

Sistemi Intelligenti Macchine e Mente

Alberto Borghese

Università degli Studi di Milano
Laboratory of Applied Intelligent Systems (AIS-Lab)
Dipartimento di Scienze dell'Informazione
borgnese@dsi.unimi.it



A.A. 2006-2007

1/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese/>



Sommario



- **Macchine e Mente**
- L'artificial life
- L'intelligenza collettiva

A.A. 2006-2007

2/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese/>



Riassunto



La macchina di Turing universale consente di rappresentare un qualunque algoritmo e una qualunque funzione computabile.

E' basata su operazioni elementari su un alfabeto di simboli, molto simile al funzionamento di un calcolatore elettronico.

La macchina di Turing si pone quindi come soluzione operativa di un qualsiasi problema (risolvibile).

Cosa vuole dire che una macchina di Turing è in grado, mediante un algoritmo, di risolvere un qualsiasi problema. Che relazione ha ciò con l'intelligenza? E' uno strumento "intelligente"?

Non è in grado di generare conoscenza (simbolica).



Le ipotesi sull'AI



Le macchine possono essere costruite per agire **come se** fossero intelligenti? **Weak AI position.**

Il calcolatore è uno strumento molto potente per lo studio e la replicazione della mente umana. **Thinking rationally** (logica, AI).

Le macchine che agiscono intelligentemente hanno una mente (reale e conscia). **Strong AI position.**

Il calcolatore, convenientemente programmato, è di per se stesso una mente, in grado di comprendere e di avere altri stati cognitivi, diversi (inferiori) a quelli del cervello umano. Obiettivo è **Thinking humanly** (cognitive science).



L'ipotesi debole o cauta sull'intelligenza artificiale



Funzionalismo: Funzionamento come se...

Una macchina può pensare? Può volare? Può nuotare?
Intelligenza simbolica, motoria, visiva,.... emotiva,...

“Il calcolatore non ha stampato perché pensava di essere collegato ad un'altra stampante.”

Come si può definire una “thinking machine”?

Approccio **sperimentale**: Test di Turing: “Computing Machinery and Intelligence” (1950).

A.A. 2006-2007

5/60

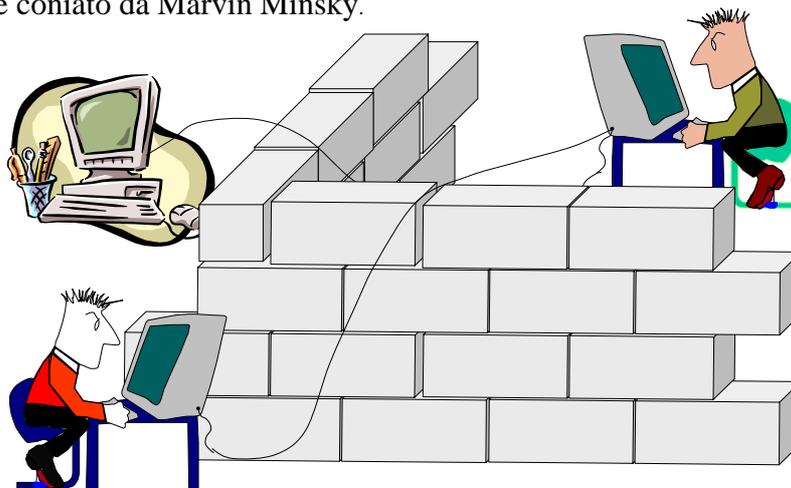
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Il test di Turing (1950)



La nascita dell'intelligenza artificiale, 2 anni prima che il termine fosse coniato da Marvin Minsky.



A.A. 2006-2007

6/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Contraddittorio sull'ipotesi debole



- 1) Una macchina non può originare nulla di nuovo, esegue dei programmi.
- 2) Il comportamento intelligente non può essere completamente replicato.
- 3) Il comportamento intelligente non può essere completamente catturato da regole formali (argument for informality).
- 4) Anche se un computer si comportasse in modo da superare il test di Turing, non sarebbe comunque classificato come intelligente.



Una macchina non può originare nulla di nuovo



Una cosa che può fare una macchina è imparare dall'esperienza. Programma di scacchi. Algoritmi per la valutazione della sequenze di mosse, e da qui miglioramento della strategia di gioco. **Machine learning. Reinforcement learning.**

Apprendimento, patrimonio genetico e culturale formano intelligenza (come?).

Come si sviluppano gli umani dalla nascita all'età adulta?



Il comportamento intelligente non può essere completamente replicato (argument from disability)



Cosa non può fare una macchina?

“Essere gentile, bellissima, amichevole, avere iniziativa, essere spiritosa, distinguere il bene dal male, innamorarsi, essere golosa di fragole alla panna, fare innamorare qualcuno, imparare dall’esperienza, avere proprietà di linguaggio, riflettere su sé stessa, avere una varietà di comportamenti, essere veramente creativa” (A. Turing, 1940).

E’ una questione di tempo e di conoscenze nel campo delle Scienze Cognitive?



Il comportamento intelligente non può essere completamente catturato da regole formali (argument from informality)



Il comportamento umano è troppo complesso per essere codificato in regole formali.

