

Fondamenti di Informatica

Prof.ssa Enrica Gentile

Informatica e Comunicazione Digitale

a.a. 2011-2012

---

---

---

---

---

---

---

---

Algoritmo

- L'algoritmo è una sequenza finita di istruzioni, mediante le quali un qualunque operatore in qualunque istante è in grado di risolvere un qualsiasi problema dell'intera classe a cui l'algoritmo si riferisce.

Prof.ssa E. Gentile Fondamenti di Informatica 2

---

---

---

---

---

---

---

---

Algoritmo funzionale

- Turing fece vedere come i modi di risolvere problemi a lui noti, potevano essere considerati come funzioni di trasformazione definite mediante matrici.
- Se un algoritmo fornisce un modo di risolvere un problema, esso non fa altro che trasformare alcune informazioni in altre.

$A \rightarrow B$

Prof.ssa E. Gentile Fondamenti di Informatica 3

---

---

---

---

---

---

---

---

## Definizione di applicazione

- Denotati  $T$  ed  $\{A\}$  rispettivamente l'algoritmo e l'insieme delle informazioni abbiamo che:

$$T : \{A\} \rightarrow \{A\}$$

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

4

---

---

---

---

---

---

---

---

## Definizione di Macchina di Turing

- Un nastro infinito, suddiviso in celle. Ogni cella può contenere un solo simbolo, tratto dall'alfabeto esterno
- Una testina capace di leggere un simbolo da una cella, scrivere un simbolo in una cella e muoversi di una posizione sul nastro, in entrambe le direzioni
- Un insieme finito  $Q$  di stati, tali che la macchina si trova esattamente in uno di essi in ciascun istante
- Un programma, che specifica esattamente cosa fare per risolvere un problema specifico

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

5

---

---

---

---

---

---

---

---

## Alfabeto

- Alfabeto esterno

$$\wedge, S_0, S_1, \dots, S_k$$

- Insieme degli stati

$$q_0, q_1, \dots, q_m$$

- Caratteri di movimento

$$S, D, F$$

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

6

---

---

---

---

---

---

---

---

## Relazione funzionale

- Sia  $s_i$  un generico simbolo di A
- Detto  $q_j$  un fissato simbolo di stato interno di T
- Esiste una ed una sola terna  $(s_k, P, q_z)$  corrispondente per T alla coppia  $(s_i, q_j)$

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

7

---

---

---

---

---

---

---

---

## Il Programma come funzione

- Sia  $P := \{S, D, F\}$
- Possiamo vedere il programma eseguito da una Macchina di Turing come una funzione  $f : S \times Q \rightarrow S \times P \times Q$

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

8

---

---

---

---

---

---

---

---

## Matrice Funzionale di Turing

	$q_0$	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$
$\wedge$	$\wedge Dq_0$	$\wedge Sq_2$	$\wedge Dq_0$	$\wedge Fq_4$	$\wedge Fq_4$
$s_1$	$s_2 Fq_1$	$s_3 Fq_0$	$s_1 Dq_0$	$s_1 Sq_0$	$s_1 Fq_4$
$s_2$	$s_2 Sq_0$	$s_2 Dq_1$	$s_1 Sq_2$	$\wedge Dq_3$	$s_2 Fq_4$
$s_3$	$s_3 Sq_0$	$s_3 Dq_1$	$\wedge Sq_3$	$s_1 Dq_3$	$s_3 Fq_4$

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

9

---

---

---

---

---

---

---

---

## Somma di due numeri

- Addizionare 2 a 3
- $A = // * //$
- Trasportare la sbarra dell'estrema sinistra all'estrema destra
- Quando una per volta le sbarre di sinistra saranno passate a destra si potrà cancellare l' $*$ , ottenendo così la somma dei due numeri

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

10

---

---

---

---

---

---

---

---

## Matrice della somma

	$q_0$	$q_1$	$q_2$
$\wedge$	$\wedge Dq_0$	$/Sq_2$	$\wedge Dq_0$
$/$	$\wedge Dq_1$	$/Dq_1$	$/Sq_2$
$*$	$\wedge Fq_0$	$*Dq_1$	$*Sq_2$

