

Le molte macchine di Alan Turing

Daniele Mundici

Dipartimento di Matematica e Informatica “Ulisse Dini”

Università di Firenze

mundici@math.unifi.it

Le molte macchine di Alan Turing

"La geometria degli oggetti e delle idee". Con le macchine? Possibile?

Daniele Mundici

Dipartimento di Matematica e Informatica "Ulisse Dini"

Università di Firenze

mundici@math.unifi.it

Alan Turing: idee e macchine

seguiremo le sue idee
come in un film
attraverso le **macchine**
che Turing incontrò
nella sua vita
avventurosa



(studente al King's college di Cambridge ammesso dopo due tentativi falliti)

pensa a un'automobile o a una moto

se ci dicono che va a 90 km/ora sappiamo che cos'è la velocità



pensa a un'automobile o a una moto

se ci dicono che va a 90 km/ora sappiamo che cos'è la velocità

se ci dicono che fa 25 chilometri con un litro

sappiamo cosa vuol dire distanza e volume



pensa a un'automobile o a una moto

se ci dicono che va a 90 km/ora sappiamo che cos'è la velocità

se ci dicono che fa 25 chilometri con un litro

sappiamo cosa vuol dire distanza e volume

e se il motore fa mille giri al minuto,

sappiamo cosa vuol dire **frequenza**:

immaginiamo un oggetto che ruota,

e ogni minuto fa mille rotazioni



pensa a un'automobile o a una moto

se ci dicono che va a 90 km/ora sappiamo che cos'è la velocità

se ci dicono che fa 25 chilometri con un litro

sappiamo cosa vuol dire distanza e volume

e se il motore fa mille giri al minuto,

sappiamo cosa vuol dire **frequenza**:

immaginiamo un oggetto che ruota,

e ogni minuto fa mille rotazioni



sappiamo anche che cos'è la **frequenza** del battito cardiaco,
di un pendolo, di un diapason

ora pensa al tuo personal computer...

- che forse ha la **frequenza** di un miliardo di passi di calcolo al secondo
- che cos'è un “passo di calcolo”?
- è una grandezza fisica come la velocità e il volume?



ora pensa al tuo personal computer...

- che forse ha la **frequenza** di un miliardo di passi di calcolo al secondo
- che cos'è un “passo di calcolo”?
- è una grandezza fisica come la velocità e il volume?
- oppure è un concetto matematico come una retta o un numero?



ora pensa al tuo personal computer...

- che forse ha la **frequenza** di un miliardo di passi di calcolo al secondo
- che cos'è un “passo di calcolo”?
- è una grandezza fisica come la velocità e il volume?
- oppure è un concetto matematico come una retta o un numero?
- tutti sappiamo fare un'addizione e sappiamo che il risultato si ottiene “con un numero finito di passi”
- ma quanti passi di calcolo ci vogliono per “fare quarantasette più uno”?



ora pensa al tuo personal computer...

- che forse ha la **frequenza** di un miliardo di passi di calcolo al secondo
- che cos'è un “passo di calcolo”?
- è una grandezza fisica come la velocità e il volume?
- oppure è un concetto matematico come una retta o un numero?
- tutti sappiamo fare un'addizione e sappiamo che il risultato si ottiene “con un numero finito di passi”
- ma quanti passi di calcolo ci vogliono per “fare quarantasette più uno”?



queste sono
oggi domande
fondamentali,
a cui daremo
risposta in
questa lezione

I simboli assomigliano agli angeli



- Non hanno peso, viaggiano nell'etere silenziosamente, attraverso immense distanze con la velocità della luce a costo zero

I simboli assomigliano agli angeli



- Non hanno peso, viaggiano nell'etere silenziosamente, attraverso immense distanze con la velocità della luce a costo zero
- Per bocca dei matematici parlano profeticamente di cose sublimi come i numeri e lo spazio

I simboli assomigliano agli angeli



- Non hanno peso, viaggiano nell'etere silenziosamente, attraverso immense distanze con la velocità della luce a costo zero
- Per bocca dei matematici parlano profeticamente di cose sublimi come i numeri e lo spazio
- Più modestamente, come gli arcangeli, portano i nostri messaggi: email, foto, voce

I simboli assomigliano agli angeli



- Non hanno peso, viaggiano nell'etere silenziosamente, attraverso immense distanze con la velocità della luce a costo zero
- Per bocca dei matematici parlano profeticamente di cose sublimi come i numeri e lo spazio
- Più modestamente, come gli arcangeli, portano i nostri messaggi: email, foto, voce

per non parlare dei simboli stradali, angeli custodi che giorno e notte ci mettono in guardia dagli incidenti stradali

la differenza principale tra simboli e angeli

i simboli si sposano



la differenza principale tra simboli e angeli

i simboli si sposano

con gli **algoritmi**

(addizione, moltiplicazione, ...)



la differenza principale tra simboli e angeli

i simboli si sposano

con gli **algoritmi**

(addizione, moltiplicazione, ...)



dal loro matrimonio nascono nuovi simboli



ecco come nascono nuovi simboli



47

il successore di

ecco come nascono nuovi simboli



47

il successore di



48

ecco come nascono nuovi simboli



ecco come nascono nuovi simboli







3.1622776601683793319988935444327185337195551393252168268575
04852792594438639238221344248108379300295187347284152840055
14854885603045388001469051959670015390334492165717925994065
91501534741133394841240853169295770904715764610443692578790
62037808609941828371711548406328552999118596824564203326961
60469131433612894979189026652954361267617878135006138818627
85804636831349524780311437693346719738195131856784032312417
95402218308045872844614600253577579702828644029024407977896
034543989163349222652612067...etc...etc...etc...etc...etc...etc...

le agenzie matrimoniali per combinare i matrimoni tra simboli e algoritmi si chiamano

- **sistemi notazionali** (greco, romano, indo-arabico, binario,...)
- per esempio: il sistema romano è un'agenzia fallimentare
- perché? prova a raddoppiare XLVII usando quel sistema
- nel sistema decimale il doppio di 47 si calcola molto meglio
- questo infatti è il sistema che abbiamo studiato per calcolare
- il sistema binario è ancora meglio (mini-tabellina pitagorica)
- e per certi algoritmi ce n'è uno ancora migliore

quarantasette, XLVII, 47, 111101

quarantasette in **decimale** è 47 perché 47 vale

4 decine, 7 unità

in **notazione binaria** $47 = 101111$ perché vale

1 trentaduetto, 0 sedicetti, 1 ottetto, 1 quartetto, 1 coppia, 1 unità

ancor più utile è utile scrivere 47 in **notazione binaria inversa**:

$47 = 111101$ (ossia notazione binaria allo specchio):

1 unità, 1 coppia, 1 quartetto, 1 ottetto, 0 sedicetti, 1 trentaduetto

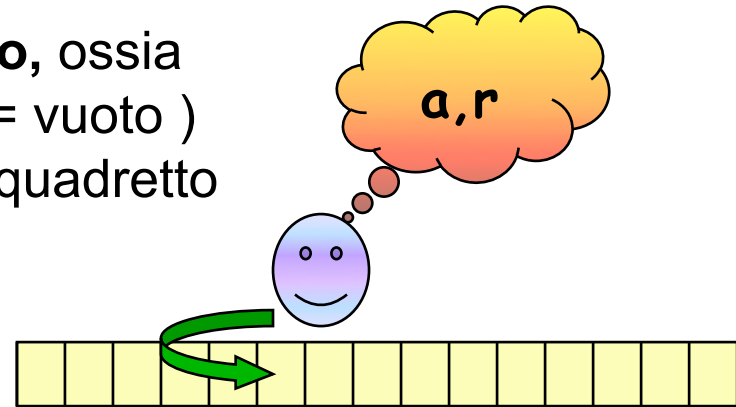
cos'è un algoritmo: un esempio definitivo

studieremo l'algoritmo “**il successore di**” per capirli tutti
procederemo come nella scuola elementare, dando **tutte le istruzioni** necessarie per calcolare il successore di ogni numero, in un numero finito di passi...

certo, già sai calcolare il successore, ma abbi pazienza:
proprio auto-analizzando quello che sai sul calcolo del successore imparerai che cosa è un calcolo in generale
imparerai uno tra i concetti matematici più fondamentali, scoperto da Turing meno di cento anni fa

l'algoritmo "il successore di"

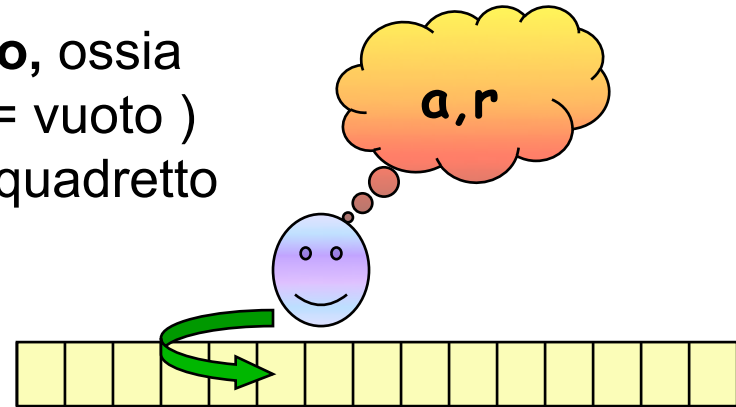
immagina un robot-scolaro con un **quaderno**, ossia un nastro a quadretti con i simboli 0,1,_; (_ = vuoto) una **minitelecamera mobile** che legge un quadretto una **penna** per scrivere in quel quadretto due **stati** **a=attenti**, **r=riposo**.



l'algoritmo "il successore di"

immagina un robot-scolaro con un **quaderno**, ossia un nastro a quadretti con i simboli 0,1,_; (_ = vuoto) una **minitelecamera mobile** che legge un quadretto una **penna** per scrivere in quel quadretto due **stati a=attenti, r=riposo**.

