Liste

- È molto comune dover rappresentare sequenze di elementi tutti dello stesso tipo e fare operazioni su di esse.

  Esempi: sequenza di interi (23 46 5 28 3)
  sequenza di caratteri (`'x' 'r' 'f'`)
  sequenza di persone con nome e data di nascita
- Finora abbiamo usato gli array per realizzare tali strutture, nonostante ciò porti talvolta a un impiego inefficiente della memoria.
- Vediamo adesso un modo basato sull'allocazione dinamica di variabili, che ci permette di realizzare liste di elementi in maniera che la memoria fisica utilizzata corrisponda meglio a quella astratta, cioè al numero di elementi della sequenza che vogliamo rappresentare.

Diversi modi di rappresentare sequenze di elementi

1. Rappresentazione sequenziale: tramite array
   - Vantaggi:
     - l'accesso agli elementi è diretto (tramite indice) ed efficiente
     - l'ordine degli elementi è quello in memoria $\Longrightarrow$ non servono strutture dati addizionali
     - è semplice manipolare l'intera struttura (copia, ordinamento, ...)
   - Svantaggi:
     - dobbiamo avere un'idea precisa della dimensione della sequenza
     - inserire o eliminare elementi è complicato ed inefficiente (comporta un numero di spostamenti che nel caso peggiore può essere dell'ordine del numero degli elementi della struttura)

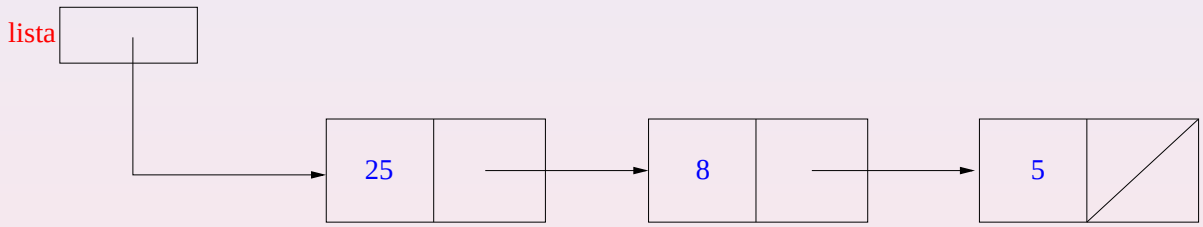
2. Rappresentazione collegata

- Una lista concatenata è una sequenza lineare di nodi, ciascuno dei quali memorizza un valore e contiene un riferimento (puntatore) al nodo successivo nella sequenza.
- Per aggiungere e cancellare nodi in qualunque posizione semplicemente aggiustando il sistema di puntatori senza operare sui nodi non interessati dalla aggiunta o dalla cancellazione.
- L'accesso agli elementi è di tipo sequenziale: per accedere al generico nodo, si deve scandire la lista, dato che l'accesso ad un elemento è possibile attraverso il puntatore contenuto nell'elemento precedente.

2. Rappresentazione collegata (continua)

- La sequenza di elementi viene rappresentata da una struttura di dati collegata, realizzata tramite strutture e puntatori.
- Ogni elemento è rappresentato con una struttura C:
  - un campo (o più campi se necessario) per l'elemento (ad es. `int`)
  - un campo puntatore alla struttura che rappresenta l'elemento successivo (ovviamente, tale struttura ha tipo indentico a quello della struttura corrente)
- L'ultimo elemento non ha un elemento successivo
  - il campo puntatore ha valore `NULL` che assume quindi il significato di "fine lista".
- L'inizio della lista è individuato da una variabile del tipo dei puntatori ai vari elementi.
  - Sarà nostra abitudine attribuire a questa variabile il nome stesso della lista, identificando il concetto di "inizio lista" (o "testa della lista") con la lista stessa.
- l'accesso a una lista avviene attraverso il puntatore al primo elemento.

Graficamente



- La variabile lista, di tipo puntatore, è utilizzata per accedere alla sequenza.

