

L'Intelligenza Artificiale: cosa è e cosa non è.

Alberto Pettorossi
Università di Roma "Tor Vergata", Roma
CNR-IASI, Roma

Dipartimento di Economia
Università "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara

10 Dicembre 2021

Intelligenza Artificiale e Calcolo (1)

Per Intelligenza Artificiale si intende usualmente la capacità dei computer di « simulare » l'intelligenza umana.

Molta attività razionale è riducibile a un calcolo in una teoria formale.

Esempi di calcolo:

(1) nella teoria dei numeri naturali: fare somme, moltiplicazioni, ecc.

verifica: $2 + (3 \times 4) = 14 \Rightarrow \text{"true"}$

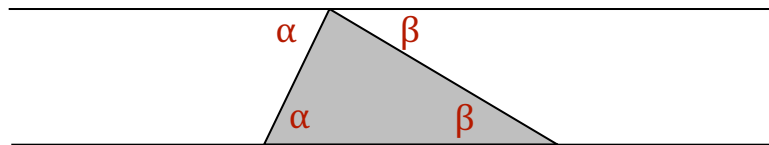
costruzione: $2 + (3 \times 4) = X \Rightarrow \text{"X=14"}$

(2) nella geometria euclidea :

- data una proposizione, verifica se è corretta.

la somma degli angoli interni di un triangolo è $180^\circ \Rightarrow \text{"true"}$

- data una proposizione, costruzione di una prova di quella proposizione.



Intelligenza e Calcolo (2)

(3) in Java:

- dato un programma e una sua **specifica**,
verifica se il programma soddisfa quella specifica:

$$\{x > 0\} \quad x = x+5 \quad \{x > 2\} \quad \Rightarrow \quad \text{"true"}$$

- dato un programma e una **pre-condizione**,
costruzione della "strongest" post-condizione:

$$\{x > 0\} \quad x = x+5 \quad \{X\} \quad \Rightarrow \quad X \equiv \text{"x > 5"}$$

Somma: realtà, formalizzazione, calcolo

(1) La realtà

In banca: se ho un saldo di 3 mila euro e deposito altri 3 mila euro, allora avrò un saldo di 6 mila euro.

(2) La formalizzazione

$$\begin{array}{r} 3 + \\ 3 = \\ \hline 6 \end{array}$$

(3) Il calcolo nel computer

Regole:

$$\begin{array}{l} 0 + 0 = 0 \\ 0 + 1 = 1 \\ 1 + 0 = 1 \\ 1 + 1 = 10 \\ 1 + 1 + 1 = 11 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11 \\ 11 + \\ 11 = \\ \hline 110 \end{array}$$

Moltiplicazione

$$\begin{array}{r} 756352 \times \\ 863623 = \\ \hline 2269056 \\ 1512704 \\ 4538112 \\ 2269056 \\ 4538112 \\ 6050816 \\ \hline 653202983296 \end{array}$$

Nel computer:

$$\begin{array}{l} 0 \times 0 = 0 \\ 0 \times 1 = 0 \\ 1 \times 0 = 0 \\ 1 \times 1 = 1 \\ \\ 0 + 0 = 0 \\ 0 + 1 = 1 \\ 1 + 0 = 1 \\ 1 + 1 = 10 \\ 1 + 1 + 1 = 11 \end{array}$$

... ..

(1) Il calcolo: confronto Computer/Uomo

I computer calcolano più rapidamente degli uomini.

Con la tecnologia 5nm si riescono ad avere 134 milioni di transistors per mm^2
(un atomo di zolfo ha le dimensioni di 1/10 di nm)

La dimensione del nucleo di una cellula umana è circa 7000 nm.

Certe attività sono possibili solo se si calcola rapidamente.

Per lo sbarco sulla Luna (20 luglio 1969) era necessario calcolare rapidamente la durata di accensione dei razzi di frenata.

A. Computer che calcolano: somma, moltiplicazione

B. Computer che deducono:

ricerca lineare, ricerca ad albero, ricerca con vincoli

Deduzione come Calcolo

Deduzione:

Tutti gli uomini sono mortali

Socrate è un uomo

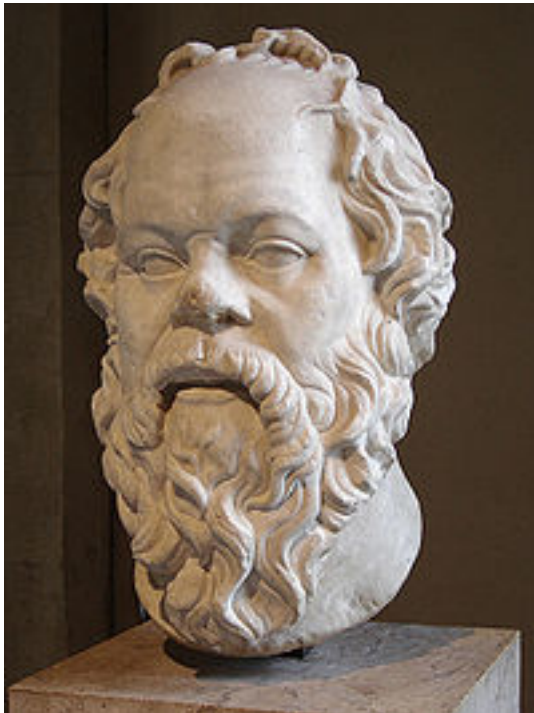
Socrate è mortale

Formalizzazione nella logica:

$\text{uomo}(X) \longrightarrow \text{mortale}(X)$

$\text{uomo}(\text{Socrate})$

$\text{mortale}(\text{Socrate})$



Nel computer:

$\text{mortale}(X)$

↑
 $\text{uomo}(X)$

↑ $X = \text{Socrate}$
□

Domanda e calcolo della risposta (1)



Base di Conoscenza

1. Alcuni uomini di Fiorecchio sono entrati nella fabbrica non accompagnati da nessuno.
2. La guardia ha controllato tutti coloro che sono entrati nella fabbrica, eccetto coloro che erano accompagnati da dipendenti della ditta.
3. La guardia non ha controllato nessun uomo di Fiorecchio.
4. **C'è un uomo di Fiorecchio che è dipendente della ditta?**

Domanda e calcolo della risposta (2)

1. Alcuni uomini di Fiorecchio sono entrati nella fabbrica non accompagnati da nessuno.
2. La guardia ha controllato tutti coloro che sono entrati nella fabbrica, eccetto coloro che erano accompagnati da dipendenti della ditta.



- ...
4. C'è un uomo di Fiorecchio che è dipendente della ditta?

