

Sistemi Intelligenti Introduzione – IIa parte

Alberto Borghese

Università degli Studi di Milano
Laboratorio di Motion Analysis and Virtual Reality (MAVR)
Dipartimento di Scienze dell'Informazione
borghese@dsi.unimi.it



A.A. 2003-2004

1/61

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



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).

E' quindi uno strumento "intelligente"?

Non è in grado di generare conoscenza (simbolica).

A.A. 2003-2004

2/61

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



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).

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

Russel Norvig – Artificial Intelligence: a Modern Approach. Cap. 26.



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 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 propri del cervello umano. *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. 2003-2004

5/61

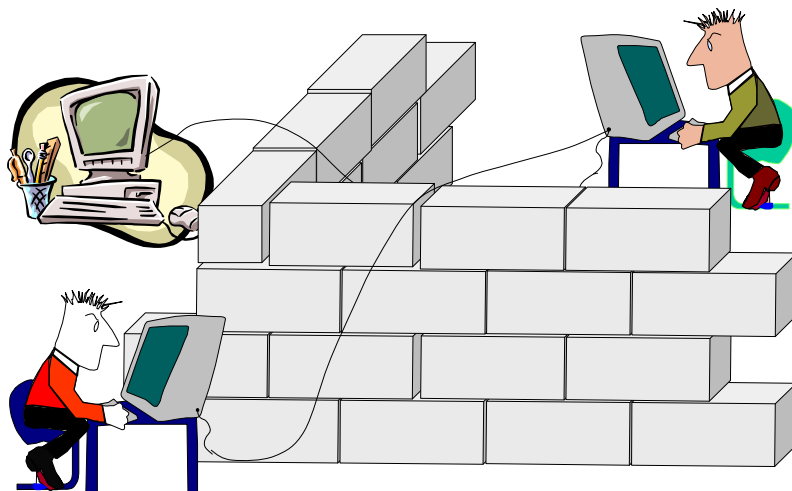
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Il test di Turing (1950)



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



A.A. 2003-2004

6/61

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



Contraddittorio



- 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 (argomenti per l'informalità).

- 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 (struttura + collegamenti + funzionamento).



La macchina che passa il test di Turing potrebbe non essere intelligente



·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".



I 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. 2003-2004

13/61

<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?

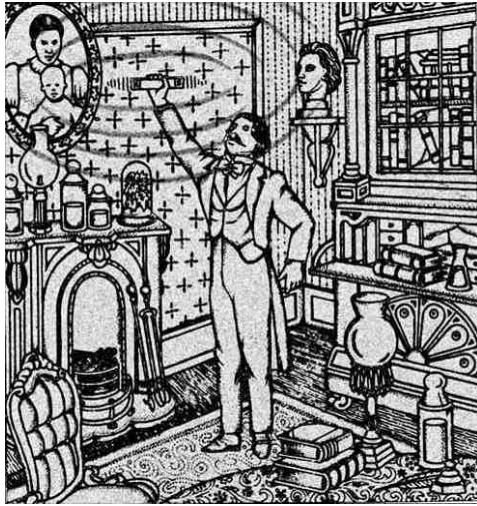
A.A. 2003-2004

14/61

<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. 2003-2004

15/61

<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].

Robotica. The Brain Prosthetic Experiment (H. Moravec, 1988). Cosa succede se sostituisco uno ad uno tutti i neuroni nella corteccia?

Risposta funzionalista e strutturalista.

A.A. 2003-2004

16/61

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



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

- 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.



Artificial life



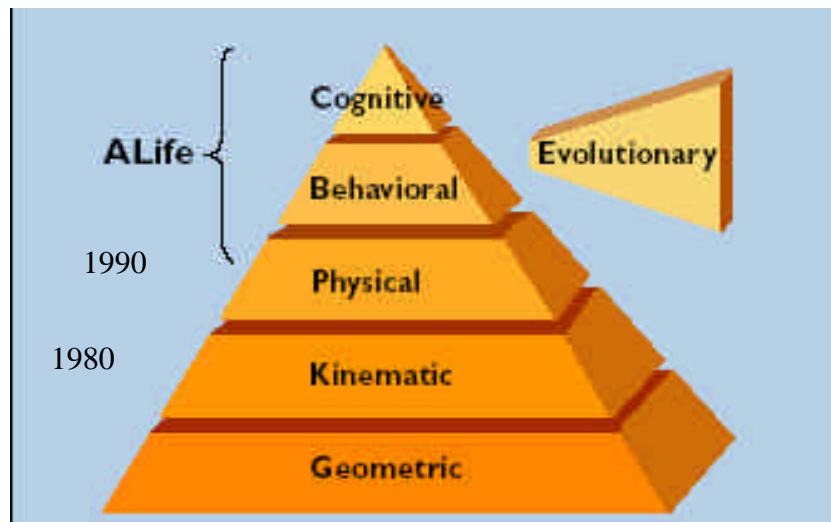
Vita artificiale (biologia sintetica): vita ricreata dall'uomo (non dalla natura) su supporti alternativi ai composti organici (calcolatori). Ha profonde relazioni con l'IA per quello che riguarda i metodi.

