Array dinamici e puntatori

Motivazioni

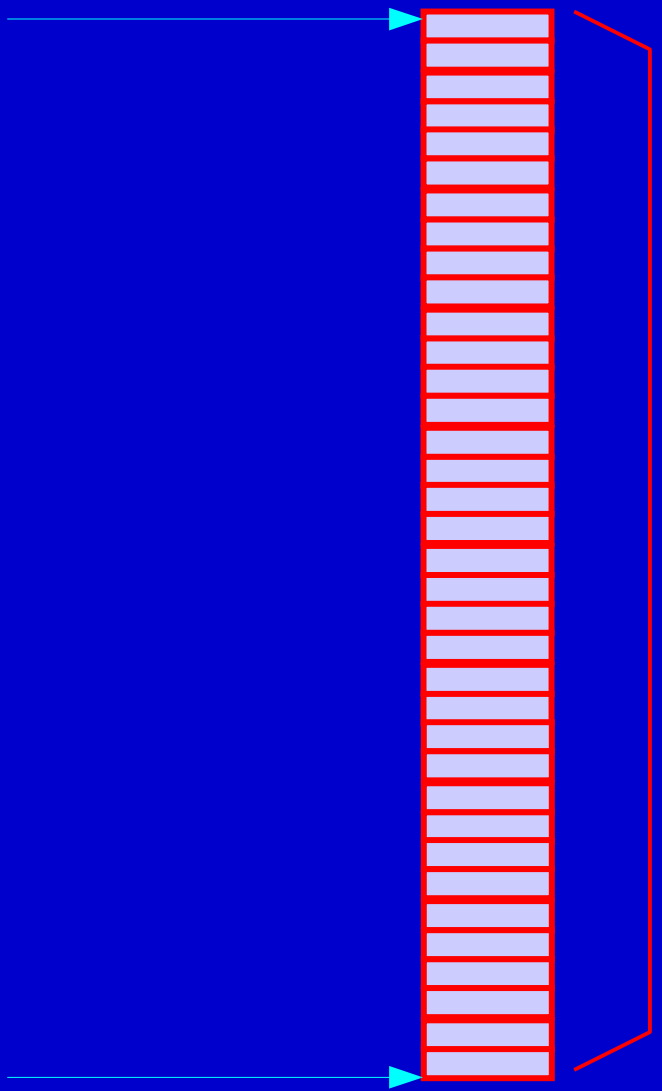
- Gli oggetti considerati finora devono essere completamente definiti (tipo, nome e dimensione) a tempo di scrittura del programma
- Ciò non costituisce un problema per gli oggetti di tipo primitivo, ma può essere limitativo per oggetti di tipo strutturato quali array e stringhe
  - talvolta non è possibile sapere a priori la quantità di dati da memorizzare/gestire
- Per superare la rigidità della definizione statica delle dimensioni, occorre un modo per **"allocare in memoria oggetti le cui dimensioni sono determinate durante l'esecuzione del programma"**
- Questo è possibile grazie al meccanismo di **allocazione dinamica della memoria**

Memoria libera

- Prima dell'inizio dell'esecuzione di un processo, il sistema operativo riserva ad esso un spazio di memoria di dimensioni predefinite
  - quello che finora abbiamo chiamato memoria del programma
  - locazioni consecutive di memoria (tipicamente da 1 byte l'una)
- Questo spazio di memoria è a sua volta organizzato in segmenti distinti
- Uno di questi segmenti è chiamato
  - memoria libera, memoria dinamica oppure heap
- E' possibile allocare oggetti all'interno della memoria dinamica in momenti arbitrari durante l'esecuzione del programma
  - ovviamente finché lo spazio non si esaurisce

Memoria libera

Indirizzo prima locazione della memoria libera, ad es.: 0xFFFF0000



Memoria libera

Indirizzo ultima locazione della memoria libera, mobile (come vedremo in seguito)

