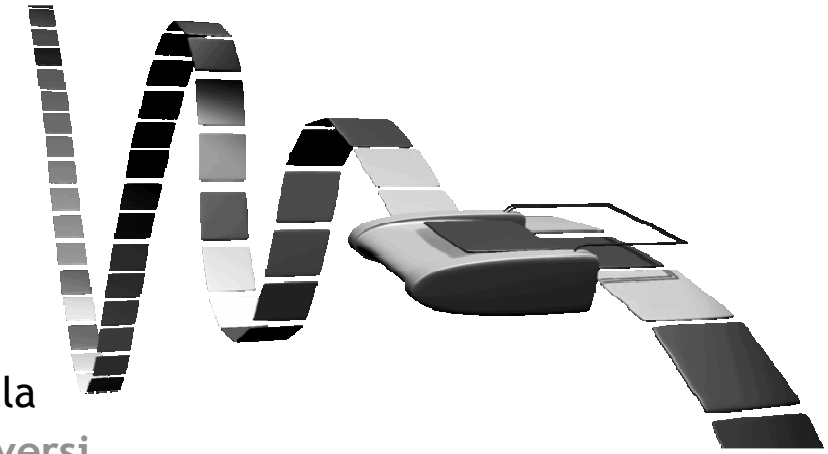
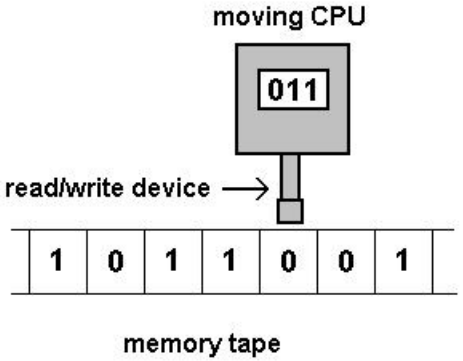
Intelligenza Artificiale I

Esercitazione 2

Marco Piastra

Macchina di Turing (A. Turing, 1937)





- Un modello astratto per il calcolo effettivo
  - Un **nastro** con celle elementari, un **simbolo** in ogni cella
  - Una **testina** di lettura e scrittura delle celle, può **muoversi**
  - Uno **stato** della macchina (un **simbolo**)
  - Una CPU, governata da una **tabella di transizione**
    - { <*stato attuale*, *lettura cella*> → <*nuovo stato, scrittura cella*, *movimento*> }

  La CPU è una *finite state machine*
  - L'input è il contenuto della cella
  - L'output è il nuovo contenuto della cella e il movimento
    - La macchina si ferma se non trova nella tabella una entry con chiave <*stato attuale*, *lettura cella*>

