

Sistemi Intelligenti Introduzione - 1ª 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

1/51

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



Sistemi intelligenti (6cfu)



	Lezioni		
Martedì	17.30-19.30		Aula 5
Venerdì	17.30-19.30		Aula 5
	Progetti		
Laboratorio	Orario da concordare		MAVR
	Ricevimento		
Mercoledì	11.00-12.00		Stanza 104
Su appuntamento	borghese@dsi.unimi.it		
Tel. (02)503.16325		Fax (02)503.16373	

Le lezioni frontali saranno integrate da seminari di esperti del settore.

A.A. 2003-2004

2/51

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



Attività sperimentale



Il corso è un corso flessibile e potete quindi (entro limiti ragionevoli!), decidere il livello di studio più appropriato ai vostri interessi.

Questo corso non deve essere un corso puramente teorico. Viene quindi richiesto agli studenti lo sviluppo di applicazioni di quanto visto a lezione. Allo scopo saranno a disposizione i laboratori del dipartimento ed in particolare il Laboratorio di Motion Analysis e Virtual Reality (MAVR).

Pagina del corso: http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese/Teaching/IntelligentSystems/_SI.html.



Testi di supporto ed approfondimento



<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese/Teaching/IntelligentSystems/References.rtf>



Modalità di esame



Esame orale su due delle tre parti del corso e progetto sulla parte rimanente (max 32 punti).

Approfondimento personale: lettura e revisione critica di un articolo scientifico (max 2 punti).

- Lettura e riassunto articolo.
- Estrazione dei risultati più importanti.
- Punti deboli.



Precedenze



Precedenze consigliate:

Analisi I. Fisica I. Elaborazione dei segnali.

Corsi di approfondimento

Elaborazione delle immagini (Prof.ssa Campadelli)

Algoritmi (Prof. Bertoni)

Reti Neurali (Prof. Apolloni)

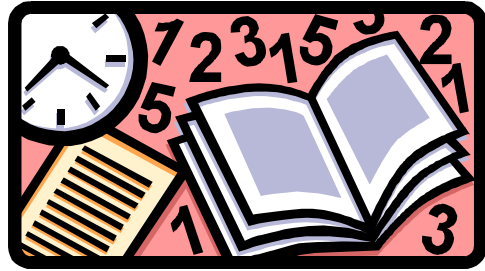
Intelligenza Artificiale (Prof. Ornaghi)



Quale intelligenza?



Bambini autistici di Oliver Sacks (*O. Sacks, un antropologo su Marte, Feltrinelli*).



Vincent Van Gogh (1853-1890)

<http://www.ibiblio.org/wm/paint/auth/gogh/>

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



Punto di vista antropocentrico



C'è più intelligenza nel risolvere un'equazione differenziale o nel bere da un bicchiere d'acqua?

Dal nostro punto di vista sicuramente nel risolvere un'equazione differenziale, ma dal punto di vista di un robot?

Sono più intelligenti gli insetti, sopravvissuti a miliardi di anni di storia o l'uomo?

Un bambino di 1 anno è in grado di riconoscere perfettamente i volti delle persone care, i sistemi di visione in grado di controllare gli accessi sono ancora in studio....



Elementi del sistema intelligente naturale particolarmente interessanti



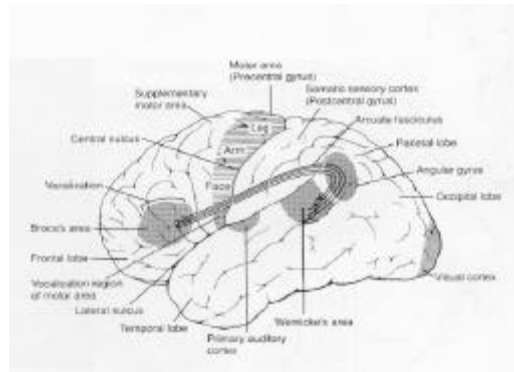
Robusto e fault tolerant

Flessibile

Calcolo parallelo

Dissipa poca energia.

Gestisce informazioni sensoriali affette da rumore.



Come si "apprende" l'intelligenza?



Cartesio (1596-1650)

Separazione tra corpo e mente.

Mente: Idee innate (sviluppatesi al di fuori della mente).

Idee derivate da esperienze sensoriali. La mente è astratta, ricordata al corpo dalla ghiandola pineale - epifisi).