Allocazione dinamica

- Gli oggetti allocati in memoria dinamica sono detti **dinamici**
- In questa presentazione considereremo solo **array dinamici**
  - Array allocati in memoria dinamica durante l'esecuzione del programma
  - Come vedremo, il numero di elementi non è vincolato ad essere definito a tempo di scrittura del programma
- Come si alloca un array dinamico?
  - Mediante l'operatore new
- Come si accede ad un oggetto in memoria dinamica?
  - Come ogni altro oggetto è caratterizzato da un indirizzo nello spazio di memoria del processo
  - L'operatore new ritorna l'indirizzo dell'oggetto allocato in memoria dinamica

Operatore new

- Vediamo l'uso dell'operatore new solo per allocare array

```
new <nome_tipo> [<num_elementi>] ;
```

  - Alloca un array di <num_elementi> oggetti di tipo <nome_tipo>, non inizializzati (valori casuali)
  - <num_elementi> può essere un'espressione aritmetica **qualsiasi**

- Ad esempio

```
new int[10] ; // alloca un array dinamico
              // di 10 elementi
```

- Ma possiamo anche scrivere

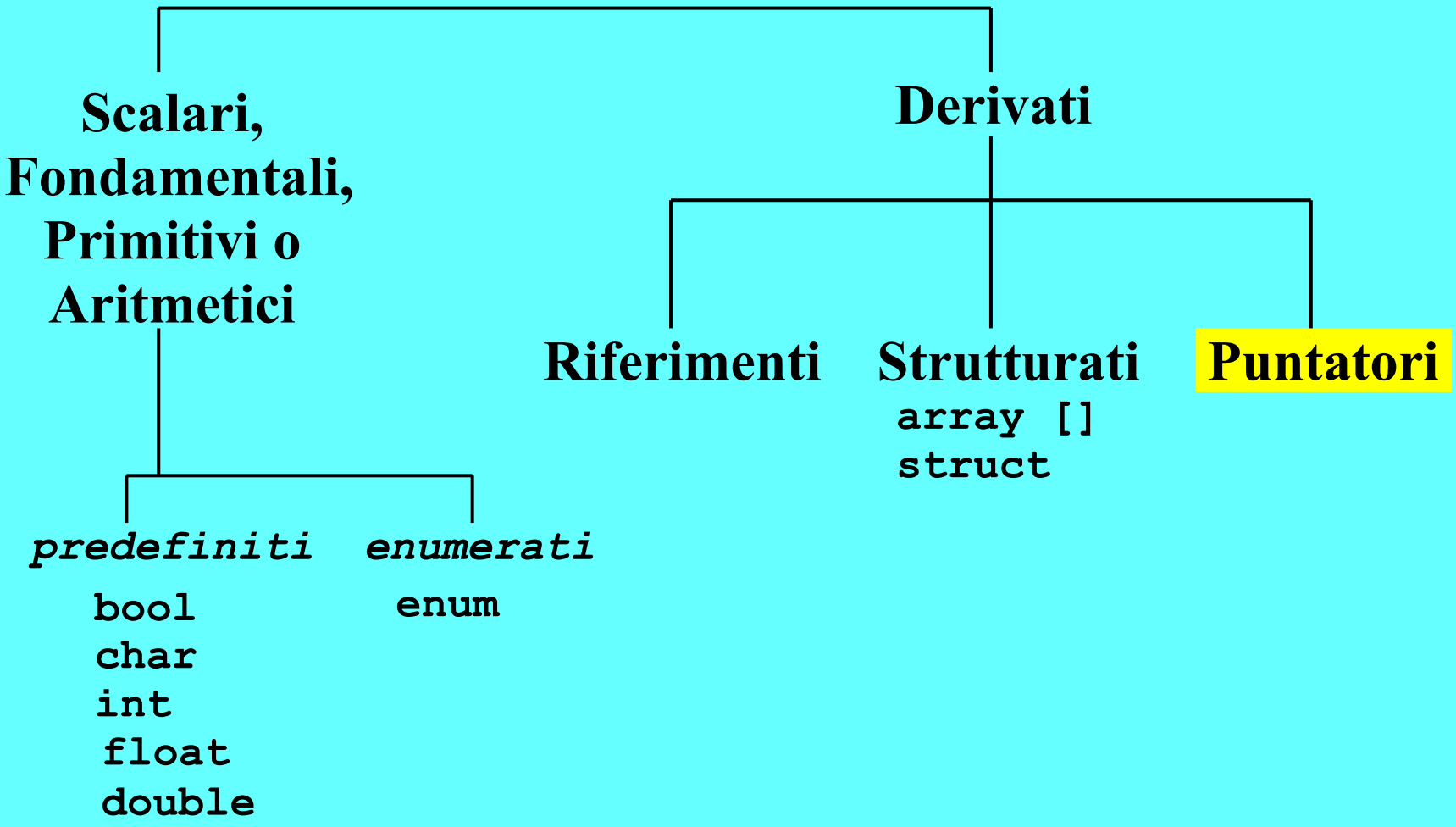
```
int a ; cin>>a;
new int[a] ; // alloca un array dinamico
             // di a elementi
```