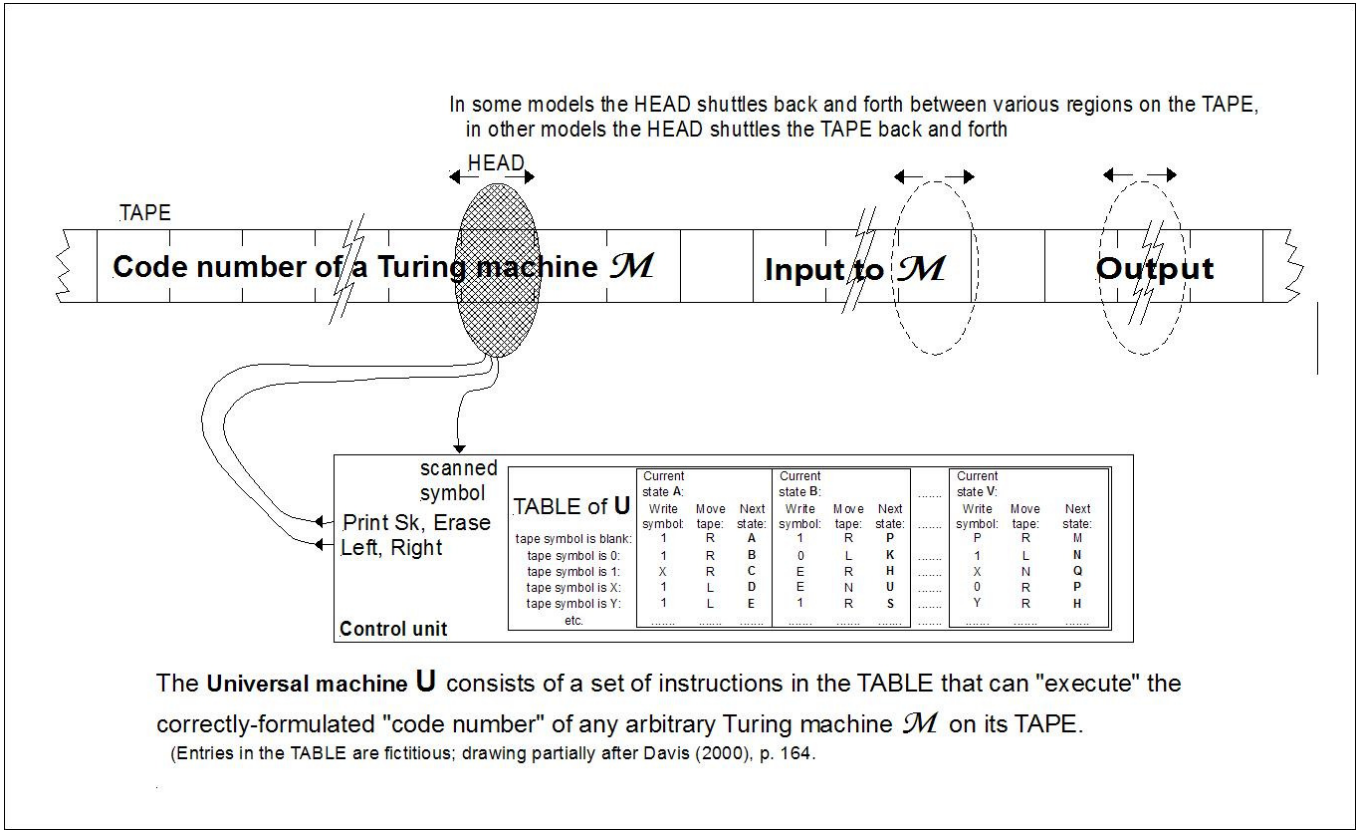
- Descrive la potenza di calcolo di un computer
  - Qualunque ***funzione*** sia calcolabile da un computer, è calcolabile da una macchina di Turing
    - L'unica 'licenza' rispetto ad una macchina fisica è il nastro di lunghezza illimitata

Macchina di Turing *universale* (A. Turing, 1937)

- Come il modello base, ma la tabella è sul nastro

  La tabella delle transizioni viene caricata dal nastro, all'inizio del calcolo

Nello stato iniziale,
la tabella della macchina
contiene solo le istruzioni
necessarie a caricare
la tabella scritta
sul nastro



Tesi di Church-Turing

Non esiste un'unica, concisa formulazione originale:
si tratta di un concetto espresso in più passaggi, da integrare con risultati teorici

- Una possibile formulazione (Wikipedia)

  "*Every 'function which would naturally be regarded as computable' can be computed by a Turing machine.*"

La vaghezza della formulazione ha dato luogo a diverse interpretazioni,
una molto comune (e non del tutto esatta) può essere espressa come in (Wikipedia):

"*Every 'function that could be physically computed' can be computed by a Turing machine.*"

Searle: "... At present, obviously, the metaphor is the digital computer."

assert

(file turingmachine.jess)

