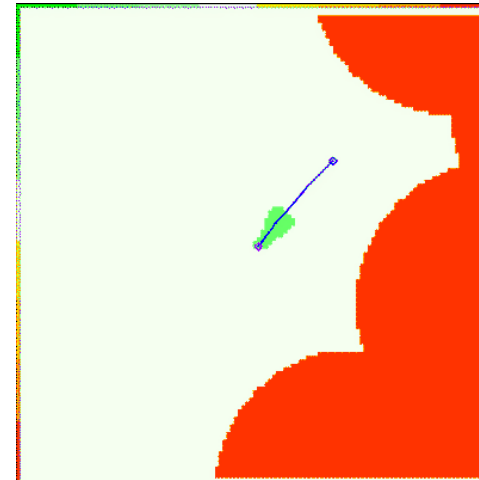
Dati reali Opportunity



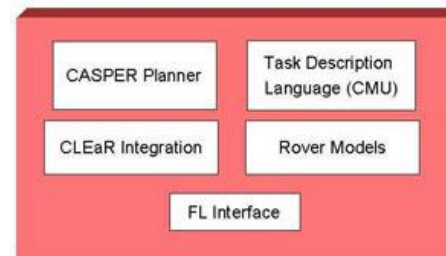
Ricostruzione Opportunity



- Navigazione: pianificazione di traiettoria con orizzonte di 50 metri
- CLARATY



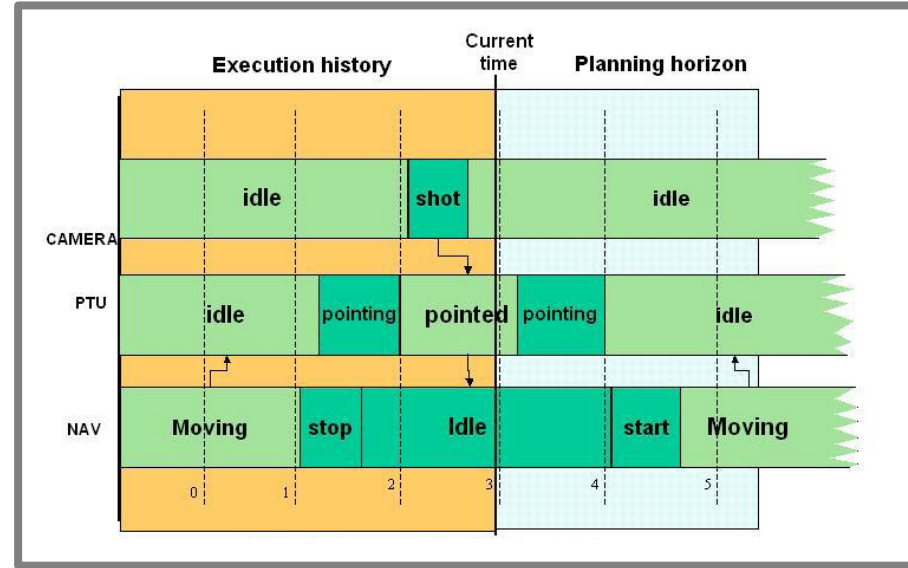
Animation Credit: NASA/JPL-Caltech/CMU



Rover			Adaptations
Navigation	Behaviors	Simulation	Rocky 8
Path Planning	Manipulation	Locomotion	FIDO
Estimation	Vision	Science	K9
Transforms	Math	Sensor	Rocky 7
Motion Control	Communication		
Input/Output	Hardware Drivers		