Array dinamico allocato nello heap

Valore di ritorno dell'operatore new

- L'operatore **new** non ritorna un riferimento (nel senso di sinonimo) all'oggetto allocato
- Gli oggetti dinamici sono oggetti senza nome
- Come si fa per accedere a tali oggetti?
  - Come detto, l'operatore **new** ritorna l'indirizzo dell'oggetto allocato
- Possiamo accedere all'oggetto tramite tale indirizzo
- Ma dove lo memorizziamo?
  - Per memorizzare un indirizzo ci serve un oggetto di tipo puntatore

Tipi di dato


Scalari, Fondamentali, Primitivi o Aritmetici
Derivati
Riferimenti
Strutturati
array []
struct
Puntatori
predefiniti
bool
char
int
float
double
enumerati
enum

Puntatori

- Un oggetto di tipo puntatore ha per valore un indirizzo di memoria
- Le definizione di un oggetto puntatore ha la seguente forma

```
[const] <tipo_oggetto_puntato>
    * [const] <identificat.> [ = <indirizzo>];
```

- Il primo qualificatore `const` è presente se si punta ad un oggetto non modificabile
- Il secondo `const` è presente se il valore del puntatore, una volta inizializzato, non può più essere modificato
- Per definire un puntatore inizializzato con l'indirizzo di un array dinamico di *N* elementi:

```
int * p = new int [N] ;
```

Indirizzo array dinamico

Accesso agli elementi

- Accesso agli elementi di un array dinamico
  - Possibile in modo identico agli array statici
  - selezione con indice mediante parentesi quadre
  - gli indici partono da 0

Proviamo ...

- Scrivere un programma che
  - Allochi un array dinamico di interi, di dimensioni lette da *stdin*
  - Lo inizializzi
  - Lo stampi
- Soluzione: parte dell'esempio seguente ...

Esempi di accesso agli elementi

```
main()
{
   int N ;
   cin>>N ;

   int * p = new int [N] ;

   for (int i = 0 ; i < N ; i++)
       p[i] = 0 ; // inizializzazione

   cout<<p[0]<<endl ;

   cin>>p[N] ; // Esempio di: ERRRORE LOGICO
               // E DI ACCESSO ALLA MEMORIA
}
```