- Asserisce un fatto in memoria

Esempio:

```
(defrule event
    ?tm <- (tm (current-state ?cs&~:(eq ?cs halt))
               (current-square ?is))
    (event (current-state ?cs)
           (input-symbol ?is)
           (output-symbol ?os)
           (new-state ?ns)
           (head-move ?mv))
    =>
    (printout t "From state " ?cs " input " ?is
                " to state " ?ns " output " ?os " move " ?mv crlf)
    (modify ?tm (current-square ?os)
                (current-state ?ns))
    (assert (move ?tm ?mv))
)
```

Il fatto viene inserito in memoria

retract

(file turingmachine.jess)

- Ritratta (rimuove) un fatto dalla memoria

Esempio:

```
(defrule move-right
  (declare (salience 1))
    ?action <- (move ?tm right)
    ?tm <- (tm  (left-part $?rest-left)
                (current-square ?sym)
                (right-part ?sym-right $?rest-right))
    =>
    (modify ?tm (left-part ?sym ?rest-left)
                (current-square ?sym-right)
                (right-part ?rest-right))
    (retract ?action)
)
```

Il fatto viene rimosso dalla memoria

retract

(file turingmachine.jess)

- Ritratta (rimuove) un fatto dalla memoria

Esempio:

```
(defrule move-right
  (declare (salience 1))
  ?action <- (move ?tm right)
  ?tm <- (tm  (left-part $?rest-left)
              (current-square ?sym)
              (right-part ?sym-right $?rest-right))
  =>
  (modify ?tm (left-part ?sym ?rest-left)
              (current-square ?sym-right)
              (right-part ?rest-right))
  (retract ?action)
)
```

La variabile deve essere legata al fatto da rimuovere

Il fatto viene rimosso dalla memoria

Vincoli sulle variabili

(file turingmachine.jess)

- Limitano le possibilità di legarsi a dei valori

Esempio:

Variabile con un vincolo

```
(defrule event
    ?tm <- (tm (current-state ?cs&~:(eq ?cs halt))
               (current-square ?is))
    (event (current-state ?cs)
           (input-symbol ?is)
           (output-symbol ?os)
           (new-state ?ns)
           (head-move ?mv))
    =>
    (printout t "From state " ?cs " input " ?is
                " to state " ?ns " output " ?os " move " ?mv crlf)
    (modify ?tm (current-square ?os)
                (current-state ?ns))
    (assert (move ?tm ?mv))
)
```

Vincoli sulle variabili

(file turingmachine.jess)

- Limitano le possibilità di legarsi a dei valori

Esempio:

Variabile

```
(defrule event
    ?tm <- (tm (current-state ?cs&~:(eq ?cs halt))
               (current-square ?is))
    (event (current-state ?cs)
           (input-symbol ?is)
           (output-symbol ?os)
           (new-state ?ns)
           (head-move ?mv))
    =>
    (printout t "From state " ?cs " input " ?is
                " to state " ?ns " output " ?os " move " ?mv crlf)
    (modify ?tm (current-square ?os)
                (current-state ?ns))
    (assert (move ?tm ?mv))
)
```

Vincoli sulle variabili

(file turingmachine.jess)

- Limitano le possibilità di legarsi a dei valori

Esempio:

Vincolo

```
(defrule event
    ?tm <- (tm (current-state ?cs&~:(eq ?cs halt))
               (current-square ?is))
    (event (current-state ?cs)
           (input-symbol ?is)
           (output-symbol ?os)
           (new-state ?ns)
           (head-move ?mv))
    =>
    (printout t "From state " ?cs " input " ?is
                " to state " ?ns " output " ?os " move " ?mv crlf)
    (modify ?tm (current-square ?os)
                (current-state ?ns))
    (assert (move ?tm ?mv))
)
```

Vincoli sulle variabili

(file turingmachine.jess)

- Limitano le possibilità di legarsi a dei valori

Esempio:

Sintassi generale: `&:`<*vincolo*>

(in forma positiva)

```
(defrule event
    ?tm <- (tm (current-state ?cs&~:(eq ?cs halt))
               (current-square ?is))
    (event (current-state ?cs)
           (input-symbol ?is)
           (output-symbol ?os)
           (new-state ?ns)
           (head-move ?mv))
    =>
    (printout t "From state " ?cs " input " ?is
                " to state " ?ns " output " ?os " move " ?mv crlf)
    (modify ?tm (current-square ?os)
                (current-state ?ns))
    (assert (move ?tm ?mv))
)
```