Esempio: Sequenze di interi.

```
struct EL {
  int info;
  struct EL *next;
};
typedef struct EL ElementoLista;
typedef ElementoLista *ListaDiElementi;
```

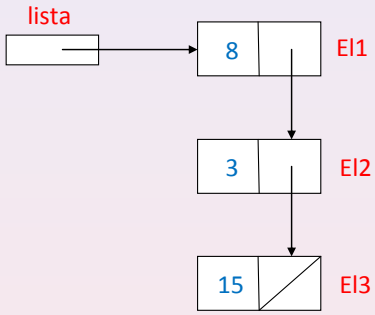
1. La prima dichiarazione `struct EL` definisce un primo campo, `info`, di tipo `int` e permette di dichiarare il campo `next` come puntatore al tipo strutturato che si sta definendo;
2. la seconda dichiarazione utilizza `typedef` per ridenominare il tipo `struct EL` come `ElementoLista`;
3. la terza dichiarazione definisce il tipo `ListaDiElementi` come puntatore al tipo `ElementoLista`.

- A questo punto possiamo definire variabili di tipo lista:

```
ListaDiElementi Lista1, Lista2;
```

Esempio: Creazione di una lista di tre interi fissati: (8, 3, 15)

```
ElementoLista El1,El2,El3;
ListaDiElementi lista;          /* puntatore al primo elemento della lista */

lista=&El1;

El1.info = 8;
El1.next = &El2;

El2.info = 3;
El2.next = &El3;

El3.info = 15;
El3.next = NULL;
```



Nota: per poter usare la costante `NULL` dobbiamo importare il file `stdlib.h`

- Nel programma che abbiamo appena visto per creare una lista di tre elementi dobbiamo dichiarare tre variabili di tipo `ElementoLista`.
- Il numero degli elementi della lista deve essere deciso a tempo di compilazione.
- Non è possibile, per esempio, creare una lista con un numero di elementi letti in ingresso. Ma allora qual è il vantaggio rispetto all'array?
- Quello che abbiamo visto non è l'unico modo. . . .

Allocazione Dinamica della memoria

- L'allocazione dinamica della memoria è possibile in C grazie all'utilizzo di alcune funzioni messe a disposizione dalla libreria standard (*standard library*). Infatti è richiesta l'inclusione del file header <stdlib.h>
- Le due funzioni principali sono
  - malloc: consente di allocare dinamicamente memoria per una variabile di un tipo specificato
  - free: consente di rilasciare dinamicamente memoria precedentemente allocata con malloc

malloc

- La funzione ha il seguente prototipo:

  void *malloc(size_t size);

  Quindi ha come parametro la dimensione della memoria da allocare (in bytes) e restituisce un puntatore ad essa, oppure NULL se fallisce.
- Per esempio, la chiamata di funzione malloc(sizeof(TipoDato)); crea in memoria una variabile di tipo TipoDato, e restituisce come risultato l'indirizzo della variabile creata.
- Esempio:

  ```
  int *p;
  p = malloc(sizeof(int));
  ```

  assegna l'indirizzo restituito dalla funzione malloc a p che punta quindi alla nuova variabile.
- Una variabile creata dinamicamente è necessariamente anonima: a essa si può fare riferimento solo tramite un puntatore
  - a differenza di una variabile dichiarata mediante un proprio identificatore, che può essere riferita sia direttamente sia tramite un puntatore

free

- Se p è l'indirizzo di una variabile allocata dinamicamente, la chiamata

  free(p);

  rilascia lo spazio di memoria puntato da p: la corrispondente memoria fisica è resa disponibile per qualsiasi altro uso.
- Il prototipo è `void free(void *pointer);`
- free deve ricevere come parametro attuale un puntatore al quale era stato assegnato come valore l'indirizzo restituito da una funzione di allocazione dinamica di memoria (cioè malloc).

Heap

- Poiché le variabili dinamiche possono essere create e distrutte in un qualsiasi punto del programma esse non possono essere allocate sullo stack.
- Vengono allocate in un'altra zona di memoria chiamata heap (mucchio). La loro gestione risulta molto più inefficiente.

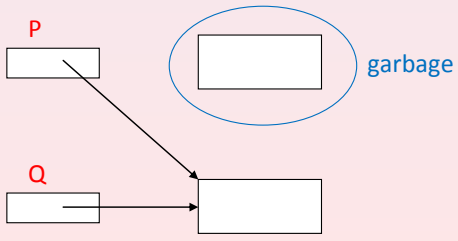
Produzione di garbage (spazzatura)

- Si verifica quando la memoria allocata dinamicamente risulta logicamente inaccessibile, e quindi sprecata, perché non esiste alcun riferimento ad essa.