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

11

---

---

---

---

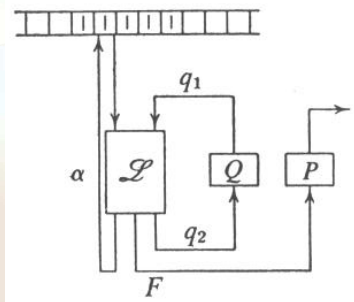
---

---

---

---

## Diagramma strutturale



Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

12

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 1: Somma di numeri

- Si costruisca la matrice funzionale di Turing per la soluzione di più somme consecutive
- Si applichi la macchina di Turing alla stringa iniziale //+///+//
- Si verifichi che la macchina possa risolvere qualsiasi problema dello stesso tipo

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

13

---

---

---

---

---

---

---

---

## 1) Somma di più numeri

	Λ	/	/	+	/	/	/	+	/	/	Λ
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	q <sub>0</sub>	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>
Λ	ΛDq <sub>0</sub>	/Fq <sub>1</sub>	ΛDq <sub>0</sub>
/	ΛDq <sub>1</sub>	/Dq <sub>1</sub>	/Sq <sub>2</sub>
+	+Dq <sub>0</sub>	/Sq <sub>2</sub>	+Sq <sub>2</sub>

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

14

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 2: Sottrazione di due numeri

- Si costruisca la matrice funzionale di Turing per la sottrazione di due numeri nella ipotesi che il primo numero sia sempre maggiore del secondo
- Si applichi la macchina di Turing alla stringa iniziale ///-//
- Si verifichi che la macchina possa risolvere qualsiasi problema dello stesso tipo

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

15

---

---

---

---

---

---

---

---

## 2) Sottrazione di due numeri

	Λ	Λ	/	/	/	-	/	/	Λ	Λ	Λ	Λ
		$q_0$	$q_1$	$q_2$	$q_3$							
Λ	ΛSq <sub>0</sub>	ΛDq <sub>2</sub>	ΛSq <sub>3</sub>	ΛSq <sub>0</sub>								
/	ΛSq <sub>1</sub>	/Sq <sub>1</sub>	ΛDq <sub>3</sub>	/Dq <sub>3</sub>								
-	ΛFq <sub>0</sub>	-Sq <sub>1</sub>	-Dq <sub>2</sub>	-Dq <sub>3</sub>								

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

16

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 3: Controllo di parità

- Definiamo una macchina di Turing in grado di determinare se la stringa assegnata contiene un numero pari o dispari di 1
- Come output si scriva sul nastro il simbolo P per Pari o il simbolo D per Dispari

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

17

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 3) Controllo di parità

	Λ	Λ	Λ	1	1	1	1	1	Λ	Λ	Λ	Λ
		$q_0$	$q_1$									
Λ	pFq <sub>0</sub>	dFq <sub>1</sub>										
1	ΛDq <sub>1</sub>	ΛDq <sub>0</sub>										
p												
d												

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

18

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 4: Stringa Palindroma

- Costruire una Macchina di Turing capace di riconoscere se una stringa assegnata è palindroma
- Una stringa si dice palindroma se è uguale quando viene letta da sinistra verso destra o da destra verso sinistra
- Si applichi alla stringa ANNA

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

19

---

---

---

---

---

---

---

---

## 4) Stringa palindroma

	Λ	Λ	Λ	A	N	N	A	Λ	Λ	Λ	Λ	Λ
	q <sub>0</sub>	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>	q <sub>4</sub>	q <sub>5</sub>						
Λ	ΛDq <sub>0</sub>	ΛSq <sub>2</sub>		ΛDq <sub>0</sub>								
A	*Dq <sub>1</sub>	ADq <sub>1</sub>	*Sq <sub>3</sub>	ASq <sub>3</sub>	ADq <sub>4</sub>							
N	*Dq <sub>4</sub>	NDq <sub>1</sub>		NSq <sub>3</sub>	NDq <sub>4</sub>	*Sq <sub>3</sub>						
*	*Dq <sub>0</sub>											