La conoscenza non è sempre codificabile in forma simbolica.

Rappresentazione sub-simbolica della conoscenza => intelligenza è una proprietà emergente dell’architettura neurale, conoscenza **sub-simbolica**, struttura + collegamenti + funzionamento).

C’è un’intelligenza anche se la conoscenza non è espressa in modo simbolico esplicito (conoscenza sub-simbolica).



La macchina che passa il test di Turing potrebbe non essere intelligente (potrebbe confutare l'ipotesi forte)



Manca di coscienza.

Non è sufficiente che la macchina replichi o interpreti il funzionamento di un'altra macchina. Occorre che sia anche conscia.

Occorre che un calcolatore non sia in grado solamente di replicare il funzionamento di un altro, ma che ne replichi gli algoritmi implementati dal Sistema Operativo.

L'intelligenza va al di là di "thinking rationally" o "thinking machine".



Critiche all'AI classica



INTELLIGENZA: L'unico problema che resta è quello di **identificare la funzione, indubbiamente complessa, che governa la struttura delle risposte umane all'ambiente e poi scrivere il programma** (l'insieme delle regole applicabili ricorsivamente) per mezzo del quale la macchina MS la calcola. Questi obiettivi costituiscono il **programma di ricerca basilare dell'intelligenza artificiale classica**.

CRITICA DI HUBERT L. DREYFUS, 1972: mancava il vasto cumulo di conoscenze di base inarticolate che ogni persona possiede e la capacità che ha il buon senso di sfruttare gli aspetti utili di tali conoscenze al mutare delle circostanze. Pensiero ed intelligenza non possono ridursi solamente alla manipolazione di simboli mediante regole applicabili ricorsivamente (intuito, istinto, pensiero non-razionale, associatività).

L'ipotesi debole può essere soddisfatta in modo "debole".



Dalla macchina di Turing alla conoscenza: l'approccio filosofico



“It is rather as philosophers were to proclaim themselves expert explainers of the methods of a stage magician, and then, when we ask them to explain how the magician does the saw-the lady-in-half trick, they explain that it is really quite obvious: the magician doesn't really saw her in half; he simply makes it appear that he does. “But how does he do *that*?” we ask. “Not our department”, say the philosophers. (Dennet, 1984).

Ipotesi dell'”Omuncolo”

Noi vogliamo arrivare a capire cosa c'è dietro. Qual è l'algoritmo la logica dietro un programma eseguito da una macchina di Turing. Come fa la macchina di Turing ad autoprogrammarsi?



Ipotesi forte sulla AI



Le macchine che agiscono intelligentemente hanno una mente (reale e conscia). **Strong AI position.**

Il calcolatore, convenientemente programmato, è di per se stesso una mente, in grado di comprendere e di avere altri stati cognitivi propri del cervello umano. *Thinking humanly* (cognitive science).

“Fino a quando una macchina non sarà spinta a comporre un sonetto o un concerto dai suoi stati d'animo e dalla sua conoscenza, e, non semplicemente, da una statistica sulla composizione dei simboli, non possiamo pensare che quella macchina sia uguale alla nostra mente; non potremo cioè affermare che la macchina sia uguale alla nostra mente fino a quando non potremo affermare non solo che ha scritto il componimento, ma anche che sa di averlo scritto” (Turing, 1944).

Cos'è la coscienza?



La Stanza Cinese (J. Searle, 1980)



La persona (CPU).
Un libro di regole (Il programma).
Un pacco di fogli (la memoria).



Il calcolatore potrebbe dimostrare di essere intelligente al test di Turing, senza comprendere nulla. Il signore nella stanza cinese riceve in ingresso dei simboli che manipola secondo regole a lui ignote e poi fornisce le risposte. Lui non conosce il cinese!

A.A. 2006-2007

15/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Osservazioni



Criterio non comportamentale per l'intelligenza: gli elementi dell'intelligenza cosciente devono possedere un contenuto semantico reale.

La sintassi, di per sé, non è condizione essenziale, né sufficiente, per la determinazione della semantica

I programmi non sono condizione essenziale né sufficiente perché sia data una mente

A.A. 2006-2007

16/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Contraddittorio



Ragionamento:

- 1) Alcuni oggetti non sono capaci di comprensione (del cinese).
- 2) La persona nella stanza, il libro di regole e la pila di fogli sono oggetti di questo tipo.
- 3) Se ciascuno di questi oggetti è privo di comprensione, allora un qualsiasi sistema costruito con questi oggetti è privo di comprensione.
- 4) Non c'è conoscenza nella stanza.

Dato che gli uomini sono costituiti da molecole, e le molecole non hanno COSCIENZA, l'uomo non ha coscienza?