Formalizzazione:

- $f(Y)$: Y è un uomo di Fiorecchio
 $e(X)$: X è entrato
 $a(X, Y)$: X è accompagnato da Y
 $d(Y)$: Y è dipendente della ditta
 $nc(X)$: X non è stato controllato

Nel Calcolo dei Predicati:

1. $\exists X [f(X) \wedge e(X) \wedge \forall Y (a(X, Y) \rightarrow f(Y))]$
2. $\forall X [e(X) \wedge nc(X) \rightarrow \exists Y (a(X, Y) \wedge d(Y))]$
3. $\forall X f(X) \rightarrow nc(X)$
4. $\exists X f(X) \wedge d(X)$

Domanda e calcolo della risposta (3)

Base di Conoscenza

$$1. \exists X [f(X) \wedge e(X) \wedge \forall Y (a(X,Y) \rightarrow f(Y))]$$

$$\equiv f(u) \wedge e(u) \wedge \forall Y (a(u,Y) \rightarrow f(Y))$$

$$2. \forall X [e(X) \wedge nc(X) \rightarrow \exists Y (a(X,Y) \wedge d(Y))]$$

$$\exists Y (a(X,Y) \wedge d(Y))$$

$$\equiv a(X,r(X)) \wedge d(r(X))$$

Domanda

$$\underline{f(Y)} \wedge d(Y)$$

Domanda e calcolo della risposta (3)

Base di Conoscenza

$$1. \quad \exists X [f(X) \wedge e(X) \wedge \forall Y (a(X, Y) \rightarrow f(Y))]$$

$$\equiv f(u) \wedge e(u) \wedge \forall Y (a(u, Y) \rightarrow f(Y))$$

Calcolo della risposta

$$f(Y) \wedge d(Y)$$



$$a(u, Y) \wedge d(Y)$$



⋮

Domanda e calcolo della risposta (4)

$$1. \exists X [f(X) \wedge e(X) \wedge \forall Y (a(X,Y) \rightarrow f(Y))]$$

$$\equiv f(u) \wedge e(u) \wedge \forall Y (a(u,Y) \rightarrow f(Y))$$

$$2. \forall X [e(X) \wedge nc(X) \rightarrow \exists Y (a(X,Y) \wedge d(Y))]$$

$$\exists Y (a(X,Y) \wedge d(Y))$$

$$\equiv a(X,r(X)) \wedge d(r(X))$$

Calcolo della risposta

$$f(Y) \wedge d(Y)$$

$$a(u,Y) \wedge d(Y)$$

$$e(u) \wedge nc(u) \wedge d(r(u))$$

$$nc(u) \wedge d(r(u))$$

$$f(u) \wedge d(r(u))$$

$$d(r(u))$$

$$e(u) \wedge nc(u)$$

$$nc(u)$$

$$f(u)$$



vedi: Pettorossi-Proietti:
"First-order Predicate Calculus
and Logic Programming", 4th ed.
Aracne Editrice, 2016. pagina 86 e seg.

Calcolo della risposta: ricerca "lineare" (5)

Calcolo della risposta

$$f(Y) \wedge d(Y)$$

SLD resolution

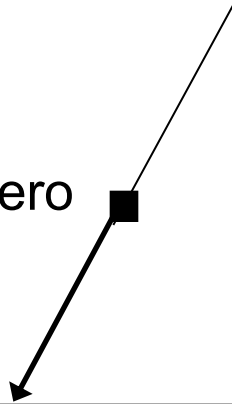


Gioco degli Scacchi: ricerca su "albero" (1)

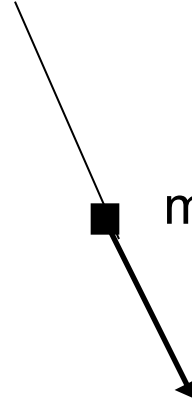
mossa al bianco



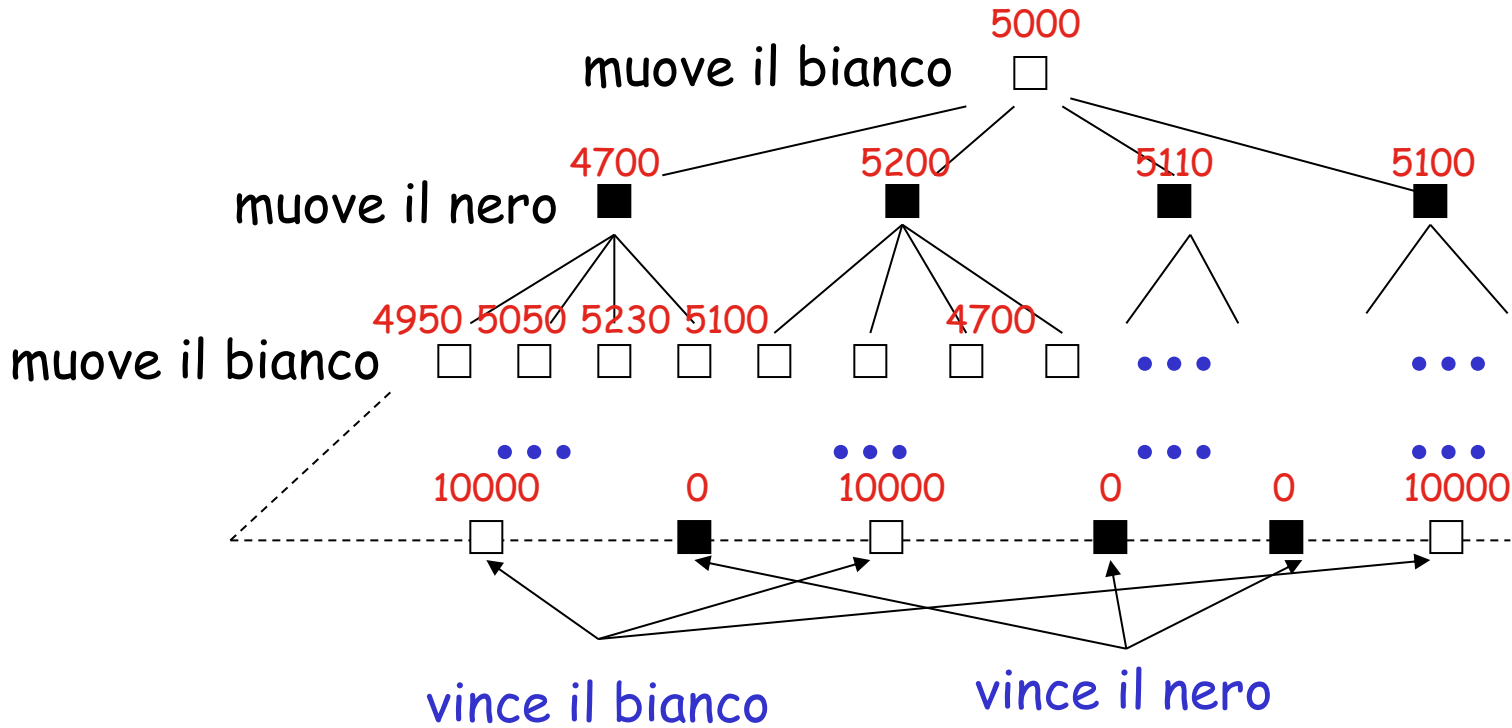
mossa al nero



mossa al nero



Gioco degli Scacchi: ricerca su "albero" (2)



- Ogni configurazione di scacchiera ha un "valore" associato.