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

20

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 5: Capovolgere la stringa

- Costruire una macchina di Turing capace di capovolgere una stringa data in input
- Si verifichi che la macchina sia applicabile a qualsiasi stringa di input contenente i simboli dati
- Si applichi alla stringa AMORE e ROMEA

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

21

---

---

---

---

---

---

---

---

### Esercizio 6: Somma di due numeri binari

- Costruire una macchina di Turing capace di eseguire la somma di due numeri binari tenendo conto del riporto
- Si applichino all'input:  $0101+1100$

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

22

---

---

---

---

---

---

---

---

### Esercizio 7: Prodotto di due numeri binari

- Costruire una macchina di Turing capace di eseguire il prodotto di due numeri binari
- Si applichino all'input:  $0100*0010$

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

23

---

---

---

---

---

---

---

---

### Esercizio 8: Schedina

- Sia data una sequenza A di 13 simboli 1, 2 e X casuali ed una sequenza B fissa di 13 simboli tra quelli dati
- Si vuole verificare che A sia vincente e cioè abbia almeno 12 valori uguali a B e nella stessa posizione.
- Costruire una macchina di Turing che, dato un nastro iniziale contenente le sequenze A e B separate dal simbolo #, termini la sua esecuzione lasciando sul nastro il solo simbolo V se è rispettato il controllo richiesto o il solo simbolo N altrimenti.
- Si descriva a parole, prima della matrice funzionale, l'algoritmo di cui la matrice sarà descrizione.

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

24

---

---

---

---

---

---

---

---



## Esercizio 9: Multiplo di 100

- Costruire una Macchina di Turing capace di riconoscere se un numero dato di 4 cifre è multiplo di 100 oppure no.

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

25

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 10: Vocali uguali

- Si costruisca una Macchina di Turing che vuole conoscere se vi sono delle vocali uguali consecutive in una stringa

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

26

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 11: Numero successivo

- Costruire una Macchina di Turing che, dato un numero decimale calcoli il suo numero successivo

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

27

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 12: Conta zeri

- Costruire una Macchina di Turing che conta quanti zeri sono presenti in una stringa di 0 e 1 lunga a piacere

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

28

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 13 - Odometro di Erone di Alessandria

- Un contatore a cifre decimali a lunghezza fissa che incrementa di uno il numero  $N$
- Quando raggiunge il valore massimo 9, ritorna a 0 ed incrementa di 1 la cella precedente
- Costruire una macchina di Turing che, dato un nastro iniziale contenente un numero decimale  $N$ , termini la sua esecuzione lasciando sul nastro l'incremento di  $N$  con l'odometro

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

29

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 14: Ruota

- Data una sequenza binaria di 0 e 1, si vuole definire una operazione RUOTA che sposta ciclicamente lo 0 iniziale in fondo fino a che il bit iniziale è 1 (in caso di tutti 0, non fa nulla)
- Costruire una macchina di Turing che, dato un nastro iniziale contenente una sequenza binaria, applichi l'operazione RUOTA alla sequenza

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

30

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 15: Sequenza DNA

- Nelle sequenze di DNA, composte dalla concatenazione dei simboli A, C, G e T, ciascun simbolo ha un proprio *complemento*
- Il complemento per A, C, G e T è dato, rispettivamente, da T, G, C e A
- Costruire una macchina di Turing che, dato un nastro iniziale contenente una sequenza di DNA, scriva, alla fine della sequenza, una ulteriore sequenza con il complemento dei simboli

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

31

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 16: Confronto tra DNA

- Costruire una macchina di Turing che confronti due sequenze di DNA e scriva SI se essere sono uguali, NO altrimenti

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

32

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio 17: Cifrario di Cesare

- Durante le sue guerre in Gallia, Giulio Cesare usava un semplice cifrario per comunicare con i suoi generali
- In questo cifrario, ogni lettera era traslata di un numero fisso di posizioni. Nel cifrario originale, questo numero era 13

in chiaro ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

cifrato NOPQRSTUVWXYZABCDEFGHIJKLM

- Costruire una macchina di Turing che prenda in ingresso una stringa cifrata, e deve lasciare sul nastro la stessa stringa in chiaro

