

# Pile e code

Corso di **Algoritmi e strutture dati**

Corso di Laurea in **Informatica**

Docenti: Ugo de'Liguoro, András Horváth

# Indice

1. Tipo di dato astratto (abstract data type, ADT)
2. Pile (stack)
3. Code

# Sommario

## Obiettivo:

- ▶ introdurre il concetto del **tipo di dato astratto (abstract data type, ADT)**
- ▶ specificare **pile e code come ADT** e definire **due diverse implementazioni**

# 1. Tipi di dati

- ▶ i linguaggi di programmazione tipati forniscono **tipi predefiniti**

# 1. Tipi di dati

- ▶ i linguaggi di programmazione tipati forniscono **tipi predefiniti**
- ▶ ogni tipo di dato è associato con un **insieme di valori** e **operatori**:

# 1. Tipi di dati

- ▶ i linguaggi di programmazione tipati forniscono **tipi predefiniti**
- ▶ ogni tipo di dato è associato con un **insieme di valori** e **operatori**:
  - ▶ unsigned int: 0, 1, 2, ... con operazioni  $+$ ,  $-$ , ...

# 1. Tipi di dati

- ▶ i linguaggi di programmazione tipati forniscono **tipi predefiniti**
- ▶ ogni tipo di dato è associato con un **insieme di valori** e **operatori**:
  - ▶ unsigned int:  $0, 1, 2, \dots$  con operazioni  $+$ ,  $-$ ,  $\dots$
  - ▶ boolean:  $T, F$  con operazioni  $\neg$ ,  $\wedge$ ,  $\dots$

# 1. Tipi di dati

- ▶ i linguaggi di programmazione tipati forniscono **tipi predefiniti**
- ▶ ogni tipo di dato è associato con un **insieme di valori** e **operatori**:
  - ▶ unsigned int:  $0, 1, 2, \dots$  con operazioni  $+$ ,  $-$ ,  $\dots$
  - ▶ boolean:  $T, F$  con operazioni  $\neg$ ,  $\wedge$ ,  $\dots$
- ▶ ogni operatore funziona secondo certe **regole**



# 1. Tipi di dati

- ▶ i linguaggi di programmazione tipati forniscono **tipi predefiniti**
- ▶ ogni tipo di dato è associato con un **insieme di valori** e **operatori**:
  - ▶ unsigned int:  $0, 1, 2, \dots$  con operazioni  $+$ ,  $-$ ,  $\dots$
  - ▶ boolean:  $T, F$  con operazioni  $\neg$ ,  $\wedge$ ,  $\dots$
- ▶ ogni operatore funziona secondo certe **regole**
- ▶ quando usiamo i tipi forniti dal linguaggio non ci chiediamo come vengono effettuate le operazioni

# 1. Tipi di dati

- ▶ i linguaggi di programmazione tipati forniscono **tipi predefiniti**
- ▶ ogni tipo di dato è associato con un **insieme di valori** e **operatori**:
  - ▶ unsigned int:  $0, 1, 2, \dots$  con operazioni  $+, -, \dots$
  - ▶ boolean:  $T, F$  con operazioni  $\neg, \wedge, \dots$
- ▶ ogni operatore funziona secondo certe **regole**
- ▶ quando usiamo i tipi forniti dal linguaggio non ci chiediamo come vengono effettuate le operazioni
- ▶ si possono introdurre nuovi tipi di dati e implementare operazione per i nuovi tipi

# 1. Tipo di dato astratto (abstract data type, ADT)

- ▶ un tipo di dato è **astratto** se è descritto prescindendo dalla sua concreta implementazione

# 1. Tipo di dato astratto (abstract data type, ADT)

- ▶ un tipo di dato è **astratto** se è descritto prescindendo dalla sua concreta implementazione
- ▶ tale descrizione riguarda

# 1. Tipo di dato astratto (abstract data type, ADT)

- ▶ un tipo di dato è **astratto** se è descritto prescindendo dalla sua concreta implementazione
- ▶ tale descrizione riguarda
  - ▶ **la collezione di dati**: a partire da quali tipi di dati si costruisce una struttura del nuovo tipo (ma non come la si costruisce!)

# 1. Tipo di dato astratto (abstract data type, ADT)

- ▶ un tipo di dato è **astratto** se è descritto prescindendo dalla sua concreta implementazione
- ▶ tale descrizione riguarda
  - ▶ **la collezione di dati**: a partire da quali tipi di dati si costruisce una struttura del nuovo tipo (ma non come la si costruisce!)
  - ▶ **le operazioni**: che cosa devono fare le operazioni definite sul nuovo tipo (ma non come lo devono fare!)

# 1. Tipo di dato astratto (abstract data type, ADT)

- ▶ un tipo di dato è **astratto** se è descritto prescindendo dalla sua concreta implementazione
- ▶ tale descrizione riguarda
  - ▶ **la collezione di dati**: a partire da quali tipi di dati si costruisce una struttura del nuovo tipo (ma non come la si costruisce!)
  - ▶ **le operazioni**: che cosa devono fare le operazioni definite sul nuovo tipo (ma non come lo devono fare!)
  - ▶ **complessità**: eventualmente dei vincoli di complessità su tali operazioni

# 1. Tipo di dato astratto (abstract data type, ADT)

- ▶ un tipo di dato è **astratto** se è descritto prescindendo dalla sua concreta implementazione
- ▶ tale descrizione riguarda
  - ▶ **la collezione di dati**: a partire da quali tipi di dati si costruisce una struttura del nuovo tipo (ma non come la si costruisce!)
  - ▶ **le operazioni**: che cosa devono fare le operazioni definite sul nuovo tipo (ma non come lo devono fare!)
  - ▶ **complessità**: eventualmente dei vincoli di complessità su tali operazioni
- ▶ la descrizione delle operazioni con le pre- e postcondizioni è una sorta di **assiomatizzazione** del tipo



# 1. Tipo di dato astratto (abstract data type, ADT)

- ▶ un'**implementazione** concreta di un ADT è

# 1. Tipo di dato astratto (abstract data type, ADT)

- ▶ un'**implementazione** concreta di un ADT è
  - ▶ una **struttura dati** con cui memorizzare la collezione di dati

# 1. Tipo di dato astratto (abstract data type, ADT)

- ▶ un'**implementazione** concreta di un ADT è
  - ▶ una **struttura dati** con cui memorizzare la collezione di dati
  - ▶ ed una collezione di **procedure** con cui realizzare le operazioni

# 1. Tipo di dato astratto (abstract data type, ADT)

- ▶ un'**implementazione** concreta di un ADT è
  - ▶ una **struttura dati** con cui memorizzare la collezione di dati
  - ▶ ed una collezione di **procedure** con cui realizzare le operazioni
- ▶ la relazione fra tipo astratto e struttura concreta è analoga a quella fra problema algoritmico e algoritmo.