Vincoli sulle variabili

(file turingmachine.jess)

- Limitano le possibilità di legarsi a dei valori

Esempio:

Sintassi generale: `&~:`<*vincolo*>

(in forma negativa)

```
(defrule event
    ?tm <- (tm (current-state ?cs&~:(eq ?cs halt))
               (current-square ?is))
    (event (current-state ?cs)
           (input-symbol ?is)
           (output-symbol ?os)
           (new-state ?ns)
           (head-move ?mv))
    =>
    (printout t "From state " ?cs " input " ?is
                " to state " ?ns " output " ?os " move " ?mv crlf)
    (modify ?tm (current-square ?os)
                (current-state ?ns))
    (assert (move ?tm ?mv))
)
```

Vincoli sulle variabili

(file turingmachine.jess)

- Limitano le possibilità di legarsi a dei valori

Esempio:

```
(defrule event
    ?tm <- (tm (current-state ?cs&~:(eq ?cs halt))
               (current-square ?is))
    (event (current-state ?cs)
           (input-symbol ?is)
           (output-symbol ?os)
           (new-state ?ns)
           (head-move ?mv))
    =>
    (printout t "From state " ?cs " input " ?is
                " to state " ?ns " output " ?os " move " ?mv crlf)
    (modify ?tm (current-square ?os)
                (current-state ?ns))
    (assert (move ?tm ?mv))
)
```

In questo caso il vincolo è negativo

Significato:
la variabile `?cs` si lega ad un valore che *non* sia `eq` a `halt`

Vincoli sulle variabili

(file turingmachine.jess)

- Limitano le possibilità di legarsi a dei valori

Esempio:

```
(defrule event
    ?tm <- (tm (current-state ?cs&~:(eq ?cs halt))
               (current-square ?is))
    (event (current-state ?cs)
           (input-symbol ?is)
           (output-symbol ?os)
           (new-state ?ns)
           (head-move ?mv))
    =>
    (printout t "From state " ?cs " input " ?is
                " to state " ?ns " output " ?os " move " ?mv crlf)
    (modify ?tm (current-square ?os)
                (current-state ?ns))
    (assert (move ?tm ?mv))
)
```

In questo caso il vincolo è negativo

Significato:
la variabile `?cs` si lega ad un valore che *non* sia `eq` a `halt`

(Altri esempi in futuro)

salience

(file turingmachine.jess)

- Modifica la priorità della regola

Esempio:

```
(defrule move-right
  (declare (salience 1))
    ?action <- (move ?tm right)
    ?tm <- (tm  (left-part $?rest-left)
                (current-square ?sym)
                (right-part ?sym-right $?rest-right))
    =>
    (modify ?tm (left-part ?sym ?rest-left)
                (current-square ?sym-right)
                (right-part ?rest-right))
    (retract ?action)
)
```

Non è una condizione, è una dichiarazione

salience

(file turingmachine.jess)

- Modifica la priorità della regola

Esempio:

```
(defrule move-right
  (declare (salience 1))
    ?action <- (move ?tm right)
    ?tm <- (tm  (left-part $?rest-left)
                (current-square ?sym)
                (right-part ?sym-right $?rest-right))
    =>
    (modify ?tm (left-part ?sym ?rest-left)
                (current-square ?sym-right)
                (right-part ?rest-right))
    (retract ?action)
)
```

E' opzionale

salience

(file turingmachine.jess)

- Modifica la priorità della regola

Esempio:

```
(defrule move-right
  (declare (salience 1))
    ?action <- (move ?tm right)
    ?tm <- (tm  (left-part $?rest-left)
                (current-square ?sym)
                (right-part ?sym-right $?rest-right))
    =>
    (modify ?tm (left-part ?sym ?rest-left)
                (current-square ?sym-right)
                (right-part ?rest-right))
    (retract ?action)
)
```