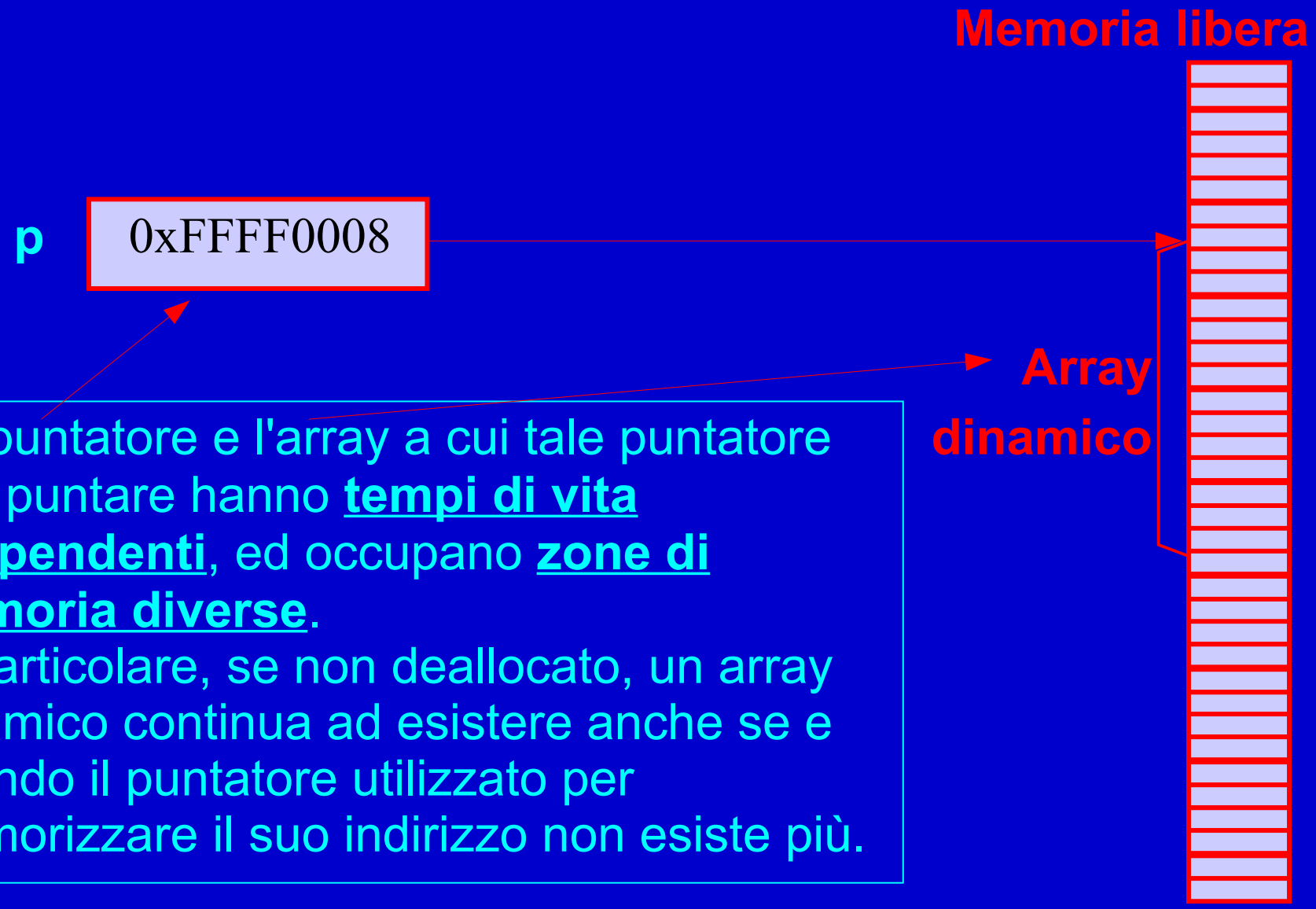
Valori, operazioni, tempo di vita

- Un oggetto di tipo puntatore
  - Ha per valori un sottoinsieme dei numeri naturali
    - un puntatore che contenga 0 (NULL in C) viene detto puntatore nullo
  - Prevede operazioni correlate al tipo di oggetto a cui punta
    - A PARTE L'ASSEGNAMENTO, NON VEDREMO ALTRE OPERAZIONI CON I PUNTATORI
  - Segue le stesse regole di tempo di vita di un qualsiasi altro tipo di oggetto
- I riferimenti ad un oggetto di tipo puntatore (compreso il riferimento di default, ossia il nome dell'oggetto) seguono le stesse regole di visibilità di tutti gli identificatori

Tempo di vita di un array dinamico

- **Torniamo agli array dinamici**
- **NON CONFONDETE UN PUNTATORE CON L'ARRAY A CUI PUNTA !!!**
- **Il puntatore serve solo a mettere da parte l'indirizzo dell'array per potervi poi accedere in un secondo momento**
- **Una volta allocato, un array dinamico esiste fino alla fine del programma (o fino a che non viene deallocato, come stiamo per vedere)**
  - Anche se non esistesse più il puntatore che contiene il suo indirizzo !!!

Puntatore ed array in memoria



Un puntatore e l'array a cui tale puntatore può puntare hanno **tempi di vita indipendenti**, ed occupano **zone di memoria diverse**.
In particolare, se non deallocato, un array dinamico continua ad esistere anche se e quando il puntatore utilizzato per memorizzare il suo indirizzo non esiste più.