Gioco degli Scacchi: ricerca su "albero" (3)



Deep Blue
IBM chess computer



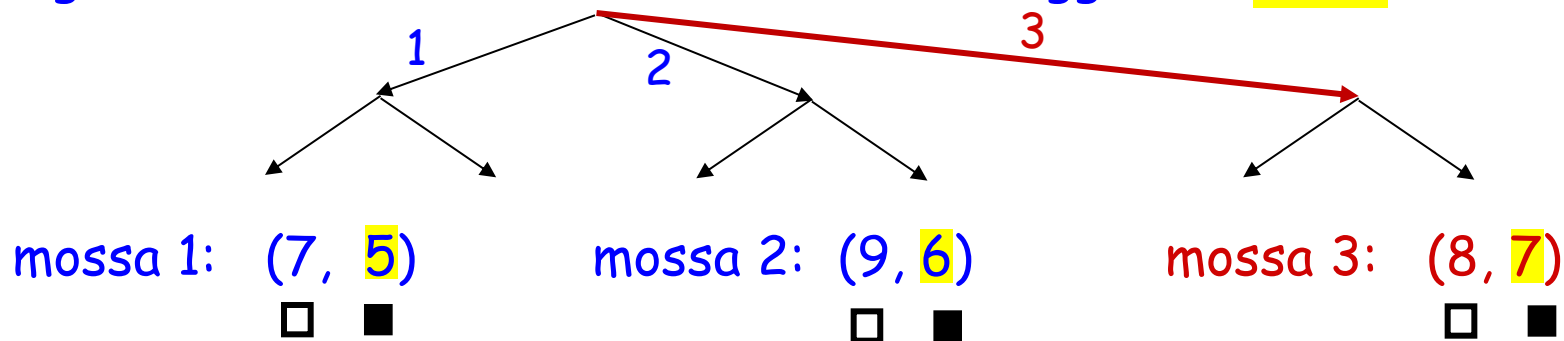
Garry Kasparov
World Chess Champion

On 1996 world chess champion Garry Kasparov lost with Deep Blue.
Kasparov (2016): "Today you can buy a chess engine for your laptop that will beat Deep Blue quite easily."

Gioco degli Scacchi: ricerca su "albero" (4)

- Ogni configurazione di scacchiera ha un "valore" associato. Quel valore è usato per decidere la mossa successiva.
- **Impossibilità di esplorare tutto l'albero di gioco: richiede troppo tempo.** Una "strategia" è usata per decidere la mossa successiva in un tempo compatibile col tempo totale a disposizione per il gioco, esplorando solo una parte finita dell'albero di gioco.
(* nel gioco della Dama, invece, si riesce ad esplorare tutto l'albero di gioco.)
- **Ricerca di un "massimo locale"** esplorando alcuni livelli dell'albero di gioco.
(* I maestri esplorano fino anche a sette o otto mosse in avanti.)

Strategia Min-Max: il Bianco minimizza il vantaggio del Nero.



Sudoku: ricerca "con vincoli"

(1)

Vincoli:

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 debbono apparire

in ogni riga (per esempio:

1	5	9	2	7	3	8	6	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---

)

in ogni colonna (per esempio:

1

)

1
7
8
9
3
2
4
5
6

in ogni quadrato (per esempio:

1	5	9
7	2	6
8	4	3

)

1	5	9
7	2	6
8	4	3

Sudoku: ricerca "con vincoli"

(2)

A problem:

1			2		3			4
	2						3	
		3				2		
9			4		1			8
				5				
2			9		6			1
		8				7		
	7						8	
6			7		8			9

A solution:

...

Sudoku: ricerca "con vincoli"

(3)

Programma Prolog:

```
row_constraint([ ]).
row_constraint([R|Rt]) :- all_distinct(R), row_constraint(Rt).

column_constraint([ ], [ ], [ ], [ ], [ ], [ ], [ ], [ ], [ ]).
column_constraint([X1|R1], [X2|R2], [X3|R3], [X4|R4], [X5|R5], [X6|R6], [X7|R7], [X8|R8], [X9|R9]) :-
    all_distinct([X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7,X8,X9]),
    column_constraint(R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9).

block_constraint([ ], [ ], [ ]).
block_constraint([X1,X2,X3|R1], [X4,X5,X6|R2], [X7,X8,X9|R3]) :-
    all_distinct([X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7,X8,X9]),
    block_constraint(R1, R2, R3).

display_rows([ ]).
display_rows([[X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7,X8,X9]|Rows]) :-
    format('~d ~d ~d ~d ~d ~d ~d ~d ~d \n', [X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7,X8,X9]),
    display_rows(Rows).
% per stampare
```

e per ogni valore X_i , $1 \leq X_i \leq 9$

Sudoku: ricerca "con vincoli"

(4)

A problem:

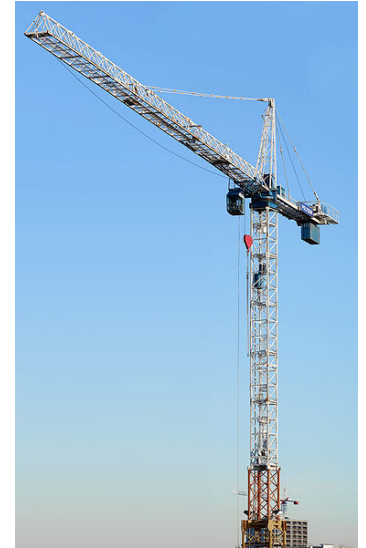
1			2		3			4
	2						3	
		3				2		
9			4		1			8
				5				
2			9		6			1
		8				7		
	7						8	
6			7		8			9

A solution:

1	5	9	2	7	3	8	6	4
7	2	6	8	1	4	9	3	5
8	4	3	5	6	9	2	1	7
9	6	5	4	2	1	3	7	8
4	8	1	3	5	7	6	9	2
2	3	7	9	8	6	4	5	1
3	9	8	1	4	5	7	2	6
5	7	4	6	9	2	1	8	3
6	1	2	7	3	8	5	4	9

Protesi per l'uomo

Come la gru è **una protesi per le braccia** per il lavoro manuale



così il computer è **una protesi per la mente** per il calcolo e la deduzione.