Il robot riceve queste tre **istruzioni**:

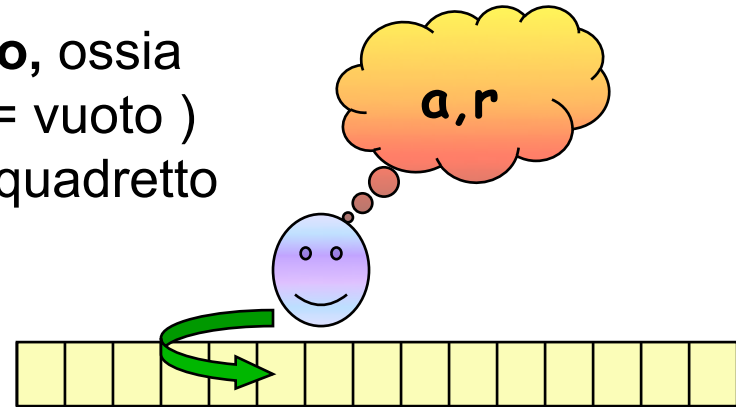


se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra e stai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _ , scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

l'algoritmo "il successore di"

immagina un robot-scolaro con un **quaderno**, ossia un nastro a quadretti con i simboli 0,1,_; (_ = vuoto) una **minitelecamera mobile** che legge un quadretto una **penna** per scrivere in quel quadretto due **stati a=attenti, r=riposo**.

Il robot riceve queste tre **istruzioni**:



se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra e stai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _ , scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

SI PARTE ! il robot è messo in stato a, con la telecamera sulla cifra iniziale di 47 = 111101 (notazione binaria inversa)

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

sono in stato a e leggo 1



1	1	1	1	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

quale delle 3 istruzioni viene attivata?

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

sono in stato a e leggo 1



1	1	1	1	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

quale delle 3 istruzioni viene attivata?
quella che descrive la situazione
"sono in stato a e leggo 1"

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

cosa succederà?

a

1	1	1	1	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

cosa succederà?

a

1	1	1	1	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

0 verrà scritto al posto di 1

la telecamera si sposta a destra

e rimarrà in stato a

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

il primo **passo di calcolo** è fatto!

a

0	1	1	1	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

il primo **passo di calcolo** è fatto!

a

0	1	1	1	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

ma la macchina non si ferma perché le istruzioni sono sempre lì.

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

il primo **passo di calcolo** è fatto!

a

0	1	1	1	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

ma la macchina non si ferma perché le istruzioni sono sempre lì. La macchina sa quale istruzione eseguire ora: quella evidenziata in giallo.

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

il primo **passo di calcolo** è fatto!

a

0	1	1	1	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

ma la macchina non si ferma perché le istruzioni sono sempre lì. La macchina sa quale istruzione eseguire ora: quella evidenziata in giallo. Il risultato sarà

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

il secondo **passo di calcolo** è fatto!

a

0	0	1	1	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

a

0	0	1	1	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

e così via

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

dopo il terzo **passo**

a

0	0	0	1	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

dopo il quarto **passo**

a

0	0	0	0	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

dopo il quarto **passo**

a

0	0	0	0	0	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

la macchina legge 0 in stato a: viene allora attivata la seconda istruzione, che chiede di scrivere 1 al posto di 0 e di andare nella casella a destra, in stato r

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

dopo il quinto **passo**

r

0	0	0	0	1	1				
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

dopo il quinto **passo**

r



**cosa devo fare se in stato r leggo 1 ?
non vedo istruzioni! non ci sarà il sesto passo**

se in stato a leggi 1, scrivi 0, vai a destra, e vai in stato a
se in stato a leggi 0, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r
se in stato a leggi _, scrivi 1, vai a destra e vai in stato r

la macchina-robot di Turing si ferma

r



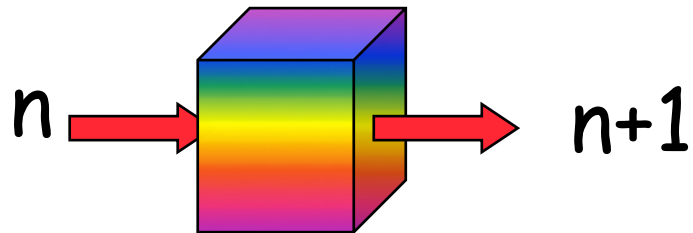
ha prodotto $47+1$ in cinque passi

non sarà che questo terzetto di istruzioni
valga solo per calcolare $47+1$? (una bufala)

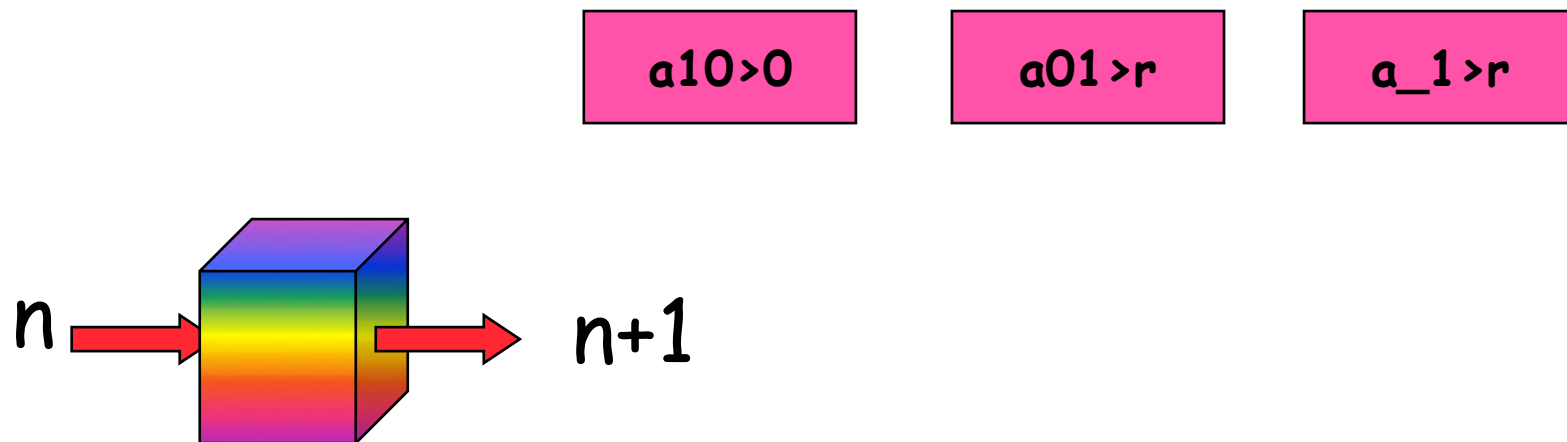
$a_{10} > 0$

$a_{01} > r$

$a_{_1} > r$



non sarà che questo terzetto di istruzioni valga solo per calcolare $47+1$? (una bufala)



Teorema. *Questo terzetto di istruzioni, fissato una volta per tutte, leggendo qualsiasi numero n in notazione binaria inversa calcola il successore di n in un numero finito di passi.*

diciamo “macchina” perché fa i calcoli
“meccanicamente”, senza fantasia

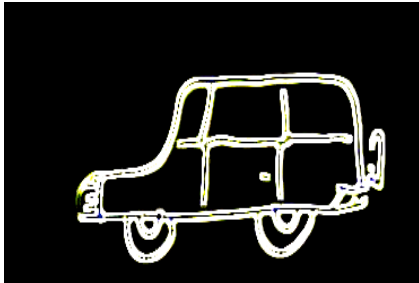
- **macchina di Turing = algoritmo = programma = funzione computabile in un numero finito di passi = procedura meccanica**
- ogni algoritmo ha una macchina di Turing che lo calcola, proprio come il successore

diciamo “macchina” perché fa i calcoli
“meccanicamente”, senza fantasia

- **macchina di Turing = algoritmo = programma = funzione computabile in un numero finito di passi = procedura meccanica**
- ogni algoritmo ha una macchina di Turing che lo calcola, proprio come il successore
- ma questa sarebbe l'informatica del calcolatore tascabile
- una goccia in un oceano matematico-tecnologico che ora andiamo ad esplorare, partendo dalla **scoperta sensazionale** che Turing fece, osservando che anche le macchine che aveva inventato sono fatte di simboli

la scoperta fondamentale di Turing

- Ogni macchina di Turing è una lista di simboli



a10>a

a01>r

a_1>r

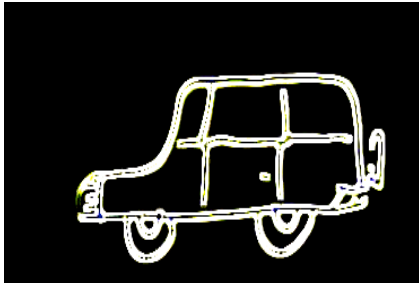
possiamo "scrivere la macchina su un nastro"

a	1	0	>	a	a	0	1	>	r	a	_	1	>	r						
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--



la scoperta fondamentale di Turing

- Ogni macchina di Turing è una lista di simboli



a10>a

a01>r

a_1>r

possiamo "scrivere la macchina su un nastro"

a	1	0	>	a	a	0	1	>	r	a	_	1	>	r		1	0	0	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---	---