Corpo: Parte Motoria. Parte sensoriale (può essere imitata dagli automi)



Antonio Damasio (1994)

<http://www.sicap.it/merciai/psicosomatica/students/damasio-s1.htm>

Intelligenza razionale ed intelligenza emotiva sono strettamente collegate.



Capacità associate all'intelligenza



	Il virus è intelligente?	Il robot è intelligente?
•Capacità di interazione con l'ambiente in modo efficace.	Sì	Sì
•Capacità di adattarsi alle modifiche ambientali.	Sì	No
•Capacità di generalizzazione, inferenza.	No	Nì
•Capacità di analisi.	No	Nì
•Capacità di sintesi.	No	Nì
•Capacità di apprendere.	Nì	Nì
•Capacità di evolversi.	Sì	Nì
<i>Ma anche:</i>		
•Capacità di interagire con altre entità (intelligenza emotiva).	No	Nì



Sistemi intelligenti.



Sistema. Aggregato complesso di oggetti o entità.
Sistema articolato. Calcolatore (sistema elettronico). Robot. Cellula. Esseri viventi.

- A) Integrazione tra le varie parti. Funzionamento come un tutt'uno.
- B) Dimensione temporale. Funzionamento di un sistema.
- . Interazione funzionale e sostanziale tra le varie parti.



Sistemi intelligenti.



Intelligenti. (lat. *intelligentia*, da *intelligere*, intendere). Facoltà di conoscere, di comprendere, di intendere. Capacità di comprendere, di intendere con facilità, di discriminare.

Dai sistemi naturali ai sistemi artificiali; dall'intelligenza umana all'intelligenza delle macchine.



Alcuni punti fermi



Intelligenza vs. istinto.

Adattabilità genetica vs. adattabilità cognitiva.

Intelligenza è una funzione attiva, che consente a breve termine di trovare soluzioni nuove a problemi nei domini di interazione con l'ambiente: razionale, motorio, visivo, emozionale. Questa abilità è presente nel bambino già a 12 mesi.

La sfida tecnologica e scientifica è capire, duplicare e “migliorare” queste abilità umane.



Le 3 prospettive sui sistemi intelligenti



Prospettiva biologica. Capacità di apprendere. Il nostro sistema nervoso centrale è costituito da unità elementari: i neuroni. Come questi neuroni riescono ad organizzare e gestire i comportamenti visivi e motori più complessi, ma anche le emozioni, i sentimenti....

Prospettiva Cibernetica. Comportamento, controllo e comunicazione tra esseri intelligenti e macchine. Κυβερνητη (kubernete, timoniere).

Prospettiva Robotica. Robotica antropomorfa. Animatronica. (K. Capeck, 1921, Asimov, 1944).
“Force through intelligence” - “Where AI meet the real world”.



Gli sviluppi della cibernetica



Teoria del controllo. Controllo stabile, robusto; controllo lineare, non-lineare. Controllo stocastico.

Connessionismo. Modelli del funzionamento del sistema nervoso centrale, reti neurali.

Capacità di evolvere. **Algoritmi genetici / evolutivi** (C. Darwin, 1859).

- Colori mimetici (camaleonti, polpi, squali)
- Disegni che spezzano la forma (zebre, pesci)
- Falsi occhi
- Membrana tra le dita degli uccelli.





Gli sviluppi della cibernetica



Intelligenza Artificiale. Sistemi che pensano o agiscono come gli umani. Sistemi che pensano o agiscono razionalmente.

Artificial life. Capacità di interagire con altri esseri. (ant colony). Giochi (gioco della vita). Automi cellulari (modelli, computer graphics). Dinamiche di popolazione.

Queste intelligenze nell'uomo sono studiate nell'ambito delle **scienze cognitive (1977)**.

Algoritmi. Capacità di analisi e sintesi.



Artificial life

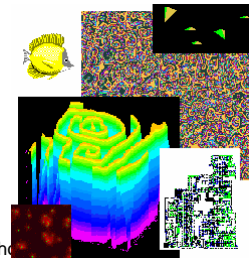


“The term "artificial life" describes research into synthetic systems that possess some of the essential properties of life.

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>





Riassunto



L'intelligenza è qualcosa difficile da definire, è qualcosa che si vorrebbero avessero anche le macchine.