A. Computer che calcolano: somma, moltiplicazione

Ricerca in uno spazio finito: uso di regole.

B. Computer che deducono:

ricerca lineare, ricerca ad albero, ricerca con vincoli

Ricerca in uno spazio finito molto grande, o infinito numerabile: uso di regole e strategie.

C. Dimostratori di teoremi.

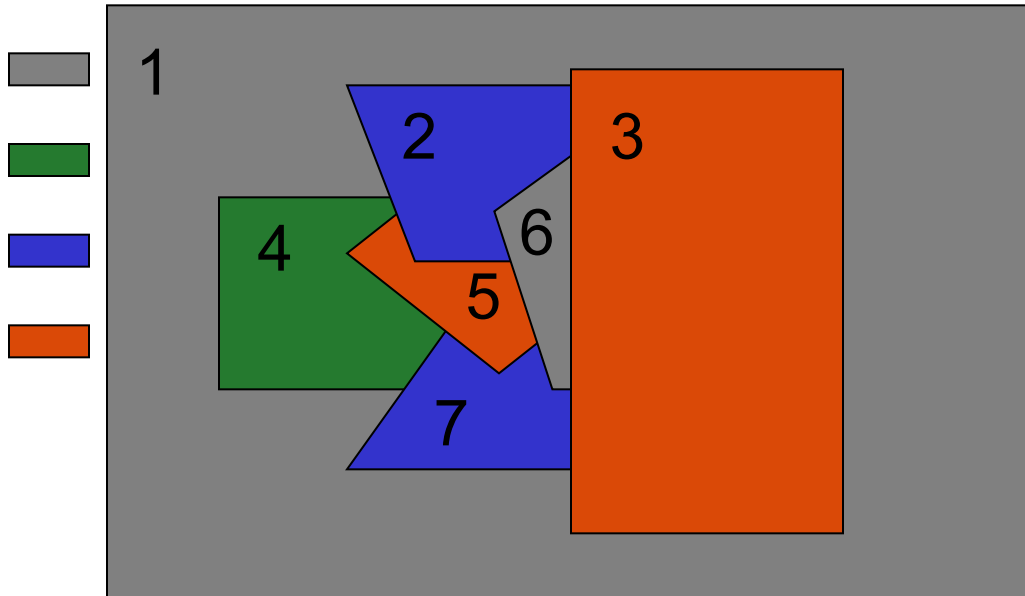
Sistemi di supporto alle decisioni (DSS).

Robot.

Teorema dei 4 colori

(1)

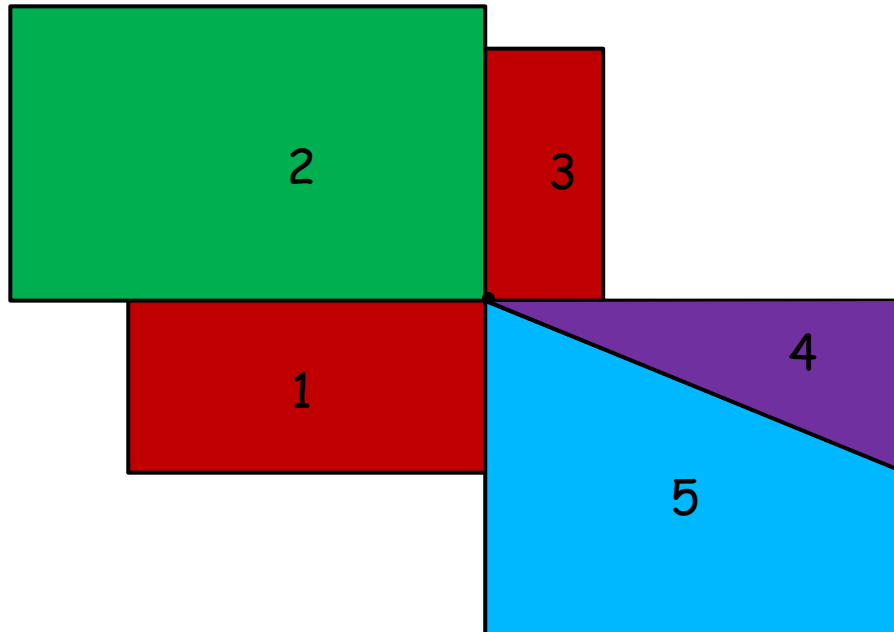
“Ogni mappa geografica si può colorare **con quattro colori** in modo che ogni coppia di Stati confinanti abbia colori diversi”.



Teorema dei 4 colori

(2)

Confini puntiformi non sono ammessi. Altrimenti la mappa può richiedere più di 4 colori.



La prova al calcolatore dura alcune ore e si basa sulla colorazione di 1936 **mappe fondamentali** ("reduced maps") di mappe geografiche.

- Appel, Haken (1976).

- Robertson, Sanders, Seymour, Thomas (2005).

Sistemi di supporto alle decisioni (DSS)

Dialogo con un sistema per la ricerca di un ristorante.

Sai in quale ristorante andare? **No.**

C'è un piatto particolare che desideri gustare? **No.**

Ti piacciono i cibi piccanti? **No.**

Usualmente bevi vino durante i pasti? **Sì.**

Quando bevi vino durante i pasti, è vino italiano? **Sì.**



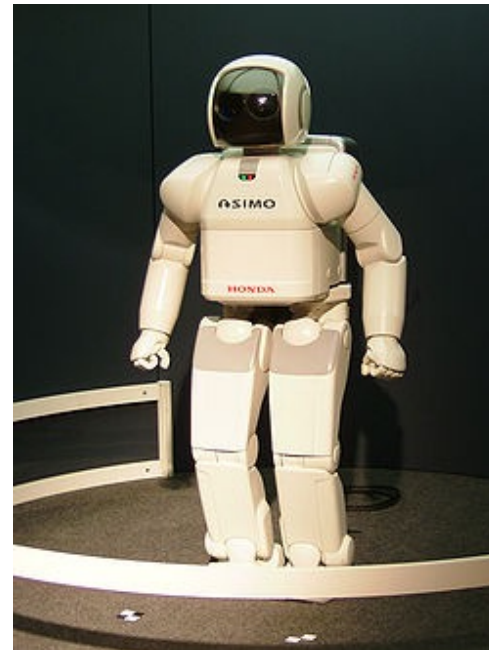
La sequenza di domande non è fissata in anticipo e può dipendere dalle risposte precedenti.

- Sistemi di diagnostica medica.
- Sistemi di controllo di sistemi complessi (per esempio, centrali nucleari).
- Sistemi di controllo del traffico aereo, automobilistico, navale.
- Sistemi di telerilevamento e controllo,
- ecc.