Stato dell'arte in geometria e fisica + simulazione dei fenomeni naturali (nascita, morte, crescita, sviluppo, selezione naturale, evoluzione, percezione, cammino, manipolazione, comportamento adattativo, apprendimento, ed infine, intelligenza.

Collective computation.



Artificial life



A.A. 2003-2004

19/61

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



Artificial plants



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

R. Měch, 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

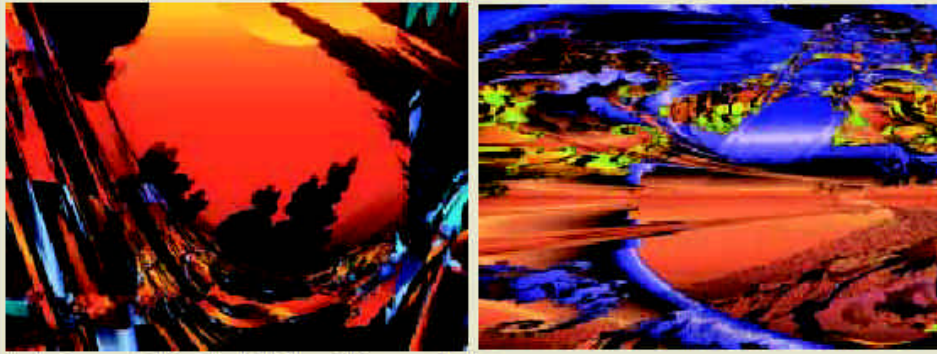
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



L'evoluzione artificiale



Pioniere è stato Karl Sims, 1991 => Sims city



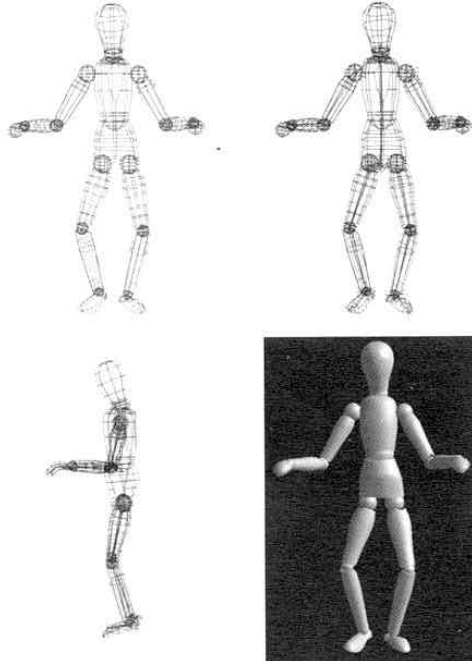
"In the Beginning" (left); "The High Plains of Kilimanjaro" (right).

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

A.A. 2003-2004

21/61

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



Gli Avatar

A.A. 2003-2004

22/61

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



Verso 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/>

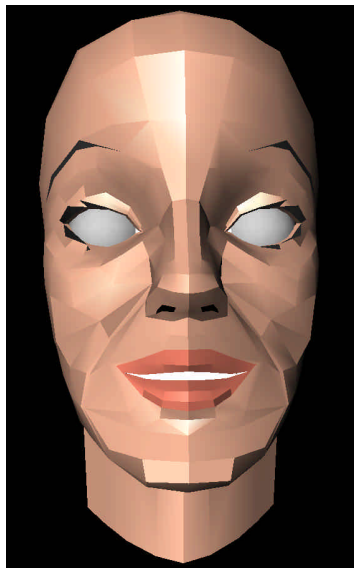
A.A. 2003-2004

23/61

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



I pionieri: Frederic Parke (1970)



Animazione facciale.

Field deformation (persona-based transmission).

Key points (features).