Definisce la priorità della regola

salience

(file turingmachine.jess)

- Modifica la priorità della regola

Esempio:

```
(defrule move-right
  (declare (salience 1))
    ?action <- (move ?tm right)
    ?tm <- (tm  (left-part $?rest-left)
                (current-square ?sym)
                (right-part ?sym-right $?rest-right))
    =>
    (modify ?tm (left-part ?sym ?rest-left)
                (current-square ?sym-right)
                (right-part ?rest-right))
    (retract ?action)
)
```

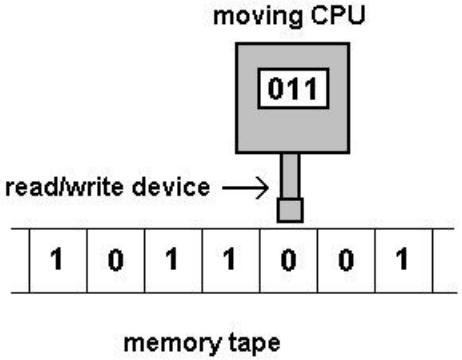
La priorità è un valore relativo, per default è 0

Agenda (Come funziona Jess - seconda approssimazione)

- L'agenda contiene le regole applicabili

Macchina di Turing

(file turingmachine.jess)

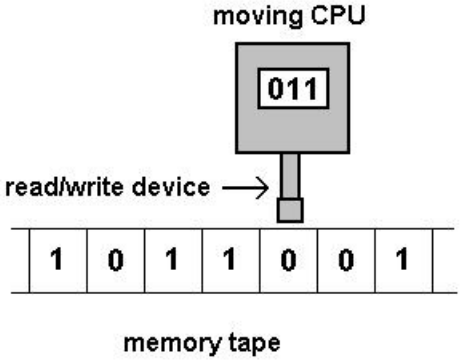


- Un'automa a stati finiti + una testina di lettura/scrittura + un nastro infinito

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)
```

Macchina di Turing

(file turingmachine.jess)



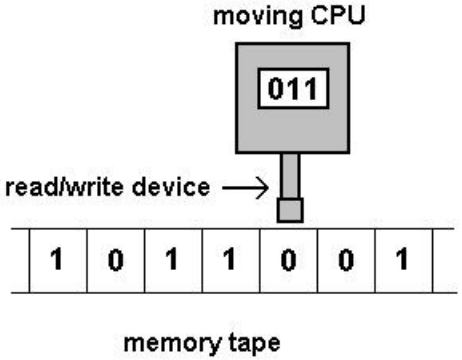
- Un'automa a stati finiti + una testina di lettura/scrittura + un nastro infinito

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)
```

Stato attuale dell'automa

Macchina di Turing

(file turingmachine.jess)



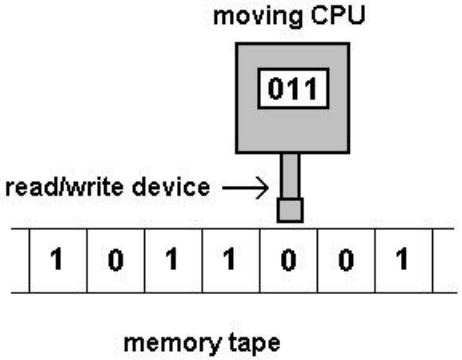
- Un'automa a stati finiti + una testina di lettura/scrittura + un nastro infinito

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)
```

Parte sinistra del nastro

Macchina di Turing

(file turingmachine.jess)



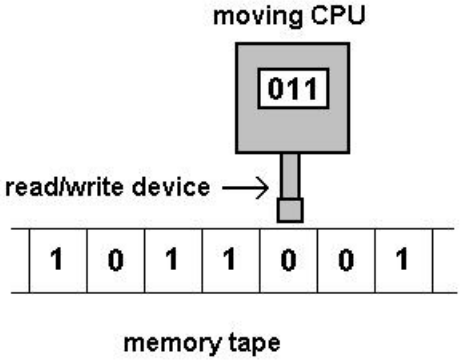
- Un'automa a stati finiti + una testina di lettura/scrittura + un nastro infinito

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)
```