  Esempio:

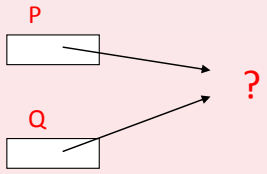
```
P=malloc(sizeof(TipoDato));
...
P=Q;
```

- In questo modo la cella puntata da `P` subito dopo l'assegnamento `P=Q` perde ogni possibilità di accesso (da cui il termine spazzatura).



Riferimenti pendenti (dangling references)

- Simmetrico al problema precedente: consiste nel creare riferimenti fasulli a zone di memoria logicamente inesistenti.
  Esempio:
  ```
  P=Q;
  free(Q);
  ```
- L'operazione `free(Q)` provoca il rilascio della memoria allocata per la variabile cui `Q` punta
- `P` punta a una zona di memoria non più significativa (può essere riusata in futuro).
- `*P` comporterebbe l'accesso all'indirizzo fisico puntato da `P` e l'interpretazione del suo contenuto come un valore del tipo di `*P` con risultati imprevedibili.

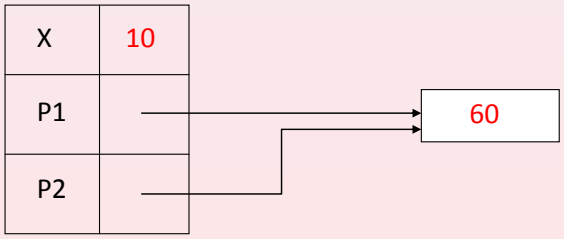


- Produzione di garbage e riferimenti pendenti hanno svantaggi simmetrici:
  - la prima comporta spreco di memoria
  - la seconda comporta risultati imprevedibili e scorretti.
- La seconda è più pericolosa della prima e in alcuni linguaggi non è prevista l'istruzione `free`.
- Viene lasciato al supporto del linguaggio l'onere di effettuare garbage collection ("raccolta rifiuti").

Esempio di allocazione dinamica

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main()
{
int x = 10, *P1, *P2;

P1 = malloc(sizeof(int));
*P1 = 2*x;
P2 = P1;
*P2= 3*(*P1);
printf("x=%d  *P1=%d  *P2=%d \n", x, *P1, *P2);
free(P1);
}
```

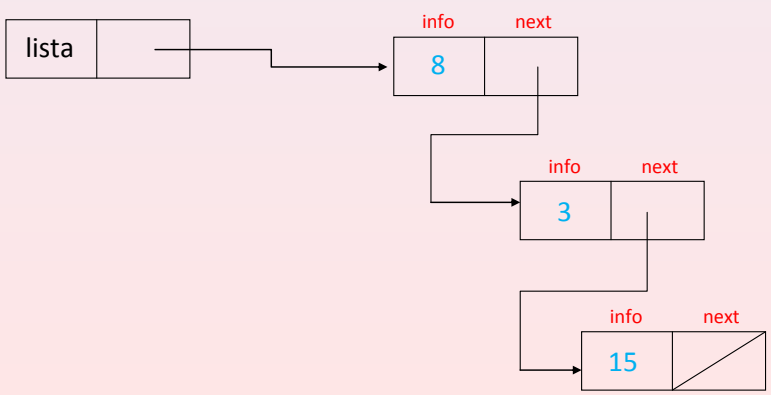
PILA HEAP



Creazione di una lista di tre interi fissati: (8, 3, 15)

```
ListaDiElementi lista;          /* puntatore al primo elemento della lista */

lista = malloc(sizeof(ElementoLista)); /* allocazione primo elemento */

lista->info = 8;

lista->next = malloc(sizeof(ElementoLista)); /* secondo elemento */

lista->next->info = 3;
lista->next->next = malloc(sizeof(ElementoLista));       /* terzo elemento */
lista->next->next->info = 15;
lista->next->next->next = NULL;
```

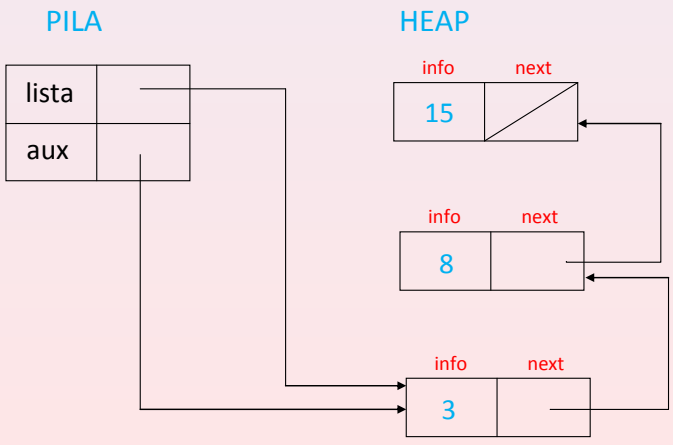
PILA HEAP



Osservazioni:

- `lista` è di tipo `ListaDiElementi`, quindi è un puntatore e non una struttura
- la zona di memoria per ogni elemento della lista (non per ogni variabile di tipo `ListaDiElementi`) deve essere allocata esplicitamente con `malloc`
- Esiste un modo più semplice di creare la lista di 3 elementi?
- Creiamo la lista a partire dal fondo!