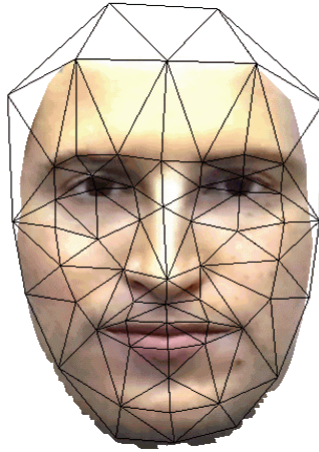
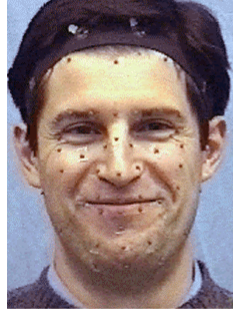
A.A. 2003-2004

24/61

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



Two-layers technique



- Deformation of a topological mesh induced by a control mesh.
- The control mesh connects the marker points.

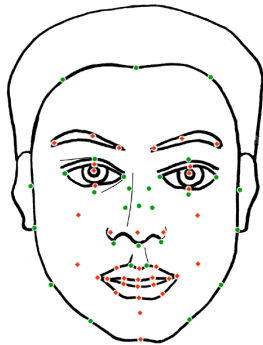
A.A. 2003-2004

25/61

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



Markers disposition



Position of the feature points according to MPEG-4 standard:

- principali
- secondari



Problems with:
Eyes and tongue.
Nose basis (visibility).

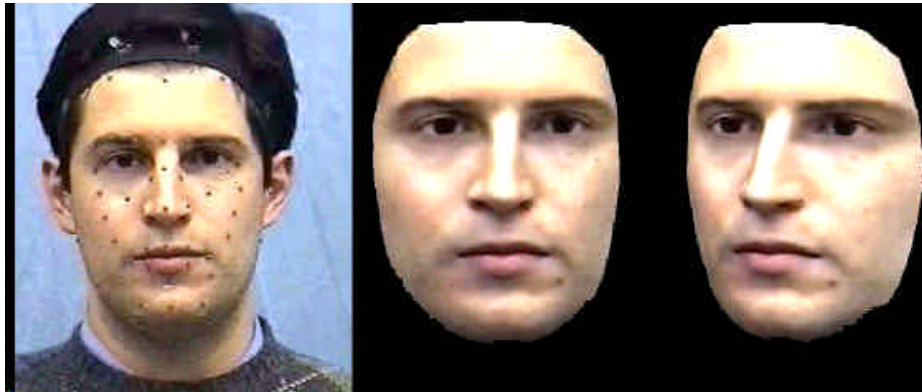
A.A. 2003-2004

26/61

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



Felicità



Progetti: biologia e modeling delle emozioni e dei loro determinanti.

A.A. 2003-2004

27/61

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

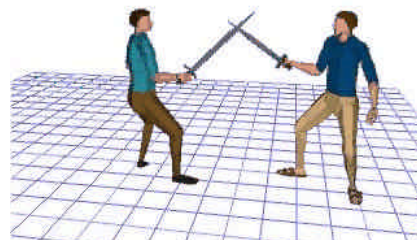


AVATAR BEHAVIOR



**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>

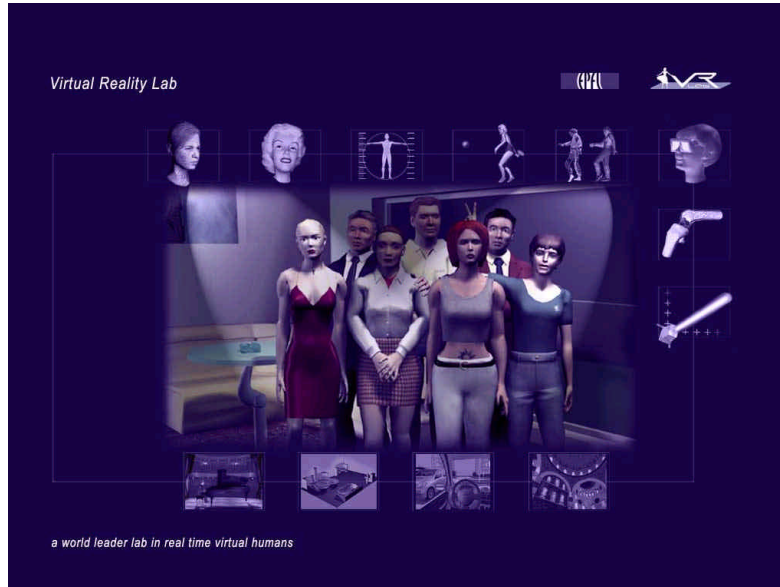
A.A. 2003-2004

28/61

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



Daniel and Nadia Thalman



<http://vrlab.epfl.ch>

A.A. 2003-2004

29/61

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



Fattori cognitivi.