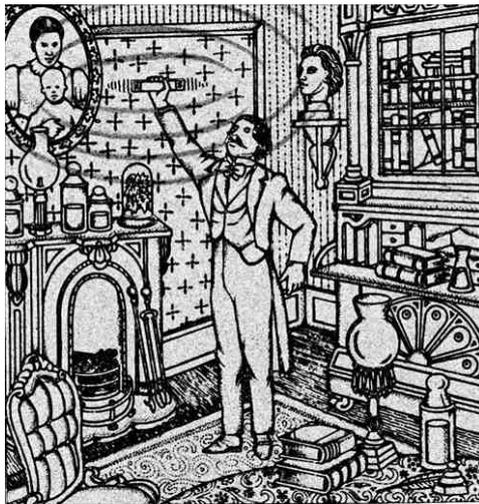
A.A. 2006-2007

17/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



La stanza di Maxwell (Churchland, 1986)



•Assioma 1. L'elettricità ed il magnetismo sono forze.

•Assioma 2. La proprietà essenziale della luce è la luminosità.

•Assioma 3. Le forze, da sole, non sono essenziali ne' sufficienti per dare la luminosità.

Tesi: Il movimento di un magnete in una stanza non produce apparentemente nulla.

A.A. 2006-2007

18/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Soluzione del contraddittorio



La coscienza è una **proprietà emergente** di sistemi di neuroni, propriamente disposti, ed attivi (*J. Searle, "The Rediscovery of Mind", 1992*). Questo punto di vista è condiviso dagli scienziati cognitivi.

[Esempio: un bambino che impara una lingua estera non è molto diverso dalla stanza cinese].

Il focus di questo corso è proprio sull'**emergent intelligence**, collective intelligence. L'intelligenza che emerge "dal basso", mediante interazione tra elementi relativamente semplici.



AI ed intelligenza



Altre differenze tra l'AI e l'intelligenza biologica: come fa il cervello a pensare?



Struttura del SNC:

Altamente parallela (10^{11} neuroni e 10^{14} connessioni).

Neurone è un elemento relativamente semplice, il suo stato è continuo e non discreto.

Connessioni bidirezionali.

Reti Neurali artificiali si sono rivelati dei modelli parametrici molto potenti per rappresentare i sistemi più diversi.

Il problema rimane l'apprendimento.



Implicazioni del confronto



Architettura parallela incrementa la velocità e non soffre di colli di bottiglia.

Resistente ai danni.

Informazione (conoscenza) distribuita e multi-chiave, ad accesso parallelo.

Rappresentazione di funzioni mediante parametri (rappresentazione parametrica).

Funziona male per problemi che devono essere risolti in modo ricorsivo e non possono essere parallelizzati (e.g. calcolo di funzioni).

Funziona bene per tutte le attività che richiedono parallelismo: elaborazione sensoriale, pianificazione, ragionamento.

Rappresentazione di funzioni in modo esplicito, mediante le funzioni stato prossimo ed uscita.



Com'è fatta la mente?



Robotica. The Brain Prosthetic Experiment (*H. Moravec, 1988*).

Cosa succede se sostituisco uno ad uno tutti i neuroni nella corteccia con un dispositivo elettronico?

Risposta funzionalista (la mente è una scatola nera, i costituenti possono essere diversi, la mente rimane).

Risposta strutturalista (e.g. Searl, ad un certo punto la coscienza svanisce).



Perché è importante per i sistemi intelligenti?



La macchina di Turing potrebbe eseguire tutti i procedimenti mentali trasformandoli in un procedimento formale di passaggi da uno stato all'altro, ma è condizione necessaria per l'intelligenza.

- Inoltre la macchina di Turing manipola simboli di cui non conosce il significato, a differenza della mente umana.
- Dall'analisi ripetitiva delle sequenze di simboli, può derivare un'intelligenza? Machine learning, Reinforcement learning, Biological learning. Dal sub-simbolico, al simbolico, all'intelligenza.
- Esperimento di Moravec: the prosthetic brain. Sostituisco un neurone alla volta con un dispositivo elettronico e viceversa, cosa succede alla coscienza?



Sommario



- Macchine e Mente
- **L'artificial life: macro-scala**
- L'intelligenza collettiva



Artificial life



Elementi con una propria struttura e capacità.

L'intelligenza nasce con l'interazione tra gli elementi e con l'ambiente.

Interesse da parte dell'industria dell'animazione digitale, ma anche da parte dell'industria, della fisica, della chimica....

A.A. 2006-2007

25/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Artificial life



"The term "artificial life" describes research into synthetic systems that possess some of the essential properties of life.

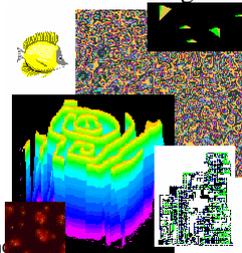
Its field of study partly overlaps with AI, but AL has more in common with biology and physics.

It is based on a SW support with respect to robotics, which has a HW support.

This interdisciplinary field includes biologists, computer scientists, physicists, chemists, geneticists, and others. Artificial life may be viewed as an attempt to **understand high-level behavior from low-level rules**--for example, how the simple interactions between ants and their environment lead to complex trail-following behavior.

An understanding of such relationships in particular systems can suggest novel solutions to complex real-world problems such as disease prevention, stock-market prediction, and data mining on the Internet."

<http://www.alife.org/links.html>



A.A. 2006-2007

26/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Obbiettivi dell'Artificial life



“The objective of AL is to study evolution process in a computer-simulated artificial world. We hope that, like in the real world, despite randomness and aimlessness of basic evolution mechanisms, it will lead to creation of more and more efficient artificial organisms, still better and better adapted to the artificial world conditions”.