```
ListaDiElementi aux, lista = NULL;

aux = malloc(sizeof(ElementoLista));
aux->info = 15;     aux->next = lista;
lista = aux;

aux = malloc(sizeof(ElementoLista)
aux->info = 8;      aux->next = lista;
lista = aux;

aux = malloc(sizeof(ElementoLista));
aux->info = 3;      aux->next = lista;
lista = aux;
```



Operazioni sulle liste

- Definiamo una serie di procedure e funzioni per operare sulle liste.
- Usiamo liste di interi per semplicità, ma tutte le operazioni sono realizzabili in modo del tutto analogo su liste di altro tipo (salvo rare eccezioni)
- Facciamo riferimento alle dichiarazioni dei tipi `ElementoLista` e `ListaDiElementi` viste in precedenza

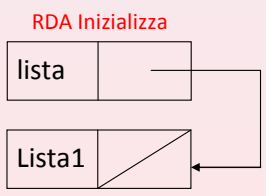
Inizializzazione

- Definiamo una procedura che inizializza una lista assegnando il valore `NULL` alla variabile testa della lista.
- Tale variabile deve essere modificata e quindi passata per indirizzo.
- Ciò provoca, nell'intestazione della procedura, la presenza di un puntatore a puntatore.


```
void Inizializza(ListaDiElementi *lista)
{
 *lista=NULL;
}
```

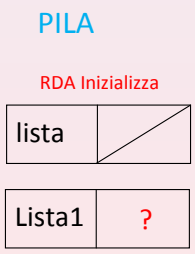
- Supponiamo ora che `Inizializza` sia chiamata passando come parametro l'indirizzo della variabile `Lista1` di tipo `ListaDiElementi`, ad esempio:

```
ListaDiElementi Lista1;
Inizializza(&Lista1);
```



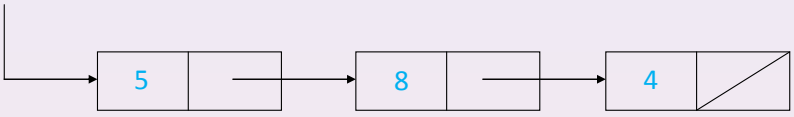
Cosa succederebbe se passassimo il parametro per valore?

```
void Inizializza(ListaDiElementi lista)
{
  lista=NULL;
}

main() {
   ListaDiElementi Lista1;
   Inizializza(Lista1);
   ...
}
```



Stampa degli elementi di una lista

- Data la lista



vogliamo che venga stampato:

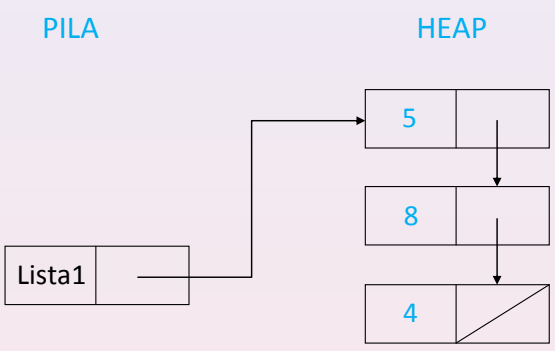
5 –> 8 –> 4 –> //

Versione iterativa:

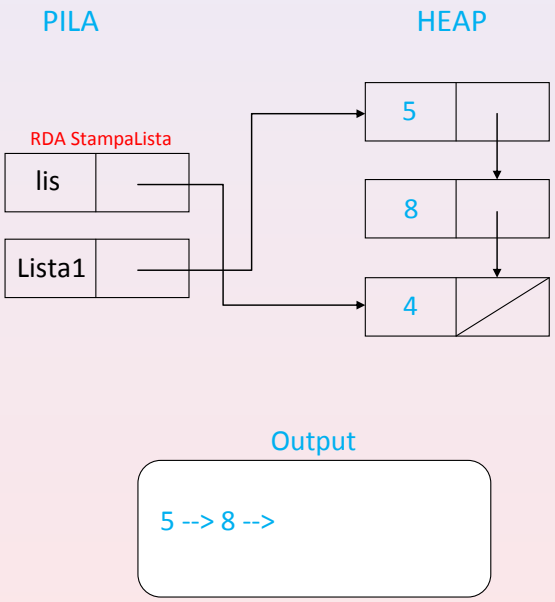
```
void StampaLista(ListaDiElementi lis)
{
   while (lis != NULL)
    {
     printf("%d -->", lis->info);
     lis = lis->next;
    }
printf("//");
}
```

- N.B.: `lis = lis->next` fa puntare `lis` all'elemento successivo della lista
- Attenzione: Possiamo usare `lis` per scorrere la lista perché, avendo utilizzato il passaggio per valore, le modifiche a `lis` non si ripercuotono sul parametro attuale.