Componenti:

- Sensori: visione, tatto e udito.
- Motore inferenziale (AI).
- Comportamenti (vocabolario motorio, parametrizzato).
- Fattori stocastici.

Matrimonio tra Animazione 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. 2003-2004

30/61



Ciclo di azione – reazione di un avatar



Comportamento: livello di dettaglio

Partizionamento spaziale

Gerarchia di descrizione del movimento (livello di dettaglio).

Comportamento: pianificazione ed esecuzione

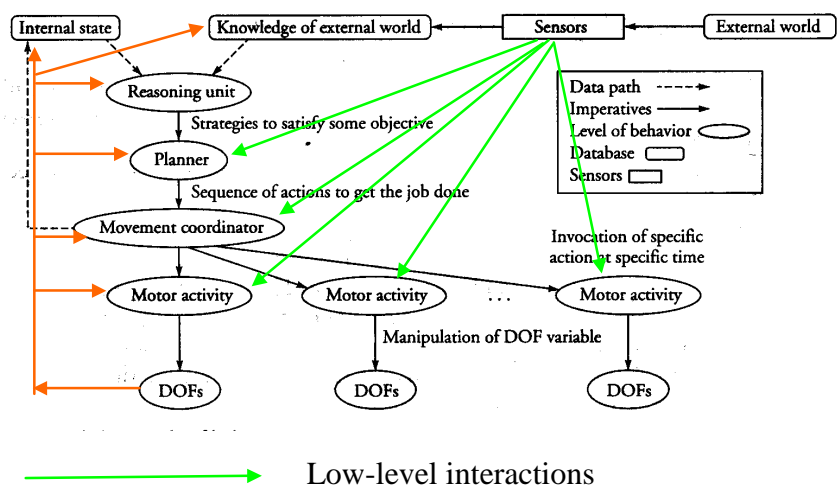
Ragionamento (AI): cosa devo fare?

Pianificazione (Intelligenza motoria): come posso farlo?

Esecutore: traduzione in macro-comandi motori.



Retroazione





Il movimento biologico



Firma spazio-temporale.

Variabilità intra-individuale ed inter-individuale.

Complessità computazionale.

Vocabolario motorio (unione di chunk motori).

Determinanti (cinematici, cinetici) dell'intelligenza motoria (algoritmi).

Molto lavoro da fare basato sul Motion Capture (e.g. studio della scrittura, delle espressioni facciali, della manipolazione...).



I sistemi particellari ed i flocks



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 minore.
- Hanno un comportamento fisico più complesso ed una quantità (limitata) di intelligenza.

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

A.A. 2003-2004

35/61

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



Animazione particellare



Per ogni frame:

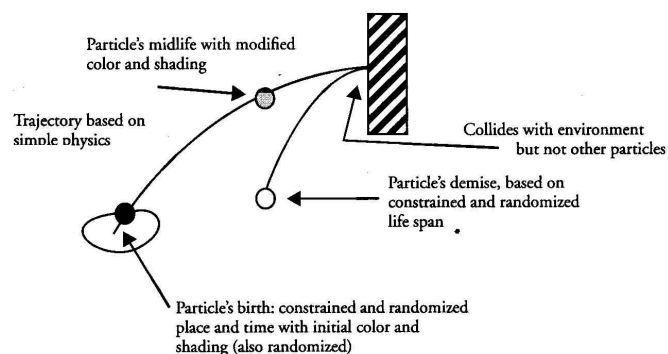
- Vengono fatte nascere delle particelle (posizione).
- Vengono assegnati gli attributi.
- Vengono eliminate delle particelle (numero particella).
- Vengono mosse le particelle in vita.
- Viene effettuato il rendering.

Attributi:

- Posizione.
- Velocità.
- Parametri di forma.
- Colore.
- Trasparenza.
- Tempo_di_vita.

Sono quantità stocastiche.

Utilizzo pesante della statistica.



La struttura dati può essere riutilizzata dalle particelle che nascono.



Sistemi particellari



A.A. 2003-2004

37/61

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



Plate 4. An example of cirrus and cirro-stratus clouds at sunset.