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

33

---

---

---

---

---

---

---

---

### Esercizio 18: Scambio di caratteri

- Scrivere un programma per macchina di Turing che scambi a due a due i caratteri di una stringa formata da A, B e C, fornita sul nastro in ingresso.
- Se la stringa contiene un numero dispari di caratteri, l'ultimo carattere rimane inalterato

---

---

---

---

---

---

---

---

### Esercizio 19: Presenza di una differenza

- Programmare una Macchina di Turing che, dato un nastro iniziale contenente una sequenza di A e B, termina la sua esecuzione lasciando sul nastro una sola T se la sequenza iniziale contiene almeno una B, una sola F altrimenti

---

---

---

---

---

---

---

---

### Esercizio 20: Confronto tra stringhe

- Costruire una Macchina di Turing che, dato un nastro iniziale contenente una sequenza di caratteri A e B, con  $n > 0$  caratteri A e  $m > 0$  caratteri B
- Scrive sul nastro una sola A se  $n > m$ , una sola B se  $m > n$ , una sola C se  $n = m$

---

---

---

---

---

---

---

---

# Macchina di Turing Universale

---

---

---

---

---

---

---

---

## Ipotesi fondamentale

- **Tesi di Church**  
Qualunque algoritmo può essere espresso sotto forma di matrice funzionale ed eseguito dalla corrispondente Macchina di Turing

Prof.ssa E. Gentile Fondamenti di Informatica 38

---

---

---

---

---

---

---

---

## Irrisolubilità

- Un problema è non risolubile algoritmicamente se nessuna Macchina di Turing è in grado di fornire la soluzione al problema in tempo finito

Prof.ssa E. Gentile Fondamenti di Informatica 39

---

---

---

---

---

---

---

---

## Macchina applicabile

- Diciamo che la macchina è *applicabile* all'informazione iniziale A e che essa l'ha trasformata nell'informazione risultante B se, dopo un numero finito di cicli, la macchina si ferma, avendo ricevuto un ordine di Stop, e sul nastro si ha la rappresentazione dell'informazione finale B.

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

40

---

---

---

---

---

---

---

---

## Macchina non applicabile

- Diciamo che la macchina è *non applicabile* all'informazione iniziale A se non riceve mai un ordine di stop e quindi non si ferma mai.

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

41

---

---

---

---

---

---

---

---

## Macchina di Turing

- Se l'esecutore conosce come funziona la macchina di Turing è sufficiente darle l'informazione iniziale e la matrice funzionale della macchina affinché egli possa eseguire l'algoritmo che essa descrive.

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

42

---

---

---

---

---

---

---

---

## Algoritmo di imitazione

- Il processo di imitazione di una macchina in base alla sua matrice può essere eseguito anche da chi non conosca assolutamente le macchine di Turing.

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

43

---

---

---

---

---

---

---

---

## Algoritmo di imitazione

1. Esaminare la cella del nastro immediatamente al di sotto della quale figura un simbolo
2. Trovare, nella matrice funzionale, la colonna contrassegnata col simbolo che appare sotto la cella esaminata
3. Trovare, nella matrice funzionale, la riga contrassegnata col simbolo che appare nella cella esaminata e annotare la tripla di simboli che compare all'incrocio di questa riga e della colonna individuata con l'istruzione precedente

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

44

---

---

---

---

---

---

---

---

## Algoritmo di imitazione

4. Rimpiazzare la lettera nella cella esaminata col primo simbolo della tripla
5. Se il secondo simbolo della tripla è F, fermarsi
6. Se il secondo simbolo della tripla è !, rimpiazzare il simbolo sotto la cella esaminata col terzo simbolo della tripla

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

45

---

---

---

---

---

---

---

---

## Algoritmo di imitazione

7. Se il secondo simbolo della tripla è S, cancellare il simbolo sotto la cella esaminata e imprimere il terzo simbolo della tripla sotto la prima cella immediatamente a sinistra
8. Se il secondo simbolo della tripla è D, cancellare il simbolo sotto la cella esaminata e imprimere il terzo simbolo della tripla sotto la prima cella immediatamente a destra
9. Passare all'istruzione 1