Intelligenza è una funzione *attiva*, che consente a breve termine di trovare soluzioni nuove a problemi nei domini di interazione con l'ambiente: razionale, motorio, visivo, emozionale. Questa abilità è presente nel bambino già a 12 mesi.

Intelligenza indica anche la capacità di comprendere, estrazione di conoscenza dagli input sensoriali.

Grossi sforzi multi-disciplinari sono nella direzione di chiarire cosa e come funzioni la nostra intelligenza (o meglio i nostri sistemi intelligenti).



Programma



Programma di massima del corso



Analisi / Sintesi di sistemi intelligenti



Analisi del funzionamento e della struttura dei sistemi intelligenti naturali.

Descrizione algoritmica del funzionamento.

Applicazione a strutture artificiali.

Sintesi del funzionamento.

Analisi delle macchine intelligenti artificiali.

D. Marr, 1980



Le tre prospettive dei sistemi intelligenti



Intelligenza biologica.

Cibernetica.

Robotica antropomorfa.



La sede dell'intelligenza naturale in prospettiva storica



Aristotele (384-323b.C.)

- L'intelligenza ha sede nel *cuore* (mente associazionista).
- Modello funzionale: idee, immagini, sensazioni.
- Principi di associazione: Similarità Opposizione Contiguità di tempo e spazio



Galeno (129-199). Medico greco a Pergamo: prime osservazioni *neurologiche*. La sede delle attività intelligenti è il *cervello*.

Il cervello viene definito come grossa ghiandola i cui "umori" (ormoni) vengono portati alla periferia mediante i nervi



I fondamenti dell'intelligenza nell'uomo



Luigi Galvani (Bologna 1737-1798). "**De viribus electricitatis in motu musculari. Commentarius**".

Nel 1780, osservò per caso che un bisturi, avvicinato inavvertitamente ai nervi di una rana scuoiata, provocava violente contrazioni dei muscoli dell'animale e attribuì la causa del fenomeno a una particolare forma di elettricità animale. Questa teoria, avversata dal Volta, dette origine a una violenta polemica tra i due.

<http://www.bo.infn.it/galvani/>



Teorie alternative



Teoria del campo aggregato (P. Flourens, 1823).

- Tutte le aree del cervello partecipano a tutte le attività intellettive.
- Una lesione affligge tutte le attività intellettive allo stesso modo.

Connessionismo cellulare (K. Wernicke and R. Cajal, fine 1800)

- I neuroni sono connessi tra loro in gruppi funzionali.
- Le connessioni sono in numero definito.
- Gruppi funzionali diversi danno origine a funzioni intellettive diverse.

Quest'ultima e' la teoria moderna delle funzioni cognitive cerebrali.

Circuiti neurali.



Le tre prospettive dei sistemi intelligenti



Intelligenza biologica.

Cibernetica.

Robotica antropomorfa.



Gli albori dei sistemi intelligenti artificiali



Teoria del controllo retroazionato (Maxwell, 1868: “On Governors”)

Teoria del *controllo stocastico* (N. Wiener and D. Kolmogorov, 1943)
“Behavior, Purpose and Technology”, Rosemblyeth, Wiener, Bigelow.
=> *Machine learning*.

“Steps towards *Artificial Intelligence*”, M. Minsky, 1961.

La macchina di Turing, 1936. Qualsiasi operazione di calcolo simbolico fattibile può essere effettuata da una macchina dotata di un insieme finito di regole.

“A Logical Calculus of the Ideas Immanent in the Nervous Activity”, 1943. *Connessionismo*. Il sistema nervoso centrale può quindi implementare una macchina di Turing.



Le ricadute dei sistemi intelligenti



Conoscenza + metodi per la soluzione di problemi.

Informatica



Definizione di algoritmi (da Muhammad Ibn Musa al-Kharezmi, matematico arabo dell'inizio del IX sec).

AI



Conoscenza - Metodi euristici

Marvin Minsky: *the society of mind* (1979).

Sviluppo di motori inferenziali per la soluzione dei problemi.
Soluzione non-ottima, ma “veloce”.



La macchina di Turing (1936)



Una formula della logica formale può essere soddisfatta o meno?
Si può arrivare alle dimostrazioni automatiche? (David Hilbert, 1900).