accanto a ogni suo input



le macchine sono della stessa specie
dei simboli: ecco perché si sposano

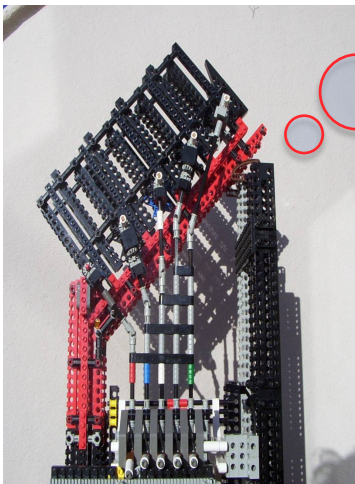
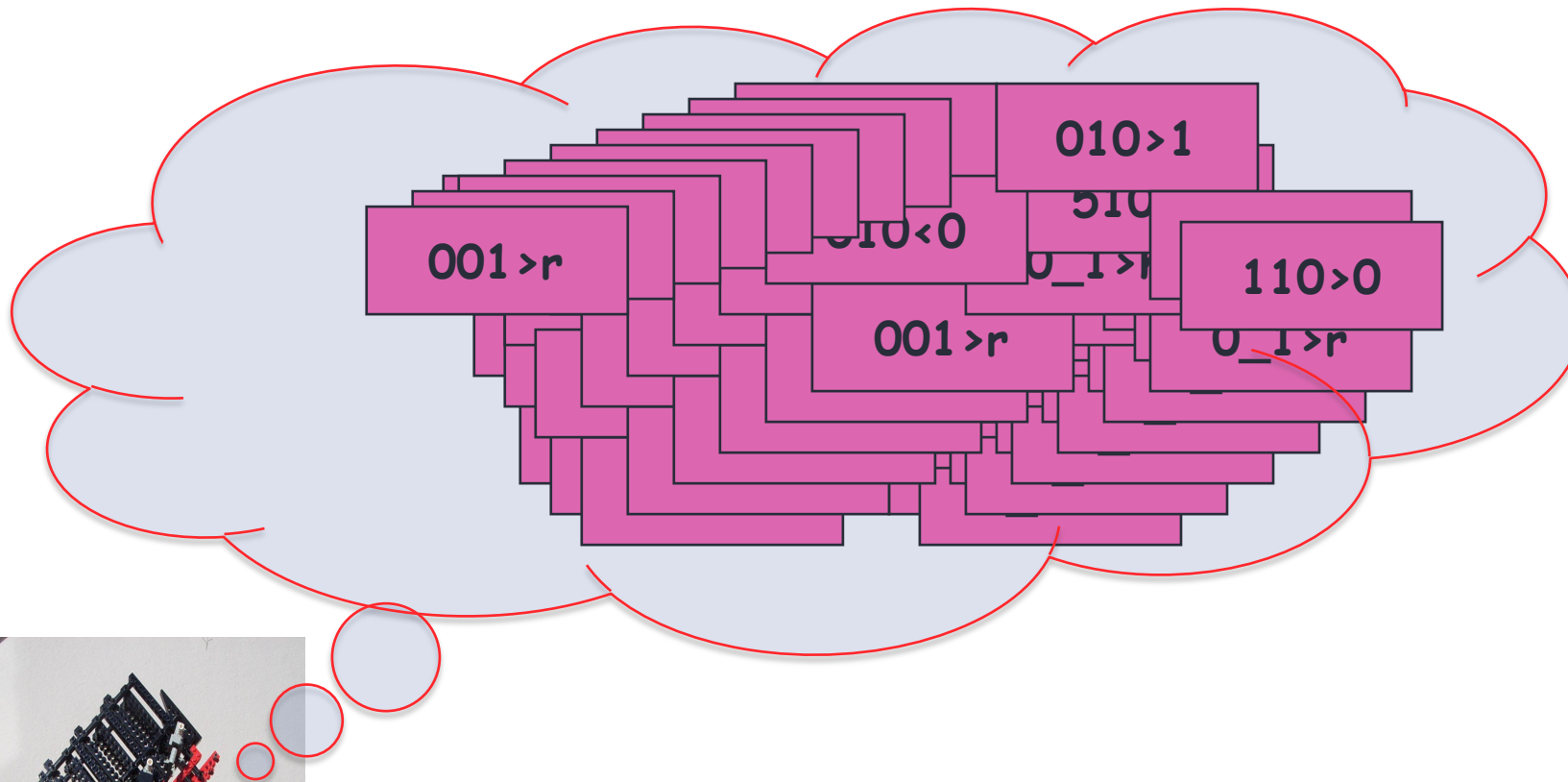


a	1	0	>	a	a	0	1	>	r	a	_	1	>	r		1	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---

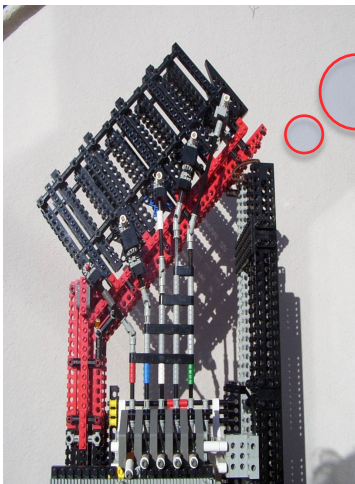
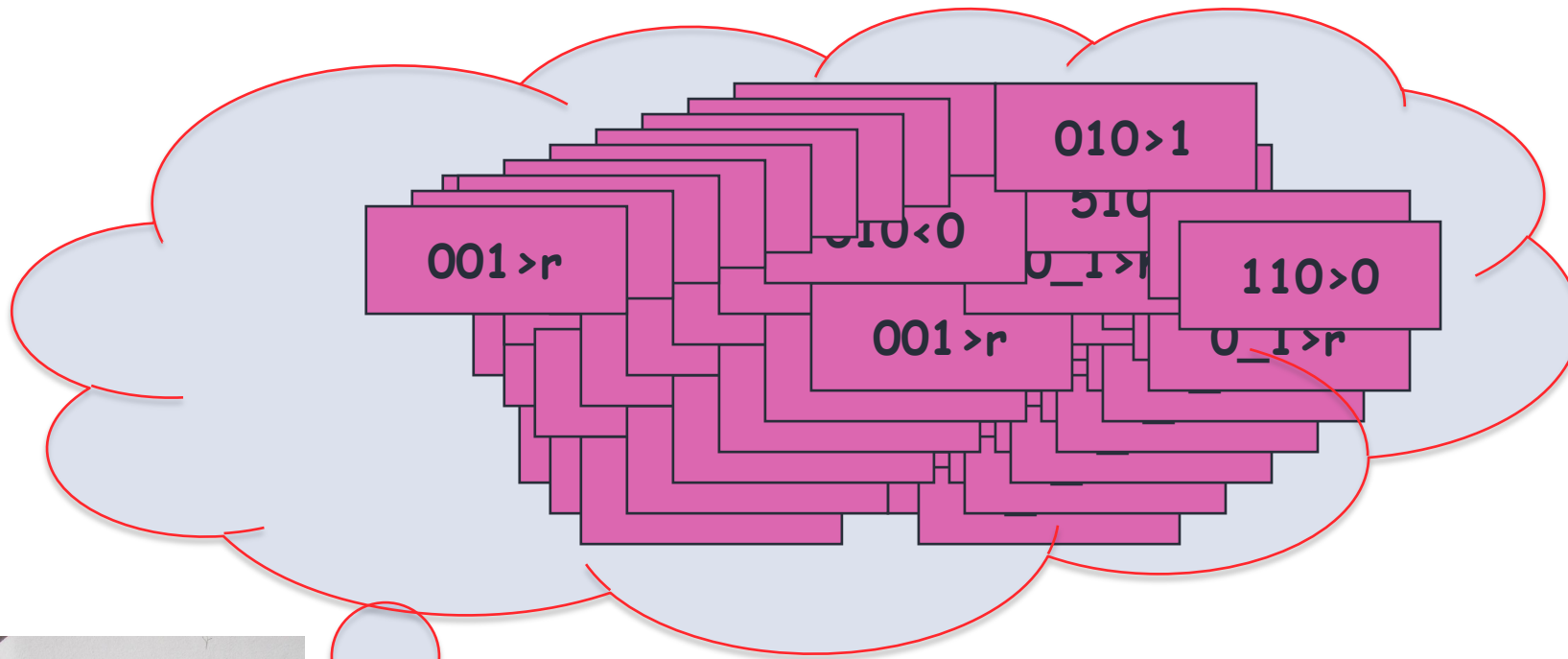
il successore di

13

Turing scrisse una lista di quintuple un po' più complicata della nostra



queste quintuple, avendo in input una macchina qualsiasi e un suo input..

