Tecniche di Programmazione Funzionale e Imperativa

Ivano Salvo

Strutture dati dinamiche in C

Liste

Corso di Laurea in **Informatica**, III anno

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Lezione **21**, 17 maggio 2021

Lezione 21a:

Tipi di Dato in C
Struct (Record)

Costruttori di tipo in C

Il C è un linguaggio piuttosto primitivo, tuttavia permette di costruire nuovi tipo di dato, usando i costruttori `*` (**puntatore**), `[]` (**vettore**) e `struct{}` (**record**).

I record permettono di **aggregare molti dati in uno solo**.

Mentre i vettori sono sequenze di dati omogenei, i record permettono di aggregare più informazioni usualmente di **tipo diverso** in un unico dato strutturato.

L'esempio tipico è l'anagrafica di una persona in un database.

```
struct AP {
    char nome[15];
    char cognome[15];
    data dataNascita;
    char luogoNascita[15];
    char cf[14];
    ...
};
```

Tipo definito dall'utente

I campi possono essere a loro volta array o struct

Tipi di dato: rappresentazione+operazioni

In C è possibile definire nuovi **nomi di tipo** con l'istruzione `typedef` che ha la sintassi:

```
typedef type-definition new-type-name
```

Ad esempio, il tipo `data` può essere definito come segue:

```
typedef struct D {
            int anno;
            int mese;
            int giorno;
        } data;
```

Così definita, il tipo data potrebbe sembrare un sottoinsieme di $\mathbb{Z}^3$: è bene ricordare che tuttavia ci sono **vincoli di integrità** (il giorno è un numero compreso tra 1 e 31, il mese tra 1 e 12, inoltre…).

Un tipo di dato è caratterizzato dalle **operazioni** (o funzioni) definite su quel dato. Nel caso delle date, operazioni tipiche sono: *verifica della legalità*, *distanza tra due date*, *determinare una data tra un certo numero di giorni*, etc.

Accesso ai campi di un record

Vediamo come esempio, alcune semplici funzioni che manipolano date. Cominciamo con le stampe:

```
void printData(data d){
    printf("%2d %s %4d\n",d.g,m[d.m],d.a);
}

void printDataGGMMAAAA(data d){
    if (d.m<10) printf("%2d/0%1d/%4d\n",d.g,d.m,d.a);
      else printf("%2d/%2d/%4d\n",d.g,d.m,d.a);
}

void printDataGGMMAA(data d){
    if (d.m<10) printf("%2d/0%1d",d.g,d.m);
       else printf("%2d/%2d",d.g,d.m);
    if (d.a%100<10) printf("/0%1d\n",d.a%100);
       else printf("/%2d\n",d.a%100);
}
```

Dei vettori globali possono rendere i programmi più eleganti

*Si usa il . (detta '**dot notaiton**') per accedere ai campi*

```
char* m[13]={"", "gennaio", "febbraio", "marzo", "aprile", "maggio",
    "giugno", "luglio", "agosto", "settembre", "ottobre", "novembre",
    "dicembre"};

int dm[13]={0, 31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31};
```

Struct e puntatori

Più interessante vedere la lettura da input di una data (occorre **controllarne la legalità**)

```
void inserisciData(data *d){
    do {
      printf("\ninserisci il giorno : ");
      scanf("%d",&(d->g));
      printf("\ninserisci il mese : ");
      scanf("%d",&(d->m));
      printf("\ninserisci l'anno : ");
      scanf("%d",&(d->a));
          } while (!legale(*d));
 }
```

La notazione `d->g` *significa* `(*d).g` *e ne faremo largo uso*

Uso del vettore delle lunghezze dei mesi (evita `if` *)*

```
int bisestile(int anno){
    if (!(anno%4) && (anno%100 || !(anno%400)))
         return 1;
    return 0;
}

int legale(data d){
    int maxg;

    if (d.a<0 || d.m<1 || d.m>12 || d.g<1)
       return 0;
    if (d.m==feb && bisestile(d.a)) maxg=29;
       else maxg=dm[d.m];
    if (d.g>maxg) return 0;
    return 1;
}
```

Lezione 21b:

Liste

Liste: visione algebrica

Da un punto di vista algebrico, le liste sono definite a partire dai costruttori e sono analoghe quelle **che abbiamo visto in Haskell**, cioè lista vuota `[]` e inserimento in testa `:`.