Cella corrispondente alla testina

Macchina di Turing

(file turingmachine.jess)



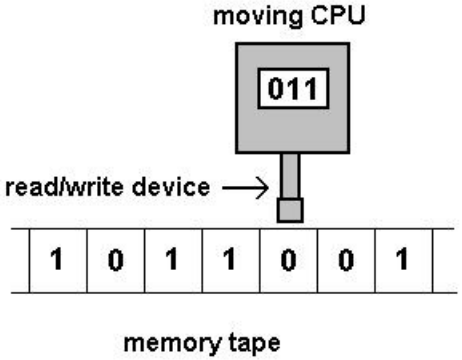
- Un'automa a stati finiti + una testina di lettura/scrittura + un nastro infinito

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)
```

Parte destra del nastro

Macchina di Turing

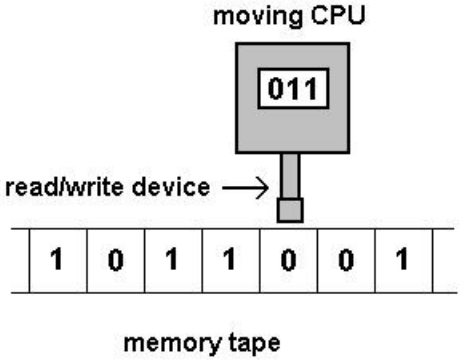
(file turingmachine.jess)



- La tabella delle transizioni descrive anche le mosse della testina

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)

(deftemplate event
    (slot current-state)
    (slot input-symbol)
    (slot output-symbol)
    (slot new-state)
    (slot head-move)
)
```

Macchina di Turing



(file turingmachine.jess)

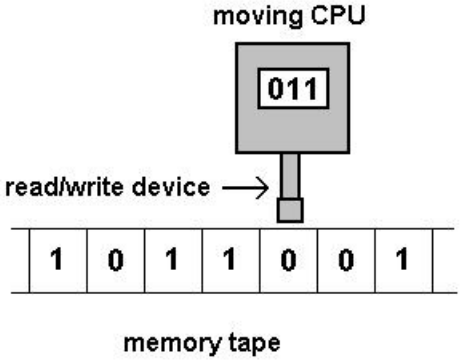
- La tabella delle transizioni descrive anche le mosse della testina

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)

(deftemplate event
    (slot current-state)
    (slot input-symbol)
    (slot output-symbol)
    (slot new-state)
    (slot head-move)
)
```

Schema, descrive una singola voce nella tabella

Macchina di Turing

(file turingmachine.jess)



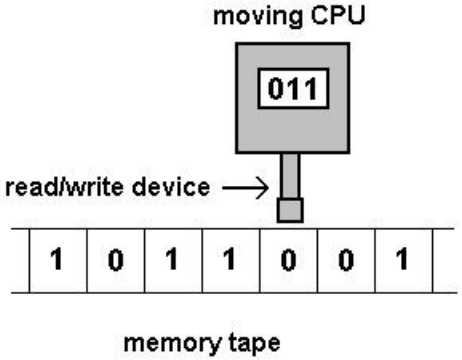
- La tabella delle transizioni descrive anche le mosse della testina

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)

(deftemplate event
    (slot current-state)
    (slot input-symbol)
    (slot output-symbol)
    (slot new-state)
    (slot head-move)
)
```

Stato attuale dell'automa

Macchina di Turing

(file turingmachine.jess)