```
void StampaLista(ListaDiElementi lis)
{
  while (lis != NULL)
    {
     printf("%d -->", lis->info);
     lis = lis->next;
    }
  printf("//");
}

main()
{
  ListaDiElementi Lista1;
  ...
  /* costruzione lista 5 --> 8 --> 4  */
  ...
  StampaLista(Lista1);
  ...
}
```



```
void StampaLista(ListaDiElementi lis)
{
  while (lis != NULL)
    {
      printf("%d -->", lis->info);
      lis = lis->next;
     }
  printf("//");
}

main()
{
  ListaDiElementi Lista1;
  ...
  /* costruzione lista 5 --> 8 --> 4  */
  ...
  StampaLista(Lista1);
  ...
}
```

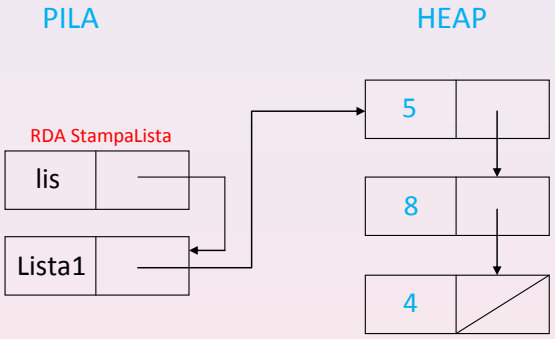


Output

5 --> 8 -->

Cosa sarebbe successo passando il parametro per indirizzo?

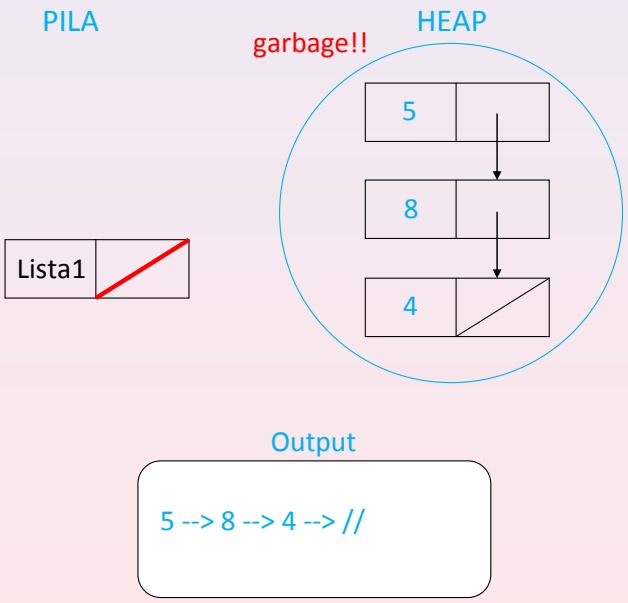
```
void StampaLista(ListaDiElementi *lis)
{
  while (*lis != NULL)
    {
      printf("%d -->", *lis->info);
      *lis = *lis->next;
     }
  printf("//");
}

main()
{
  ListaDiElementi Lista1;
  ...
  /* costruzione lista 5 --> 8 --> 4  */
  ...
  StampaLista(&Lista1);
  ...
}
```



Output

Cosa sarebbe successo passando il parametro per indirizzo?