## 2. Pila (stack)

In una pila i dati vengono estratti in ordine inverso rispetto a quello in cui sono stati inseriti.

## 2. Pila (stack)

In una pila i dati vengono estratti in ordine inverso rispetto a quello in cui sono stati inseriti.

Terminologia:

- ▶ **push**: inserire un elemento nella pila

## 2. Pile (stack)

In una pila i dati vengono estratti in ordine inverso rispetto a quello in cui sono stati inseriti.

Terminologia:

- ▶ **push**: inserire un elemento nella pila
- ▶ **pop**: estrarre un elemento dalla pila

## 2. Pile (stack)

In una pila i dati vengono estratti in ordine inverso rispetto a quello in cui sono stati inseriti.

Terminologia:

- ▶ **push**: inserire un elemento nella pila
- ▶ **pop**: estrarre un elemento dalla pila
- ▶ **top**: restituisce l'elemento in cima



## 2. Pile (stack)

Operazioni:

- ▶ push(3)
- ▶ push(5)
- ▶ push(9)
- ▶ pop()
- ▶ pop()
- ▶ push(1)
- ▶ push(8)
- ▶ push(2)
- ▶ pop()
- ▶ push(6)

Pila:

## 2. Pile (stack)

Operazioni:

- ▶ push(3)
- ▶ push(5)
- ▶ push(9)
- ▶ pop()
- ▶ pop()
- ▶ push(1)
- ▶ push(8)
- ▶ push(2)
- ▶ pop()
- ▶ push(6)

Pila:

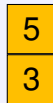
3

## 2. Pile (stack)

Operazioni:

- ▶ push(3)
- ▶ push(5)
- ▶ push(9)
- ▶ pop()
- ▶ pop()
- ▶ push(1)
- ▶ push(8)
- ▶ push(2)
- ▶ pop()
- ▶ push(6)

Pila:



## 2. Pile (stack)

Operazioni:

- ▶ push(3)
- ▶ push(5)
- ▶ push(9)
- ▶ pop()
- ▶ pop()
- ▶ push(1)
- ▶ push(8)
- ▶ push(2)
- ▶ pop()
- ▶ push(6)

Pila:

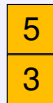


## 2. Pile (stack)

Operazioni:

- ▶ push(3)
- ▶ push(5)
- ▶ push(9)
- ▶ pop()
- ▶ pop()
- ▶ push(1)
- ▶ push(8)
- ▶ push(2)
- ▶ pop()
- ▶ push(6)

Pila:



## 2. Pile (stack)

Operazioni:

- ▶ push(3)
- ▶ push(5)
- ▶ push(9)
- ▶ pop()
- ▶ pop()
- ▶ push(1)
- ▶ push(8)
- ▶ push(2)
- ▶ pop()
- ▶ push(6)

Pila:

3

## 2. Pile (stack)

Operazioni:

- ▶ push(3)
- ▶ push(5)
- ▶ push(9)
- ▶ pop()
- ▶ pop()
- ▶ push(1)
- ▶ push(8)
- ▶ push(2)
- ▶ pop()
- ▶ push(6)

Pila:



## 2. Pile (stack)

Operazioni:

- ▶ push(3)
- ▶ push(5)
- ▶ push(9)
- ▶ pop()
- ▶ pop()
- ▶ push(1)
- ▶ push(8)
- ▶ push(2)
- ▶ pop()
- ▶ push(6)

Pila:





## 2. Pile (stack)

Operazioni:

- ▶ push(3)
- ▶ push(5)
- ▶ push(9)
- ▶ pop()
- ▶ pop()
- ▶ push(1)
- ▶ push(8)
- ▶ push(2)
- ▶ pop()
- ▶ push(6)

Pila:

2
8
1
3

## 2. Pile (stack)

Operazioni:

- ▶ push(3)
- ▶ push(5)
- ▶ push(9)
- ▶ pop()
- ▶ pop()
- ▶ push(1)
- ▶ push(8)
- ▶ push(2)
- ▶ pop()
- ▶ push(6)

Pila:



## 2. Pile (stack)

Operazioni:

- ▶ push(3)
- ▶ push(5)
- ▶ push(9)
- ▶ pop()
- ▶ pop()
- ▶ push(1)
- ▶ push(8)
- ▶ push(2)
- ▶ pop()
- ▶ push(6)

Pila:

6
8
1
3

## 2. Pila come ADT

- ▶ **collezione dati**: elementi di qualunque tipo  $T$  di dati

## 2. Pila come ADT

- ▶ **collezione dati**: elementi di qualunque tipo  $T$  di dati
- ▶ **operazioni**:
  - ▶ *void* PUSH(*Stack*  $S$ ,  $T$   $t$ )
  - ▶  $T$  POP(*Stack*  $S$ )
  - ▶  $T$  TOP(*Stack*  $S$ )
  - ▶ *bool* EMPTY(*Stack*  $S$ )
  - ▶ *int* SIZE(*Stack*  $S$ )

## 2. Pila come ADT

► **assiomi:**

## 2. Pila come ADT

- ▶ **assiomi:**

- ▶  $\text{SIZE}(S)$ ,  $\text{EMPTY}(S)$  e  $\text{PUSH}(S, t)$  sono sempre definiti
- ▶  $\text{POP}(S)$  e  $\text{TOP}(S)$  sono definiti se e solo se  $\text{EMPTY}(S)$  restituisce falso

## 2. Pila come ADT

- ▶ **assiomi:**

- ▶  $\text{SIZE}(S)$ ,  $\text{EMPTY}(S)$  e  $\text{PUSH}(S, t)$  sono sempre definiti
- ▶  $\text{POP}(S)$  e  $\text{TOP}(S)$  sono definiti se e solo se  $\text{EMPTY}(S)$  restituisce falso
- ▶  $\text{EMPTY}(S)$ ,  $\text{SIZE}(S)$  e  $\text{TOP}(S)$  non modificano la pila  $S$



## 2. Pila come ADT

### ► assiomi:

- $\text{SIZE}(S)$ ,  $\text{EMPTY}(S)$  e  $\text{PUSH}(S, t)$  sono sempre definiti
- $\text{POP}(S)$  e  $\text{TOP}(S)$  sono definiti se e solo se  $\text{EMPTY}(S)$  restituisce falso
- $\text{EMPTY}(S)$ ,  $\text{SIZE}(S)$  e  $\text{TOP}(S)$  non modificano la pila  $S$
- $\text{EMPTY}(S)$  restituisce vero se e solo se  $\text{SIZE}(S)$  restituisce 0