Robot: uso di sensori e attuatori (1)

La deduzione logica interagisce con

- l'elettronica (**sensori**)
- l'automatica (**teoria del controllo**)
- la meccanica (**attuatori**)



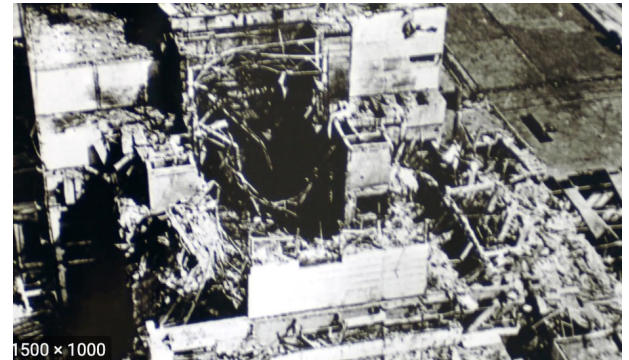
Robot: uso di sensori e attuatori (2)

Robot per la casa: domotica.

Robot per l'industria: costruzione del motore Fire.

Robot per operare in situazioni di pericolo:

- disinnescare un ordigno esplosivo,
- operare in ambienti radiattivi
(Chernobyl 1986,
Fukushima 2011),
- operare in edifici pericolanti (terremoti),
- operare in una nave sommersa (Costa Concordia 2012),
ecc.



Robot per giocare a pallone:



A. Computer che calcolano: somma, moltiplicazione

B. Computer che deducono:

ricerca lineare, ricerca ad albero, ricerca con vincoli

C. Dimostratori di teoremi.

Sistemi di supporto alle decisioni.

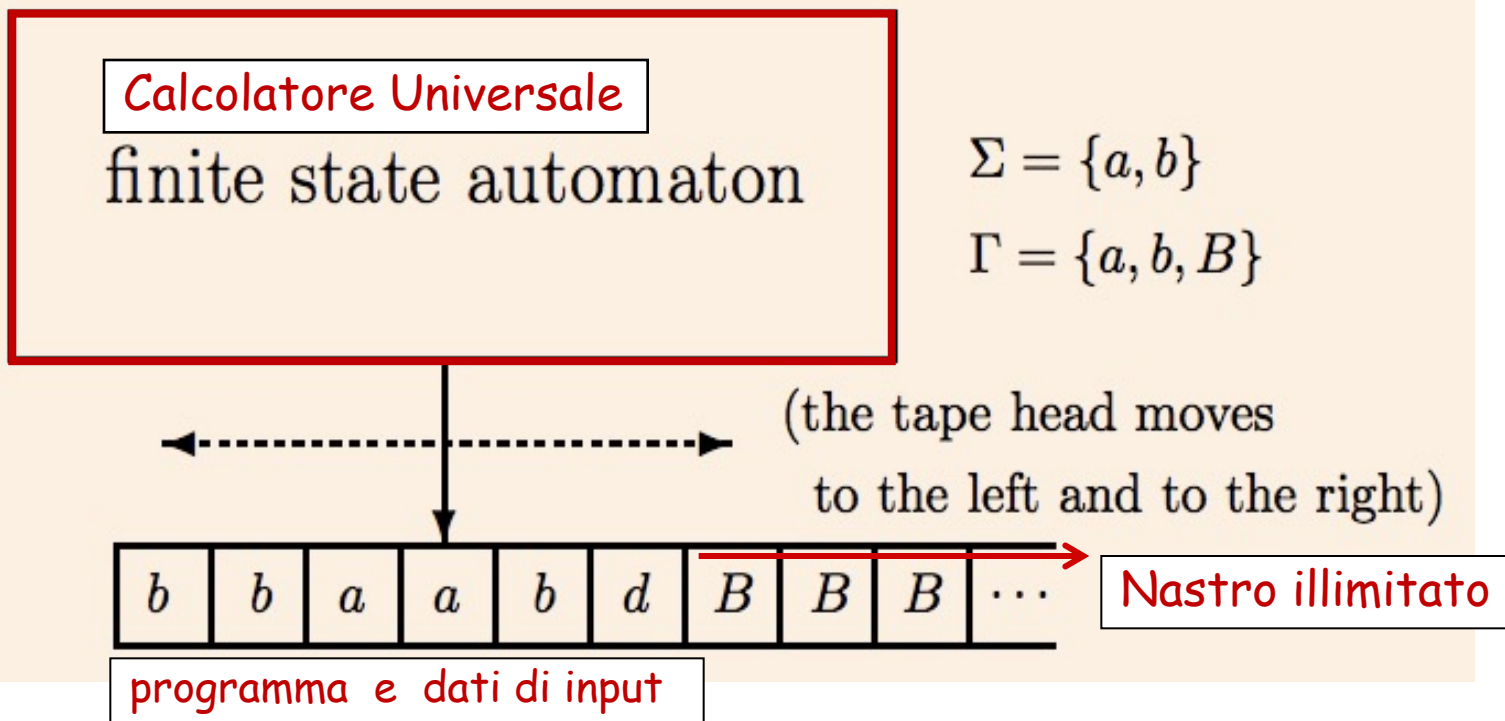
Robot.

E. Il computer universale e i suoi limiti: teoria di Turing.

Macchina di Turing e Calcolabilità secondo Turing



Alan Turing
(1912-1954)



*** Con nastro limitato si possono rappresentare solo un numero finito di numeri e, pertanto, non tutte le somme (e le moltiplicazioni) sarebbero calcolabili.

*** Assumeremo sempre nastro illimitato.

Il calcolatore universale e i suoi limiti (1)



Alan Turing:

- Ogni problema matematico "risolubile" si può risolvere con un calcolatore universale, dotato di nastro illimitato, cambiando il programma di calcolo.

Il risolutore universale non esiste in altri campi.

Per esempio nel campo dei veicoli: non esiste il veicolo universale.

- Alcuni problemi matematici **NON** sono "risolubili". Questo fatto non dipende dalla tecnologia.

Il calcolatore universale e i suoi limiti (2)

Sia N l'insieme dei numeri naturali.

Teorema.

Esistono di funzioni da N^k a N che NON sono calcolabili (assumendo nastro illimitato).

Prova. Le funzioni da N^k a N calcolabili sono tante quante i numeri naturali e le funzioni da N^k a N sono tante quante i numeri reali.

Corollario.

Quasi tutte le funzioni da N^k a N NON sono calcolabili.