```
void StampaLista(ListaDiElementi *lis)
{
  while (*lis != NULL)
    {
      printf("%d -->", *lis->info);
      *lis = *lis->next;
     }
  printf("//");
}

main()
{
  ListaDiElementi Lista1;
  ...
  /* costruzione lista 5 --> 8 --> 4  */
  ...
  StampaLista(&Lista1);
  ...
}
```

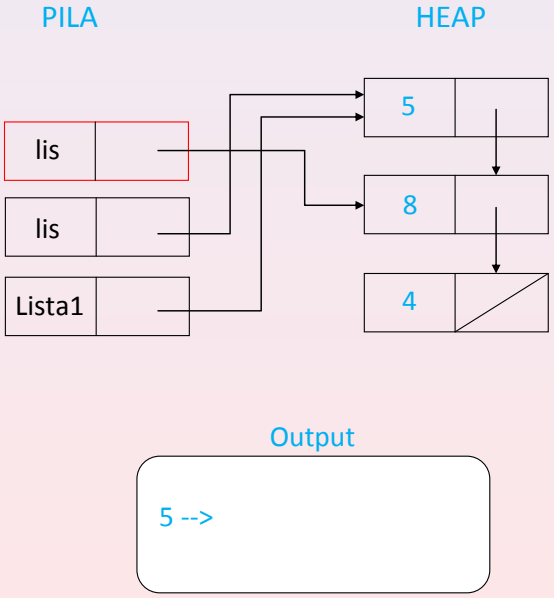


Visione ricorsiva delle liste

- Una lista (di elementi) di tipo T è una struttura dati ricorsiva per sua natura:
  1. Caso base: la lista vuota (NULL) è una lista di tipo T
  2. Caso ricorsivo: se L è una lista di tipo T e x è un elemento di tipo T, allora la concatenazione di x con L è una lista di tipo T

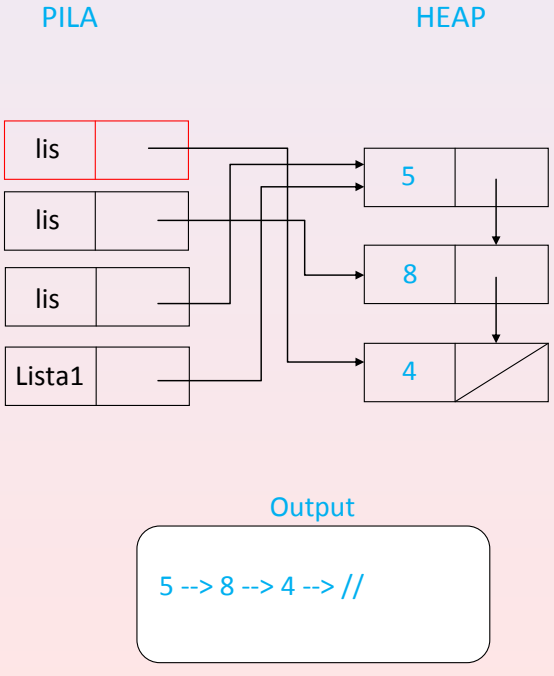
Versione ricorsiva della stampa di una lista

```
void StampaListaRic(ListaDiElementi lis)
{
   if (lis != NULL)
   {
      printf("%d ", lis->info);
      StampaListaRic(lis->next);
   }
   else
      printf("//");
}

main()
{
  ListaDiElementi Lista1;
  ...
  /* costruzione lista 5 --> 8 --> 4  */
  ...
  StampaListaRic(Lista1);
  ...
}
```

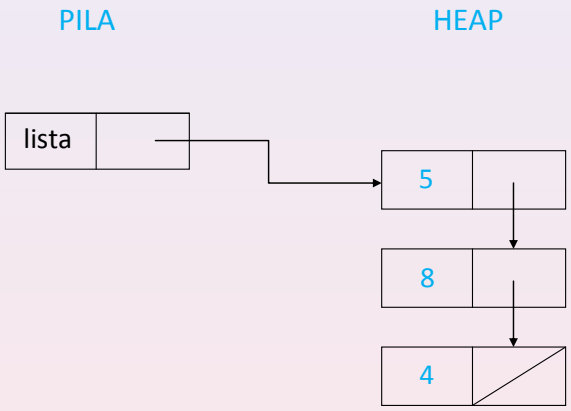


Versione ricorsiva della stampa di una lista