## 2. Pila come ADT

### ► assiomi:

- $SIZE(S)$ ,  $EMPTY(S)$  e  $PUSH(S, t)$  sono sempre definiti
- $POP(S)$  e  $TOP(S)$  sono definiti se e solo se  $EMPTY(S)$  restituisce falso
- $EMPTY(S)$ ,  $SIZE(S)$  e  $TOP(S)$  non modificano la pila  $S$
- $EMPTY(S)$  restituisce vero se e solo se  $SIZE(S)$  restituisce 0
- la sequenza  $PUSH(S, t); POP(S)$  restituisce  $t$  e non modifica la pila  $S$

## 2. Pila come ADT

### ► assiomi:

- $\text{SIZE}(S)$ ,  $\text{EMPTY}(S)$  e  $\text{PUSH}(S, t)$  sono sempre definiti
- $\text{POP}(S)$  e  $\text{TOP}(S)$  sono definiti se e solo se  $\text{EMPTY}(S)$  restituisce falso
- $\text{EMPTY}(S)$ ,  $\text{SIZE}(S)$  e  $\text{TOP}(S)$  non modificano la pila  $S$
- $\text{EMPTY}(S)$  restituisce vero se e solo se  $\text{SIZE}(S)$  restituisce 0
- la sequenza  $\text{PUSH}(S, t); \text{POP}(S)$  restituisce  $t$  e non modifica la pila  $S$
- la sequenza  $\text{PUSH}(S, t); \text{TOP}(S)$  restituisce  $t$

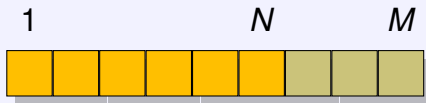
## 2. Pila come ADT

### ► assiomi:

- $SIZE(S)$ ,  $EMPTY(S)$  e  $PUSH(S, t)$  sono sempre definiti
- $POP(S)$  e  $TOP(S)$  sono definiti se e solo se  $EMPTY(S)$  restituisce falso
- $EMPTY(S)$ ,  $SIZE(S)$  e  $TOP(S)$  non modificano la pila  $S$
- $EMPTY(S)$  restituisce vero se e solo se  $SIZE(S)$  restituisce 0
- la sequenza  $PUSH(S, t); POP(S)$  restituisce  $t$  e non modifica la pila  $S$
- la sequenza  $PUSH(S, t); TOP(S)$  restituisce  $t$
- $PUSH(S, t)$  incrementa  $SIZE(S)$  di 1
- $POP(S)$  decrementa  $SIZE(S)$  di 1

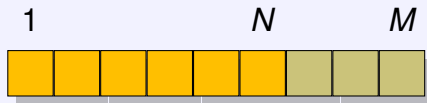
## 2. Implementazione concreta con array

- ▶ usiamo un array statico di  $M$  celle per definire un'implementazione concreta del ADT pila



## 2. Implementazione concreta con array

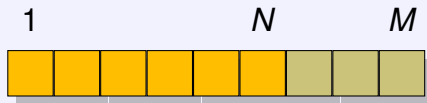
- ▶ usiamo un array statico di  $M$  celle per definire un'implementazione concreta del ADT pila



- ▶ grazie al meccanismo LIFO (Last In First Out) conviene fare così:

## 2. Implementazione concreta con array

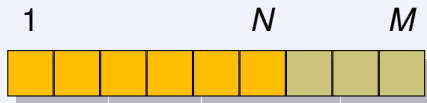
- ▶ usiamo un array statico di  $M$  celle per definire un'implementazione concreta del ADT pila



- ▶ grazie al meccanismo LIFO (Last In First Out) conviene fare così:
  - ▶ gli elementi presenti nella pila occupano sempre le prime posizioni dell'array
  - ▶ quando ci sono  $N$  elementi, il prossimo elemento da estrarre è nella posizione  $N$

## 2. Implementazione concreta con array

- ▶ usiamo un array statico di  $M$  celle per definire un'implementazione concreta del ADT pila



- ▶ grazie al meccanismo LIFO (Last In First Out) conviene fare così:
  - ▶ gli elementi presenti nella pila occupano sempre le prime posizioni dell'array
  - ▶ quando ci sono  $N$  elementi, il prossimo elemento da estrarre è nella posizione  $N$
- ▶ la scelta della struttura dati concreta “aggiunge un assioma”:
  - ▶  $\text{PUSH}(S, t)$  è definito se solo se  $\text{SIZE}(S) < M$



## 2. Implementazione concreta con array

PUSH( $S, t$ )

## 2. Implementazione concreta con array

```
PUSH( $S, t$ )  
  if  $S.N \neq S.M$  then  
     $S.N \leftarrow S.N + 1$   
     $S[N] \leftarrow t$   
  else  
    error overflow
```

## 2. Implementazione concreta con array

$\text{SIZE}(S)$

## 2. Implementazione concreta con array

```
SIZE( $S$ )  
  return  $S.N$ 
```

## 2. Implementazione concreta con array

EMPTY( $S$ )

## 2. Implementazione concreta con array

```
EMPTY(S)  
  if S.N == 0 then  
    return true  
  return false
```

## 2. Implementazione concreta con array

TOP( $S$ )

## 2. Implementazione concreta con array

```
TOP(S)  
  if S.N == 0 then  
    error underflow  
  else  
    return S[S.N]
```



## 2. Implementazione concreta con array

POP( $S$ )

## 2. Implementazione concreta con array

```
POP(S)
  if  $S.N == 0$  then
    error underflow
  else
     $S.N \leftarrow S.N - 1$ 
    return  $S[S.N + 1]$ 
```

## 2. Implementazione concreta con array

Operazioni:

- ▶ `push(3)`, `push(5)`, `push(9)`, `pop()`, `pop()`, `push(1)`, `push(8)`, `push(2)`,  
`pop()`

Pila:

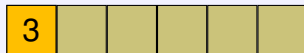


## 2. Implementazione concreta con array

Operazioni:

- ▶ `push(3), push(5), push(9), pop(), pop(), push(1), push(8), push(2), pop()`

Pila:

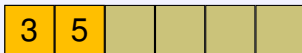


## 2. Implementazione concreta con array

Operazioni:

- ▶ `push(3)`, `push(5)`, `push(9)`, `pop()`, `pop()`, `push(1)`, `push(8)`, `push(2)`, `pop()`

Pila:

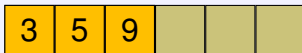


## 2. Implementazione concreta con array

Operazioni:

- ▶ `push(3)`, `push(5)`, `push(9)`, `pop()`, `pop()`, `push(1)`, `push(8)`, `push(2)`,  
`pop()`

Pila:

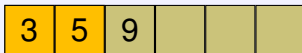


## 2. Implementazione concreta con array

Operazioni:

- ▶ `push(3)`, `push(5)`, `push(9)`, `pop()`, `pop()`, `push(1)`, `push(8)`, `push(2)`, `pop()`

Pila:

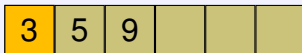


## 2. Implementazione concreta con array

Operazioni:

- ▶ push(3), push(5), push(9), pop(), pop(), push(1), push(8), push(2), pop()

Pila:



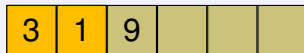


## 2. Implementazione concreta con array

Operazioni:

- ▶ `push(3)`, `push(5)`, `push(9)`, `pop()`, `pop()`, `push(1)`, `push(8)`, `push(2)`, `pop()`

Pila:

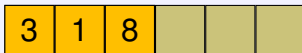


## 2. Implementazione concreta con array

Operazioni:

- ▶ push(3), push(5), push(9), pop(), pop(), push(1), push(8), push(2), pop()

Pila:

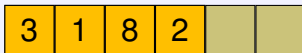


## 2. Implementazione concreta con array

Operazioni:

- ▶ `push(3)`, `push(5)`, `push(9)`, `pop()`, `pop()`, `push(1)`, `push(8)`, `push(2)`, `pop()`

Pila:

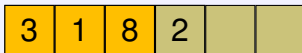


## 2. Implementazione concreta con array

Operazioni:

- ▶ `push(3)`, `push(5)`, `push(9)`, `pop()`, `pop()`, `push(1)`, `push(8)`, `push(2)`, `pop()`

Pila:



## 2. Implementazione concreta con array

- ▶ l'array darebbe la possibilità di inserimenti e estrazioni in una posizione qualsiasi

## 2. Implementazione concreta con array

- ▶ l'array darebbe la possibilità di inserimenti e estrazioni in una posizione qualsiasi
- ▶ ma se il programmatore ha deciso di utilizzare l'ADT pila allora può interagire con la pila solo secondo la specifica del ADT

## 2. Implementazione concreta con array

- ▶ l'array darebbe la possibilità di inserimenti e estrazioni in una posizione qualsiasi
- ▶ ma se il programmatore ha deciso di utilizzare l'ADT pila allora può interagire con la pila solo secondo la specifica del ADT
- ▶ l'implementazione concreta e la struttura dati
  - ▶ sono **nascosti dietro una interfaccia**

## 2. Implementazione concreta con array

- ▶ l'array darebbe la possibilità di inserimenti e estrazioni in una posizione qualsiasi
- ▶ ma se il programmatore ha deciso di utilizzare l'ADT pila allora può interagire con la pila solo secondo la specifica del ADT
- ▶ l'implementazione concreta e la struttura dati
  - ▶ sono **nascosti dietro una interfaccia**
  - ▶ e **possono essere modificate** senza fare modifiche a programmi che usano l'ADT



## 2. Implementazione concreta con lista

Utilizziamo una lista per realizzare la pila:

## 2. Implementazione concreta con lista

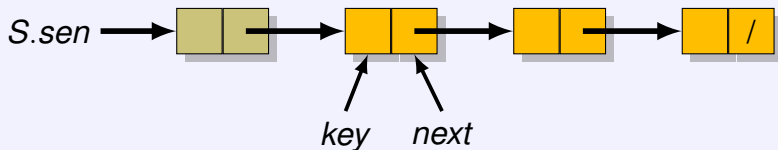
Utilizziamo una lista per realizzare la pila:

- ▶ quale tipo di lista conviene utilizzare: doppiamente concatenate, circolari?

## 2. Implementazione concreta con lista

Utilizziamo una lista per realizzare la pila:

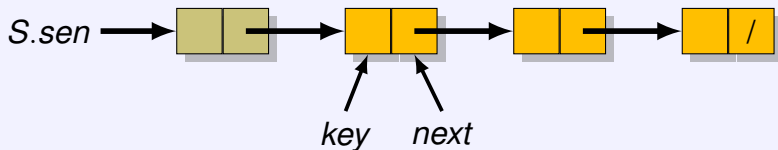
- ▶ quale tipo di lista conviene utilizzare: doppiamente concatenate, circolari?
- ▶ conviene una lista semplice ma con sentinella per non dover fare controlli



## 2. Implementazione concreta con lista

Utilizziamo una lista per realizzare la pila:

- ▶ quale tipo di lista conviene utilizzare: doppiamente concatenate, circolari?
- ▶ conviene una lista semplice ma con sentinella per non dover fare controlli



- ▶ conviene tener conto del numero di elementi che sarà denotato con *S.N*

## 2. Implementazione concreta con lista

$\text{PUSH}(S, t)$

## 2. Implementazione concreta con lista

PUSH( $S, t$ )

$S.N \leftarrow S.N + 1$

$t.next \leftarrow S.sen.next$

$S.sen.next \leftarrow t$

## 2. Implementazione concreta con lista

SIZE( $S$ )

## 2. Implementazione concreta con lista

```
SIZE(S)  
  return S.N
```



## 2. Implementazione concreta con lista

EMPTY( $S$ )

## 2. Implementazione concreta con lista

```
EMPTY(S)  
  if S.N == 0 then  
    return true  
  return false
```

## 2. Implementazione concreta con lista

TOP( $S$ )

## 2. Implementazione concreta con lista

```
TOP(S)
  if  $S.N == 0$  then
    error underflow
  else
    return  $S.sen.next$ 
```

## 2. Implementazione concreta con lista

POP( $S$ )

## 2. Implementazione concreta con lista

```
POP(S)
  if  $S.N == 0$  then
    errorunderflow
  else
     $S.N \leftarrow S.N - 1$ 
     $t \leftarrow S.sen.next$ 
     $S.sen.next \leftarrow S.sen.next.next$ 
  return  $t$ 
```

## 2. Confronto delle due implementazioni

- ▶ complessità temporale delle operazioni?

## 2. Confronto delle due implementazioni

- ▶ complessità temporale delle operazioni?  
sono tutte  $O(1)$



## 2. Confronto delle due implementazioni

- ▶ complessità temporale delle operazioni?  
sono tutte  $O(1)$
- ▶ complessità spaziale delle strutture?  
con l'array  $O(M)$  (proporzionale al numero massimo di elementi), con le liste  $O(N)$  (ma c'è l'overhead dovuto ai puntatori)

## 2. Confronto delle due implementazioni

- ▶ complessità temporale delle operazioni?  
sono tutte  $O(1)$
- ▶ complessità spaziale delle strutture?  
con l'array  $O(M)$  (proporzionale al numero massimo di elementi), con le liste  $O(N)$  (ma c'è l'overhead dovuto ai puntatori)
- ▶ con l'array bisogna stabilire a priori il numero massimo di elementi, con le liste no

## 2. Utilizzo della struttura dati pila

- ▶ chiamate ricorsive di funzioni

## 2. Utilizzo della struttura dati pila

- ▶ chiamate ricorsive di funzioni
- ▶ visita in profondità di grafi

## 2. Utilizzo della struttura dati pila

- ▶ chiamate ricorsive di funzioni
- ▶ visita in profondità di grafi
- ▶ valutazione di un'espressione in notazione postfissa

### 3. Code (queue)

In una coda i dati vengono estratti nell'ordine in cui sono stati inseriti.