Di fatto, le liste finite sono il **minimo insieme chiuso** rispetto ai costruttori.

Useremo la notazione Haskell come specifica delle funzioni.

D'altra parte, occorre **trovare una rappresentazione** in **C**.

Una lista non vuota `x:xs` contiene sempre l'elemento *x* (**testa** della lista, head) seguito dalla lista *xs* (**coda** della lista, tail).

È naturale quindi pensare che una lista sia rappresentata in **C** da una `struct` **con due campi**.

Liste: rappresentazione in C

Tuttavia, la definizione:

```
struct L {
    A x;
    struct L xs;
}
```

non funziona in quanto, data la ricorsività, il compilatore **non potrebbe determinare quanto spazio riservare per una** `struct L` (che dovrebbe essere infinito, visto che una parte di una `struct L` è esso stesso una `struct L`).

Tuttavia, **un puntatore è** sempre **un puntatore**…

```
typedef struct L {
   int val;
   struct L* next;
  } listanode;

typedef listanode* lista;
```

Usando l'escamotage dei puntatori, posso determinare la memoria necessaria

Osservare che il tipo lista è un tipo pointer

Liste: funzioni costruttori in C

Essendo il tipo lista un tipo puntatore, abbiamo una comoda rappresentazione per la **lista vuota** `[]`: il puntatore `NULL`.

Al fine di concentrarci **sulla logica** delle liste (piuttosto che sulla loro rappresentazioni a struct e puntatori), definiamo delle funzioni che implementano i costruttori `[]` e `:`.

La funzione `lista emptyList()` torna semplicemente `NULL`. Mentre `:` viene implementato usando una funzione che per motivi storici chiameremo `cons`:

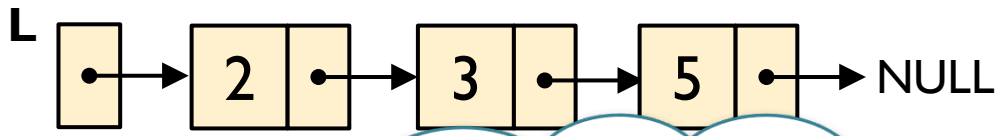
```
lista cons(int x, lista L){
    /* alloco memoria per un nuovo nodo */
   lista M =
      (lista) malloc(sizeof(listanode));
   M->val  = x;     /* M = [x]  */
   M->next = L;     /* M = x::L */
   return M;
}
```

Le liste vengono allocate dinamicam.

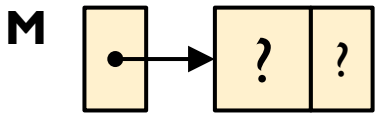
Viene creato un nuovo nodo e ritornato

Aspetto logico e memoria

Spesso le liste vengono disegnate come trenini, con dei vagoncini legati dai puntatori: questa rappresentazione centra l'attenzione su cosa effettivamente avviene in memoria. Vediamo l'effetto di una `cons(7, L)` con `L=[2, 3, 5]`:

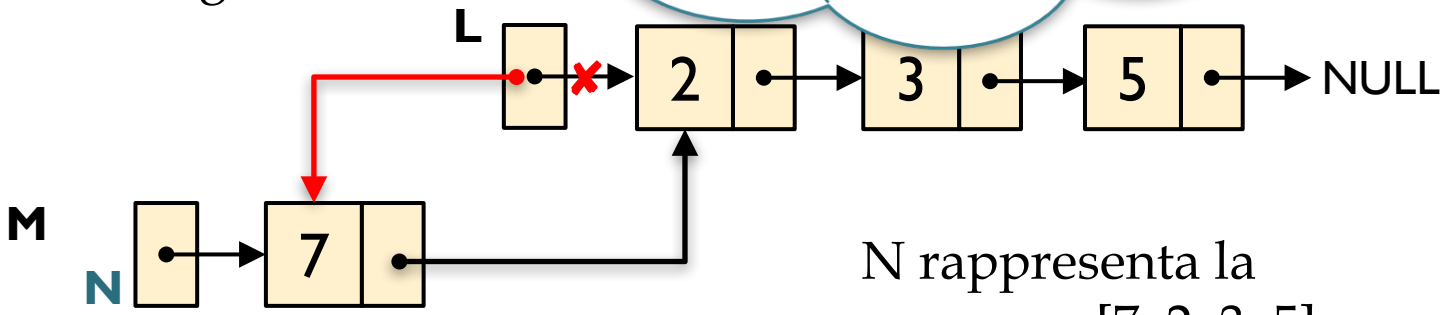


Dopo la `malloc`:



Per dare risultati va usato come segue:
`L=cons(x, L)`
`N=cons(x, L)` *mantiene due puntatori, N e L*

Dopo le assegnazioni:



N rappresenta la sequenza [7, 2, 3, 5]

Distruttori in C (1)

Un distruttore permette di decomporre un elemento di un insieme induttivo accedendo alle sue componenti: questo serve a definire **proprietà/funzioni** per **induzione/ricorsione**.

Ancora in analogia con i naturali, il distruttore deve distinguere tra 0 e un naturale successore n+1 e in questo caso, accedere a n.

Nelle liste, il distruttore deve distinguere la lista vuota `[]` da una lista non vuota `x::xs` e nel secondo caso dare accesso alle componenti: l'elemento in testa `x` e la coda `xs`.

```
int isEmpty(lista L){
    /* torna 1 se L=[]
     * 0 altrimenti */
   if (L==NULL) return 1;
   return 0;
   /* anche: return !L */
}
```

```
int head(lista L){
    /* REQ: L<>[]*/
   return L->val;
}
```

```
lista tail(lista L){
    /* REQ: L<>[]*/
   return L->next;
}
```

Distruttori in C (2)

Anche se più spesso ci limiteremo a confrontare puntatori, probabilmente il distruttore **più fedele** in C sarebbe **la funzione** che **contemporaneamente** distingue liste vuote e non vuote e in quest'ultimo caso estrarre testa e coda:

```
int isNotEmpty(lista L, int* x, lista* xs){
    /* torna 1 se L=[]
     * 0 altrimenti */
   if (L){
      *x  = L->val;
      *xs = L->next;
      return 1;
   } else return 0;
}
```

Determina se la lista è vuota e se non lo è carica sui parametri testa e coda

Uso dei Distruttori in C (1)

Vediamo come possiamo codificare in **C** alcuni funzioni base sulle liste:

```
int length(lista L){
   lista xs;
   int x;
   if (isNotEmpty(L, &x, &xs))
      return 1 + length(xs);
   return 0;
}
```

*purtroppo in C questo necessita del **fastidio di definire due variabili***

```
int maxL(lista L){
/* REQ: L <> [] */
   if (isEmpty(tail(L)))
            return head(L);
   return max(head(L), maxL(tail(L));
}
```

```
int sum(lista L){
   if (isEmpty(L)) return 0;
   return head(L)+sum(tail(L));
}
```

Uso dei Distruttori in C (2)

Probabilmente un vero Programmatore C preferisce queste versioni:

```
int length(lista L){
   if (!L) return 0;
   return 1 + length(L->next);
}
```

```
int sum(lista L){
   if (!L) return 0;
   return L->val + sum(L->next);
}
```

```
int maxL(lista L){
/* REQ: L <> [] */
   if (!L->next) return L->val;
   return max(L->val, maxL(L->next);
}
```

Attenzione a cosa accade in memoria

Consideriamo ora la seguente funzione Haskell:

```
twice    []    = []   -- append(L, twice(L))
twice (x:xs) = 2*x:twice xs
-- twice xs = map (2*) xs
```

A differenza delle funzioni precedenti `twice` deve tornare una lista. **Nel mondo incantato di Haskell esistono solo valori, ma non esiste la memoria**.

Diversa la situazione nel mondo corrotto della computazione imperativa: c'è una memoria e cosa deve fare `twice`?

- creare una nuova lista?
- modificare la lista in ingresso?