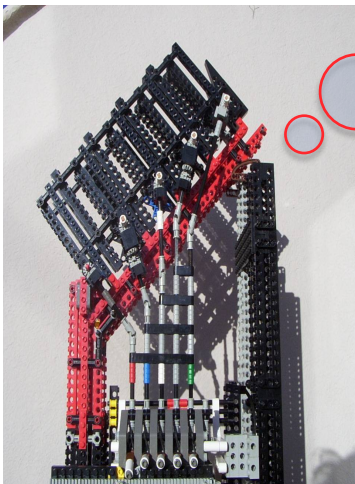
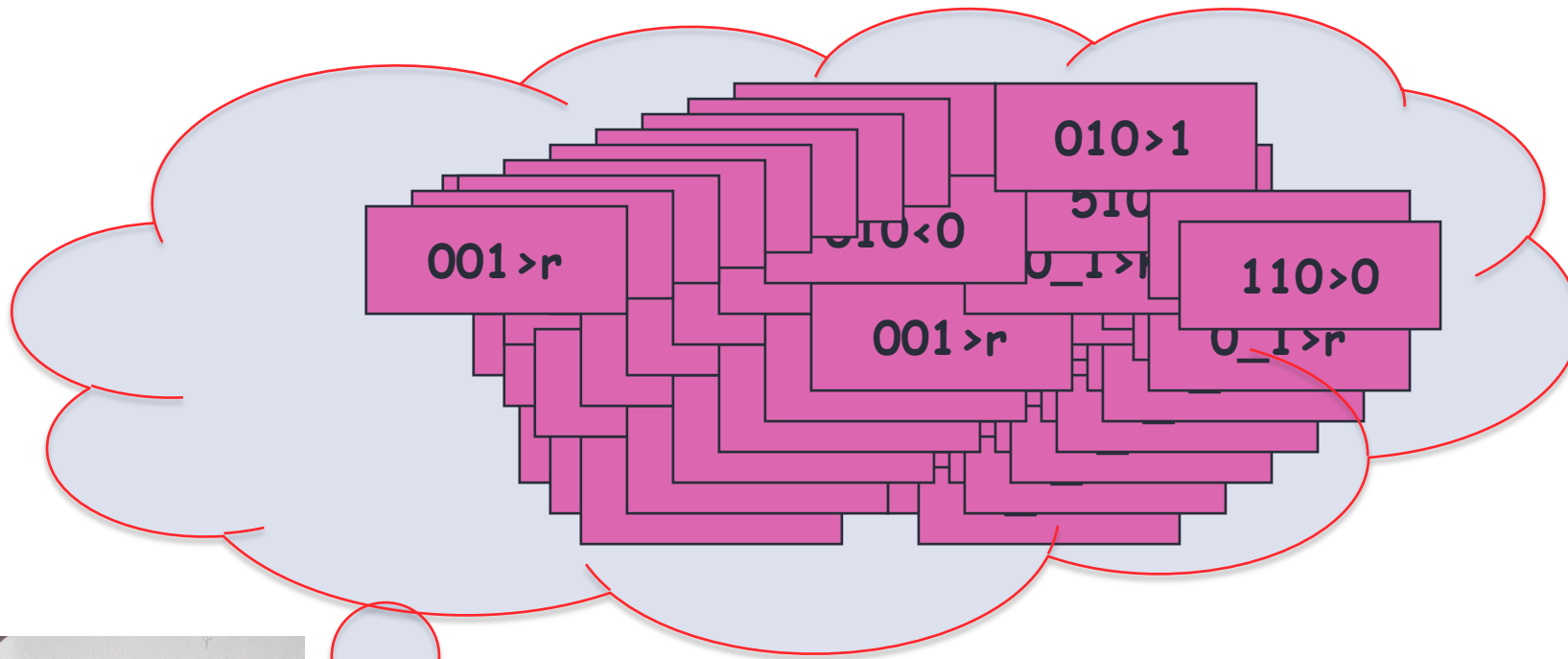


a	1	0	>	a	a	0	1	>	r	a	_	1	>	r		1	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---

la funzione f in quintuple

13

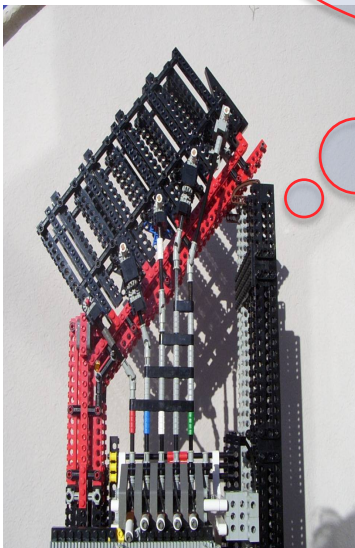
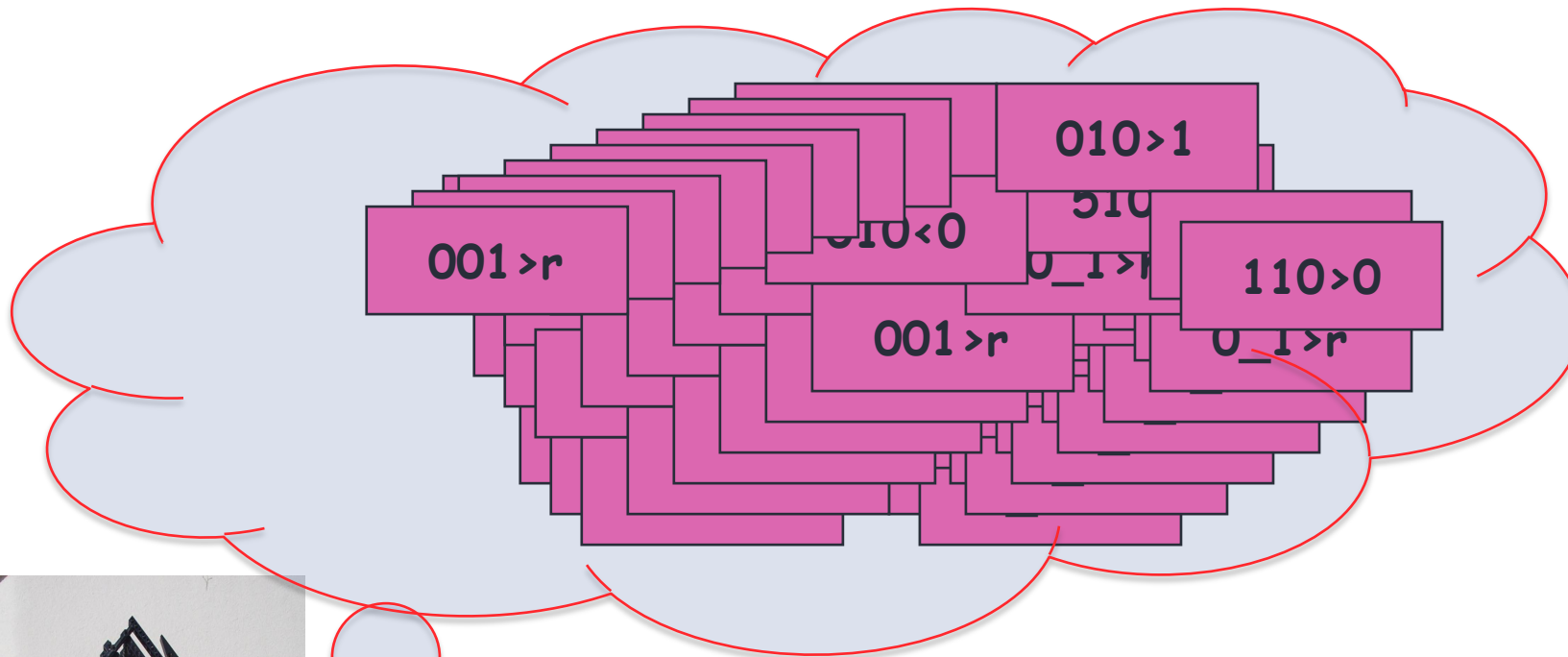
calcolano l'output



a	1	0	>	a	a	0	1	>	r	a	_	1	>	r	0	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

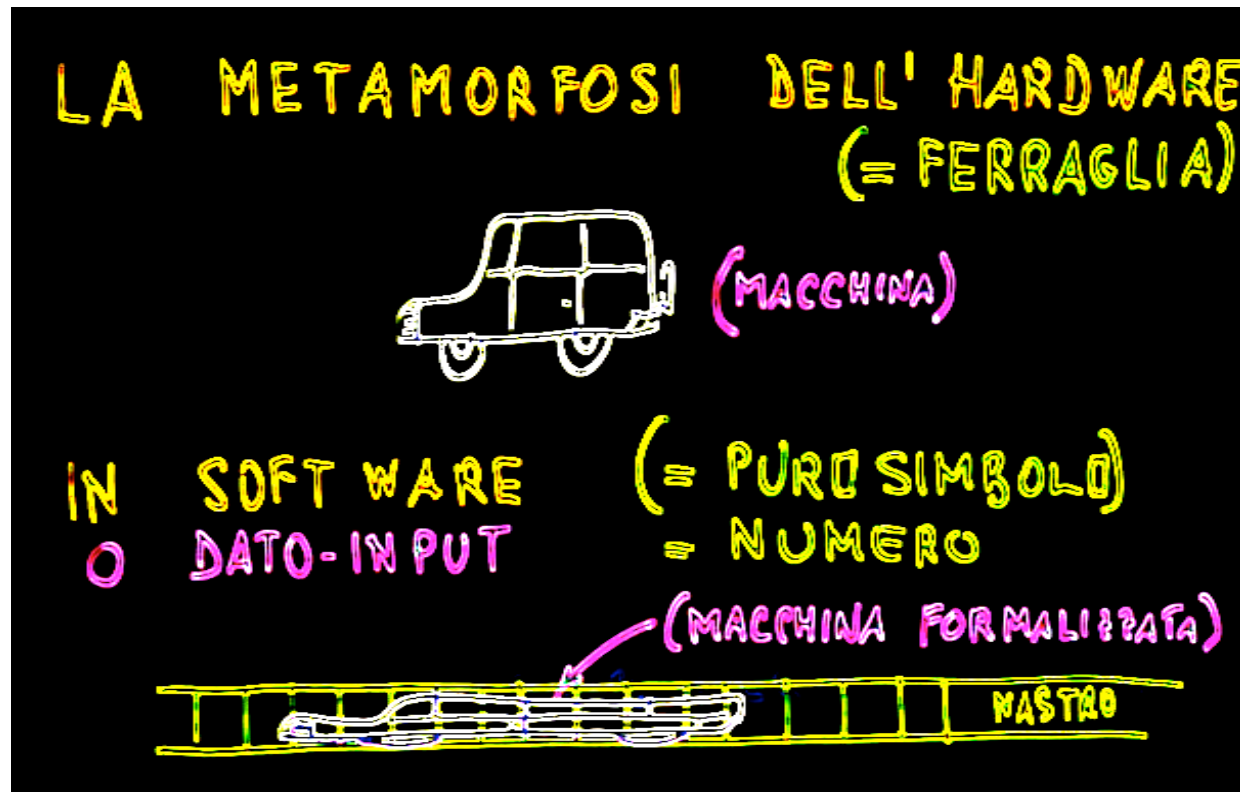
la funzione f in quintuple $f(13)$

per ogni macchina ! per ogni input !