Deallocazione array dinamico

- **Si può deallocare esplicitamente un array dinamico, ossia liberare lo spazio da esso occupato nella memoria dinamica, mediante l'operatore**

```
delete[] <indirizzo_oggetto_da_deallocare>
```

Operatore delete [ ]

- Prende per argomento l'indirizzo dell'array da deallocare
  Es.:

```
int * p = new int[10] ;
delete [] p ; // dealloca l'array dinamico
              // puntato da p
```

- Può essere applicato solo all'indirizzo di un array dinamico allocato con l'operatore `new`
  - Altrimenti si ha un errore di gestione della memoria
  - Se si è fortunati, l'errore è segnalato durante l'esecuzione del programma
- Può essere applicato anche al puntatore nullo, nel qual caso non fa nulla e non genera errori

Esempio

```
main()
 {
   int vector[15]; // spazio per 15 interi
   int *dynVect;   // spazio per il puntatore, non l'array !

  int k ;
   cout<<"Inserire la dimensione desiderata del vettore\n";
   cin>>k ;
   dynVect = new int [k];

   /* ora è possibile usare liberamente sia vector sia
      dynVect come array, lunghi 15 e k, rispettivamente */

  for (int i=0;i<k;i++)    dynVect[i] = i*i;
  for (int i=0;i<15;i++)   vector[i] = 2*i;

  delete [] dynVect; // necessaria?
 }
```

Esercizi

- ***crea_riempi_distruggi_array.cc***

Passaggio alle funzioni

- **Passaggio di un array dinamico ad una funzione**
  - **Possibile in modo identico agli array statici**
    - **Oltre che**
      `[const]<nome_tipo> identificatore []`
      il parametro formale può essere dichiarato
      `[const]<nome_tipo> * identificatore`
  - **Le dimensioni dell'array passato come parametro attuale non sono implicitamente note alla funzione chiamata**
  - **Il passaggio dell'array è per riferimento**
  - **Usare il qualificatore `const` se si vuole evitare modifiche**

Riferimenti e puntatori 1/2

- Ora possiamo dire cosa viene effettivamente passato ad una funzione che prende in ingresso un array, tanto statico quanto dinamico
- Le viene passato **l'indirizzo dell'array**
  - O se vogliamo **l'indirizzo del primo elemento** dell'array
- Quindi le definizioni

  `[const]<nome_tipo> identificatore []`

  oppure

  `[const]<nome_tipo> * identificatore`

  sono di fatto definizioni di un parametro formale di tipo puntatore
- All'atto della chiamata il parametro formale viene inizializzato con l'indirizzo dell'array

Riferimenti e puntatori 2/2

- A livello di linguaggio non si tratta quindi di un passaggio per riferimento, ma di un passaggio **per valore**
  - Il parametro formale contiene infatti una copia dell'indirizzo dell'array
- Ma proprio siccome il parametro formale contiene (una copia de) l'indirizzo dell'array, allora tramite il parametro formale si accede esattamente all'array il cui indirizzo è passato come parametro attuale
- Quindi ogni modifica effettuata all'array puntato dal parametro formale si riflette sull'array di cui si è passato l'indirizzo
- Ecco perché a livello logico possiamo affermare che si tratta a tutti gli effetti di un passaggio per riferimento di un array

Ritorno da parte delle funzioni

- Una funzione può ritornare l'indirizzo di un array dinamico
- Il tipo di ritorno deve essere

```
[const] <nome_tipo> *
```

Esercizio 1 (*Specifica*)

- **Scrivere un programma che utilizzi una funzione per leggere da input un certo numero di valori *int* e li inserisca in un *array* allocato dinamicamente dalla funzione stessa.**

  La funzione deve restituire al *main*() il puntatore all'array dinamico creato. Stampare poi l'*array* nel *main()*

Esercizio 1 (*Algoritmo della funzione*)

- E' necessario chiedere in input il numero di valori che si vogliono inserire
- Si alloca un array dinamico della dimensione richiesta
- Si scandisce tutto il vettore, inserendo elemento per elemento

Esercizio 1 (*Rappresentazione informazioni*)

- Serve un puntatore a int sia nella funzione sia nel main()
- Serve una variabile int per memorizzare la dimensione presa da input
- Serve un int come indice per scandire l'array