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

46

---

---

---

---

---

---

---

---

## Macchina di Turing Universale

- La macchina di Turing Universale è una macchina capace di eseguire il lavoro di ogni altra macchina di Turing

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

47

---

---

---

---

---

---

---

---

## Difficoltà n.1

- Non possiamo porre direttamente la matrice funzionale e la configurazione iniziale della macchina imitata sul nastro della macchina universale, perché anche in questa, come in tutte le macchine di Turing, l'informazione è disposta sul nastro unidimensionalmente mentre le matrici sono bidimensionali e nelle configurazioni il simbolo di stato è posto al di sotto del nastro.

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

48

---

---

---

---

---

---

---

---



## Difficoltà n. 2

- La macchina universale impiega un alfabeto esterno finito. Con questo alfabeto noi dobbiamo poter rappresentare tutte le possibili matrici e configurazioni.

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

49

---

---

---

---

---

---

---

---

## Sequenza funzionale

- Invece di una matrice bidimensionale con  $k$  righe ed  $m$  colonne, utilizziamo una sequenza di  $m \cdot k$  quintuple consecutive di simboli

$$(S, Q, s, P, q)$$

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

50

---

---

---

---

---

---

---

---

## Codifica dei simboli

- Deve esistere un algoritmo in base al quale distinguere fra loro i gruppi codificati per lo scorrimento  $P$ , per i simboli di stato  $Q$  e per i simboli dell'alfabeto esterno  $S$ .

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

51

---

---

---

---

---

---

---

---

## Codifica

- S = 101
- F = 1001
- D = 10001
- Alfabeto esterno = 100...001 con un numero pari di zeri, maggiore di 2
- Simboli di stato = 100...01 con un numero dispari di zeri, maggiore di 3
- 100001100000110000110001100000001100001...

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

52

---

---

---

---

---

---

---

---

## Perché le Macchine di Turing

- Questo modello definisce chiaramente e non ambigualmente il concetto di passo della computazione e quindi di *tempo* richiesto.
- Offre la definizione di unità di memoria (la cella del nastro) e quindi di *spazio* utilizzato.

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

53

---

---

---

---

---

---

---

---

## Gioco di Turing

- Si gioca con tre persone, un uomo (A), una donna (B), ed un intervistatore (C) che può essere di entrambi i sessi.
- L'intervistatore sta in una stanza separata dagli altri - collegato con loro tramite una telescrivente.
- L'obiettivo del gioco per l'intervistatore e quello di determinare quale degli altri due sia l'uomo e quale la donna.
- Egli li conosce con le etichette X e Y e alla fine del gioco dovrà dire "X è A ed Y è B" oppure "X è B ed Y è A".

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

54

---

---

---

---

---

---

---

---

## Gioco di Turing

- All'intervistatore è permesso di porre delle domande ad A e B, ad esempio: "Mi vuol dire per favore X la lunghezza dei suoi capelli?"
- Ora supponiamo che X sia veramente A. L'obiettivo di A nel gioco è quello di cercare di fare in modo che C sbaglia identificazione. L'obiettivo del gioco per il terzo giocatore B è quello di aiutare l'intervistatore.
- Ora poniamo la domanda: Cosa accadrà quando una macchina prenderà il posto di A in questo gioco?

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

55

---

---

---

---

---

---

---

---

## Gioco di Turing

- Queste domande sostituiscono la nostra originale:
  - **"È una macchina in grado di pensare?"**
    - (Turing 1950)
- Se una "macchina" riesce ad avere un punteggio pari a quello di A o di B, allora si può dire che essa "pensa"?