For many years people used computers to simulate Nature.

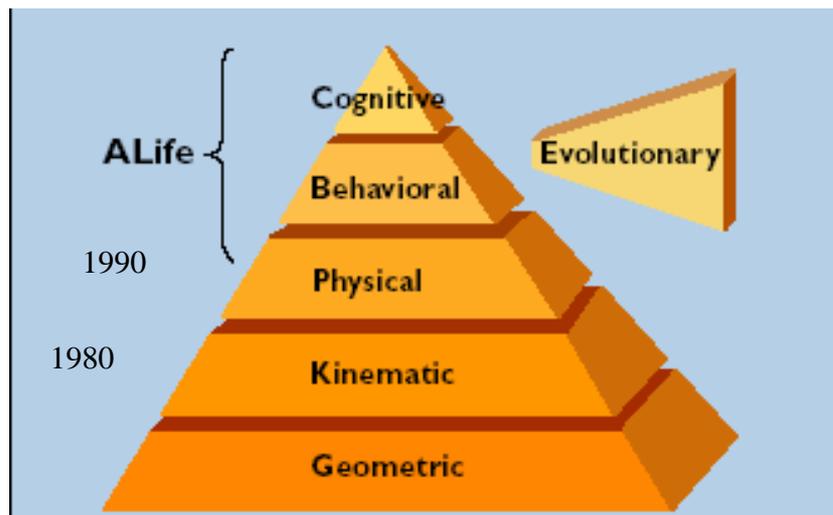
“Scientists studying AL concentrate on various fields and serve many purposes. Rules of simulated worlds do not have to be like real ones, but such models seem more interesting (perhaps because you are able to directly compare simulation results with reality).”

Simulations are based observing natural phenomena: birth, death, growth, development, natural selection, evolution, perception, motion, objects manipulation, adaptation, learning, and intelligence.

^



Artificial life

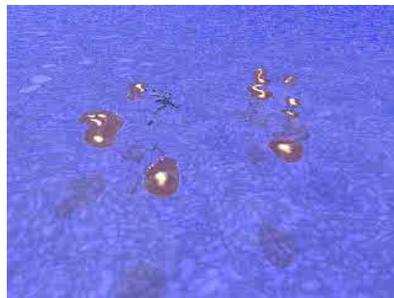




Esempi di Alife



Inseguimento
sulla terra ferma



Inseguimento
nell'acqua

<http://www.frams.alife.pl>

A.A. 2006-2007

29/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Esempi di Alife



Planet life



Swimmer

<http://www.frams.alife.pl>

A.A. 2006-2007

30/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Artificial plants



A synthetic model of the topiary garden at Levens Hall, England, by

R. Mëch, P. Prusinkiewicz, and M. James. "Garden of L" (inset) by P. Prusinkiewicz,

F. Fracchia, J. Hanan, and D. Fowler; see www.cpsc.ucalgary.ca/~pwp

L-systems

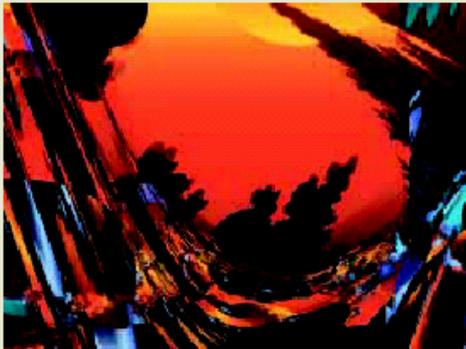
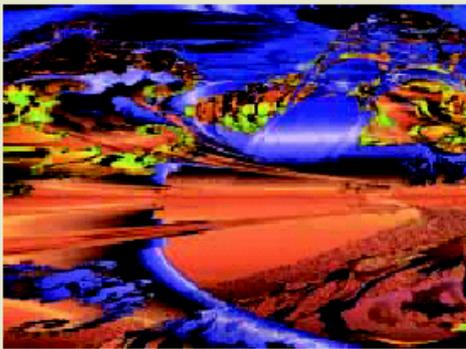
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



L'evoluzione artificiale



Pioniere è stato Karl Sims, 1991 => Sims city

"In the Beginning" (left); "The High Plains of Kilimanjaro" (right).

IMAGES BY STEVEN ROOKE; SEE WWW.CONCENTRIC.NET/~SROOKE

A.A. 2006-2007
32/60
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Sommario



- Macchine e Mente
- **L'artificial life: i flock**
- L'intelligenza collettiva



I principi di un flock



Presentano un *collective behavior*.

Sistemi particellari.

- Grande quantità di particelle che costituiscono un conglomerato fuzzy.
- Ciascuna particella è molto semplice ed ha un comportamento molto semplice.
- Le interazioni sono definite solamente con l'ambiente.

Flocks

- Gli elementi sono in numero ridotto.
- Hanno un comportamento fisico più complesso ed una quantità (limitata) di intelligenza.

*Nel campo gli agenti si parla di **boids** (acronimo di birdoids).*

L'impressione di un comportamento unitario è un *emergent behavior*.