Esercizio 1 (*Programma*)

```
int* creaVett(void)
  {
     int num ;
     cout<<"Quanti valori? ";  cin>>num;
     int *v = new int[num] ;
     for (int i=0; i<num; i++)
      { cout<<"v["<<i<<"]="; cin>>v[i] ; }
     return v;
  }

main()
  {
    int *pv;
    pv = creaVett();
    // come si fa
    // a stampare l'array?
    delete [] pv ;
  }
```

Non si sa quanti elementi abbia l'array. Il *main()* e altre eventuali funzioni non potrebbero utilizzare l'*array* senza sapere la dimensione. Per poter usare l'array, il programma va esteso ...

Esercizio 1 (*Programma corretto*)

```
int* creaVett(int &num)
  {
     cout<<"Quanti valori? ";  cin>>num;
     int *v = new int[num] ;
     for (int i=0; i<num; i++)
     { cout<<"v["<<i<<"]="; cin>>v[i] ; }
     return v;
  }

main()
  {
    int *pv, dim;
    pv = creaVett(dim);
    for (int i=0; i<dim; i++)
       cout<<pv[i]<<endl ;
    delete [] pv ;
  }
```

In questo modo, il *main()* può accedere propriamente agli elementi dell'array

Esercizio 1 (*Programma alternativo*)

```
void creaVett(int * &v, int &num)
  {
     cout<<"Quanti valori? ";  cin>>num;
     v = new int[num] ;
     for (int i=0; i<num; i++)
     { cout<<"v["<<i<<"]="; cin>>v[i] ; }
  }

main()
  {
    int *pv, dim;
    creaVett(pv, dim);
    for (int i=0; i<dim; i++)
       cout<<pv[i]<<endl ;
    delete [] pv ;
  }
```

Versione (concettualmente più complessa) con due parametri che riportano sia l'array sia la sua dimensione. La funzione deve restituire l'array attraverso un parametro passato per riferimento. Poiché il tipo dell'array è un puntatore a int (cioè, int *), il tipo del parametro è un riferimento a puntatore a int

Riferimento a puntatore

- **Tipo derivato**
- **Il tipo di partenza è un puntatore**
- **Definizione**

```
[const]<nome_tipo> * & <identificatore> ;
```

Esercizio 2

- **Scrivere una funzione *vett_copy(...)* che prenda in ingresso un array di interi, ne crei un altro uguale, e ritorni (l'indirizzo del) secondo array mediante un parametro di uscita (un parametro quindi di tipo riferimento a puntatore)**

Esercizio 2

```
void vett_copy(const int* v1, int num,
                int*& pv2)
 {
   pv2 = new int[num] ;
   for (int i=0; i<num; i++)
        pv2[i] = v1[i];
 }
 main()
  { int vettore[] = {20,10,40,50,30};
    int* newVet = 0 ;
    vett_copy(vettore, 5, newVet);
    delete [] newVet ;
  }
```

Esempio puntatore ad array costante

```
main()
{
   int N ;
   cin>>N ;
   int * p = new int [N] ;
   int * q = p ; // q punta allo stesso array
   const int * r = q ; // r punta allo stesso array,
                       // ma tramite r non lo si potrà
                       // modificare
   cin>>q[0] ; // corretto
   cin>>r[0] ; // errore segnalato a tempo di
               // compilazione: non si può utilizzare
               // r per cambiare valore all'array
}
```

Esempio puntatore costante

```
main()
{
  int N ;
  cin>>N ;
  int *p ;

  p = new int [N] ;
  int * const s = p ; // s punta allo stesso array
                      // e non potrà cambiare valore
  p = new int [N] ; // d'ora in poi p punta ad un
                    // diverso array, l'unico
                    // riferimento al precedente è
                    // rimasto s
  s = p ; // ERRORE: s non può cambiare valore

}
```

Riassunto qualificatore *const*

- Un puntatore ad array dinamico costante non può essere utilizzato per modificare il valore degli elementi dell'array
- Una variabile di tipo puntatore può essere (ri)assegnata in ogni momento
  - Una costante di tipo puntatore invece può essere solo inizializzata
  - Questo può evitare gli errori pericolosi che vedremo tra qualche slide

Flessibilità e problemi seri

- Una variabile di tipo puntatore è come una variabile di un qualsiasi altro tipo
- Quindi può essere utilizzata anche se non inizializzata !!!!
  - Errore logico e di accesso/gestione della memoria
- Inoltre può essere (ri)assegnata in ogni momento
- Infine più di un puntatore può puntare allo stesso oggetto
  - Quindi possono esservi effetti collaterali
- Ma anche di peggio ...