Il calcolatore universale e i suoi limiti (3)

John von Neumann:

(Budapest 1903 - Washington 1957):

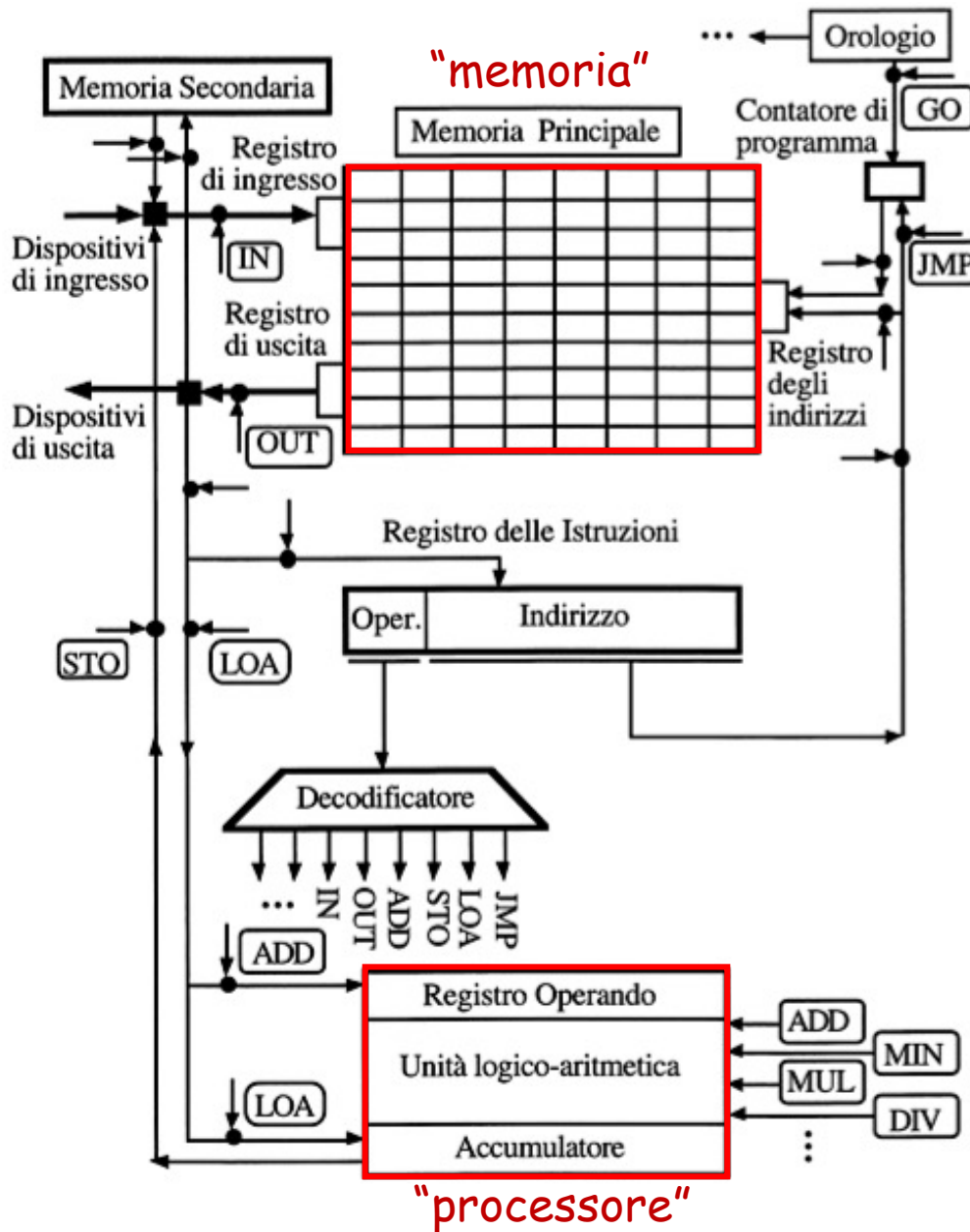
Matematico e fisico. Partecipò anche al progetto della bomba atomica.

Ideatore dell'architettura del computer come **memoria + processore** (in effetti ideata da John Eckert e John Mauchly).



John von Neumann
(1903-1957)

Macchina di John von Neumann



John von Neumann
(1903-1957)

Il calcolatore universale e i suoi limiti (4)

Macchina di Turing =

= Macchina di von Neumann = Linguaggio C = Linguaggio Java = ecc.

La calcolabilità NON è resa più potente se si usa:

nondeterminismo, randomicità, parallelismo,
quantum-computing, biological-computing, neuro-computing,
grid-computing, DNA-computing, ecc.

Ma con tali tecniche si migliora l'efficienza (in spazio di memoria e tempo di calcolo) di risoluzione dei problemi.

Esistono, comunque, per ogni problema limiti invalicabili di spazio di memoria e tempo di calcolo.

Il calcolatore universale e i suoi limiti (5)

- La metodologia della **trasformazione dei programmi** permette
- (i) di derivare programmi più efficienti a partire da programmi meno efficienti, e
 - (ii) permette di dimostrare proprietà di programmi (e, in generale, di provare formule del Calcolo dei Predicati del Primo Ordine).

Si vedano i lavori del gruppo De Angelis - Fioravanti
- Pettorossi - Proietti e il seminario del 17-12-2021.

Il calcolatore universale e i suoi limiti (6)

Il software **non** è un "piccolo genio" che risiede nell'hardware.

La Macchina di Turing, quella di von Neumann, linguaggio C, linguaggio Java, ecc.

permettono un **comportamento adattativo** (*), che dipende da risultati precedenti ottenuti durante il calcolo, perché il programma risiede in memoria ed è "modificabile" come un dato qualsiasi.

(*) Ad esempio, un programma per giocare a scacchi che migliora in seguito ai risultati ottenuti in partite giocate precedentemente.

Limiti invalicabili della formalizzazione (7)

■ Henry Poincaré (1854-1912) 1908.

La soluzione del problema degli 3 corpi **non** può essere espressa in forma chiusa.

It may contain constants, variables, certain well-known operations (e.g., $+$ $-$ \times \div), and functions (e.g., nth root, exponent, logarithm, trigonometric functions, and inverse hyperbolic functions), but usually no limit, differentiation, or integration.



■ Kurt Gödel, 1936:

Teorema di Incompletezza dell'Aritmetica di Peano (PA)

aritmetica dei numeri naturali $0, 1, 2, \dots$

con somma,
moltiplicazione e

induzione: se $\varphi(0)$ e per ogni n , $\varphi(n) \rightarrow \varphi(n+1)$, allora per ogni n , $\varphi(n)$

PA è inconsistente, cioè in PA si può provare una qualsiasi formula (in particolare, la formula " $0 = 1$ ")

oppure

in PA esiste una formula ψ (con quantificatori) tale che né ψ né la sua negazione $\neg\psi$ può essere provata.



Limiti invalicabili della deduzione

(8)

Esempio.

