

Capitolo 16

Array dinamici

Puntatori

Compendio array statici

Riferimenti a puntatori

Problemi di gestione della memoria

Matrici Dinamiche



UNIMORE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

Da oggetti statici a dinamici

- La dimensione di tutti gli oggetti (concreti) considerati finora deve essere definita a tempo di scrittura del programma
- Talvolta però non è possibile sapere a priori la quantità di dati da memorizzare/gestire
- Per superare la rigidità della definizione statica delle dimensioni, occorre un meccanismo per allocare in memoria oggetti le cui **dimensioni sono determinate durante l'esecuzione del programma**
- Questo è esattamente quello che si riesce a fare mediante il meccanismo di **allocazione dinamica della memoria**

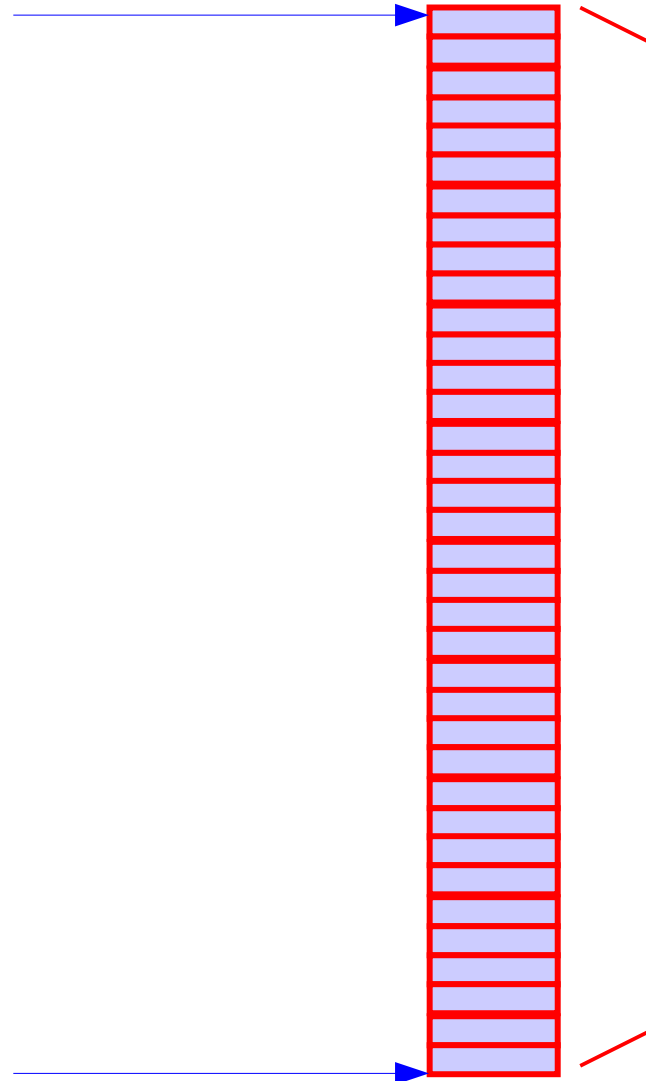
Memoria dinamica 1/2

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

Memoria dinamica 2/2

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

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



**Memoria
dinamica**

Oggetti dinamici

- 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 di tali array non è vincolato ad essere definito a tempo di scrittura del programma