Soluzione di un problema \Rightarrow Computazione \Rightarrow
Metodo di computazione \Rightarrow Algoritmo \Rightarrow
Macchina computazionale



Il teorema di incompletezza di Gödel



Non può esistere un metodo che consenta di stabilire, per qualunque enunciato della matematica, se è vero o falso.

Qualunque sistema coerente di logica formale, deve comprendere enunciati veri di cui non è possibile dare una dimostrazione (1931).

Questo ha spostato l'attenzione della logica dal concetto di verità al concetto di **computabilità**.



Computabilità



La tesi di Church (1936):

Ogni funzione che sia *effettivamente* calcolabile è *ricorsivamente* computabile (λ -calcolo \Rightarrow LISP).

effettivamente indica che esiste una procedura “meccanica” in grado di calcolare la funzione in un tempo **finito** (uscita in funzione dell'ingresso: $y=f(x)$)

ricorsivamente indica che esiste un insieme **finito** di operazioni aritmetiche elementari che, applicate all'ingresso e poi ai risultati successivi delle operazioni stesse, conducono, in un tempo **finito**, al valore della funzione.

Dimostrazione di Turing (1936):

Qualsiasi funzione ricorsivamente computabile può essere calcolata in un tempo finito da una macchina manipolatrice di simboli (macchina universale di Turing).

Un algoritmo eseguibile dalla macchina di Turing è detto esattamente computabile



La macchina di Turing (razionale)



Come si fa a dare una definizione precisa di metodo?

Il metodo è un algoritmo. Passi elementari automatici.

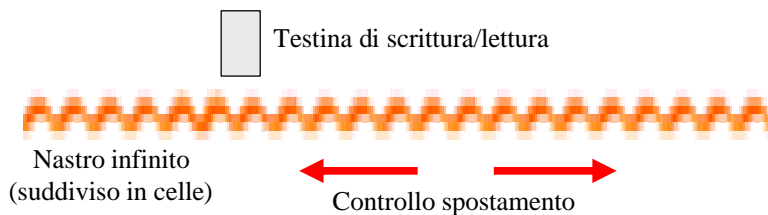
Si può implementare una macchina che implementi questi passi elementari.

Dato un tempo finito, la macchina di Turing è in grado di effettuare qualunque calcolo che possa essere eseguito da un moderno calcolatore digitale, di qualunque potenza esso sia. (esempio: programma ha un'uscita (risultato) o rimane in loop?).

La macchina di Turing realizza un algoritmo, computabile.



Una macchina di Turing



Alfabeto

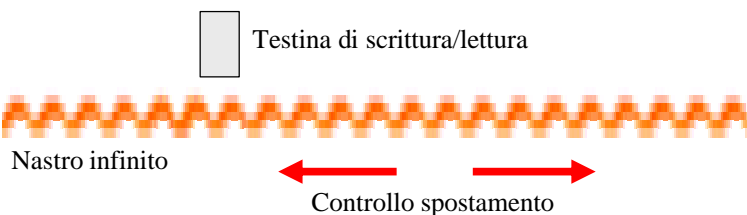
$A [a_0, a_1, \dots a_n]$

Non ci sono limiti alla lunghezza della parola. Un simbolo per cella.
Può **cancellare** o **leggere** un simbolo alla volta.

Fu sviluppata durante la guerra per decodificare le trasmissioni.



Stato della macchina



Alfabeto

$A [a_0, a_1, \dots a_n]$

Stato

$S [s_0, s_1, \dots s_m]$

Stato della macchina. Ciascuno stato viene descritto mediante gli effetti che ha l'azione ha sulla macchina stessa.

Esempio: carattere stampato quando viene premuto Shift, NumLock, Alt, nulla...).

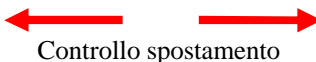


Funzionamento (istruzioni)

Testina di scrittura/lettura



Nastro infinito



Alfabeto

$A [a_0, a_1, .. a_n]$

Stato

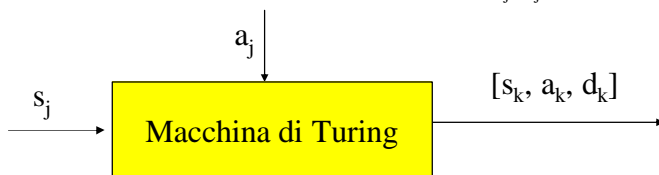
$S [s_0, s_1, .. s_m]$

Direzione (dx, sx, stop)