I moduli nel controllo di un elemento del flock



Per ciascun elemento posso definire:

- Il comportamento fisico. Urto tra la struttura degli elementi (possono essere basati su scheletro) e l'ambiente.
- La percezione (il sistema sensoriale).
- Lo stato (riassume la storia dell'elemento del flock)
- I bisogni istantanei (obbiettivi, impusi...).
- Il ragionamento.
- L'azione (il sistema motorio).

A.A. 2006-2007

35/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Motori di movimento di un flock (Reynolds)



Locali (+ randomness):

- **Collision avoidance.** Spazio vitale + ostacoli esterni. Regola: allontanati quando arrivi "troppo" vicino ad un ostacolo (Q: in che direzione ci si allontana? Cosa vuol dire troppo?).
- **Flock centering.** Forza di coesione. Rappresentazione locale: ogni elemento tende ad avvicinarsi al centro dello stormo.
- **Alignment.** Gli elementi del flock cercano di mantenere la propria velocità di volo e la direzione allineata con quella dei vicini.

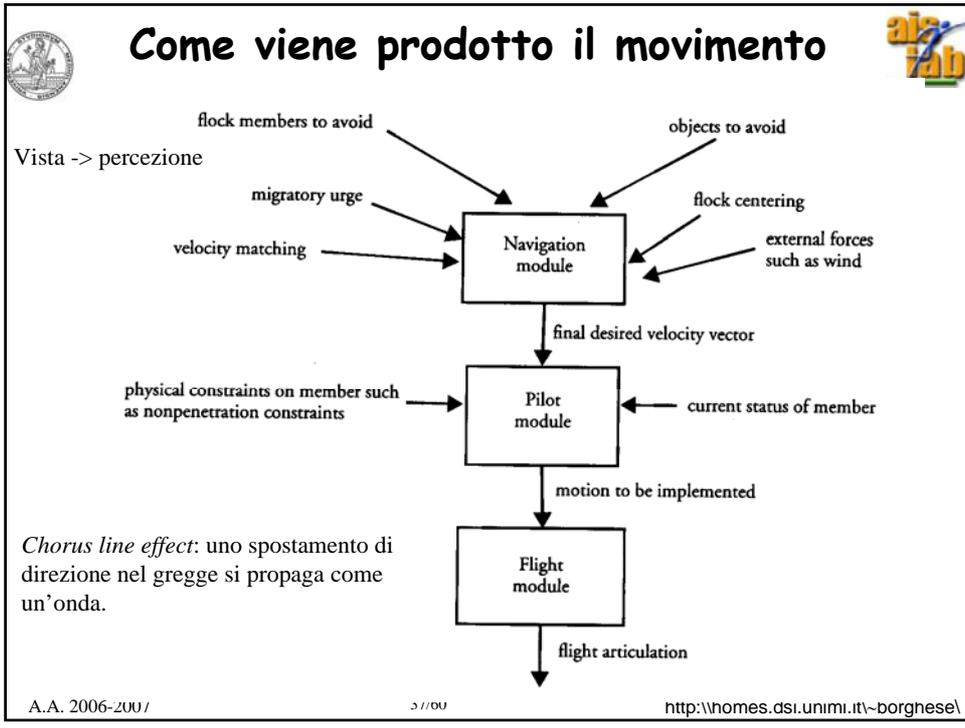
Leader following.

+ Random Impact (Poisson processes).

A.A. 2006-2007

36/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



The animats

<http://www.isab.org.uk/sab02/>

<http://www.animats.com/>

A.A. 2006-2007 38/60



Applicazioni di tecniche di Flocking nel cinema (Terzopoulos, 1999)



Table 1. Examples of behavioral animation in the movies.

Year	Title	Director	Producer
1987	<i>Stanley and Stella in: Breaking the Ice</i> (short)	L. Malone	Symbolics
1988	<i>Behave</i> (short)	R. Allen	R. Allen
1989	<i>The Little Death</i> (short)	M. Elson	Symbolics
1992	<i>Batman Returns</i>	T. Burton	Warner Brothers
1993	<i>Cliffhanger</i>	R. Harlin	Carolco Pictures
1994	<i>The Lion King</i>	R. Allers, R. Minkoff	Walt Disney Productions
1996	<i>From Dusk Till Dawn</i>	R. Rodriguez	Miramax Films
1996	<i>The Hunchback of Notre Dame</i>	G. Trousdale, K. Wise	Walt Disney Productions
1997	<i>Hercules</i>	R. Clements, J. Musker	Walt Disney Productions
1997	<i>Spawn</i>	M. Dippé	New Line Cinema
1997	<i>Starship Troopers</i>	P. Verhoeven	TriStar Pictures
1998	<i>Mulan</i>	T. Bancroft, B. Cook	Walt Disney Productions
1998	<i>Antz</i>	E. Darmell, L. Guterman, T. Johnson	Dreamworks SKG/PDI
1998	<i>A Bug's Life</i>	J. Lasseter, A. Stanton	Walt Disney Productions/Pixar
1998	<i>The Prince of Egypt</i>	B. Chapman, S. Hickner, S. Wells	Dreamworks SKG
1999	<i>Star Wars: Episode I—The Phantom Menace</i>	G. Lucas	Lucasfilm



Sommario



- Macchine e Mente
- **L'artificial life: gli agenti**
- L'intelligenza collettiva



Gli agenti



“An agent is an autonomous software system: a system that can decide for itself what it needs to do.”