```
void StampaListaRic(ListaDiElementi lis)
{
   if (lis != NULL)
   {
      printf("%d ", lis->info);
      StampaListaRic(lis->next);
   }
   else
      printf("//");
}

main()
{
  ListaDiElementi Lista1;
  ...
  /* costruzione lista 5 --> 8 --> 4  */
  ...
  StampaListaRic(Lista1);
  ...
}
```

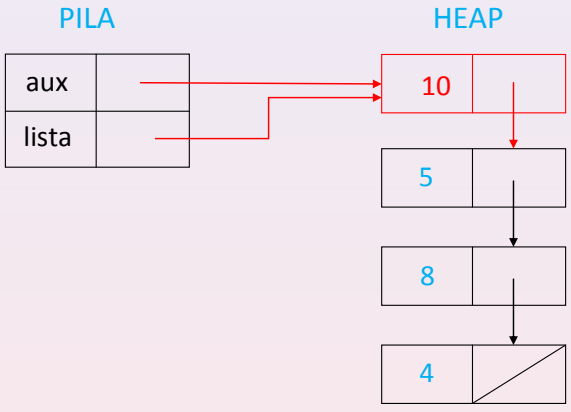


Inserimento di un nuovo elemento in testa



1. allochiamo una nuova struttura per l'elemento (`malloc`)
2. assegnamo il valore da inserire al campo `info` della struttura
3. concateniamo la nuova struttura con la vecchia lista
4. il puntatore iniziale della lista viene fatto puntare alla nuova struttura
   $\Longrightarrow$ la lista da modificare deve essere passata per indirizzo

Inserimento di un nuovo elemento in testa



1. allochiamo una nuova struttura per l'elemento (`malloc`)
2. assegnamo il valore da inserire al campo `info` della struttura
3. concateniamo la nuova struttura con la vecchia lista
4. il puntatore iniziale della lista viene fatto puntare alla nuova struttura
   $\Longrightarrow$ la lista da modificare deve essere passata per indirizzo

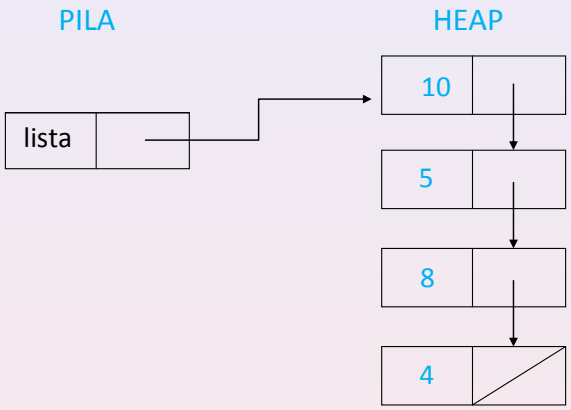
```
void InserisciTestaLista(ListaDiElementi *lista, int elem)
{
  ListaDiElementi aux;

  aux = malloc(sizeof(ElementoLista));
  aux->info = elem;
  aux->next = *lista;
  *lista = aux;
}
```

- il primo parametro è la lista da modificare (passata per indirizzo)
- il secondo parametro è l'elemento da inserire (passato per indirizzo)
  - Attenzione: nel caso di liste di tipo `TipoElemLista` la procedura può essere generalizzata se su tale tipo è definito l'assegnamento

Esercizio

Impostare una chiamata alla procedura e tracciare l'evoluzione di pila e heap

Cancellazione del primo elemento



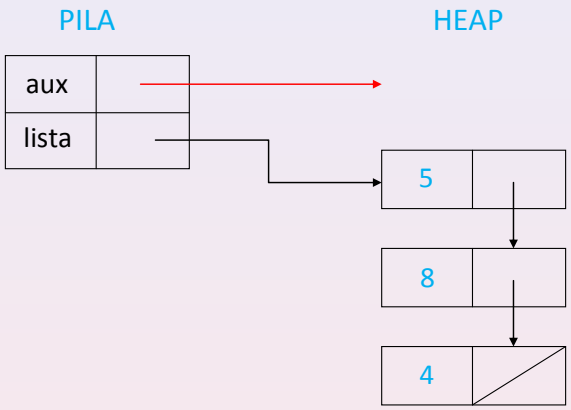
- se la lista è vuota non facciamo nulla
- altrimenti eliminiamo il primo elemento

  $\Longrightarrow$ la lista deve essere passata per indirizzo
- cancellare significa anche deallocare la memoria occupata dall'elemento

  $\Longrightarrow$ dobbiamo invocare `free` passando il puntatore all'elemento da cancellare

  $\Longrightarrow$ è necessario un puntatore ausiliario

Cancellazione del primo elemento



- se la lista è vuota non facciamo nulla
- altrimenti eliminiamo il primo elemento

  $\Longrightarrow$ la lista deve essere passata per indirizzo
- cancellare significa anche deallocare la memoria occupata dall'elemento

  $\Longrightarrow$ dobbiamo invocare `free` passando il puntatore all'elemento da cancellare

  $\Longrightarrow$ è necessario un puntatore ausiliario