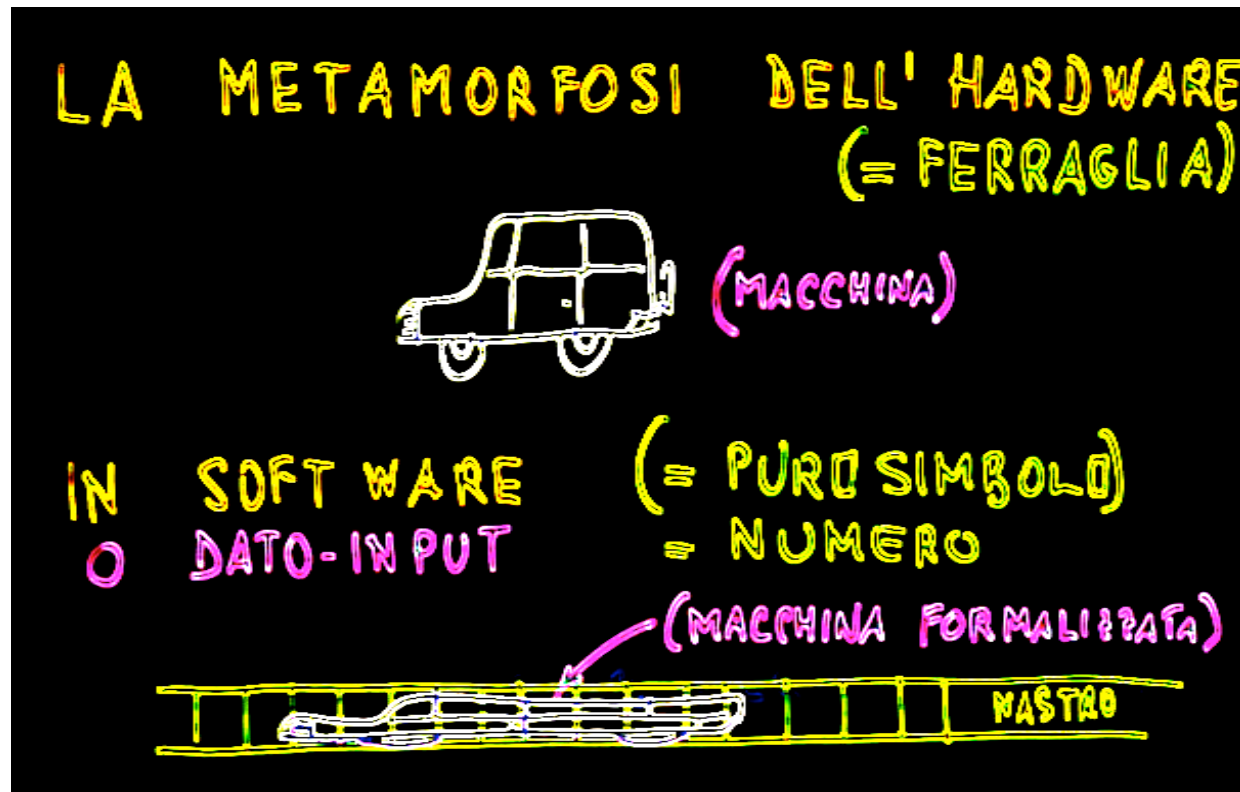


scrivendo qualsiasi macchina T , e input j , la macchina U esegue precisamente gli stessi calcoli che T fa su quell' input j .

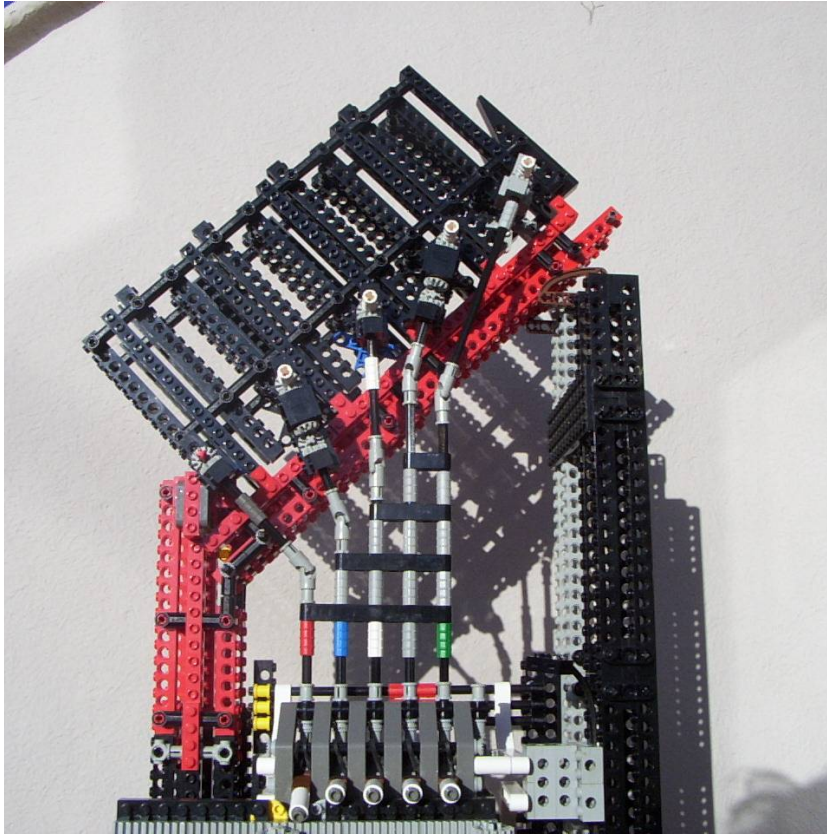
la macchina U sa **simulare** ogni macchina:
U è uno scimmiettatore/copione universale, ...



la macchina U sa **simulare** ogni macchina:
U è uno scimmiettatore/copione universale, ...



nel 1936 la macchina U è solo un oggetto matematico, ma
nel 1946 si materializzerà e nascerà una nuova scienza



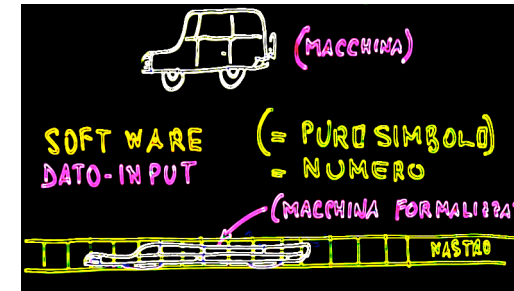
una macchina
di Turing
universale: la
sua prima
macchina



la seconda macchina nella vita di Turing: Enigma

il resto di questa conferenza

- è cronaca e storia degli ultimi 75 anni
- chi ha trovato difficile la prima parte può riprendere il filo
- vedremo cosa c'è sotto la macchina U...
- un giro di interessi enorme
- che in un modo o in un altro ti ha già coinvolto direttamente
- e forse ti coinvolgerà ancor di più domani



Enigma



- inventata da Arthur Scherbius nel 1918
- commercializzata nel 1923
- e inizialmente usata per comunicazioni interbancarie protette
- usata poi dalla Wehrmacht
- prodotta in 50000 (cinquantamila) esemplari

il Dipartimento Crittografico polacco

- 1932: il crittografo polacco Marian Rejewski analizza la macchina Enigma: applicando l'**algebra astratta** risolve un problema decisivo per decifrare i messaggi prodotti da questa macchina
- 25 luglio 1939 – la Polonia è minacciata da Hitler. Rejewski invita in Polonia alcuni crittografi francesi e inglesi, e rivela loro le scoperte dei crittografi polacchi
- passando inoltre all'Inghilterra una copia della macchina Enigma

settembre 1939

- 1 Settembre 1939: la Germania invade la Polonia
- 3 Settembre 1939: l'Inghilterra dichiara guerra alla Germania
- inizia la seconda guerra mondiale
- molti crittografi polacchi furono catturati, ma nessuno rivelò i risultati segreti ottenuti dal gruppo di Rejewski, e trasmessi a francesi e inglesi

la seconda guerra mondiale

- 1940: la Wehrmacht invade la Francia
- La Gran Bretagna deve fronteggiare il più poderoso esercito di tutti i tempi
- Durante tutta la guerra, la sua sopravvivenza dipese dai rifornimenti che riceveva dalle colonie e dagli Stati Uniti attraverso l'Atlantico
- L'ammiraglio Dönitz era a capo della flotta tedesca dei sottomarini U-boat che colpivano le navi mercantili che trasportavano questi rifornimenti



Karl Dönitz

la battaglia dell'Atlantico

- la tattica degli U-boot era gestita da un sistema di trasmissioni via radio
- ogni U-boot doveva periodicamente affiorare per ricevere ordini da Berlino
- i messaggi tra gli U-boot e il centro strategico sotto il comando di Dönitz erano ovviamente in codice



la battaglia dell'Atlantico

- L'esercito tedesco trasmetteva ogni giorno migliaia di messaggi codificati con sistema Enigma.
- la minaccia degli U-boot era andata crescendo: da un solo sottomarino nel 1935, a 57 allo scoppio della guerra.
- nei primi nove mesi del conflitto gli U-boot affondarono 701 navi alleate, con 2.3 milioni di tonnellate di carico, per lo più proveniente dall'America.
- l'Inghilterra non avrebbe potuto sopravvivere a lungo con rotte così insicure.