$d [d_1, d_2, d_3]$

Istruzioni (terna di valori)

$I \{I_j(s_j, a_j \rightarrow s_k, a_k, d_k)\}$



$$s_k = f(s_j, a_j)$$

$$a_k = g(s_j, a_j)$$

$$d_k = h(s_j, a_j)$$

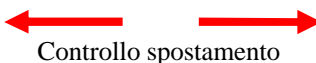


Funzionamento (istruzioni)

Testina di scrittura/lettura



Nastro infinito



Alfabeto

$A [a_0, a_1, .. a_n]$

Stato

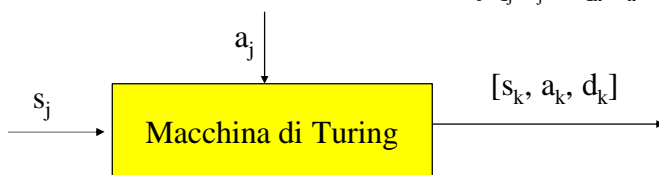
$S [s_0, s_1, .. s_m]$

Direzione (dx, sx, stop)

$d [d_1, d_2, d_3]$

Istruzioni (terna di valori)

$I \{I_j(q_j, a_j \rightarrow q_k, a_k, d_k)\}$





Costruzione di una macchina di Turing per l'addizione



Somma di due numeri
Stop



Algoritmo per l'addizione unaria



Definizione dell'insieme delle istruzioni (ISA)

Codifica unaria (2 simboli: 0, 1)

Consideriamo: 0000 111111 0 11111111 0000000 (6 + 8)
 N M

- 1) Spostati verso dx fino a che non trovi il primo 1. Modifica l'uno in zero e spostati a dx.
- 2) Spostati verso dx fino a che non trovi il primo 0. Modifica lo zero in uno e spostati a dx.
- 3) Spostati verso dx fino a che non trovi il primo 0. Fermati.

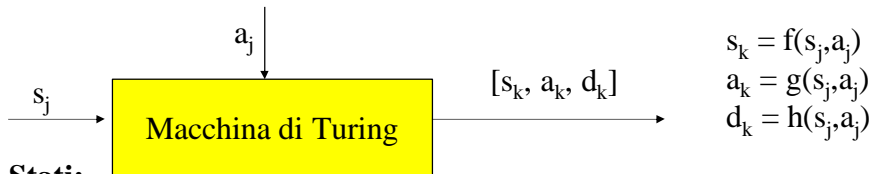
Risultato: 0000 011111 1 11111111 0000000 (14 uni consecutivi)



Definizione della macchina di Turing



Alfabeto $A [a_0, a_1, .. a_n] = [0, 1]$
 Stato $S [s_0, s_1, .. s_m]$
 Direzione (dx, sx, stop) $d [d_1, d_2, d_3]$
 Istruzioni (terna di valori) $I \{I_j(s_j, a_j \rightarrow s_k, a_k, d_k)\}$



Stati:

Stato s_0 : esamino gli 0, quando trovo 1, sostituisco 1 con 0 e passo allo stato s_1 .

Stato s_1 : esamino gli 1, quando trovo 0, sostituisco 0 con 1 e passo allo stato s_1 .

Stato s_2 : stop.



Assegnazione dei valori delle funzioni



Stato:

$s_0, 0 \rightarrow s_0$
 $s_0, 1 \rightarrow s_1$
 $s_1, 0 \rightarrow s_2$
 $s_1, 1 \rightarrow s_1$
 $s_2, 0 \rightarrow s_2$
 $s_2, 1 \rightarrow s_2$

Alfabeto:

$s_0, 0 \rightarrow 0$
 $s_0, 1 \rightarrow 0$
 $s_1, 0 \rightarrow 1$
 $s_1, 1 \rightarrow 1$
 $s_2, 0 \rightarrow 0$
 $s_2, 1 \rightarrow 0$