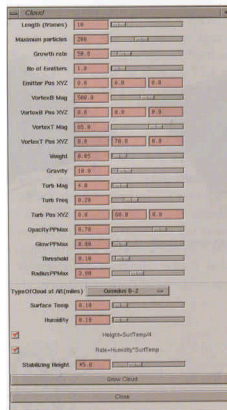


Plate 5. An example of a cumulus cloud.



Micro + macro structure

Dinamica qualitativa.



Nuvole (clouds)

A.A. 2003-2004

homes.dsi.unimi.it/~borghese/



Flock = gregge, stormo



- Limitato numero di elementi.
- Elementi di dimensioni maggiori; non è prevista compenetrazione.
- Interattività tra gli elementi a vari livelli, non solo a livello basso (comportamento in seguito ad urto).
- Minimo sforzo da parte dell'animatore per generare la scena.

Motori di movimento:

- Collision avoidance. Spazio vitale + ostacoli esterni.
- Flock centering. Forza di coesione. Rappresentazione locale: ogni elemento tende ad avvicinarsi all'elemento vicino.

Pioniere è stato Craig Reynolds



Applicazioni di tecniche di Flocking (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	Caroleo 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. Diarmid, 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



Controllo locale 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).
- Il ragionamento. Simile agli AVATAR. Elaborazione delle forze introdotte da flock centering e collision avoidance + forze originate dalla percezione + stato interno dell'elemento.
- L'azione (il sistema motorio).



Proprietà di un flock



La percezione è fondamentalmente affidata alla **vista**.

Modellazione statica del flock dal punto di vista dell'elemento.
Analisi di alcuni elementi più vicini.

Modellazione dinamica. Stima delle velocità relative degli elementi vicini.

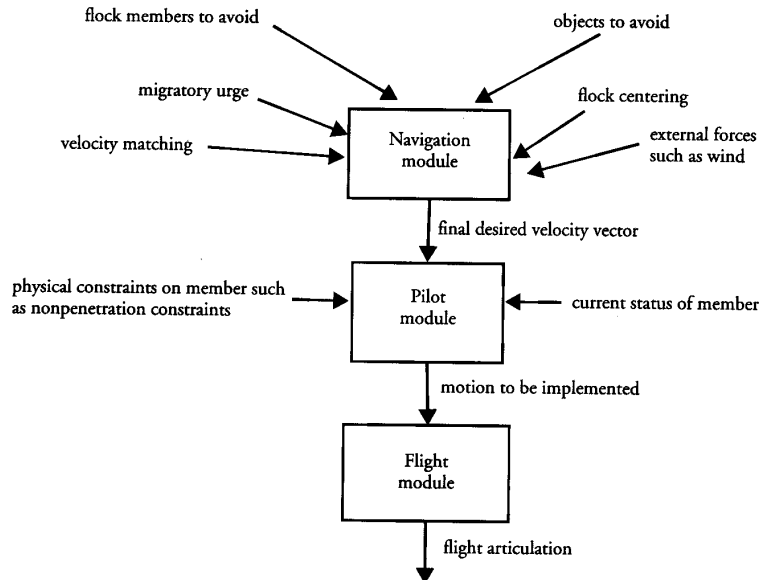
Chorus line effect: uno spostamento di direzione nel gregge si propaga come un'onda.

Il comportamento di un flock è determinato dal comportamento del **leader**.

Gli elementi possono: seguire il leader, seguire l'istinto migratorio o seguire il gregge o un mix.



Come viene prodotto il movimento



A.A. 2003-2004

43/61

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



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.*

The ANTS 2004 workshop will give researchers in both real and artificial swarm intelligence the opportunity to meet, to present their latest research, and to discuss current developments and applications.”

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

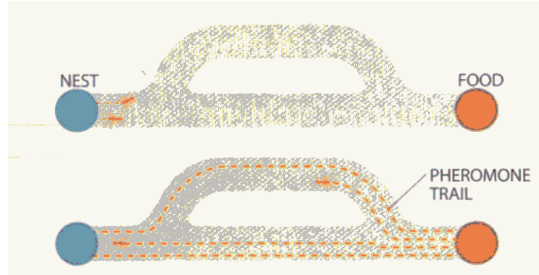
A.A. 2003-2004

44/61

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



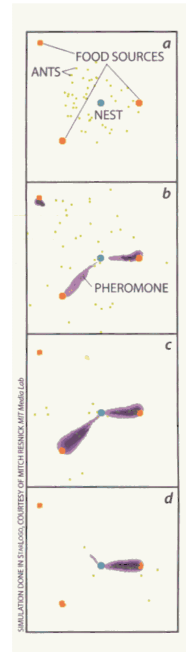
Shortest path



Ciascun elemento ha un compito circoscritto.
Emerge una cooperazione sofisticata.