$\underline{S1} = \{ A \rightarrow^{(1)} BC, B \rightarrow^{(2)} AC, C \rightarrow^{(3)} B, A \rightarrow^{(4)} a, B \rightarrow^{(5)} b, C \rightarrow^{(6)} c \}$

$\underline{S2} = \{ A \rightarrow^{(1)} AC, B \rightarrow^{(2)} AC, C \rightarrow^{(3)} AB, A \rightarrow^{(4)} a, B \rightarrow^{(5)} b, C \rightarrow^{(6)} c, \\ A \rightarrow^{(7)} AD, D \rightarrow^{(8)} CC \}$

In $\underline{S1}$: $A \rightarrow^{(1)} BC \rightarrow^{(2)} ACC \rightarrow^{(4,6,6)} acc$

In $\underline{S2}$: $A \rightarrow^{(1)} AC \rightarrow^{(1)} ACC \rightarrow^{(4,6,6)} acc$ (anche: $A \rightarrow^{(7)} AD \rightarrow^{(8)} ACC \rightarrow^{(4,6,6)} acc$)

Indecidibilità dell'equivalenza di due sistemi di riscrittura:

Non esiste nessun processo di calcolo che,
comunque dati due insiemi $\underline{S1}$ e $\underline{S2}$ di regole a partire da A tali che
in ogni regola una maiuscola genera due maiuscole o una minuscola,
termina e dice "sì" se e solo se

a partire da A , l'insieme delle parole minuscole generabili da $\underline{S1}$ è
uguale all'insieme delle parole minuscole generabili da $\underline{S2}$.

Il problema non è neanche semidecidibile.

Vari livelli di intelligenza

1. intelligenza procedurale:

capacità di applicare regole in una teoria decidibile

(p.e., fare le somme nell'Aritmetica di Presburger = numeri naturali la somma solamente.)

2. intelligenza semi-procedurale:

capacità di applicare regole in una teoria semi-decidibile

(p.e., stabilire l'insoddisfacibilità di una formula del Calcolo dei Predicati del Primo Ordine: la formula è insoddisfacibile se e solo se la sequenza di applicazione delle regole di 1-to-1 resolution e factoring è finita.)

3. intelligenza capace di inventare nuove teorie formalizzate a partire da vecchie teorie:

(p.e., la teoria dei numeri complessi data quella dei numeri reali, la teoria relativistica data quella classica, ecc.)

Questa intelligenza è solo parzialmente meccanizzabile.

Vari livelli di intelligenza

4. intelligenza per l'adeguatezza di una teoria alla realtà esterna:

(p.e., adeguatezza della teoria relativistica alla realtà)

È solo parzialmente meccanizzabile, qualora siano disponibili i risultati di un numero sufficiente di esperimenti.

- Esiste il limite della presenza degli errori di misura.

- Se la teoria è sufficientemente complessa, non si riesce a dimostrare la consistenza della teoria.

5. intelligenza che coglie il significato delle cose (intus-legere) e lo collega ad altri significati (intra-legare):

intelligenza come substrato:

(i) della volontà libera che persegue un fine e (ii) dell'autocoscienza.

Non è scientifico pensare che sia meccanizzabile, perché non esiste una formalizzazione della libertà e dell'autocoscienza.

- A. Computer che calcolano: somma, moltiplicazione
- B. Computer che deducono:
ricerca lineare, ricerca ad albero, ricerca con vincoli
- C. Dimostratori di teoremi.
Sistemi di supporto alle decisioni.
Robot.
- D. Il computer universale e i suoi limiti: teoria di Turing.
- E. Problema mente-cervello. Il surplus dell'uomo (Aristotele).

Problema Mente-Cervello (Mind-Brain Problem)

1. Il pensiero è riducibile a materia?
2. I processi mentali sono riducibili ad un computer?
3. L'intuizione matematica è riducibile ad una computazione?



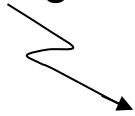
Kurt Gödel (1951):

“Se esistesse un programma di calcolo che sia equivalente all'intuizione matematica, non si può provare che esso sia tale e non si può provare che esso sia capace di produrre solo proposizioni vere della teoria dei numeri naturali.”

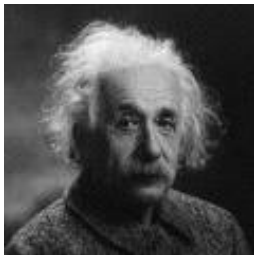
Limite invalicabile



limite invalicabile
comunque migliori la tecnologia



computer: intelligenza computazionale (+rules+strat.) veloce



uomo: intelligenza computazionale (+rules+strat.) lenta

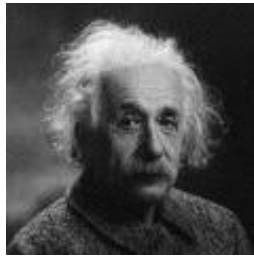


Limite invalicabile



limite invalicabile

computer: intelligenza computazionale (+rules+strat.)



uomo: intelligenza computazionale (+rules+strat.)

esprit de géométrie

esprit de finesse



Pascal

intelligenza sapienziale (senza equazioni)

capace di

- definire **nuove teorie** scientifiche
- usare **libertà** e **volontà**
- perseguire **valori morali**
- coltivare **rapporti affettivi**
- avere una **fede religiosa**

Aristotele: l'intelligenza, la libertà e la volontà

La superficie delle azioni:

le macchine calcolano più velocemente dell'uomo,
i cani hanno un odorato migliore di quello dell'uomo.



Gli obiettivi delle azioni:

le macchine hanno delle leggi fisiche, o regole,
o strategie, o equazioni, gli animali hanno l'istinto.

L'azione dell'uomo è una unità coordinata ove
c'è **fisicità**, c'è interdipendenza tra **coscienza**,
autocoscienza e **mondo esterno** e gli obiettivi sono
perseguiti con l'esercizio della **libertà** e della **volontà**.
L'uomo ha un surplus.



Libertà e volontà

Le prestazioni elevate dei calcolatori delle macchine e dei robot non si ottengono a caso.

Si ottengono attraverso un progetto intelligente basato su teorie formali e regole ed equazioni che relazionano grandezze misurabili e processi computazionali.

Aristotele: non ci sono formalizzazioni della libertà e della volontà e non ci sono le regole o meccanismi che le generano. Se ci fossero, la volontà non sarebbe in grado di essere libera.

I computer e le macchine non possono avere libertà e volontà.