Bletchley Park

- Quando l'Inghilterra dichiarò guerra alla Germania, Turing passò a tempo pieno nel dipartimento crittoanalitico di **Bletchley Park**.
- lavorando per l'esercito britannico, che cercava di scoprire i codici usati dai tedeschi, codici che giravano sulla macchina Enigma
- 10000 persone lavoravano a Bletchley Park per decrittare Enigma (100000 per il progetto Manhattan)





la terza
macchina:
Bomba

Bomba, la macchina anti-Enigma

- Quel Turing che aveva ideato la macchina universale U
- con i suoi collaboratori crea un'altra macchina, la **Bomba**.
- la Bomba di Turing era un potenziamento della bomba polacca.
- il nome proviene dalla “Bomba” di Rejewski: in polacco “bomba” è come in italiano
- Primo esemplare “Victory”: Bletchley Park, Marzo 1940

Bomba, la macchina anti-Enigma

- prima di Turing nessuno aveva avuto molto successo con Enigma a Bletchley Park
- le macchine elettro-meccaniche sviluppate a Bletchley Park nel 1940 decodificavano appena 50 messaggi Enigma alla settimana
- era opinione generale che Enigma fosse inattaccabile
- Turing attaccò Enigma, utilizzando anche sofisticati processi statistici e materiale informativo intercettato
- a metà del 1941 la decrittazione di Enigma procedeva già sistematicamente
- nel 1943 si decodificavano 3000 messaggi al giorno

la sconfitta di Enigma

- dipese da una combinazione di genialità matematica, spionaggio, errori degli operatori della Wehrmacht, e tanto lavoro di migliaia di persone
- ebbe un effetto notevole sull'esito della guerra:
- l'Inghilterra era in grado di conoscere in anticipo le dislocazioni degli U-boat
- e i piani di bombardamento dell'aviazione tedesca

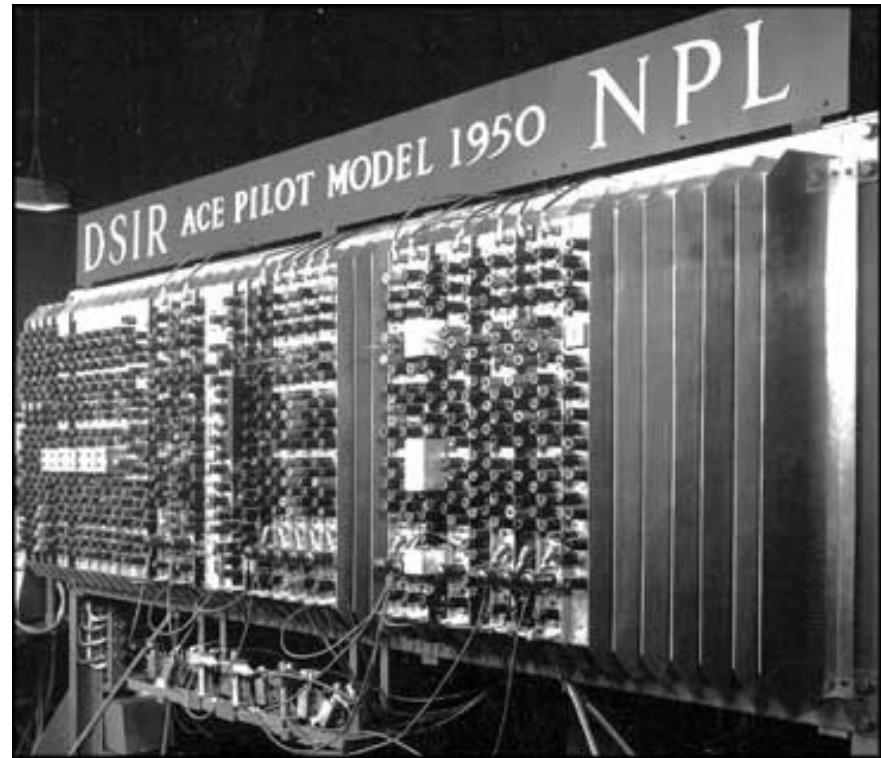
Turing ora ha un progetto ambizioso: vuole materializzare U



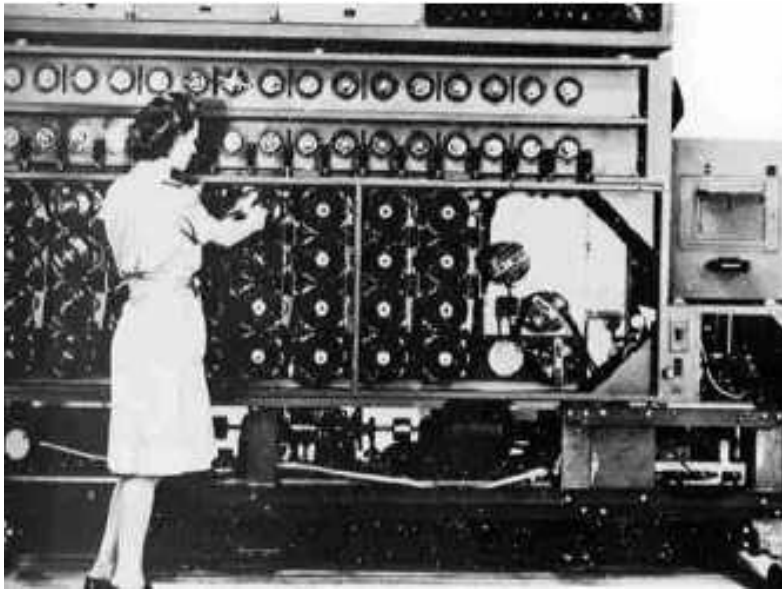
la quarta
macchina:
ACE

ACE

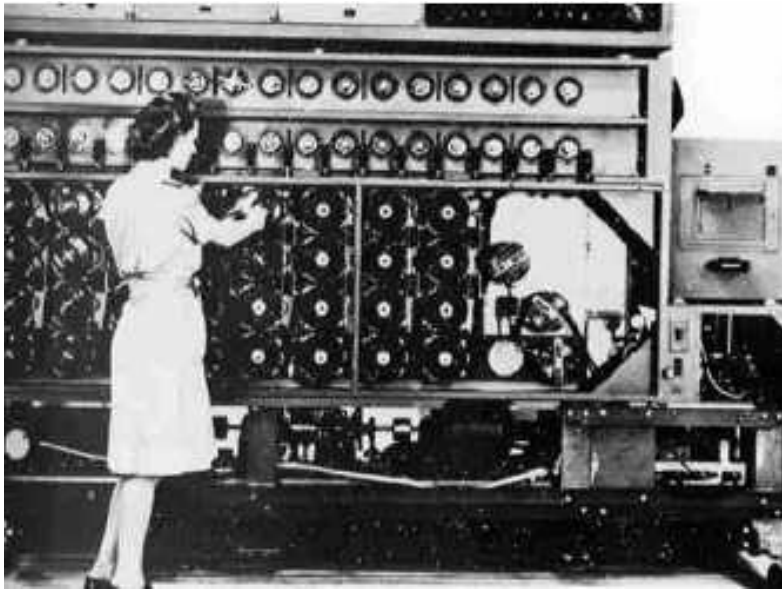
dopo la guerra Turing fu invitato al British National Physical Lab dove progettò un **Automatic Computing Engine**, basato sulla sua idea di macchina universale U. *Il progetto fu bloccato, e Turing passò all'università di Manchester*



prototipo di ACE

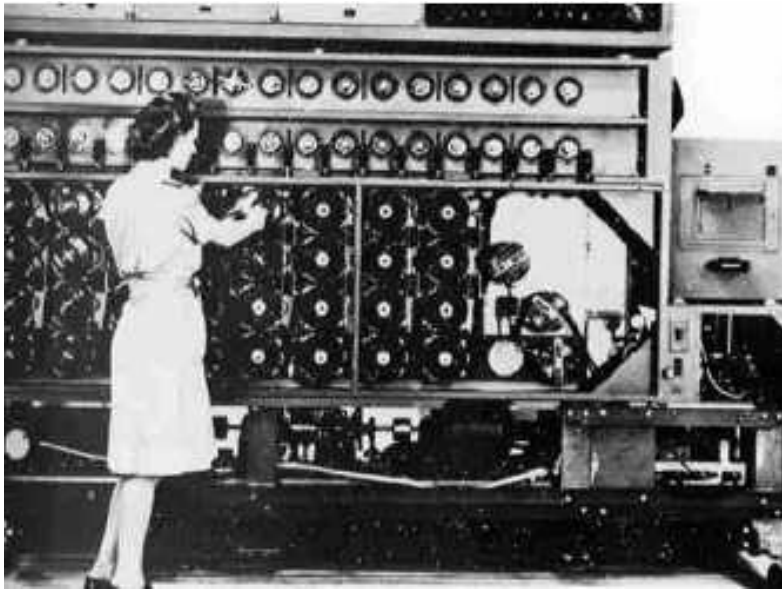


le enormi
potenzialità del
computer erano
ben chiare



le enormi
potenzialità del
computer erano
ben chiare

biologia, fisica
atomica, strategia,
crittografia, meteo, ...