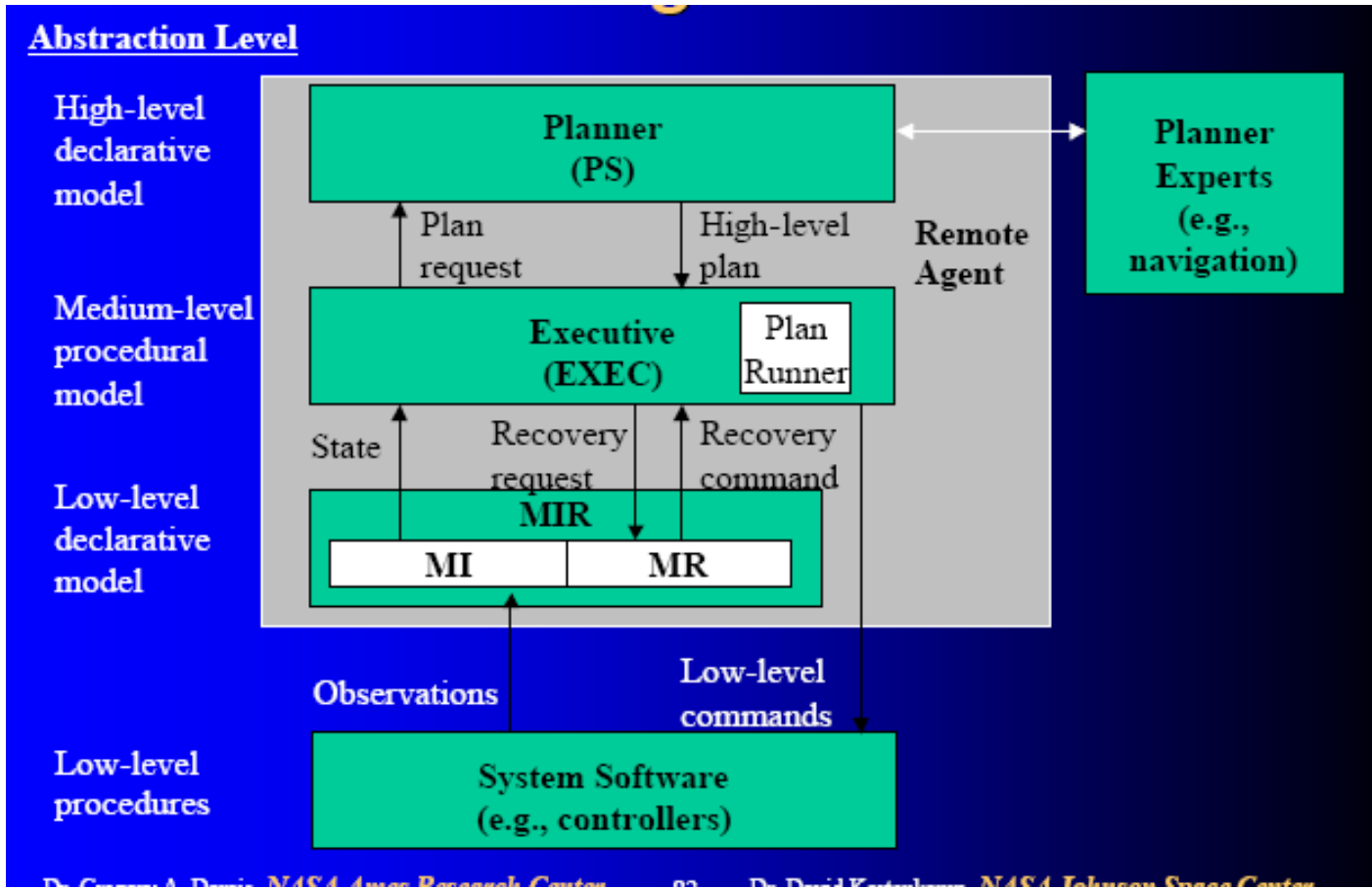
Meccanismi di decisione:

- Pianificazione Task
- Pianificazione Dinamica
- Pianificazione di Traiettoria
- Ragionamento temporale, dinamico, etc.
- Sistemi di decisione tattica e strategica



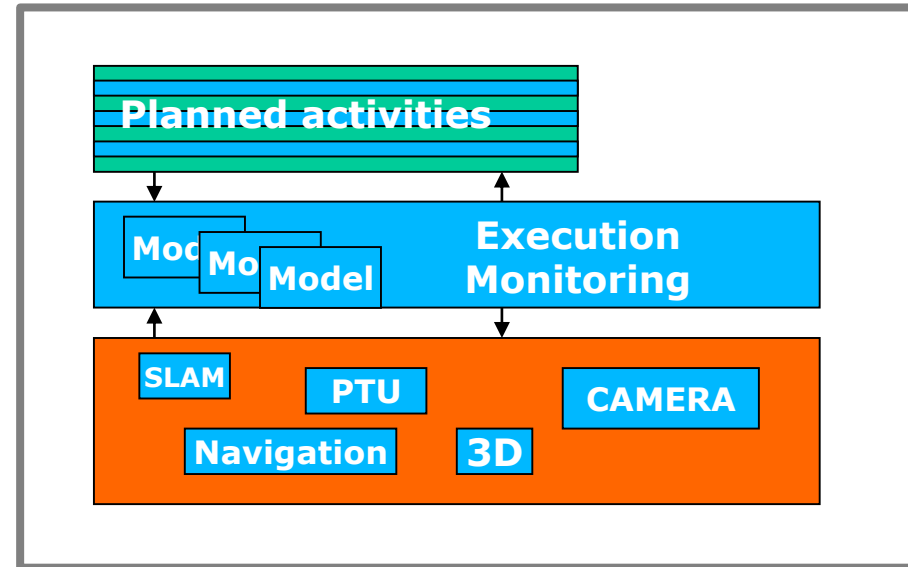
Esempio: Timeline-based Planning

- Modelli dell'ambiente
- Modelli del robot
- Modelli per l'interazione
- Modelli per la decisione



Incontro tra livello funzionale e deliberativo:

- Coordinazione senso-motoria
- Coordinazione deliberativo-esecutiva
- Monitoraggio dell'esecuzione
- Rilevamento di errori, diagnosi e riparazione
- Riconfigurazione, ripianificazione



I livelli Funzionale, Deliberativo ed Esecutivo articolano anche la struttura del corso:

- **Livello Funzionale:**

Rudimenti di robotica mobile e robotica probabilistica (mapping e localizzazione, navigazione, esplorazione, etc.).

Modelli bayesiani.

- **Livello Esecutivo:**

Monitoraggio dell'esecuzione e pianificazione dinamica; pianificazione dinamica; controllo cognitivo e sistemi attenzionali.

Modelli temporali, automi, etc.

- **Livello Deliberativo:**

Sistemi di Pianificazione e Schedulazione; pianificazione ed esecuzione; sistemi per la decisione; apprendimento gerarchico.

Modelli temporali, automi, etc..