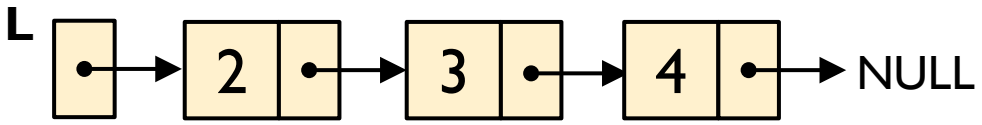
Ovviamente non c'è una risposta, dipende da cosa vuol fare il programmatore.

Traducendo le equazioni ricorsive sostituendo `::` con `cons` otteniamo la funzione che genera una nuova lista, perché `cons` **alloca nuova memoria**!

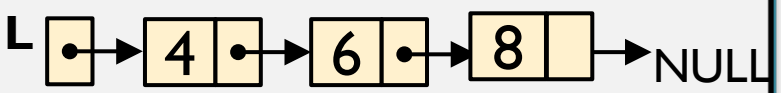
Attenzione: alla memoria

```
void twiceRec(lista L){
   if (L){
      L->val *=2;
      twiceRec(L->next);
   }
}
```

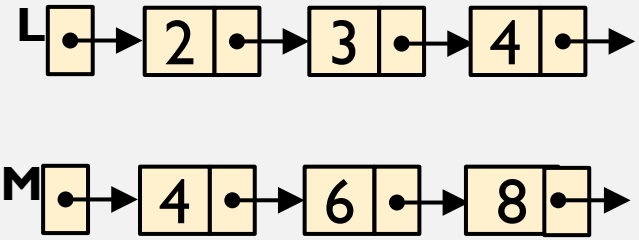
```
lista twiceFun(lista L){
   if (!L) return L;
   return cons(2*L->val, twiceFun(L->next));
}
```



dopo **twiceRec(L)**



dopo **M = twiceFun(L)**



Attenzione: ai side-effects

I side-effects sono sempre una **risorsa**/**problema** nei linguaggi imperativi, ma diventano particolarmente **sottili e insidiosi** nel caso di memoria concatenata da puntatori. Facciamo un esempio.

La funzione:

```
void tail(lista L){
   L = L->next;
}
```

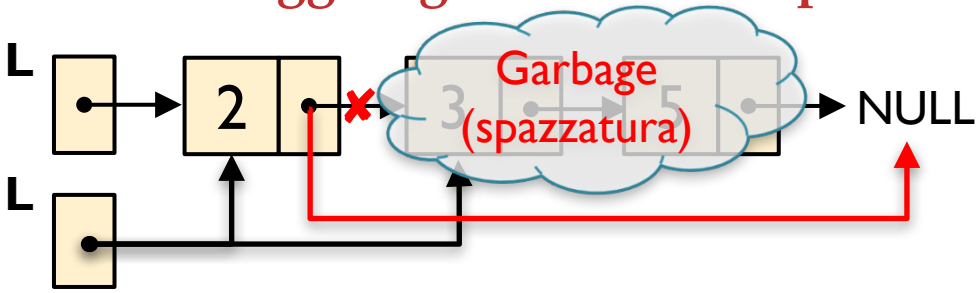
non fa niente!

Ma attenzione che:

```
void cutTail(lista L){
   L->next = NULL;
}
```

stacca la coda!

Infatti, anche se il **pointer di inizio lista è passato per valore**, tutta la **memoria raggiungibile** è di fatto **passata per indirizzo**.



Attenzione: ai side-effects

Possiamo comunque ottenere la coda della lista in due modi:

La funzione:

```
lista tail(lista L){
   return L->next;
}
```

va usata `L = tail(L)`!