“Two main "religions" appear to have emerged with respect to agents: the *intelligent agents* community, and the *mobile agents* community. Intelligent agents are essentially agents that can do reasoning or planning. Mobile agents are agents that can transmit themselves across a computer network (e.g., the internet) and recommence execution on a remote site.”



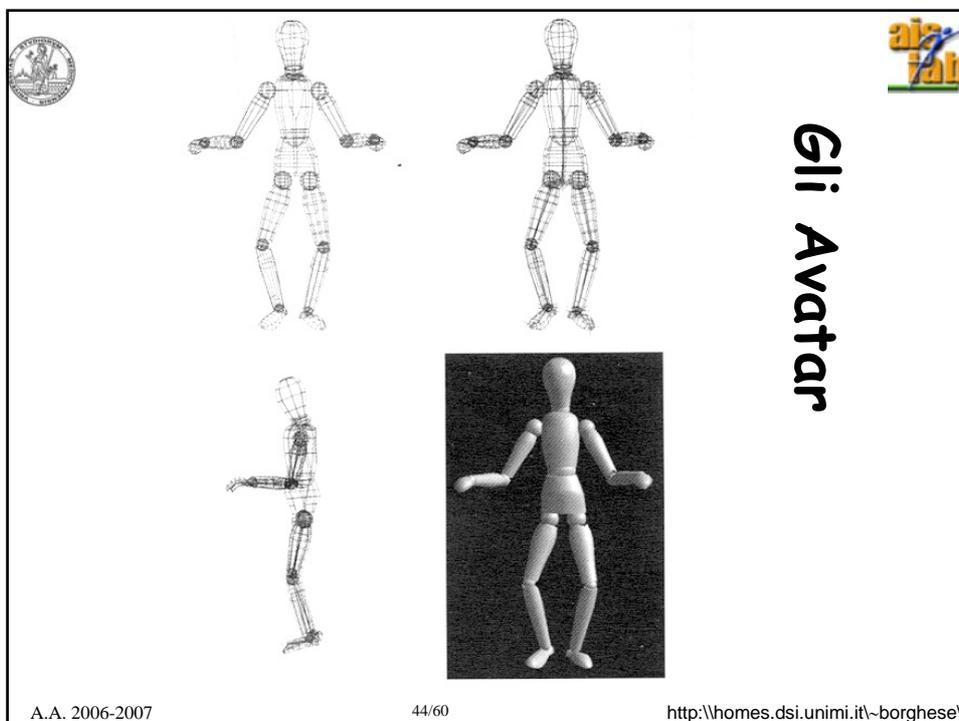
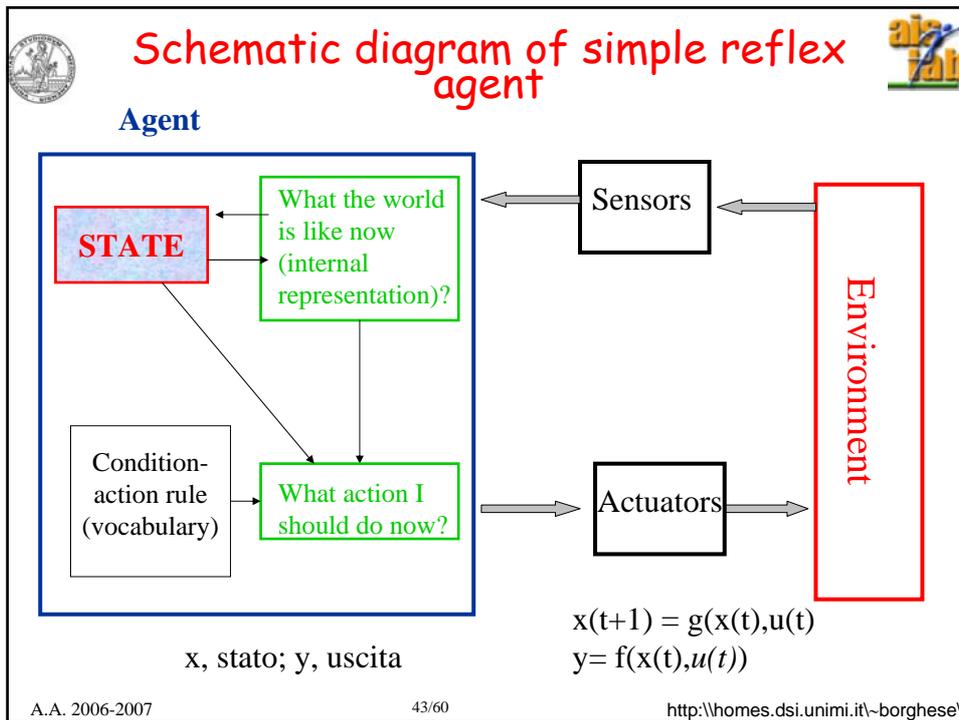
Why agents are important?