Problema serio: dangling reference

- Dangling reference (pending pointer)
  - Si ha quanto un puntatore punta ad una locazione di memoria in cui non è presente alcun oggetto allocato
  - Tipicamente accade perché il puntatore non è stato inizializzato, o perché l'oggetto è stato deallocato

Puntatore non inizializzato

```
main()
{
   int N ;
   cin>>N ;
   int *p ; // p contiene un valore casuale

   cin>>p[0] ; // ERRORE LOGICO E DI GESTIONE DELLA
               // MEMORIA: p non è stato
               // inizializzato/assegnato
               // all'indirizzo di alcun array
               // dinamico
}
```

Oggetto deallocato

```
main()
{
   int N ;
   cin>>N ;
   int * p = new int [N] ;
   delete [] p ;
   cout<<p[0]<<endl ; // ERRRORE LOGICO
                      // E DI ACCESSO ALLA MEMORIA
}
```

Per ridurre i problemi

- **Ovunque possibile, utilizzare perlomeno puntatori costanti**
  Es:

```
int dim ;
cin>dim ;
int * const p = new int[dim] ;
```

- **Così siamo costretti ad inizializzarli e non possiamo riassegnarli ad altri array o magari a puntatori pendenti**

Esaurimento memoria

- In assenza di memoria libera disponibile, l'operatore *new* fallisce
  - viene generata una eccezione
  - se non gestita, viene stampato un messaggio di errore ed il programma termina
- Se si vuole, si può
  - gestire l'eccezione

  oppure
  - "agganciare" il fallimento dell'operatore ad una propria funzione
    - Tale funzione verrà invocata in caso di fallimento
- Non vedremo nessuna delle due soluzioni, quindi i nostri programmi semplicemente termineranno in caso di esaurimento della memoria

Problema serio: memory leak

- Esaurimento **inaspettato** della memoria causato da mancata deallocazione di oggetti non più utilizzati
  - Spesso correlato con la perdita di riferimenti all'oggetto stesso

Esempio di memory leak

```
void fun()
{
  int N ;
  cin>>N ;
  int * p = new int [N] ;
}
main()
{
  fun() ;
  // nel main p non è visibile, ma una volta invocata
  // fun(), l'array rimane in memoria; inoltre, una
  // volta terminata fun() si è perso ogni
  // riferimento all'array, quindi, tra l'altro, non
  // si può più deallocarlo !
  ...
}
```

Stringhe dinamiche

- **E' possibile allocare array dinamici di oggetti di qualsiasi tipo**
  - ***Come si alloca una stringa dinamica?***
  - ***Come si alloca una array di struct?***

Allocazione stringa dinamica

- ***Stringa di 10 caratteri***:

```
char * const str  =  new char[11] ;
```

- ***Stringa di dimensione definita da stdin***:

```
int dim ;
cin>>dim ;
char * const str  = new char[dim+1];
```

Allocazione di array di struct

```
struct persona
   {
     char nome_cognome[41];
     char codice_fiscale[17];
     float stipendio;
   } ;
persona * const t = new persona[10] ;
```

Matrici dinamiche

- Una matrice è un array di array
- Quindi una matrice dinamica è un array dinamico di array
  - Ogni elemento dell'array dinamico è a sua volta un array
  - Le dimensioni degli array componenti devono essere specificate a tempo di scrittura del programma
- Esempio di puntatore ed allocazione matrice bidimensionale di n righe e 10 colonne:

```
int (*p)[10] = new int[n][10] ;
```

- Deallocazione:

```
delete [] p ;
```

Riepilogo

- Ingredienti fondamentali per la gestione degli array dinamici:
  - **Operatore new**
  - **Operatore delete[]**
  - **Tipo di dato puntatore**