```
void CancellaPrimo(ListaDiElementi *lista)
{
  ListaDiElementi aux;
  if (*lista != NULL)
     {
        aux = *lista;
        *lista = (*lista)->next;
        free(aux);
     }
}
```

Cancellazione di tutta una lista

```
void CancellaLista(ListaDiElementi *lista)
{
  ListaDiElementi aux;

  while (*lista != NULL) {
    aux = *lista;
    *lista = (*lista)->next;
    free(aux);
  }
}
```

- Osserviamo che il corpo del ciclo corrisponde alle azioni della procedura `CancellaPrimo`. Possiamo allora scrivere:

```
void CancellaLista(ListaDiElementi *lista)
{
  while (*lista != NULL)
    CancellaPrimo(lista);
}
```

- Si noti il parametro attuale della chiamata a `CancellaPrimo`, che è `lista` (di tipo `ListaDiElementi *`) e non `&lista`


```
void CancellaPrimo(ListaDiElementi *lista)
{
  ListaDiElementi aux;
  if (*lista != NULL)
     {
        aux = *lista;
        *lista = (*lista)->next;
        free(aux);
     }
}

void CancellaLista(ListaDiElementi *lista)
{
  while (*lista != NULL)
    CancellaPrimo(lista);
}

main()
{
  ListaDiElementi lista;
  ...
  CancellaLista(&lista);
  ...
}
```

Cancellazione lista: versione ricorsiva

- Sfruttiamo la visione ricorsiva della struttura dati lista per realizzare la cancellazione in modo ricorsivo
  1. la cancellazione della lista vuota non richiede alcuna azione
  2. la cancellazione della lista ottenuta come concatenazione dell'elemento x e della lista L richiede l'eliminazione di x e la cancellazione di L
- la traduzione in C è immediata

```
void CancellaListaRic(ListaDiElementi *lista)
{
  ListaDiElementi aux;
  if (*lista != NULL)
  {
    aux = *lista;
    *lista = (*lista)->next;
    free(aux);
    CancellaListaRic(lista);
  }
}
```



```
void CancellaListaRic(ListaDiElementi *lista)
{
  ListaDiElementi aux;
  if (*lista != NULL)
  {
    aux = *lista;
    *lista = (*lista)->next;
    free(aux);
    CancellaListaRic(lista);
  }
}
```

Appartenenza di un elemento ad una lista

- Ricordiamo la ricerca lineare incerta su vettori
- sostituiamo l'indice i con un puntatore p
- scorriamo la lista attraverso p
- l'elemento corrente è quello puntato da p
- Incapsuliamo questo codice in una funzione a valori booleani

Appartenenza di un elemento ad una lista

```
boolean Appartiene(TipoElementoLista elem, ListaDiElementi lista)
{
  boolean trovato = false;

  while (lista != NULL && !trovato)
    if (lista->info==elem)
      trovato = true;
    else
      lista = lista->next;
  return trovato;
}
```

- Non c'è bisogno di un puntatore ausiliario per scorrere la lista
  $\Longrightarrow$ il passaggio per valore consente di scorrere utilizzando il parametro formale!
- Abbiamo assunto che sul tipo `TipoElementoLista` sia definito l'operatore di uguaglianza `==`

Versione ricorsiva

```
boolean Appartiene(TipoElementoLista elem, ListaDiElementi lis)
{
  if (lis == NULL)
    return false;
  else if (lis->info==elem)
    return true;
  else
    return (Appartiene(elem, lis->next));
}
```

- Un elemento elem
  - non appartiene alla lista vuota
  - appartiene alla lista con testa x se elem coincide con x
  - appartiene alla lista con testa x diversa da elem e resto L se e solo se appartiene a L