### 3. Code (queue)

In una coda i dati vengono estratti nell'ordine in cui sono stati inseriti.

Terminologia:

- ▶ **enqueue**: inserire un elemento nella coda

### 3. Code (queue)

In una coda i dati vengono estratti nell'ordine in cui sono stati inseriti.

Terminologia:

- ▶ **enqueue**: inserire un elemento nella coda
- ▶ **dequeue**: estrarre un elemento dalla coda



### 3. Code (queue)

In una coda i dati vengono estratti nell'ordine in cui sono stati inseriti.

Terminologia:

- ▶ **enqueue**: inserire un elemento nella coda
- ▶ **dequeue**: estrarre un elemento dalla coda
- ▶ **front**: restituisce il primo elemento nella coda

### 3. Code (queue)

Operazioni:

- ▶ `queue(3)`, `queue(5)`, `queue(9)`, `dequeue()`, `dequeue()`, `queue(1)`,  
`queue(8)`, `queue(2)`, `dequeue()`

Coda:

### 3. Code (queue)

Operazioni:

- ▶ `queue(3)`, `queue(5)`, `queue(9)`, `dequeue()`, `dequeue()`, `queue(1)`,  
`queue(8)`, `queue(2)`, `dequeue()`

Coda:

3

### 3. Code (queue)

Operazioni:

- ▶ `queue(3)`, `queue(5)`, `queue(9)`, `dequeue()`, `dequeue()`, `queue(1)`,  
`queue(8)`, `queue(2)`, `dequeue()`

Coda:



### 3. Code (queue)

Operazioni:

- ▶ `queue(3)`, `queue(5)`, `queue(9)`, `dequeue()`, `dequeue()`, `queue(1)`,  
`queue(8)`, `queue(2)`, `dequeue()`

Coda:



### 3. Code (queue)

Operazioni:

- ▶ `queue(3)`, `queue(5)`, `queue(9)`, `dequeue()`, `dequeue()`, `queue(1)`,  
`queue(8)`, `queue(2)`, `dequeue()`

Coda:



### 3. Code (queue)

Operazioni:

- ▶ `queue(3)`, `queue(5)`, `queue(9)`, `dequeue()`, `dequeue()`, `queue(1)`,  
`queue(8)`, `queue(2)`, `dequeue()`

Coda:

9

### 3. Code (queue)

Operazioni:

- ▶ `queue(3)`, `queue(5)`, `queue(9)`, `dequeue()`, `dequeue()`, `queue(1)`,  
`queue(8)`, `queue(2)`, `dequeue()`

Coda:





### 3. Code (queue)

Operazioni:

- ▶ `queue(3)`, `queue(5)`, `queue(9)`, `dequeue()`, `dequeue()`, `queue(1)`,  
`queue(8)`, `queue(2)`, `dequeue()`

Coda:

8	1	9
---	---	---

### 3. Code (queue)

Operazioni:

- ▶ `queue(3)`, `queue(5)`, `queue(9)`, `dequeue()`, `dequeue()`, `queue(1)`,  
`queue(8)`, `queue(2)`, `dequeue()`

Coda:

2	8	1	9
---	---	---	---

### 3. Code (queue)

Operazioni:

- ▶ `queue(3)`, `queue(5)`, `queue(9)`, `dequeue()`, `dequeue()`, `queue(1)`,  
`queue(8)`, `queue(2)`, `dequeue()`

Coda:

2	8	1
---	---	---

### 3. Coda come ADT

- ▶ **collezione dati**: elementi di qualunque tipo  $T$  di dati

### 3. Coda come ADT

- ▶ **collezione dati**: elementi di qualunque tipo  $T$  di dati
- ▶ **operazioni**:
  - ▶ *void* ENQUEUE(*Queue*  $Q$ ,  $T$   $t$ )
  - ▶  $T$  DEQUEUE(*Queue*  $Q$ )
  - ▶  $T$  FRONT(*Queue*  $Q$ )
  - ▶ *bool* EMPTY(*Queue*  $Q$ )
  - ▶ *int* SIZE(*Queue*  $Q$ )

### 3. Coda come ADT

► **assiomi:**

### 3. Coda come ADT

- ▶ **assiomi:**

- ▶  $\text{SIZE}(Q)$ ,  $\text{EMPTY}(Q)$  e  $\text{ENQUEUE}(Q, t)$  sono sempre definiti
- ▶  $\text{DEQUEUE}(Q)$  e  $\text{FRONT}(Q)$  sono definiti se e solo se  $\text{EMPTY}(Q)$  restituisce falso

### 3. Coda come ADT

- ▶ **assiomi:**

- ▶  $\text{SIZE}(Q)$ ,  $\text{EMPTY}(Q)$  e  $\text{ENQUEUE}(Q, t)$  sono sempre definiti
- ▶  $\text{DEQUEUE}(Q)$  e  $\text{FRONT}(Q)$  sono definiti se e solo se  $\text{EMPTY}(Q)$  restituisce falso
- ▶  $\text{EMPTY}(Q)$ ,  $\text{SIZE}(Q)$  e  $\text{FRONT}(Q)$  non modificano la coda  $Q$



### 3. Coda come ADT

► **assiomi:**

- $\text{SIZE}(Q)$ ,  $\text{EMPTY}(Q)$  e  $\text{ENQUEUE}(Q, t)$  sono sempre definiti
- $\text{DEQUEUE}(Q)$  e  $\text{FRONT}(Q)$  sono definiti se e solo se  $\text{EMPTY}(Q)$  restituisce falso
- $\text{EMPTY}(Q)$ ,  $\text{SIZE}(Q)$  e  $\text{FRONT}(Q)$  non modificano la coda  $Q$
- $\text{EMPTY}(Q)$  restituisce vero se e solo se  $\text{SIZE}(Q)$  restituisce 0

### 3. Coda come ADT

► **assiomi:**

- $\text{SIZE}(Q)$ ,  $\text{EMPTY}(Q)$  e  $\text{ENQUEUE}(Q, t)$  sono sempre definiti
- $\text{DEQUEUE}(Q)$  e  $\text{FRONT}(Q)$  sono definiti se e solo se  $\text{EMPTY}(Q)$  restituisce falso
- $\text{EMPTY}(Q)$ ,  $\text{SIZE}(Q)$  e  $\text{FRONT}(Q)$  non modificano la coda  $Q$
- $\text{EMPTY}(Q)$  restituisce vero se e solo se  $\text{SIZE}(Q)$  restituisce 0
- se  $\text{SIZE}(Q) = N$  e viene effettuata  $\text{ENQUEUE}(Q, t)$ , allora dopo  $N$  esecuzione di  $\text{DEQUEUE}(Q)$  abbiamo  $\text{FRONT}(Q) = t$