“They are seen as a natural metaphor for conceptualising and building a wide range of complex computer systems (the world contains many passive objects, but it also contains very many *active* components as well);

They cut across a wide range of different technology and application areas, including telecoms, human-computer interfaces, distributed systems, WEB and so on;

They are seen as a natural development in the search for ever-more powerful abstractions with which to build computer systems.“





Cosa sono gli AVATAR



- Sono secondo etimologia divinità discese da cielo.
- Comportamento autonomo.
- Personalità autonoma (comportamento che segue all'interazione con l'ambiente).



<http://www.ccon.org/conf01/>

A.A. 2006-2007

45/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



AVATAR BEHAVIOR



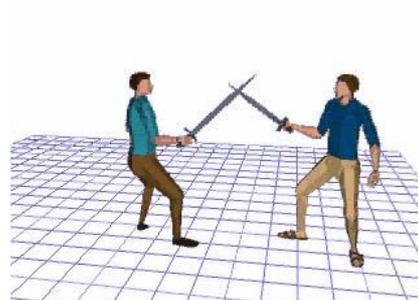
Jacks



Human
Animal

Fantasy

Animation (may be combined with any of the previous categories)



Cartoon
Best Bang for the Buck
(500 vertices or less)

<http://www.plmsolutions-eds.com/products/efactory/jack/moviesandimages.shtml>

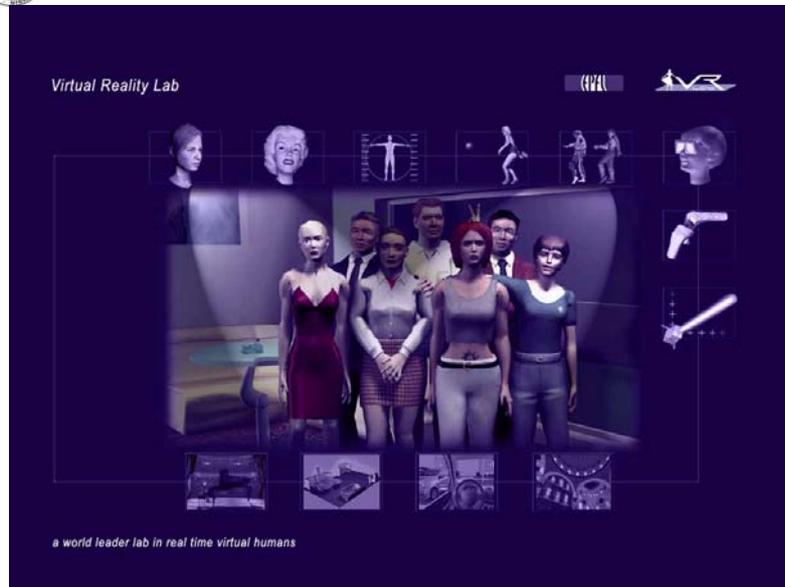
A.A. 2006-2007

46/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Daniel and Nadia Thalman



<http://vrldb.epfl.ch>

A.A. 2006-2007

47/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Fattori cognitivi.



Componenti:

- Sensori: visione, tatto e udito.
- Ragionamento: motore inferenziale – AI (ma non solo).
- Comportamenti (vocabolario motorio, parametrizzato).
- Fattori stocastici.

Matrimonio tra Animazione Digitale e Sistemi Intelligenti (AI)

Controllo autonomo di essere inanimati.

Umanizzazione di elementi della scena.

Preludio ai robot umanoidi.

Pioniere: Bruce Blumberg, 1995: ALIVE.

<http://web.media.mit.edu/~bruce/>



A.A. 2006-2007

48/60



Elementi significativi di un avatar



- **Elementi cognitivi** (ambiente). L'ambiente deve essere modellato per l'interazione (affordances tra oggetti ed interazione, e.g. il linguaggio tagged delle pagine .html, le feature dei pezzi nella catena di montaggio....
- **Stati emozionali in generale (stimoli all'azione)**
 - Comandi. Qualcosa che deve essere fatto pena la morte.
 - Desideri. Cose che dovrebbero essere fatte, se il sistema di controllo lo consente.
 - Suggerimenti.
- **Livello di dettaglio.** Gerarchia nella pianificazione del movimento.