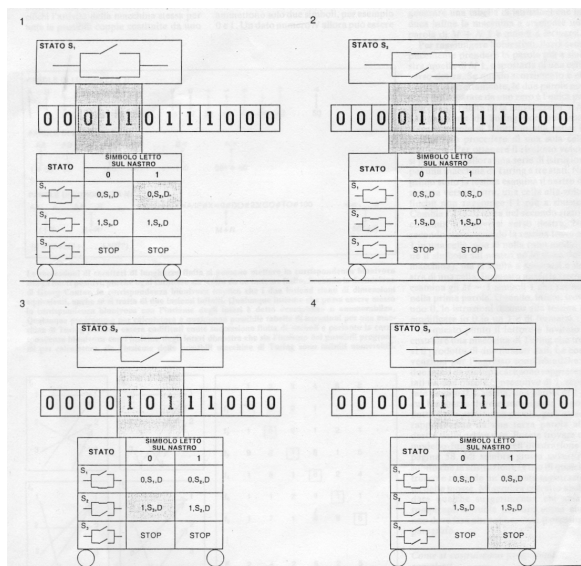
Direzione:

$s_0, 0 \rightarrow d_1$
 $s_0, 1 \rightarrow d_1$
 $s_1, 0 \rightarrow d_3$
 $s_1, 1 \rightarrow d_1$
 $s_2, 0 \rightarrow d_3$
 $s_2, 1 \rightarrow d_{3sssss}$

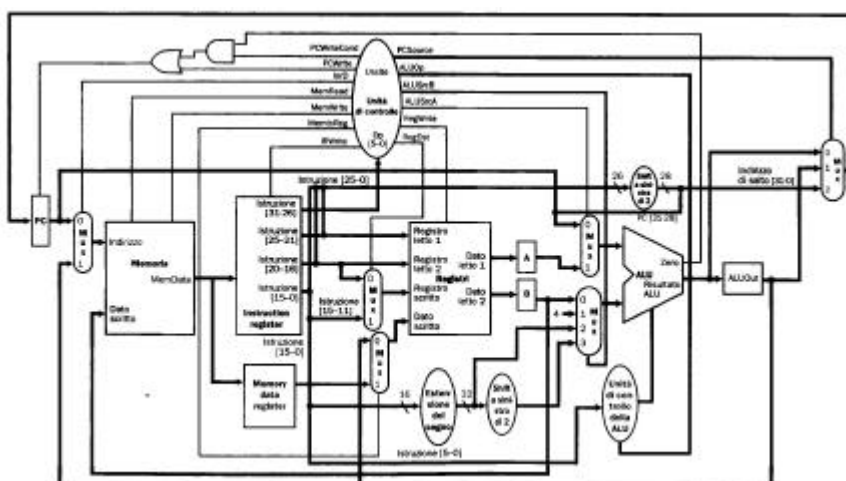
$s_k = f(s_j, a_j)$
 $a_k = g(s_j, a_j)$
 $d_k = h(s_j, a_j)$



Esempio: somma (2+3)



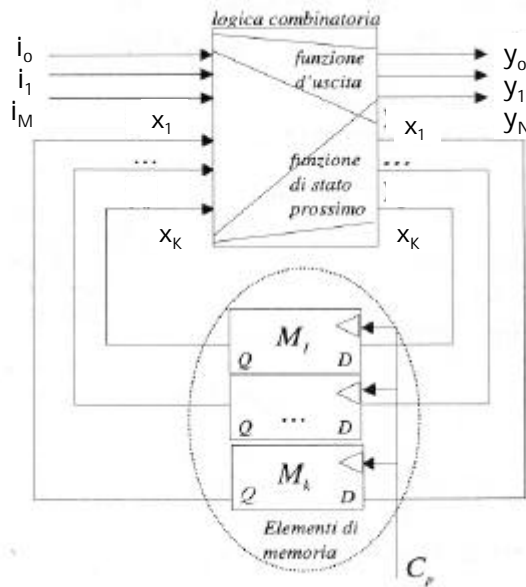
La CPU come macchina di Turing



CPU MIPS semplificata in versione multi-ciclo.