### 3. Coda come ADT

► **assiomi:**

- $\text{SIZE}(Q)$ ,  $\text{EMPTY}(Q)$  e  $\text{ENQUEUE}(Q, t)$  sono sempre definiti
- $\text{DEQUEUE}(Q)$  e  $\text{FRONT}(Q)$  sono definiti se e solo se  $\text{EMPTY}(Q)$  restituisce falso
- $\text{EMPTY}(Q)$ ,  $\text{SIZE}(Q)$  e  $\text{FRONT}(Q)$  non modificano la coda  $Q$
- $\text{EMPTY}(Q)$  restituisce vero se e solo se  $\text{SIZE}(Q)$  restituisce 0
- se  $\text{SIZE}(Q) = N$  e viene effettuata  $\text{ENQUEUE}(Q, t)$ , allora dopo  $N$  esecuzione di  $\text{DEQUEUE}(Q)$  abbiamo  $\text{FRONT}(Q) = t$
- se  $\text{FRONT}(Q) = t$  allora  $\text{DEQUEUE}(Q)$  estrae  $t$  dalla coda

### 3. Coda come ADT

► **assiomi:**

- $\text{SIZE}(Q)$ ,  $\text{EMPTY}(Q)$  e  $\text{ENQUEUE}(Q, t)$  sono sempre definiti
- $\text{DEQUEUE}(Q)$  e  $\text{FRONT}(Q)$  sono definiti se e solo se  $\text{EMPTY}(Q)$  restituisce falso
- $\text{EMPTY}(Q)$ ,  $\text{SIZE}(Q)$  e  $\text{FRONT}(Q)$  non modificano la coda  $Q$
- $\text{EMPTY}(Q)$  restituisce vero se e solo se  $\text{SIZE}(Q)$  restituisce 0
- se  $\text{SIZE}(Q) = N$  e viene effettuata  $\text{ENQUEUE}(Q, t)$ , allora dopo  $N$  esecuzione di  $\text{DEQUEUE}(Q)$  abbiamo  $\text{FRONT}(Q) = t$
- se  $\text{FRONT}(Q) = t$  allora  $\text{DEQUEUE}(Q)$  estrae  $t$  dalla coda
- $\text{ENQUEUE}(Q, t)$  incrementa  $\text{SIZE}(Q)$  di 1
- $\text{DEQUEUE}(Q)$  decrementa  $\text{SIZE}(Q)$  di 1

### 3. Implementazione concreta con array

Usiamo un array statico di  $M$  celle per definire un'implementazione:

- ▶ anche in questo caso conviene tenere gli elementi nelle prime posizioni dell'array?

### 3. Implementazione concreta con array

Usiamo un array statico di  $M$  celle per definire un'implementazione:

- ▶ anche in questo caso conviene tenere gli elementi nelle prime posizioni dell'array?  
no! perché?

### 3. Implementazione concreta con array

Usiamo un array statico di  $M$  celle per definire un'implementazione:

- ▶ anche in questo caso conviene tenere gli elementi nelle prime posizioni dell'array?  
no! perché?
  - ▶ se l'elemento da estrarre è nella prima posizione allora  $\text{DEQUEUE}(Q)$  richiede spostare gli elementi rimanenti
  - ▶ se l'elemento da estrarre è nell'ultima posizione allora  $\text{ENQUEUE}(Q)$  richiede spostare gli elementi presenti

### 3. Implementazione concreta con array

Usiamo un array statico di  $M$  celle per definire un'implementazione:

- ▶ anche in questo caso conviene tenere gli elementi nelle prime posizioni dell'array?  
no! perché?
  - ▶ se l'elemento da estrarre è nella prima posizione allora  $\text{DEQUEUE}(Q)$  richiede spostare gli elementi rimanenti
  - ▶ se l'elemento da estrarre è nell'ultima posizione allora  $\text{ENQUEUE}(Q)$  richiede spostare gli elementi presenti
  - ▶ sarebbero operazioni da  $O(N)$



### 3. Implementazione concreta con array

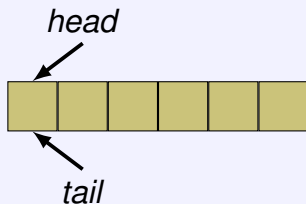
Useremo l'array in maniera **“circolare”** tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

### 3. Implementazione concreta con array

Useremo l'array in maniera “**circolare**” tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

**Operazioni:** queue(3), queue(5), queue(9), dequeue(), dequeue(), queue(1), queue(8), queue(2), dequeue(), queue(7), queue(4).

**Coda:**

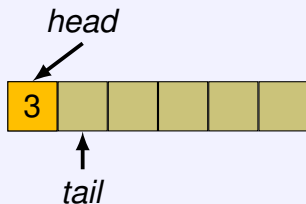


### 3. Implementazione concreta con array

Useremo l'array in maniera “**circolare**” tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

**Operazioni:** queue(3), queue(5), queue(9), dequeue(), dequeue(), queue(1), queue(8), queue(2), dequeue(), queue(7), queue(4).

**Coda:**

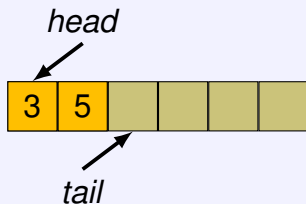


### 3. Implementazione concreta con array

Useremo l'array in maniera “**circolare**” tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

**Operazioni:** queue(3), queue(5), queue(9), dequeue(), dequeue(), queue(1), queue(8), queue(2), dequeue(), queue(7), queue(4).

**Coda:**

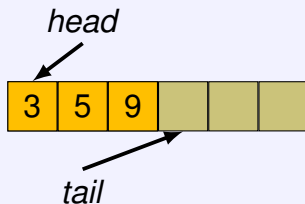


### 3. Implementazione concreta con array

Useremo l'array in maniera “**circolare**” tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

**Operazioni:** queue(3), queue(5), queue(9), dequeue(), dequeue(), queue(1), queue(8), queue(2), dequeue(), queue(7), queue(4).

**Coda:**

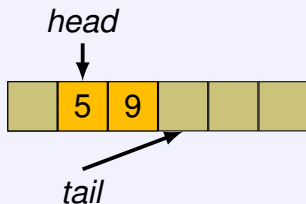


### 3. Implementazione concreta con array

Useremo l'array in maniera “**circolare**” tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

**Operazioni:** queue(3), queue(5), queue(9), dequeue(), dequeue(), queue(1), queue(8), queue(2), dequeue(), queue(7), queue(4).