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

56

---

---

---

---

---

---

---

---

## Random Access Machine (RAM)

- Un nastro di input
  - di lunghezza infinita, suddiviso in celle; su tale nastro è consentita la sola operazione di lettura, in modo sequenziale
- Un nastro di output
  - di lunghezza infinita, suddiviso in celle; su tale nastro è consentita la sola operazione di scrittura, in modo sequenziale
- Un programma che viene eseguito sequenzialmente
- Una memoria di dimensione infinita su cui conservare i risultati intermedi

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

57

---

---

---

---

---

---

---

---

## Random Access Machine (RAM)

Si assume che:

1. Il programma non possa modificare se stesso
2. Tutti i calcoli avvengono utilizzando una locazione fissa di memoria detta accumulatore
3. Ogni locazione di memoria ed ogni cella del nastro di input ed output siano in grado di contenere un simbolo arbitrario
4. Il programma possa accedere alle singole locazioni di memoria in ordine arbitrario

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

58

---

---

---

---

---

---

---

---

## Accesso Diretto

- Il tempo di accesso ad una cella di memoria deve essere indipendente dalla cella stessa

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

59

---

---

---

---

---

---

---

---

## Complessità computazionale

- Esistono due criteri per determinare la quantità di tempo e di spazio richieste durante l'esecuzione di un programma RAM:
  - Il criterio di costo uniforme
  - Il criterio di costo logaritmico

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

60

---

---

---

---

---

---

---

---

## Costo uniforme

- L'esecuzione di ogni istruzione del programma richiede una quantità di tempo costante
- Lo spazio richiesto per l'utilizzo di un registro di memoria è di una unità, indipendentemente dal suo contenuto

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

61

---

---

---

---

---

---

---

---

## Costo Logaritmico

- Attribuiamo ad ogni istruzione un costo di esecuzione che dipende dalla dimensione degli operandi.
- Tale criterio è così chiamato perché per rappresentare un numero intero  $n$  occorrono  $\lfloor \log n \rfloor + 1$  bit.

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

62

---

---

---

---

---

---

---

---

## Automa a stati finiti

- Un Automa a Stati Finiti  $M=(Q,\delta,q_0,F)$  è una rappresentazione mediante un grafo detto diagramma di transizione in cui
  - Ogni stato  $q \in Q$  è rappresentato da un cerchio con etichetta  $q$
  - Lo stato iniziale  $q_0$  ha un arco entrante libero
  - Per ogni  $q \in Q$  ed ogni  $x \in X$ , se  $q' = \delta(q,x)$  allora esiste un arco da  $q$  in  $q'$  etichettato con  $x$

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

63

---

---

---

---

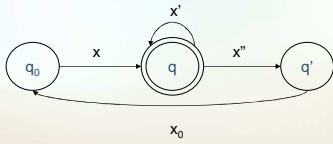
---

---

---

---

## Diagramma di transizione



Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

64

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio

- Data una stringa di caratteri a e b
- Costruire un Automa a Stati Finiti che verifichi se nella stringa vi sono un numero pari di a e dispari di b

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

65

---

---

---

---

---

---

---

---

### • Stati:

- $q_0$  per un numero pari di a e di b
- $q_1$  per un numero pari di a e dispari di b
- $q_2$  per un numero dispari di a e pari di b
- $q_3$  per un numero dispari di a e di b

### • Funzione di transizione $\delta$ :

- $\delta(q_0, a) = \delta(q_3, b) = q_2$
- $\delta(q_0, b) = \delta(q_3, a) = q_1$
- $\delta(q_1, a) = \delta(q_2, b) = q_3$
- $\delta(q_1, b) = \delta(q_2, a) = q_0$

### • $q_0$ stato iniziale

### • $F = q_1$

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

66

---

---

---

---

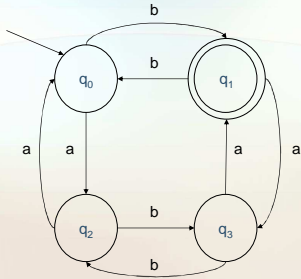
---

---

---

---

## Diagramma



Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

67

---

---

---

---

---

---

---

---

## Esercizio

- Funzionamento di una lampada da tavolo  
Lampadina: Accesa - Spenta  
Pulsante: Premuto - Rilasciato

Prof.ssa E. Gentile

Fondamenti di Informatica

68

---

---

---

---

---

---

---

---