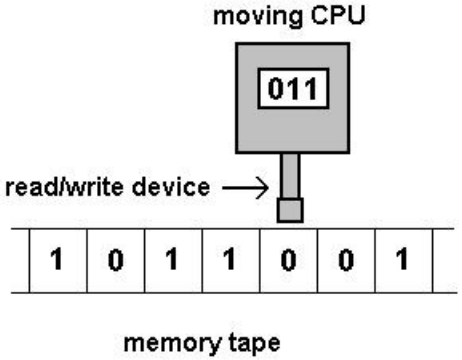
- La tabella delle transizioni descrive anche le mosse della testina

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)

(deftemplate event
    (slot current-state)
    (slot input-symbol)
    (slot output-symbol)
    (slot new-state)
    (slot head-move)
)
```

Simbolo letto dalla testina

Macchina di Turing

(file turingmachine.jess)

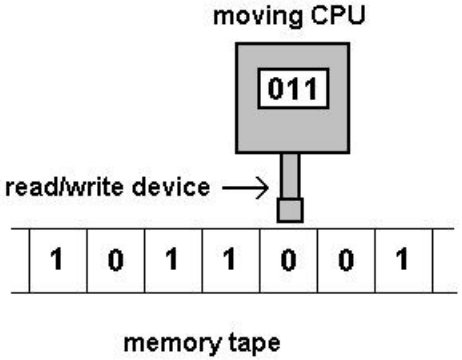


- La tabella delle transizioni descrive anche le mosse della testina

```
(deftemplate tm
     (slot current-state)
     (multislot left-part)
     (slot current-square)
     (multislot right-part)
)

(deftemplate event
     (slot current-state)
     (slot input-symbol)
     (slot output-symbol)
     (slot new-state)
     (slot head-move)
)
```

Simbolo da scrivere nella cella

Macchina di Turing



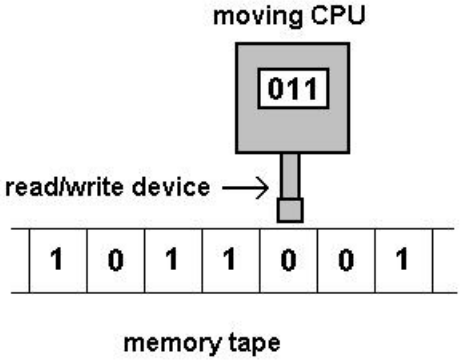
(file turingmachine.jess)

- La tabella delle transizioni descrive anche le mosse della testina

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)

(deftemplate event
    (slot current-state)
    (slot input-symbol)
    (slot output-symbol)
    (slot new-state)
    (slot head-move)
)
```

Nuovo stato dell'automa

Macchina di Turing



(file turingmachine.jess)

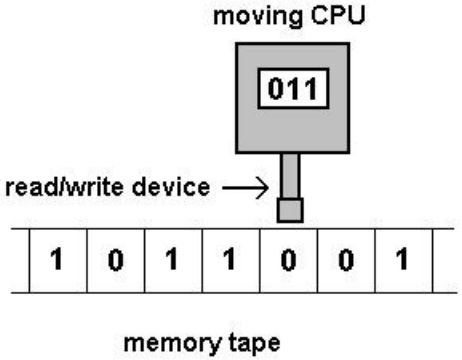
- La tabella delle transizioni descrive anche le mosse della testina

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)

(deftemplate event
    (slot current-state)
    (slot input-symbol)
    (slot output-symbol)
    (slot new-state)
    (slot head-move)
)
```

Movimento della testina: **`left`**, **`right`**, **`none`**

Macchina di Turing

(file turingmachine.jess)



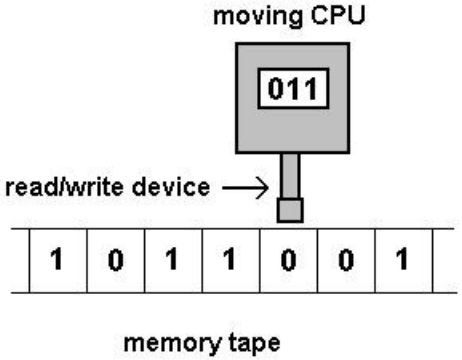
- La tabella delle transizioni descrive anche le mosse della testina

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)

(deftemplate event
    (slot current-state)
    (slot input-symbol)
    (slot output-symbol)
    (slot new-state)
    (slot head-move)
)
```