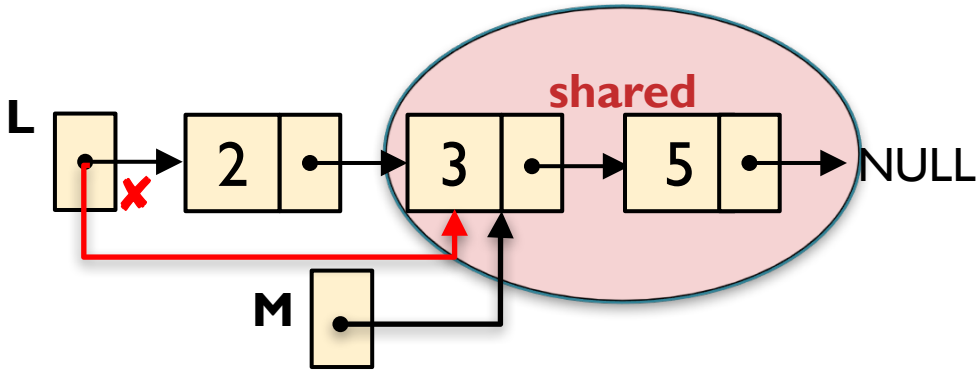
Attenzione che perdete il primo nodo!

`M = tail(L)` tiene due pointer alla lista originale (**con uno sharing tra M ed L**).

Oppure:

```
void tailRef(lista *L){
   *L = *L->next;
}
```

modifica direttamente `L`. Osservate che `L` è di tipo `listaNodo**`.



Ovviamente, c'è anche l'iterazione

Vista la natura induttiva delle liste, la **ricorsione**, usualmente si **presta meglio** a scrivere su programmi che manipolano e/o creano liste. Tuttavia, si possono scrivere programmi iterativi equivalenti. **In casi eccezionali, la versione ricorsiva è più facile**.

```
lista twiceLFunIt(lista L){
  lista lPtr=L;
  lista res=emptyList;
  while (lPtr){
      res = cons(2*head(lPtr), res);
      lPtr = lPtr->next;
      }
  return res;
  }
```

```
void twiceLIt(lista L){

    lista lPtr=L;
    while (lPtr){
     lPtr->val *= 2;
     lPtr = lPtr->next;
     }
 }
```

Figura 9: Funzione *twiceL* in C (versioni it[illegible]ive)

Si usa un pointer ausiliario per scorrere la lista

Attenzione tuttavia…

```
lista twiceLFunIt(lista L){
  lista lPtr=L;
  lista res=emptyList;
  while (lPtr){
      res = cons(2*head(lPtr), res);
      lPtr = lPtr->next;
      }
  return res;
  }
```

Questa funzione **è errata**! In quanto la lista `res` risultante **è rovesciata**!

con `L = [2, 3, 5]`

`res = [ ]` (inizializzazione)
`res = [4]` (1ma iterazione)
`res = [6, 4]` (2da iterazione)
`res = [10, 6, 4]` (3za iterazione)

Soluzioni:

- Usare aggiunta in coda invece di `cons` [**complessità $\mathcal{O}(n^2)$**]
- Ritornare `reverse(res)` [**complessità $\mathcal{O}(n)$**]
- Costruire direttamente il risultato "dritto" [**laborioso**]

Costruire la lista risultato "dritta"

```
int twiceFunIt(lista L){
     /* devo distinguere il caso vuoto */
   if (!L) return L;
     /* creo il primo nodo che va tornato */
   lista res = cons(2*L->val, NULL);
     /* non devo perdere la testa di res */
   lista aux = res;
   L = L-> next;
   while (L){
        /* creo il nuovo nodo e lo attacco */
      aux->next = cons(2*L->val, NULL);
        /* avanzo sulle liste */
      L = L->next;
      aux = aux->next;
   }
   return res;
}
```

Lezione 21c:

Programmi su Liste: aggiunta e concatenazione

Inserimento di elementi in coda

La funzione `cons` implementa il costruttore `:` e inserisce un elemento in testa a una lista. Per aggiungere in coda cominciamo con **specificare le funzioni** con **equazioni ricorsive**:

```
addTail   []   y = [y]
addTail (x:xs) y = x : addTail xs y
```

da cui si ricava immediatamente del codice C, traducendo `:` con `cons` e usando i distruttori per accedere alle componenti della lista (nella parte sinistra delle equazioni):

```
lista addTailFun(int x, lista L){
   if (!L) return cons(x, NULL);
   return cons(L->val,
               addTailFun(x, L->next);
}
```