**Coda:**

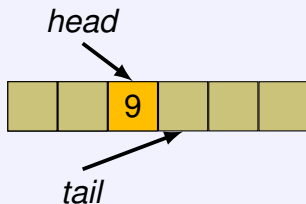


### 3. Implementazione concreta con array

Useremo l'array in maniera “**circolare**” tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

**Operazioni:** queue(3), queue(5), queue(9), dequeue(), dequeue(), queue(1), queue(8), queue(2), dequeue(), queue(7), queue(4).

**Coda:**

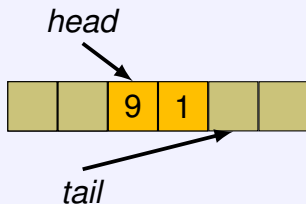


### 3. Implementazione concreta con array

Useremo l'array in maniera “**circolare**” tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

**Operazioni:** queue(3), queue(5), queue(9), dequeue(), dequeue(), queue(1), queue(8), queue(2), dequeue(), queue(7), queue(4).

**Coda:**



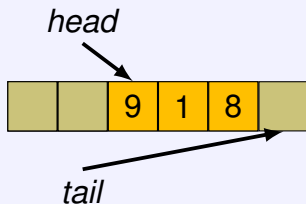


### 3. Implementazione concreta con array

Useremo l'array in maniera “**circolare**” tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

**Operazioni:** queue(3), queue(5), queue(9), dequeue(), dequeue(), queue(1), queue(8), queue(2), dequeue(), queue(7), queue(4).

**Coda:**

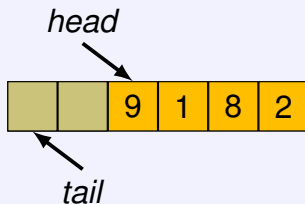


### 3. Implementazione concreta con array

Useremo l'array in maniera “**circolare**” tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

**Operazioni:** queue(3), queue(5), queue(9), dequeue(), dequeue(), queue(1), queue(8), queue(2), dequeue(), queue(7), queue(4).

**Coda:**

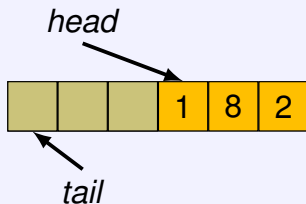


### 3. Implementazione concreta con array

Useremo l'array in maniera “**circolare**” tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

**Operazioni:** queue(3), queue(5), queue(9), dequeue(), dequeue(), queue(1), queue(8), queue(2), dequeue(), queue(7), queue(4).

**Coda:**

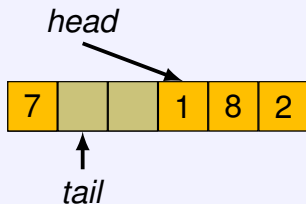


### 3. Implementazione concreta con array

Useremo l'array in maniera “**circolare**” tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

**Operazioni:** queue(3), queue(5), queue(9), dequeue(), dequeue(), queue(1), queue(8), queue(2), dequeue(), queue(7), queue(4).

**Coda:**

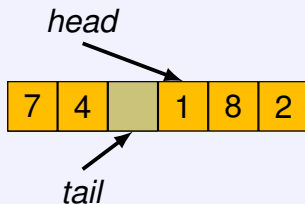


### 3. Implementazione concreta con array

Useremo l'array in maniera “**circolare**” tenendo conto di dove si trova l'inizio (head) e la fine (tail) della coda.

**Operazioni:** queue(3), queue(5), queue(9), dequeue(), dequeue(), queue(1), queue(8), queue(2), dequeue(), queue(7), queue(4).

**Coda:**



### 3. Implementazione concreta con array

- ▶ *Q.head* indica la posizione da dove estrarre l'elemento successivo

### 3. Implementazione concreta con array

- ▶ *Q.head* indica la posizione da dove estrarre l'elemento successivo
- ▶ *Q.tail* indica la posizione dove inserire l'elemento successivo

### 3. Implementazione concreta con array

- ▶ *Q.head* indica la posizione da dove estrarre l'elemento successivo
- ▶ *Q.tail* indica la posizione dove inserire l'elemento successivo
- ▶ come si controlla se la coda sia vuota?



### 3. Implementazione concreta con array

- ▶ *Q.head* indica la posizione da dove estrarre l'elemento successivo
- ▶ *Q.tail* indica la posizione dove inserire l'elemento successivo
- ▶ come si controlla se la coda sia vuota?

$$Q.head == Q.tail \iff \text{la coda è vuota}$$

### 3. Implementazione concreta con array

- ▶ *Q.head* indica la posizione da dove estrarre l'elemento successivo
- ▶ *Q.tail* indica la posizione dove inserire l'elemento successivo
- ▶ come si controlla se la coda sia vuota?

$$Q.head == Q.tail \iff \text{la coda è vuota}$$

- ▶ di conseguenza possiamo gestire  $M - 1$  elementi al massimo con un array di  $M$  celle

### 3. Implementazione concreta con array

SIZE( $Q$ )

### 3. Implementazione concreta con array

SIZE( $Q$ )

**if**  $Q.tail \geq Q.head$  **then**

**return**  $Q.tail - Q.head$

**return**  $Q.M - (Q.head - Q.tail)$

### 3. Implementazione concreta con array

SIZE( $Q$ )

**if**  $Q.tail \geq Q.head$  **then**

**return**  $Q.tail - Q.head$

**return**  $Q.M - (Q.head - Q.tail)$

EMPTY( $Q$ )

### 3. Implementazione concreta con array

SIZE( $Q$ )

**if**  $Q.tail \geq Q.head$  **then**

**return**  $Q.tail - Q.head$

**return**  $Q.M - (Q.head - Q.tail)$

EMPTY( $Q$ )

**if**  $Q.tail == Q.head$  **then**

**return** *true*

**return** *false*

### 3. Implementazione concreta con array

SIZE( $Q$ )

**if**  $Q.tail \geq Q.head$  **then**

**return**  $Q.tail - Q.head$

**return**  $Q.M - (Q.head - Q.tail)$

EMPTY( $Q$ )

**if**  $Q.tail == Q.head$  **then**

**return** *true*

**return** *false*

NEXTCELL( $Q, c$ )

### 3. Implementazione concreta con array

SIZE( $Q$ )

**if**  $Q.tail \geq Q.head$  **then**

**return**  $Q.tail - Q.head$

**return**  $Q.M - (Q.head - Q.tail)$

EMPTY( $Q$ )

**if**  $Q.tail == Q.head$  **then**

**return** *true*

**return** *false*

NEXTCELL( $Q, c$ )

**if**  $c \neq Q.M$  **then**

**return**  $c + 1$

**return** 1



### 3. Implementazione concreta con array

ENQUEUE( $Q, t$ )

### 3. Implementazione concreta con array

```
ENQUEUE( $Q, t$ )  
  if SIZE( $Q$ )  $\neq$   $Q.M - 1$  then  
     $Q[Q.tail] \leftarrow t$   
     $Q.tail \leftarrow \text{NEXTCELL}(Q, Q.tail)$   
  else  
    erroroverflow
```