Lo stato **`halt`** è uno stato speciale: provoca l'arresto della macchina

Macchina di Turing

(file turingmachine.jess)



- La tabella delle transizioni descrive anche le mosse della testina

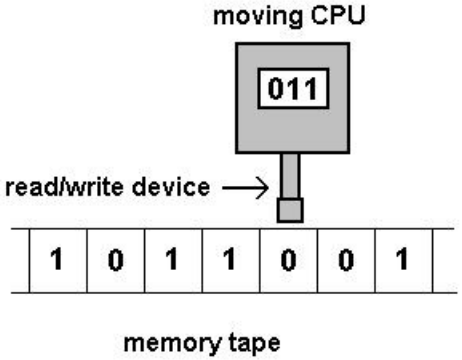
```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)

(deftemplate event
    (slot current-state)
    (slot input-symbol)
    (slot output-symbol)
    (slot new-state)
    (slot head-move)
)
```

Lo stato **`halt`** è uno stato speciale: provoca l'arresto della macchina

E' lo stato in cui ci si aspetta di trovare la macchina al termine dell'esecuzione

Macchina di Turing

(file turingmachine.jess)



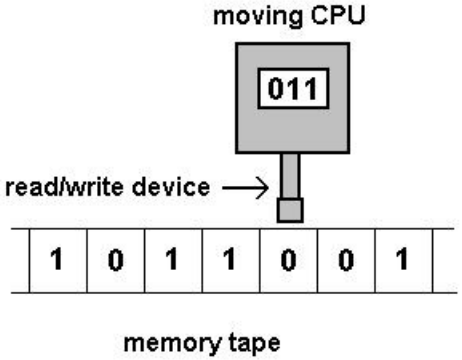
- La tabella delle transizioni descrive anche le mosse della testina

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)

(deftemplate event
    (slot current-state)
    (slot input-symbol)
    (slot output-symbol)
    (slot new-state)
    (slot head-move)
)
```

Stato **halt** a parte, la tabella deve contenere una voce per ogni stato corrente e simbolo letto

Macchina di Turing

(file turingmachine.jess)



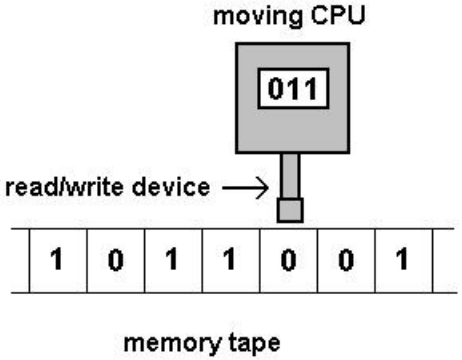
- La tabella delle transizioni descrive anche le mosse della testina

```
(deftemplate tm
    (slot current-state)
    (multislot left-part)
    (slot current-square)
    (multislot right-part)
)

(deftemplate event
    (slot current-state)
    (slot input-symbol)
    (slot output-symbol)
    (slot new-state)
    (slot head-move)
)
```

Stato **`halt`** a parte, la tabella deve contenere una voce per ogni stato corrente e simbolo letto

La mancanza di una voce manda la macchina in errore (è un *bug* del programma)

Macchina di Turing



(file turingmachine.jess)

- Domande:
  a) Come funzionano le regole del programma?
  b) Come fa il programma a simulare un nastro infinito (nelle due direzioni)?
  c) Perchè sono definite delle priorità tra regole?
  d) Cosa succederebbe se eliminassimo le priorità?
     per provare, prima di **`(run)`** inserire **`(set-strategy breadth)`**

(usare l'esempio paritychecker-tm.jess)