Attenzione che questa funzione, usando ripetutamente `cons`, **alloca una nuova lista con un elemento in più in testa**.
Chiameremo queste funzioni con suffisso `Fun` (perché è il comportamento tipico dei **linguaggi funzionali**)

Inserimento di elementi in coda

Ovviamente possiamo scrivere una funzione che si limita a creare un nuovo nodo. Vediamo la versione ricorsiva:

```
lista addTailRec(int x, lista L){
      /* fa una sola chiamata a cons */
   if (!L) return cons(x, NULL);
   L->next = addTailRec(x, L->next);
   return L;
}
```

Ossevate che l'assegnazione `L->next=addTailRec(L->next,x)` **è sempre inutile tranne che nell'ultimo nodo** (quando `L->next` vale `NULL`), cioè nell'unico caso in cui effettivamente cambia la testa della lista risultato.

Stesso dicasi dell'uso della funzione. **Se sappiamo che `L` non è la lista vuota**, possiamo chiamare questa funzione semplicemente con `addTailRec(L, x)` in quanto essa in questo caso non modifica il puntatore di inizio lista. Altrimenti, occorre chiamarla riassegnando L: `L=addTailRec(L, x)`.

Inserimento iterativo in coda

Ovviamente possiamo scrivere una funzione iterativa: occorre posizionarsi sull'ultimo nodo (quindi **bisogna fermarsi in tempo!** Non bisogna arrivare al pointer `NULL`) e inserire il nuovo nodo.

```
int addTailIt(int x, lista L){
   lista lAux = L;
    /* creo il nuovo nodo da inserire */
   lista temp = cons(x, NULL);
   if (lAux){
       /* mi posiziono sull'ultimo nodo */
      while (lAux->next) lAux = lAux->next;
       /* aggancio l'ultimo nodo */
      lAux->next = tmp;
      return L;
   } else return temp;
      /* solo qui cambia la testa */
}
```

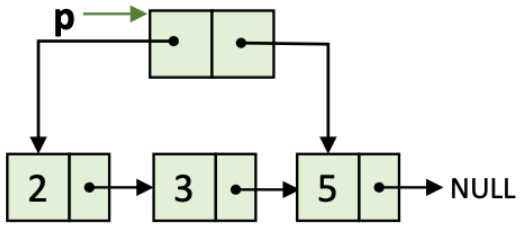
Scorro la lista, evitando di perdere la testa

Mi fermo sull'ultimo nodo, sapendo lAux non vuota

Se L è vuota, ritorno il nuovo nodo

Inserimento in coda in tempo costante

Per inserire in tempo costante, posso pensare a una versione evoluta delle liste, in cui una lista contiene due puntatori: uno alla testa e uno alla coda:



Ovviamente, per gestire correttamente questa struttura dati, occorre riprogrammare le funzioni di inserimento in testa e in coda, in modo che i due pointer (diciamo `p->first` e `p->last`) siano **sempre correttamente mantenuti**.

Osservate che in questo caso, **l'operazione "difficile" rimane per esempio la rimozione dell'ultimo elemento**: infatti il puntatore all'ultimo elemento non è sufficiente per risistemare il campo `next` del penultimo elemento a `NULL`.

Concatenazione di Liste

Cominciamo sempre con la specifica funzionale di una funzione che chiameremo append: si tratta di una funzione binaria e facciamo induzione sul primo parametro:

```
append    []    ys = ys
append (x:xs) ys = x : append xs ys
```

Al solito, modulo sintassi, possiamo immediatamente tradurre queste equazioni ricorsive in C ottenendo la versione `Fun` di `append` (o quasi ☺):

```
lista append(lista L, lista M){
   if (!L) return M;
   return cons(L->val, append(L->next, M));
}
```

In effetti, questa funzione **non merita il suffisso `Fun`**, perché?

Perché **si comporta in modo ibrido** e lascia la seconda lista inalterata. **`L=append(L, M)` crea uno sharing tra `M` ed `L`.**

Concatenazione di Liste

Per ottenere un vero comportamento funzionale, occorre ricopiare la lista `M`:

```
lista appendFun(lista L, lista M){
   if (!L) return copia(M);
   return cons(L->val, appendFun(L->next, M));
}
```

Dove `copia` è la funzione che genera una copia di una lista:

```
lista copia(lista L){
   if (!L) return L;
   return cons(L->val, copia(L->next);
}
```

Nel mondo incantato delle equazioni ricorsive **copy equivale alla funzione identità**, ma nella memoria di un calcolatore essa ha un effetto preciso, **generare una seconda copia di una lista**.