L'uomo sta nel mezzo della creazione -
tra **materia** e **spirito**, tra **tempo** ed **eternità**.
(Sant'Alberto Magno, 1206-1280)

End

Un linguaggio per le idee

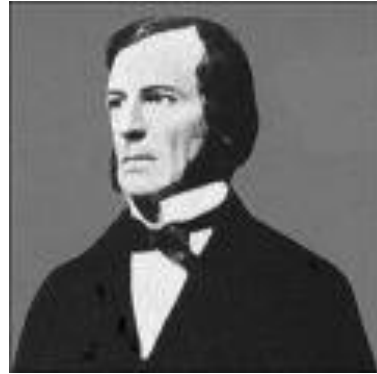


Gottfried Leibniz 1646-1716

Linguaggio per ragionare:

“calculemus”

Aritmetica binaria.



George Boole 1815-1864

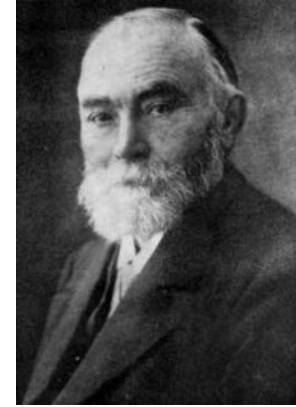
leggi del pensiero

$$\neg(p \vee q) \leftrightarrow (\neg p \wedge \neg q)$$

“non (p oppure q)”

equivale a

“non p e non q”



Gottlob Frege 1848-1925

calcolo dei predicati

$$\neg \forall x p(x) \leftrightarrow \exists x \neg p(x)$$

“non per ogni x p(x)”

equivale a

“esiste x tale che non p(x)”

I problemi dell'aritmetica



George Cantor 1854-1918

Due infinità diverse:
 $|N| < |R|$



David Hilbert 1862-1943

Sogno di risolvere ogni
problema matematico



Kurt Gödel 1906-1978

Impossibilità di provare
tutte le proposizioni vere
nell'aritmetica.

Una macchina per calcolare



Blaise Pascal 1623-1662
macchina per calcolare.
 $231 \times 483 = 111573$



Alan Turing 1912-1954
calcolatore universale:
hardware e software.
(ordinateur et
génie logiciel).



John von Neumann 1903-1957
architettura del calcolatore:
processore + memoria.
programma memorizzato.



Alcuni ricercatori

(1)



Alan Turing (1912-1954)



Donald Michie (1923-2007)
Machine intelligence



Bernard Meltzer (1927-2009)



John McCarthy (1927-2011)
Artificial Intelligence



Marvin Minsky (1927-2016)
Artificial Intelligence

Alcuni ricercatori

(2)



Alan Robinson (1930-2016)



Robert Kowalski (1941-)

- A. Computer che calcolano: somma, moltiplicazione
- B. Computer che deducono:
ricerca lineare, ricerca ad albero, ricerca con vincoli
- C. Dimostratori di teoremi.
Sistemi di supporto alle decisioni. Robot.
- D. Il computer universale e i suoi limiti: teoria di Turing.
- E. Problema mente-cervello. Il surplus dell'uomo (Aristotele).
- F. **Intelligenza: grandezza fisica ? Test di uguaglianza.**

Intelligenza: grandezza fisica?

(1)

Una grandezza fisica deve poter essere misurabile:
deve poter diventare un numero (\pm errore).

Per la massa c'è la bilancia.



Per il tempo c'è l'orologio.



Per lo spazio c'è il metro.



La velocità della luce nel vuoto è di 299 792,4 km/s (errore di \pm 200 m/s).

“Ogni misura si basa su un'uguaglianza”.

Intelligenza: grandezza fisica ?

(2)

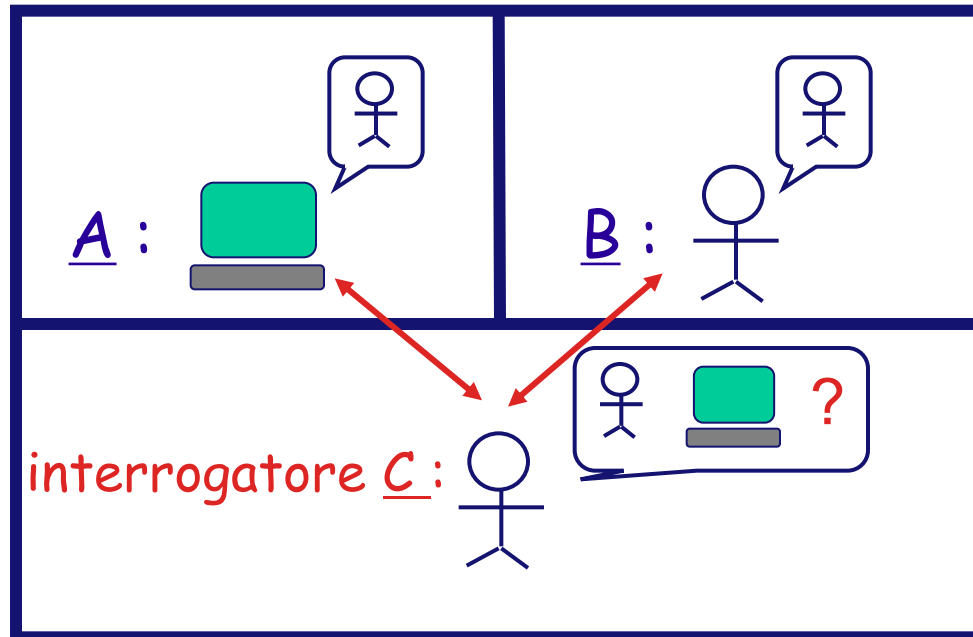
TEST di **TURING** per l'uguaglianza di intelligenza.

Se **C** non riesce ad individuare attraverso domande e risposte

chi tra **A** e **B** è un uomo allora

il calcolatore **A** ha la stessa intelligenza dell'uomo **B**.

Nel rispondere a **C** sia **A** che **B** debbono comportarsi come se entrambi fossero un uomo.



(2) Oltre il calcolo: confronto Animale-Uomo

Aristotele: 1. anima vegetativa (nutrimento, riproduzione),
2. anima animale (+ movimento, istinto)
3. anima razionale (+ intelletto, libertà e volontà).

Anima Razionale:

- la capacità di calcolare/dedurre:

"Non ho mai visto una scimmia dimostrare un teorema"

- la coscienza di sé:

sono cosciente di pensare, di ricordare, mi ricordo di essermi ricordato, ecc.

- la riflessione sulle regole del pensiero "corretto":

- studio dei criterii di correttezza del dedurre

da A e $A \rightarrow B$ si deriva B (modus ponens)

- la presenza di principi di moralità: bene, male, ...

- ecc.

Un teorema di logica classica !

(A e B) implica C

è equivalente a

A implica C

oppure

B implica C



George Boole (1815-1864)

"leggi del pensiero"

Quando usare la logica classica ?

(ho la barca e ho i remi) implica attraverso il fiume

è equivalente a

ho la barca implica attraverso il fiume

oppure

ho i remi implica attraverso il fiume

??