Ciascuna formica deposita feromone all'andata ed al ritorno. La formica decide la direzione secondo:
1) casualità, 2) quantità di feromone.

Nelle formiche virtuali, la quantità di feromone decade e l'esplorazione casuale permane.



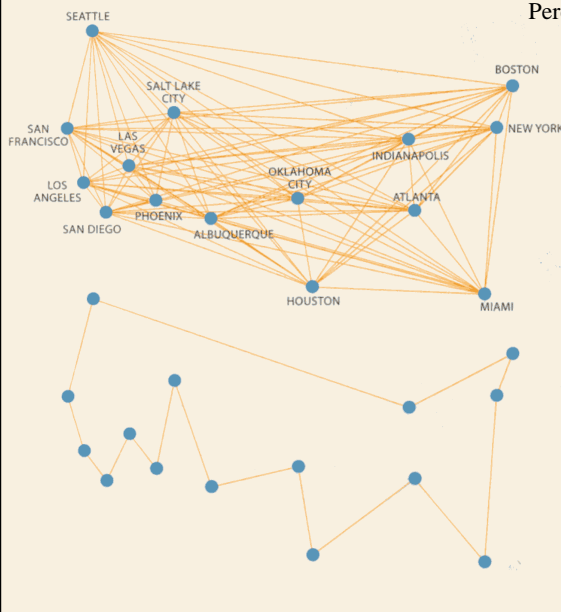
A.A. 2003-2004

45/61

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



Traveling salesman (commesso viaggiatore)



Percorso più breve per visitare tutte le città.

Una formica sceglie in base:

- 1) Random
- 2) Vicinanza della città.

Rinforzo: quantità di feromone proporzionale alla lunghezza di A&R.

La colonia esplora le città più volte (non chiedetevi come fa una formica a sapere di avere esplorato tutte le città!).

Soluzione sub-ottimale, ma..

Tempo ragionevole.

Flessibilità.

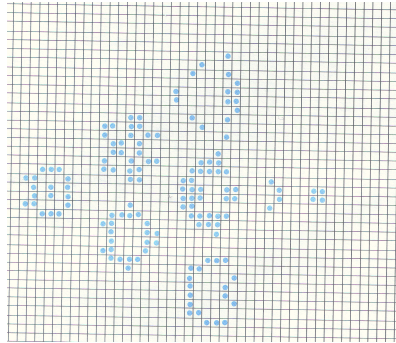
Adattabilità.



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

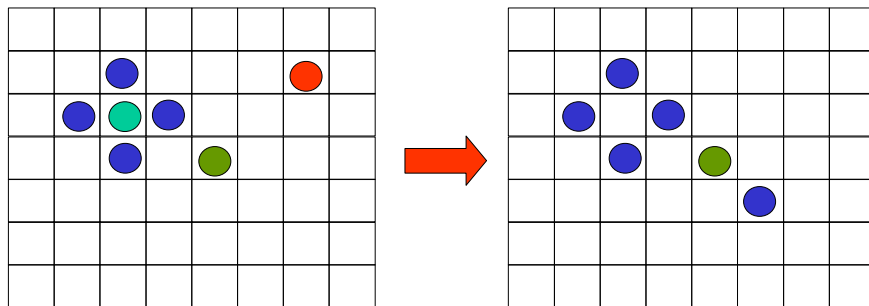
A.A. 2003-2004





47/61

<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. 2003-2004

48/61

<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.

A.A. 2003-2004

49/61

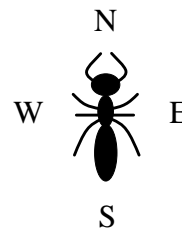
<http://homes.dsi.unimi.it/?borghese>



Ant colonies ed automi cellulari

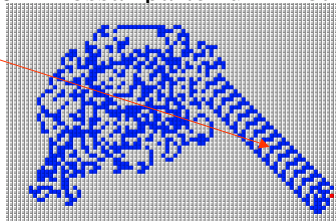


- Se la cella a N è chiara, la formica la scurisce e si gira a E
- Se è nera, la formica la sbianca e si gira verso W
- La condizione iniziale è tutta bianca



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

Inizialmente la formica costruisce un tracciato locale senza senso
Intorno alla 10.000^a mossa parte un motivo rettilineo detto
“autostrada”