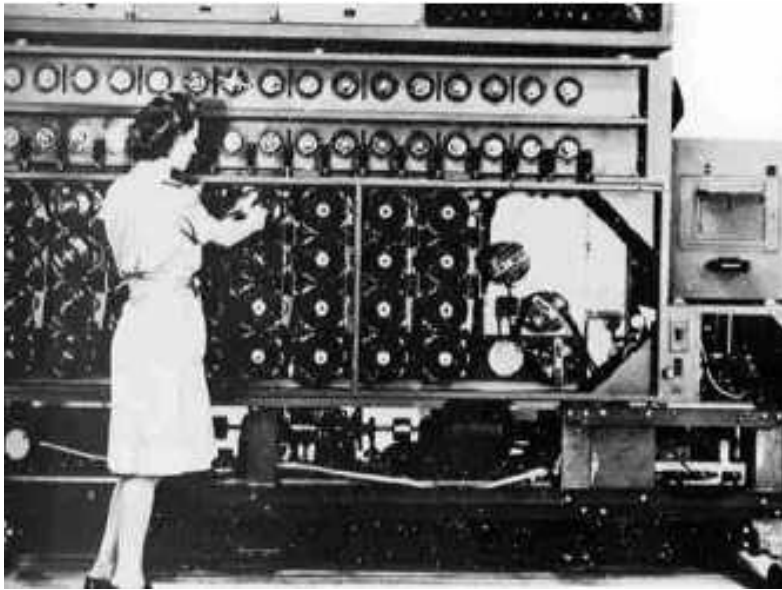


le enormi
potenzialità del
computer erano
ben chiare

biologia, fisica
atomica, strategia,
crittografia, meteo, ...

i vincitori della guerra puntavano a realizzare il
computer come nuova arma, di carattere diverso
dall'altra, ma non meno poderoso

e qualcuno in gran segreto
correva più veloce di Turing



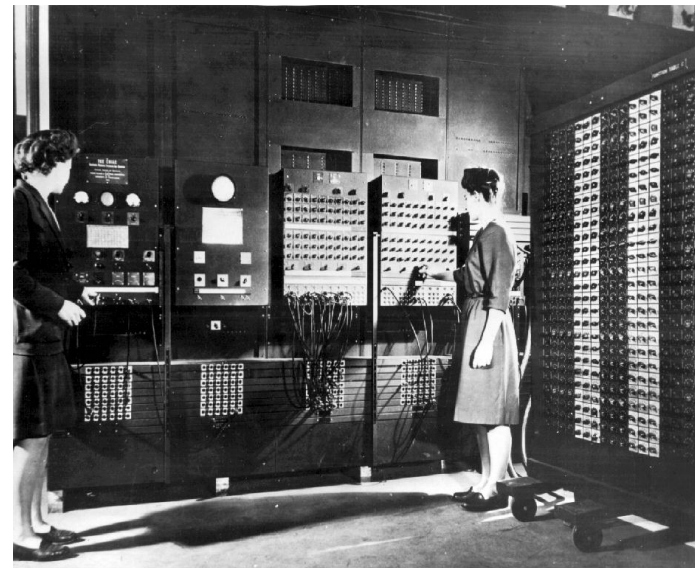
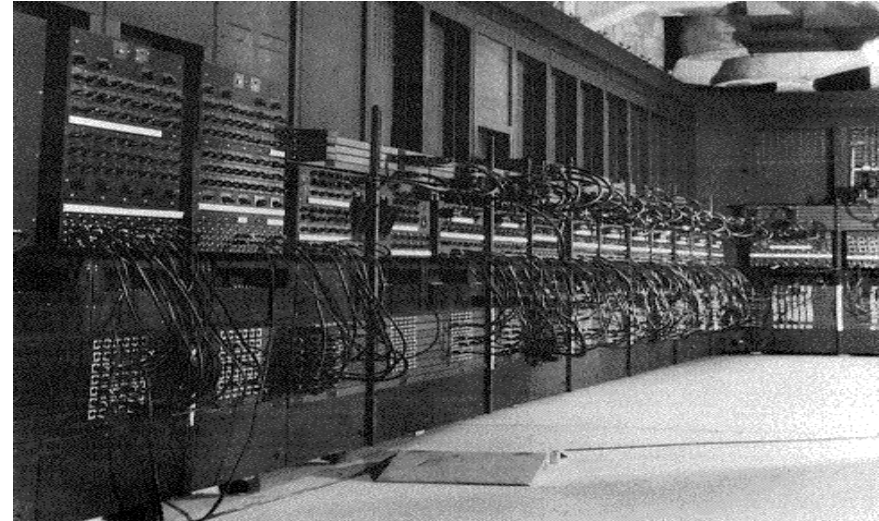
le enormi
potenzialità del
computer erano
ben chiare

biologia, fisica
atomica, strategia,
crittografia, meteo, ...

i vincitori della guerra puntavano a realizzare il
computer come nuova arma, di carattere diverso
dall'altra, ma non meno poderoso

ENIAC – 1946

- **Electronic Numerical Integrator And Computer**
- costruito nell' Università di Pennsylvania
- per applicazioni **militari**
- 5000 operazioni/sec
19000 tubi, 30 tonnellate
- 150 kilowatt: quando lo accendevano, le luci di Filadelfia si abbassavano un po', per il calo di tensione
- i "bachi" erano insetti veri che danneggiavano i tubi



Transistor - 1947

- Inventato presso i Bell Labs, USA
- Rispetto al tubo a raggi catodici, offriva:
 - dimensioni più piccole
 - maggiore affidabilità
 - minor consumo di energia
 - minore costo
- **tutti i computer moderni sono fatti di transistor opportunamente miniaturizzati**

Floppy Disk - 1950



- inventato presso l'Università Imperiale di Tokyo
- offriva più rapido accesso ai dati, rispetto ai nastri magnetici che si usavano prima
- infatti il vecchio nastro magnetico (come la musicassetta o la pellicola cinematografica) permetteva solo l'accesso sequenziale ai dati
- mentre il floppy disk permette un accesso diretto, proprio come il CD, o il pen drive

1951: non più solo per militari

- fino all'1951 tutti i computer erano stati progettati per usi militari o governativi
- Nel 1951, appare il primo computer commerciale, prodotto su larga scala: UNIVAC 1
- **UNIV**ersal **A**utomatic **C**omputer (prodotto dalla Eckert & Mauchly Computer Company)
- UNIVAC 1 è il primo computer che manipola non solo numeri ma anche parole di testo
- Max velocità: 1905 operazioni/sec
- Costo: un milione di dollari
- 5000 tubi 8 tonnellate 100 kilowatt
- Negli anni 1951-57 ne furono venduti 48 esemplari

Intel 4004 - 1971

- Due aspetti fondamentali del moderno computer sono il suo **basso costo** e le sue **dimensioni piccole**
- ciò è reso possibile dall'uso di una componente piccolissima ed economicissima, chiamata **microprocessore**
- il primo microprocessore si fu chiamato Intel 4004
- Microprocessore: un computer in un chip
- conteneva 2,250 transistors nello spazio di un francobollo (invece i moderni microprocessori contengono decine di milioni di transistor)
- potente come ENIAC

Cray 1 - 1976

- una nuova categoria di computer fu introdotta nel 1976 sul mercato: i **supercomputer**
- usati per problemi estremamente complicati
- meteorologia, simulazioni di esplosioni atomiche, disegno di aerei, animazione cinematografica
- Cray 1 poteva fare **167 milioni di operazioni/sec**
- Oggi: 10^{12} operazioni/sec (un milione di milioni)

IBM PC & MS DOS - 1981

- nel 1981, succede **la cosa più importante nella storia dei computer**
- i computer diventano popolari, di dominio pubblico
- ciò avvenne con l'introduzione del PC (personal computer) IBM
- il nonno del 95% dei PC usati oggi

Apple Macintosh - 1984

- 3 anni dopo, Apple Computer introduce un nuovo PC che cambia radicalmente il nostro modo di interagire col computer
- invece di battere a macchina i comandi, ora si poteva muovere un **mouse** e cliccare
- questo è il primo PC davvero popolare, amichevole

World Wide Web -1989

- nel 1989, un altro **evento fondamentale** innesca quella che oggi è l'immensa popolarità del computer
- nasce la World Wide Web
- presso il Centro Europeo per la Ricerca Nucleare (**CERN**) a Ginevra
- la World Wide Web è il più grande serbatoio di conoscenza mai messo assieme dall'umanità

e Turing ?
vi ricordate dove
l'abbiamo lasciato?

The Manchester Universal Electronic Computer



la quinta e
ultima
macchina

l'ultima macchina della vita di Turing

The Manchester Universal Electronic Computer



nominato professore di **matematica pura** nel 1945 all'università di Manchester, negoziò con la Royal Society per avere finanziamenti per il suo progetto di costruzione di un computer

nel giugno 1948 dette una prima dimostrazione della sua realizzabilità

1952-1954, la fine

- Alan Turing fu arrestato e processato il 31 Marzo 1952, per omosessualità
- per evitare la prigione accettò per un periodo di un anno di farsi iniettare estrogeni



1952-1954, la fine

- Alan Turing fu arrestato e processato il 31 Marzo 1952, per omosessualità
- per evitare la prigione accettò per un periodo di un anno di farsi iniettare estrogeni
- l' 8 giugno 1954 la donna delle pulizie trovò il suo cadavere
- Turing era morto il giorno prima: di fianco al suo letto c'era una mela morsicata, avvelenata al cianuro



1952-1954, la fine

- Alan Turing fu arrestato e processato il 31 Marzo 1952, per omosessualità
- per evitare la prigione accettò per un periodo di un anno di farsi iniettare estrogeni
- l' 8 giugno 1954 la donna delle pulizie trovò il suo cadavere
- Turing era morto il giorno prima: di fianco al suo letto c'era una mela morsicata, avvelenata al cianuro
- sua madre avvalorò la tesi che il figlio fosse morto accidentalmente, per un esperimento di chimica finito tragicamente
- il verdetto del coroner fu suicidio