Ciclo di azione - reazione di un avatar



*Comportamento: pianificazione ed esecuzione
(e valutazione)*

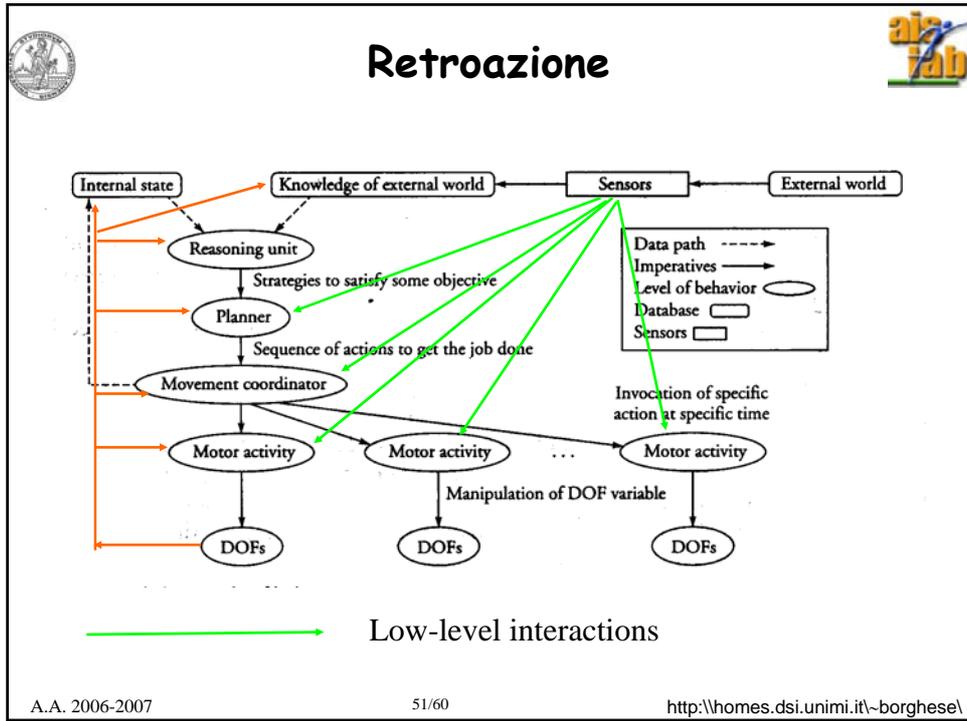
Dato un certo input:

Ragionamento (AI): cosa devo fare?

Pianificazione (Intelligenza motoria): come posso farlo?

Esecutore: traduzione in macro-comandi motori.

Valutazione: come l'ho fatto?





Sommario



- Macchine e Mente
- L'artificial life
- **L'intelligenza collettiva**



Ant colonies <http://iridia.ulb.ac.be/~ants/ants2004/>



Fourth International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence.

“Researchers in ethology and animal behavior have proposed many models to explain interesting aspects of social insect behavior such as self-organization and shape-formation. Recently, algorithms inspired by these models have been proposed to solve difficult computational problems.

*An example of particularly successful research direction in swarm intelligence is **ant colony optimization**, which focuses on discrete optimization problems. Ant colony optimization has been applied successfully to a large number of difficult discrete optimization problems including the traveling salesman, the quadratic assignment, scheduling, vehicle routing, etc., as well as to routing in telecommunication networks.*

*Another example of interesting research direction is **swarm robotics**, where the focus is on applying swarm intelligence techniques to the control of large groups of cooperating autonomous robots”.*

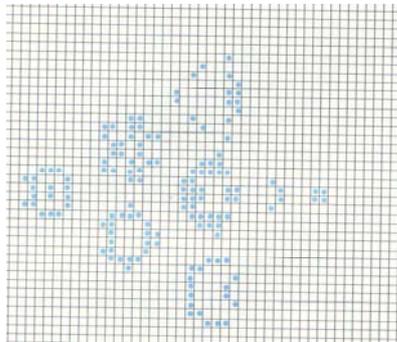
Bonabeau e Theraulaz, Swarm Smarts, Scientific American, 2000.



Automati cellulari



Automati cellulari, es: gioco della vita



Insieme di sistemi dinamici identici, detti **celle**, connessi tra loro **localmente**.

Un automa cellulare è una **macchina a stati finiti** (automa) composta da più cellule cooperanti. A seconda delle regole di transizione, il sistema può essere in continua evoluzione o raggiungere uno stato stabile

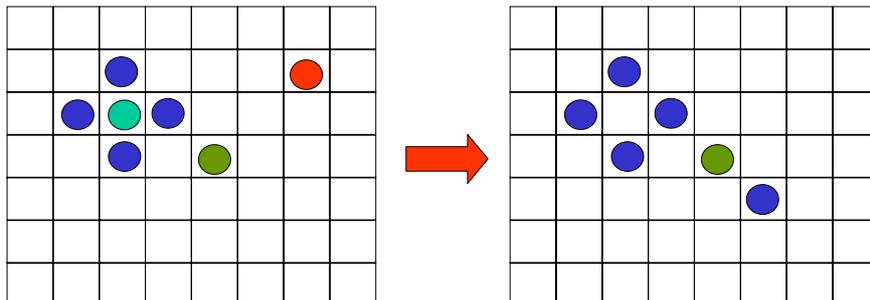
A.A. 2006-2007

55/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Esempio di regole del gioco della vita



-  Soccombe (isolato)
-  Soccombe (soffocato)
-  Si riproduce (un unico vicino)
-  Permane immutato

A.A. 2006-2007

56/60

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Applicazioni degli automi cellulari



- Computer graphics
- Simulazione di sistemi biologici (mappe ECG)
- Simulazione di fenomeni fisici (flusso di calore, di fluidi,...)
- Progettazione di calcolatori paralleli
- Simulazione di fenomeni sociali o economici.

“Studying Artificial Life with Cellular Automata” Christopher Langton 1986- Physics D, 22, 120.149.



Sommario



- Macchine e Mente
- L'artificial life
- L'intelligenza collettiva