A.A. 2003-2004

50/61

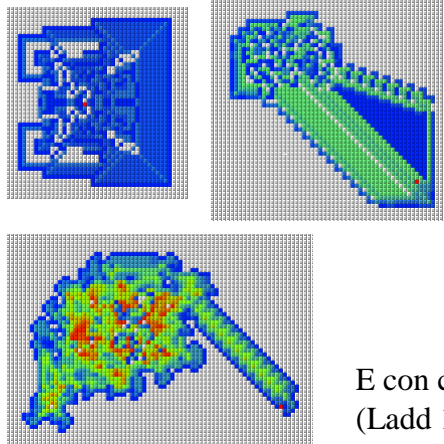
<http://homes.dsi.unimi.it/?borghese>



Pattern diversi



Utilizzando più bit per ogni cella, si ottengono tracciati colorati



E con caratteristiche differenti
(Ladd 1998)

A.A. 2003-2004

51/61

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

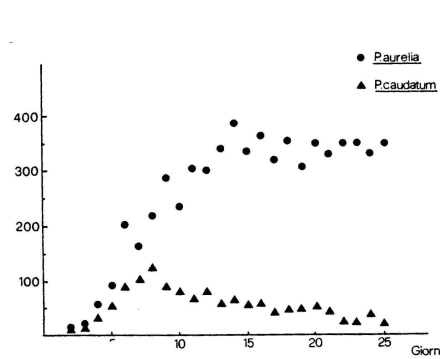
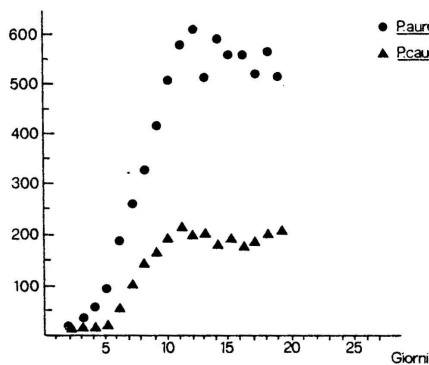
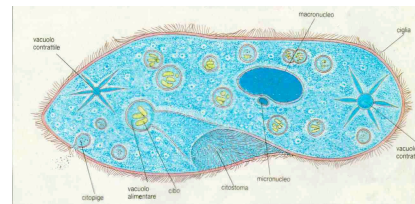


Dinamica delle popolazioni



Cooperazione e competizione.

Competizione => **esclusione competitiva** (Gause, 1934).



A.A. 2003-2004

52/61

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



Dinamica di una singola popolazione



Guardiamo agli animali:

$N(t)$ – Numero di animali della specie.

m = tasso di mortalità della specie in assenza di cibo.

$b(t)$ = tasso di natalità: $n(t) = q * E(t)$.

q = fattore di “salute”: maggiore il cibo maggiore il numero di nuovi nati per ogni individuo della specie.

Guardiamo alle risorse dell’ambiente:

$E(t)$ = quantità di cibo assunta nell’unità di tempo.

f = Coefficiente di “rendimento” del cibo.

h = Tasso di consumo pro capite delle risorse.

$$dN(t)/dt = -m * N(t) + b(t) * N(t) = -m * N(t) + q * E(t) * N(t)$$

$$C(t) = C_0 - h * N(t).$$

$$E(t) = f * C(t)$$

$$dN(t)/dt = -m * N(t) + q * f * (C_0 - h * N(t)) * N(t)$$



Studio della dinamica



$$dN(t)/dt = -m * N(t) + b(t) * N(t) = -m * N(t) + q * E(t) * N(t)$$

$$C(t) = C_0 - h * N(t).$$

$$E(t) = f * C(t)$$

$$dN(t)/dt = -m * N(t) + q * f * (C_0 - h * N(t)) * N(t)$$

$$N(t) = \text{costante} \quad m = q * f * (C_0 - h * N(t)) \Rightarrow$$

$$N(t) = \{ C_0 - [m / (q * f)] \} / h$$

Equilibrio naturale con l’ambiente. Natalità controllata.



Modello di Lotka & Volterra (1927)



Guardiamo alle risorse nell'ambiente per le due popolazioni:

$N_j(t)$ – Numero di animali della specie j $j=1,2$.

h_j – Tasso di consumo delle risorse in comune per la specie j .

Come varia la risorsa, supponendo C_0 la concentrazione iniziale?

$$C(t) = C_0 - h_1 * N_1(t) - h_2 * N_2(t)$$

Guardiamo alle due popolazioni:

$E_j(t)$ – Quantità di cibo assunto nell'unità di tempo (ammettendo che non ci sia saturazione delle capacità predatorie o filtratrici).

f_j – Coefficiente di "rendimento" del cibo.

$$E_j(t) = f_j * C(t)$$

m_j – Tasso di mortalità.