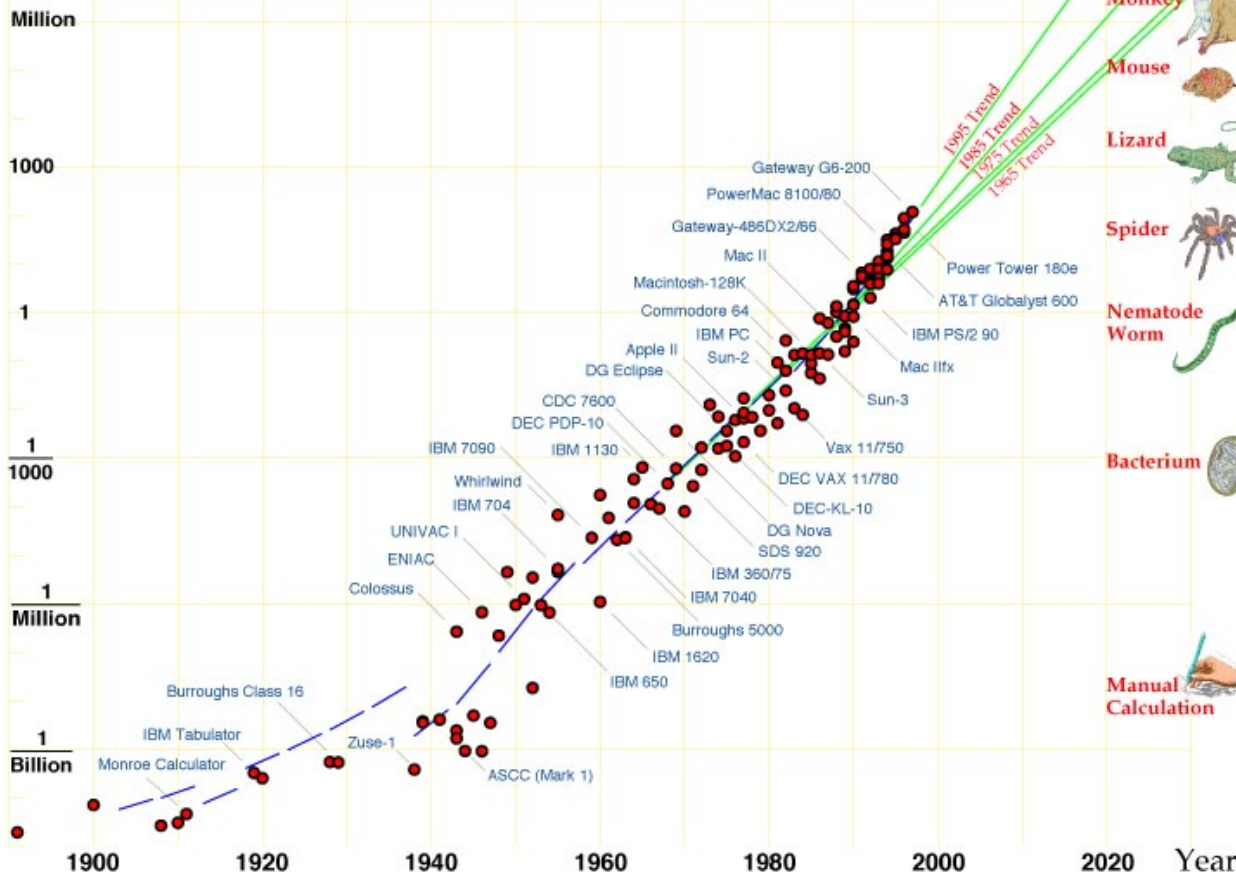


la legge di Moore, 1965

(Gordon Moore, Co-fondatore di Intel)

Evolution of Computer Power/Cost

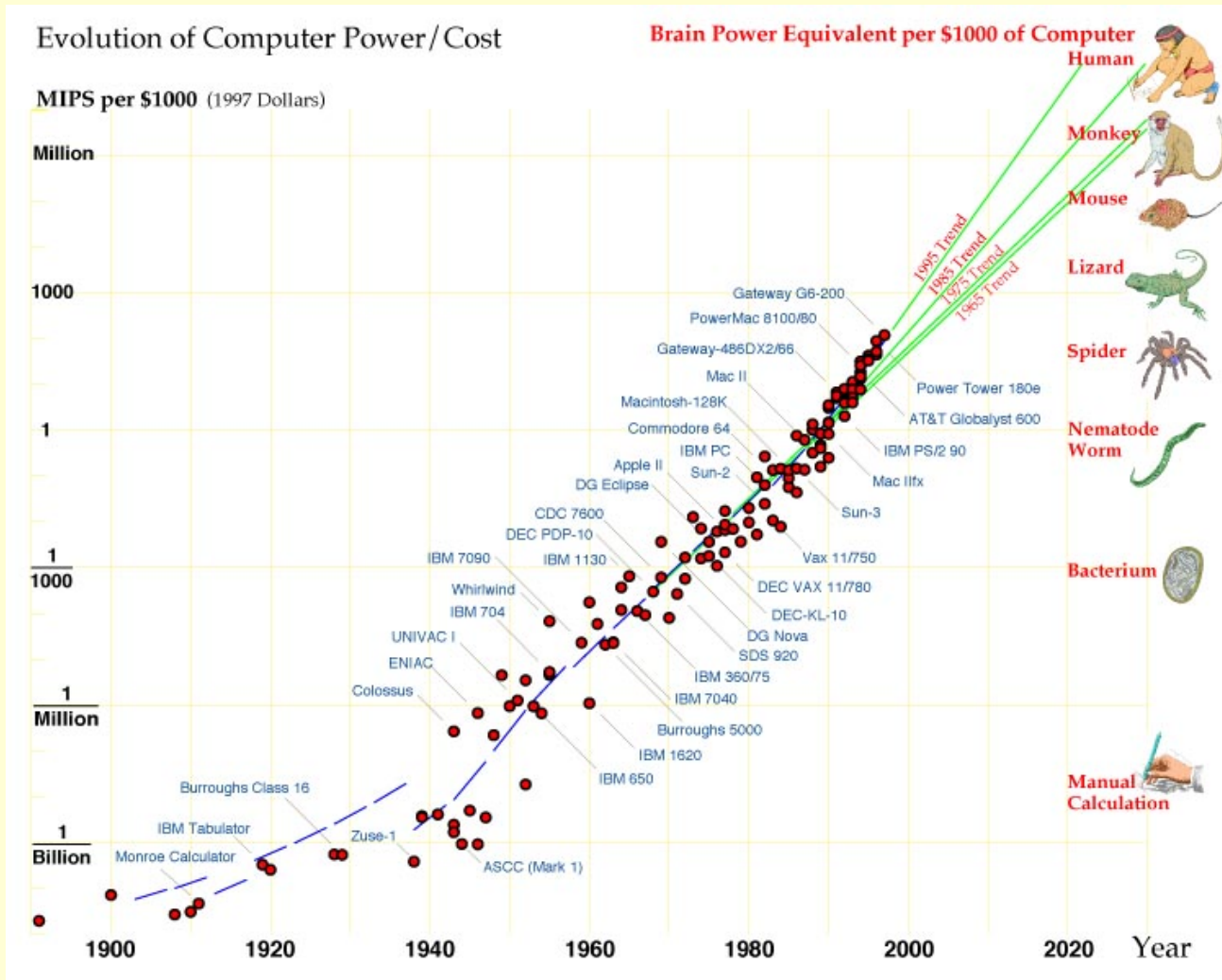
MIPS per \$1000 (1997 Dollars)



“La densità di transistor in un chip raddoppia ogni 18 mesi”

la legge di Moore, 1965

(Gordon Moore, Co-fondatore di Intel)



“La densità di transistor in un chip raddoppia ogni 18 mesi”

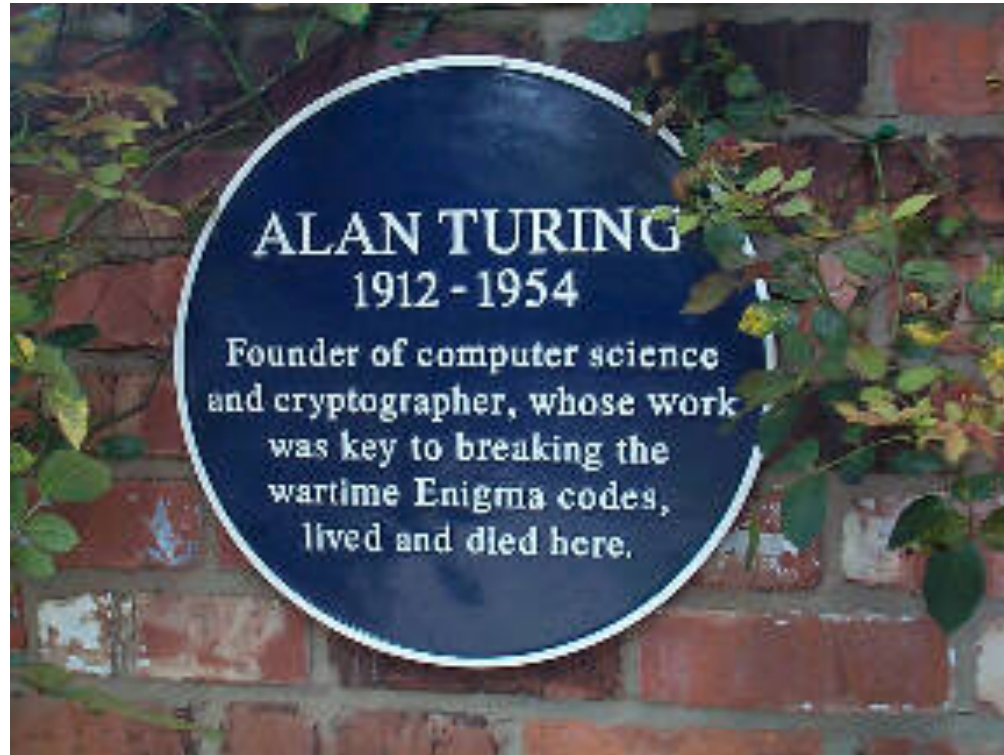
ma il 13 Aprile 2005 lo stesso Gordon Moore dichiara:

“la legge di Moore è morta”

ecco invece una legge immortale

ecco invece una legge immortale





grazie

per saperne di più:

Daniele Mundici (a cura di) **La Scienza dei Calcolatori**
Le Scienze Quaderni, Scientific American vol. 56 (1990)

Daniele Mundici, W.Sieg, "*Turing, il matematico*"
Accademia Nazionale dei Lincei (2013)