Concatenazione di Liste

Vediamo la versione che non alloca memoria. Usiamo la solita **tecnica di riassegnare il pointer `L->next` per trattare in modo uniforme** il caso in cui sono sull'ultimo nodo e quello in cui sono in mezzo alla prima lista:

```
lista appendRec(lista L, lista M){
   if (!L) return M;
   L->next = appendRec(L->next, M);
   return L;
}
```

Lasciamo per **Esercizio** la versione iterativa: è facilmente derivabile dalla funzione che fa l'aggiunta iterativa in coda in un nuovo elemento.

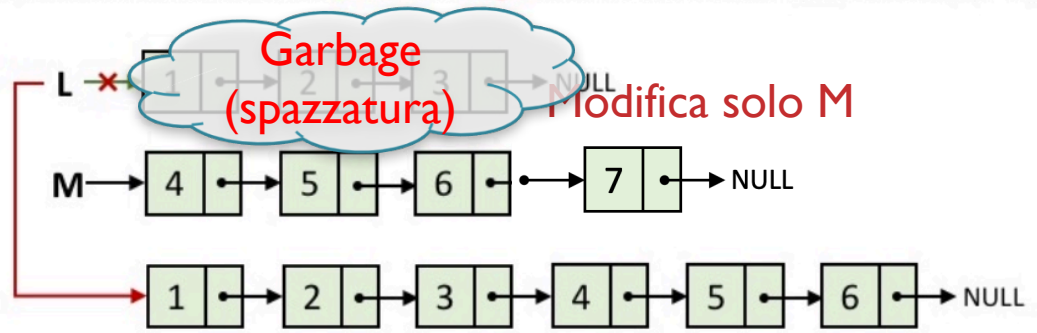
Concatenazione di Liste

È bene riflettere ancora una volta cosa accade in memoria usando le due funzioni viste:

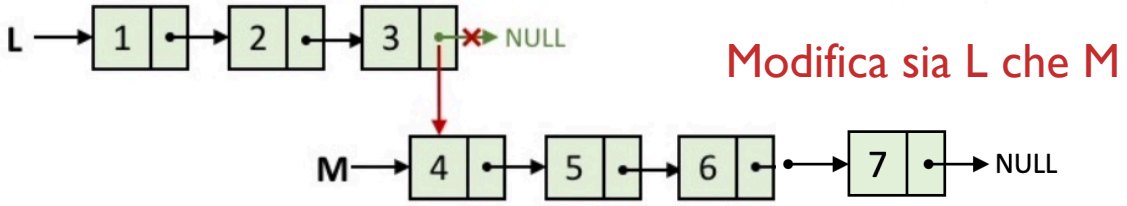
```
L = appendFun(L,M);
M = addTRec(M,7);
```

```
L = appendRec(L,M);
M = addTRec(M,7);
```

a) risultato in memoria ***prima*** e ***dopo*** l'esecuzione di `L=appendFun(L, M)`



b) risultato in memoria ***prima*** e ***dopo*** l'esecuzione di `L=appendRec(L, M);`



Problemi per casa (beh × casa 😔)

Provate a implementare le strutture dati Pila e Coda.

Fate vedere che per implementare una **pila**, le liste semplici sono abbastanza affinché le operazioni:

```
int pop(stack S);
void push(stack S, int x);
int isEmptyStack(stack S);
```

abbiano **complessità costante**.

★Fate vedere che per implementare una **coda**, le liste singolarmente concatenate ma con pointer a inizio e fine lista sono sufficienti affinché le operazioni:

```
int dequeue(queue Q);
void enqueue(queue Q, int x);
int isEmptyQueue(queue Q);
```

abbiano **complessità costante**.

Lezione 21

That's all Folks!

Grazie per l'attenzione…

…Domande?