$n_j(t)$ = Tasso di natalità: $n(t) = q * E(t)$.



Stati stabili delle popolazioni



$$dN_1(t)/dt = -m_1 * N_1(t) + q_1 * f_1 * (C_0 - h_1 * N_1 - h_2 * N_2) * N_1$$

$$dN_2(t)/dt = -m_2 * N_2(t) + q_2 * f_2 * (C_0 - h_1 * N_1 - h_2 * N_2) * N_2$$

Come si studia questa coppia di equazioni differenziali?

Isocline: $dN_1(t)/dt = 0$.

$$dN_2(t)/dt = 0.$$

$$0 = -m_1 * N_1(t) + q_1 * f_1 * (C_0 - h_1 * N_1 - h_2 * N_2) * N_1$$

$$0 = -m_2 * N_2(t) + q_2 * f_2 * (C_0 - h_1 * N_1 - h_2 * N_2) * N_2$$



Grafici degli stati stabili delle popolazioni



Isocline:

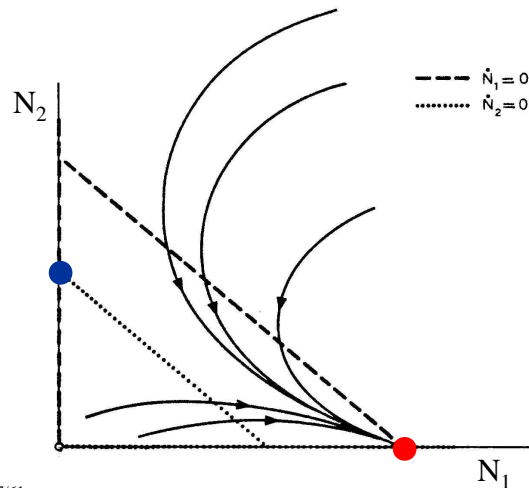
$$0 = -m_1 * N_1(t) + q_1 * f_1 * (C_0 - h_1 * N_1 - h_2 * N_2) * N_1$$

$$0 = -m_2 * N_2(t) + q_2 * f_2 * (C_0 - h_1 * N_1 - h_2 * N_2) * N_2$$

Definendo nuovi parametri:

$$a_j = q_j * f_j * C_0 - m_j \quad b_j = q_j * f_j$$

- 1) $N_1 = 0$ & $N_2 = 0$
- 2) $N_1 = 0$ & $N_2 = a_2 / (b_2 * h_2)$
- 3) $N_1 = a_1 / (b_1 * h_1)$ & $N_2 = 0$



A.A. 2003-2004

57/61



Bestie – Beasts (Scott Robert Ladd 1998)



- Rappresenta una popolazione di roditori in un ambiente ricco di cibo.
- Ogni entità possiede un genoma che indica la direzione di movimento
- L'entità "cicla" (utilizza) sul numero di geni che può essere
- Raggiunto, mediante il bilancio tra energia spesa e cibo mangiato, un certo livello di energia, l'entità si può riprodurre con mutazioni genetiche
- Il numero di mosse prima della morte e il costo energetico della mossa rappresentano altri geni

Il modello rappresenta la dinamica di una popolazione che può dar luogo a uno stato stabile o a oscillazioni ed estinzione

A.A. 2003-2004

58/61

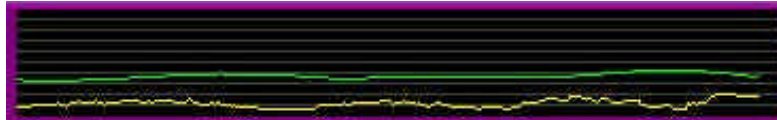
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



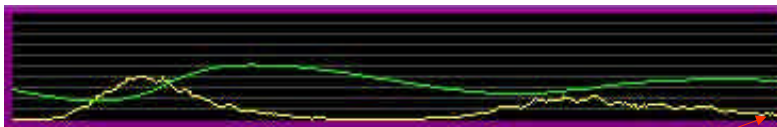
Dinamica della popolazione



Popolazione in giallo e cibo in verde



Stabilità



Oscillazioni ed estinzione

A.A. 2003-2004

59/61

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



The animats



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

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

A.A. 2003-2004

60/61





Artificial life



Replica del comportamento degli esseri viventi.

Replica degli esseri viventi.