L'unità di controllo come macchina di Moore (FSM)



Stato $x^t = f(x^{t-1}, i^t)$
 Uscita $y^t = g(x^t)$

A.A. 2

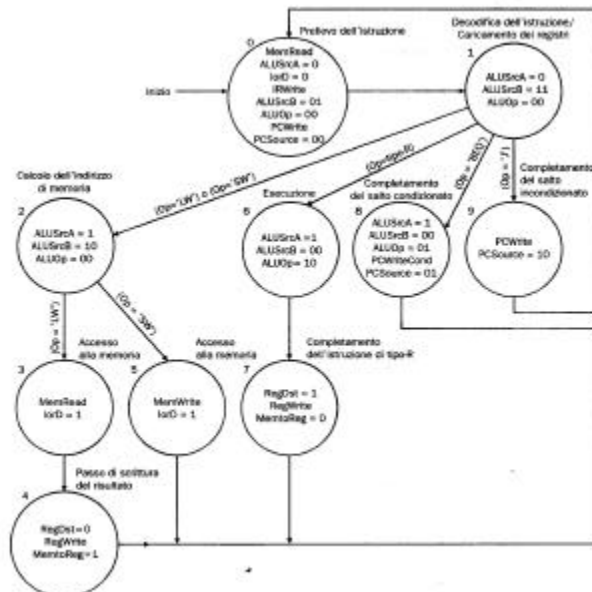
omes.dsi.unimi.it/~borghees\



L'unità di controllo come FSM



Stato $x^t = f(x^{t-1}, i^t)$
 Uscita $y^t = g(x^t)$



A.A. 2003-2004

46/51

http://homes.dsi.unimi.it/~borghees\



L'unità di controllo come FSM



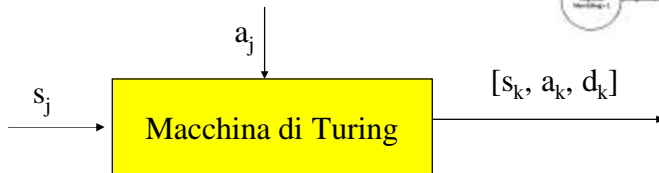
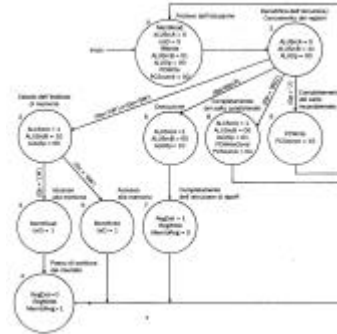
Stato: (situazione di processamento dell'istruzione): lettura, fetch, decodifica, memoria, write_back.

Input: istruzione letta dalla memoria.

Output: segnali di controllo per la CPU (mux, r/w...).

$$\text{Stato prossimo: } x^t = f(x^{t-1}, i^t)$$

$$\text{Uscita } y^t = g(x^t)$$



$$s_k = f(s_j, a_j)$$

$$a_k = g(s_j, a_j)$$

$$d_k = h(s_j, a_j)$$



FSM e Macchina di Turing



Input: = alfabeto della macchina di Turing. L'UC legge l'istruzione dalla memoria (= lettura da nastro)..

Stato: viene scritto nella memoria = stato della macchina di Turing.

Uscita: = alfabeto della macchina di Turing (l'UC invia i segnali di controllo alla CPU = scrittura su nastro).

Stato prossimo: l'istruzione (input) viene utilizzata nello stato di decodifica e di esecuzione delle lw/sw. I segnali di controllo (uscita) possono essere utilizzati nell'esecuzione (istruzione di branch).

d_k può rappresentare l'avanzamento di 1 istruzione in memoria.

Come si eseguono i salti = come funziona la macchina per i salti?

FSM

$$\text{Stato prossimo } x^t = f(x^{t-1}, i^t)$$

$$\text{Uscita } y^t = g(x^t)$$

Turing

$$s_k = f(s_j, a_j)$$

$$a_k = g(s_j, a_j)$$

$$d_k = h(s_j, a_j)$$



La macchina di Turing universale



Computabilità teorica e sperimentale coincidono (definizione intuitiva di computabilità).

Ponte tra teoria e tecnologia.

Ponte tra matematica e logica (NB i calcolatori sono basati su logica booleana, ma eseguono operazioni matematiche...).

Equivalenza tra una macchina M ed una macchina astratta (interpreti).



Che cosa "capisce" la macchina di Turing?



La macchina di Turing manipola simboli di cui non conosce il significato, a differenza della mente umana.

Replica operativa e non semantica.

Replicare il funzionamento di un elaboratore vuol dire capirne il funzionamento, il sistema operativo, l'applicativo?



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 manipola simboli di cui non conosce il significato, a differenza della mente umana.

<http://www.turing.org.uk/turing/>.