### 3. Implementazione concreta con array

```
ENQUEUE( $Q, t$ )  
  if SIZE( $Q$ )  $\neq$   $Q.M - 1$  then  
     $Q[Q.tail] \leftarrow t$   
     $Q.tail \leftarrow \text{NEXTCELL}(Q, Q.tail)$   
  else  
    erroroverflow  
FRONT( $Q$ )
```

### 3. Implementazione concreta con array

```
ENQUEUE(Q, t)
  if SIZE(Q)  $\neq$  Q.M - 1 then
    Q[Q.tail]  $\leftarrow$  t
    Q.tail  $\leftarrow$  NEXTCELL(Q, Q.tail)
  else
    erroroverflow

FRONT(Q)
  if SIZE(Q) == 0 then
    errorunderflow
  else
    return Q[Q.head]
```

### 3. Implementazione concreta con array

DEQUEUE( $Q$ )

### 3. Implementazione concreta con array

```
DEQUEUE(Q)
  if SIZE(Q) == 0 then
    error underflow
  else
     $t \leftarrow Q[Q.head]$ 
     $Q.head \leftarrow \text{NEXTCELL}(Q, Q.head)$ 
    return  $t$ 
```

### 3. Implementazione concreta con lista

Utilizziamo una lista per realizzare la coda:

### 3. Implementazione concreta con lista

Utilizziamo una lista per realizzare la coda:

- ▶ quale tipo di lista conviene utilizzare: doppiamente concatenate, circolari?



### 3. Implementazione concreta con lista

Utilizziamo una lista per realizzare la coda:

- ▶ quale tipo di lista conviene utilizzare: doppiamente concatenate, circolari?
- ▶ inserimenti vengono fatti in testa, estrazioni in coda

### 3. Implementazione concreta con lista

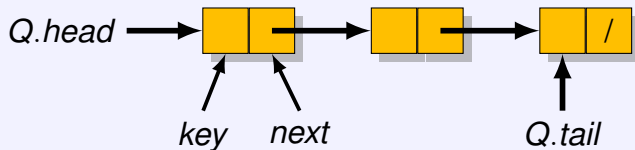
Utilizziamo una lista per realizzare la coda:

- ▶ quale tipo di lista conviene utilizzare: doppiamente concatenate, circolari?
- ▶ inserimenti vengono fatti in testa, estrazioni in coda
- ▶ usiamo una lista semplice ma aggiungiamo un puntatore all'ultimo elemento della coda

### 3. Implementazione concreta con lista

Utilizziamo una lista per realizzare la coda:

- ▶ quale tipo di lista conviene utilizzare: doppiamente concatenate, circolari?
- ▶ inserimenti vengono fatti in testa, estrazioni in coda
- ▶ usiamo una lista semplice ma aggiungiamo un puntatore all'ultimo elemento della coda



### 3. Implementazione concreta con lista

- ▶ *Q.head* indica l'elemento da estrarre

### 3. Implementazione concreta con lista

- ▶ *Q.head* indica l'elemento da estrarre
- ▶ *Q.tail* indica l'ultimo elemento inserito

### 3. Implementazione concreta con lista

- ▶ *Q.head* indica l'elemento da estrarre
- ▶ *Q.tail* indica l'ultimo elemento inserito
- ▶ come si controlla se la coda sia vuota?

### 3. Implementazione concreta con lista

- ▶ *Q.head* indica l'elemento da estrarre
- ▶ *Q.tail* indica l'ultimo elemento inserito
- ▶ come si controlla se la coda sia vuota?

$Q.head == nil \iff$  la coda è vuota

### 3. Implementazione concreta con lista

- ▶ *Q.head* indica l'elemento da estrarre
- ▶ *Q.tail* indica l'ultimo elemento inserito
- ▶ come si controlla se la coda sia vuota?

$Q.head == nil \iff$  la coda è vuota

- ▶ ma comunque teniamo conto del numero di elementi in *Q.N*



### 3. Implementazione concreta con lista

ENQUEUE( $Q, t$ )

### 3. Implementazione concreta con lista

```
ENQUEUE( $Q, t$ )  
  if  $Q.N == 0$  then  
     $Q.head \leftarrow t$   
     $Q.tail \leftarrow t$   
  else  
     $Q.tail.next \leftarrow t$   
     $Q.tail \leftarrow t$   
   $Q.N \leftarrow Q.N + 1$ 
```

### 3. Implementazione concreta con lista

SIZE( $Q$ )

### 3. Implementazione concreta con lista

```
SIZE( $Q$ )  
  return  $Q.N$ 
```

### 3. Implementazione concreta con lista

EMPTY( $Q$ )

### 3. Implementazione concreta con lista

```
EMPTY(Q)  
  if  $Q.N == 0$  then  
    return true  
  return false
```

### 3. Implementazione concreta con lista

FRONT( $Q$ )

### 3. Implementazione concreta con lista

```
FRONT(Q)  
  if  $Q.N == 0$  then  
    error underflow  
  else  
    return  $Q.head$ 
```



### 3. Implementazione concreta con lista

DEQUEUE( $Q$ )

### 3. Implementazione concreta con lista

```
DEQUEUE(Q)
  if  $Q.N == 0$  then
    error underflow
  else
     $t \leftarrow Q.head$ 
     $Q.head \leftarrow Q.head.next$ 
     $Q.N \leftarrow Q.N - 1$ 
  return  $t$ 
```

### 3. Implementazione concreta con lista

(...sentinella aiuterebbe?)

### 3. Confronto delle due implementazioni

- ▶ complessità temporale delle operazioni?

### 3. Confronto delle due implementazioni

- ▶ complessità temporale delle operazioni?  
sono tutte  $O(1)$

### 3. Confronto delle due implementazioni

- ▶ complessità temporale delle operazioni?  
sono tutte  $O(1)$
- ▶ complessità spaziale delle strutture?  
con l'array  $O(M)$  (proporzionale al numero massimo di elementi), con le liste  $O(N)$  (ma c'è l'overhead dovuto ai puntatori)

### 3. Confronto delle due implementazioni

- ▶ complessità temporale delle operazioni?  
sono tutte  $O(1)$
- ▶ complessità spaziale delle strutture?  
con l'array  $O(M)$  (proporzionale al numero massimo di elementi), con le liste  $O(N)$  (ma c'è l'overhead dovuto ai puntatori)
- ▶ con l'array bisogna stabilire a priori il numero massimo di elementi, con le liste no

### 3. Utilizzo della struttura dati coda

► buffer



### 3. Utilizzo della struttura dati coda

- ▶ buffer
- ▶ visita in ampiezza di grafi

### 3. Utilizzo della struttura dati coda

- ▶ buffer
- ▶ visita in ampiezza di grafi
- ▶ simulazione