Operatore new

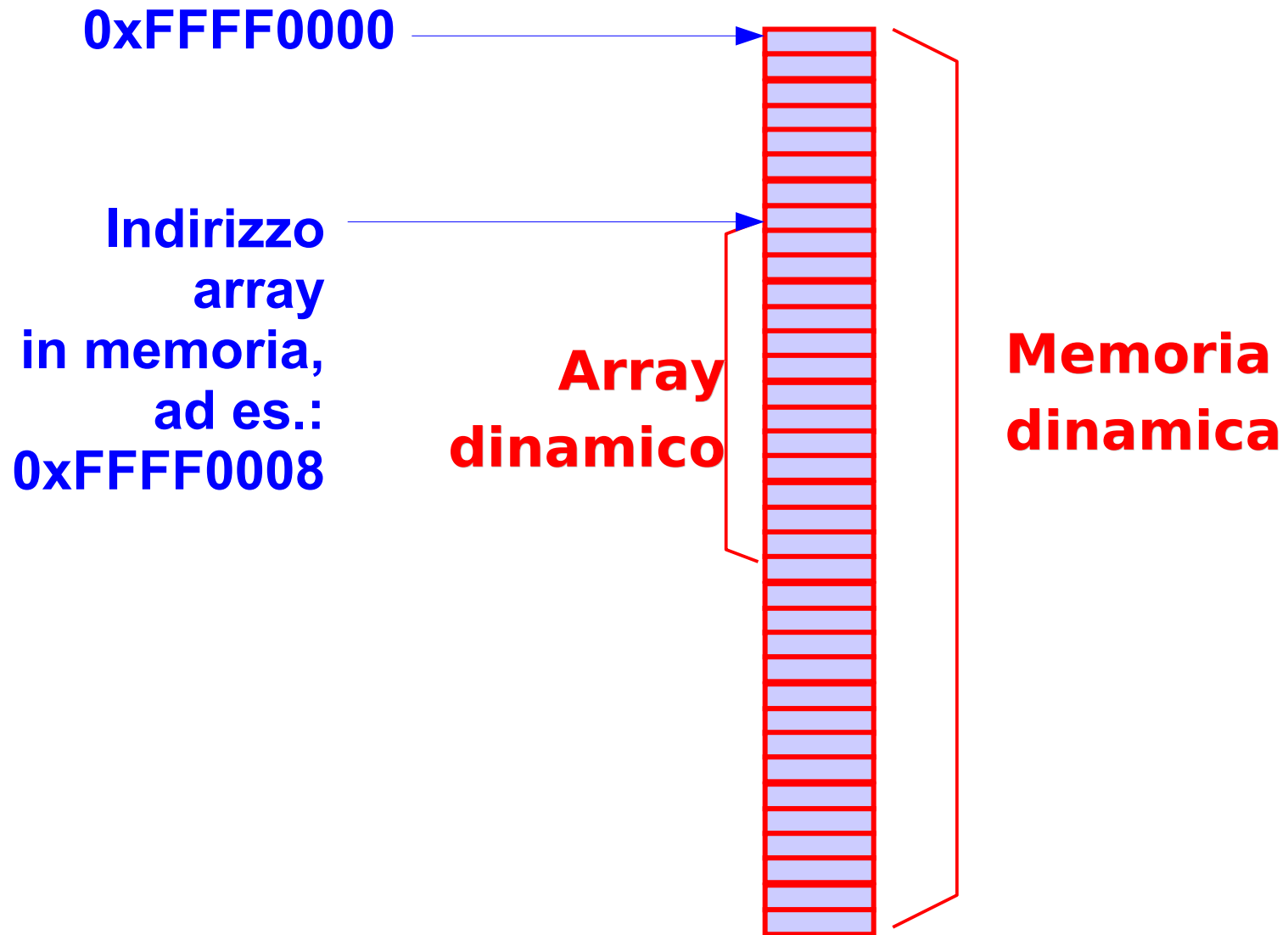
- Un array dinamico può essere allocato mediante l'operatore **new**

```
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:

```
int a ; do cin>>a ; while (a <= 0) ;  
new int[a] ; // alloca un array dinamico  
                // di a elementi
```

Allocazione nello heap



Oggetti senza nome

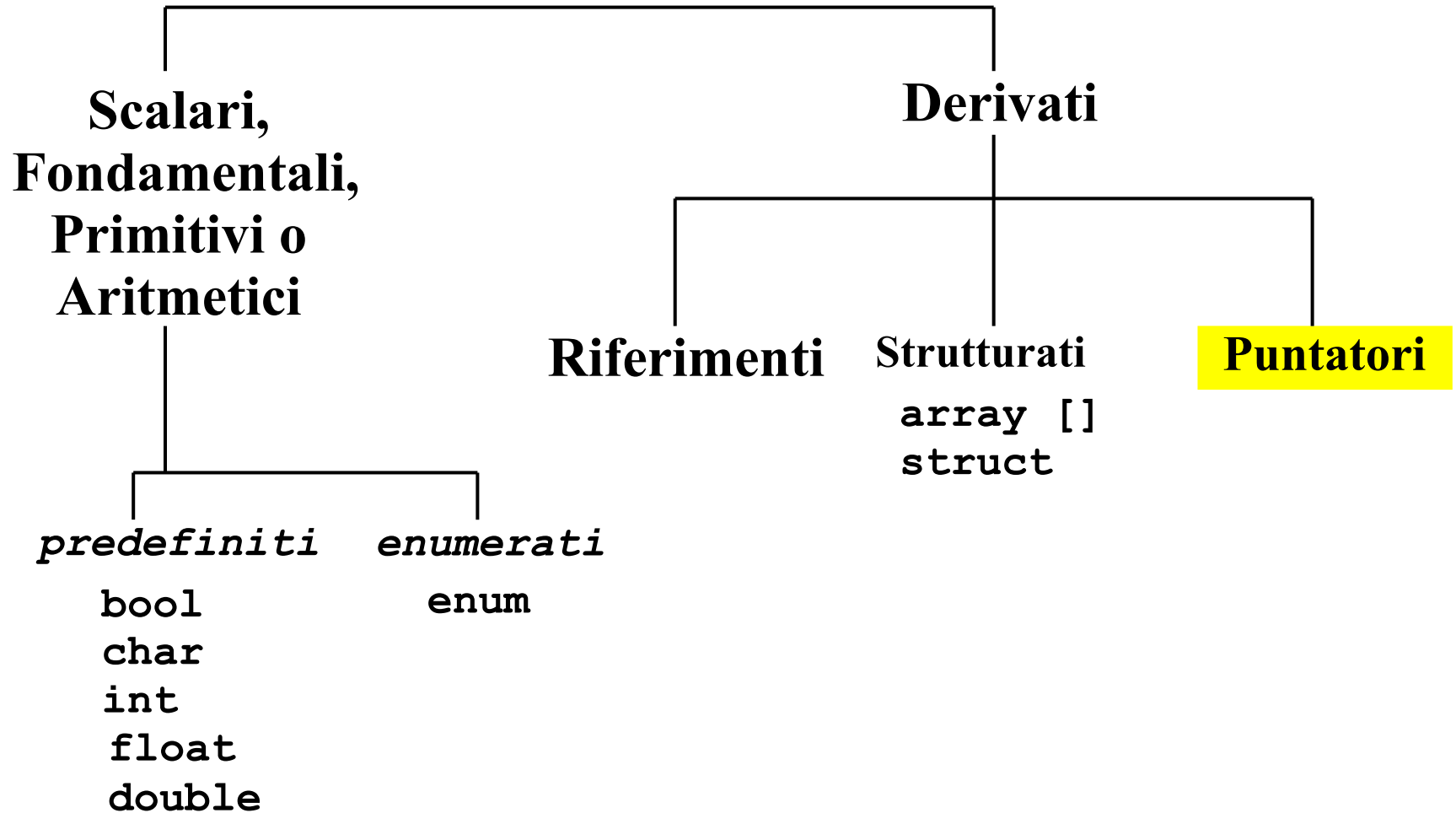
- L'operatore **new** può essere utilizzato per allocare oggetti dinamici di ogni tipo, ma per ora noi vedremo solo il caso degli array dinamici
- Gli elementi dell'array dinamico hanno **valori casuali**
- L'operatore **new** non ritorna un riferimento (nel senso di nome o sinonimo) all'oggetto allocato
- Gli oggetti dinamici sono **oggetti senza nome**
- Come si fa per accedere a tali oggetti?
- In generale, quale informazione ci serve per accedere ad un oggetto?

- Il suo **indirizzo**

Ritorno operatore new

- L'operatore `new` ritorna proprio l'**indirizzo dell'oggetto allocato**
- Possiamo quindi accedere all'oggetto tramite tale indirizzo
- Ma per farlo dobbiamo prima memorizzare tale indirizzo da qualche parte
- Dove lo memorizziamo?
 - Ci serve un oggetto di tipo **puntatore**

Tipi di dato



Puntatori

- Un oggetto di tipo puntatore ha per valore un indirizzo di memoria (che non è altro che un numero naturale)
- Le definizioni di un oggetto puntatore ha la seguente forma

```
[const] <tipo_oggetto_puntato>  
    * [const] <identificatore> [ = <indirizzo> ] ;
```

- Il primo qualificatore **const** va inserito se il puntatore deve puntare ad un oggetto non modificabile
- Il secondo **const** va inserito se il valore del puntatore, una volta inizializzato, non deve più essere modificato
- Per definire un puntatore inizializzato con l'indirizzo di un array dinamico di N elementi di tipo **int**:

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

Indirizzo array dinamico

0xFFFF0000

p

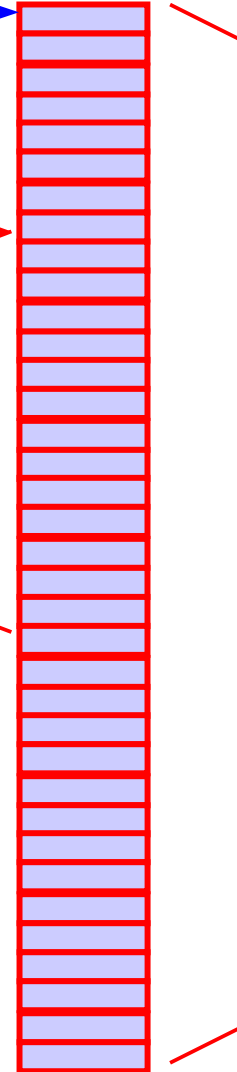
0xFFFF0008

p è inizializzato con il valore ritornato da new, ossia con l'indirizzo dell'array dinamico

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

Array dinamico

Memoria dinamica



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 (con i valori che preferite)
 - Lo stampi
- Soluzione: parte dell'esempio seguente ...

Esempio accesso agli elementi

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

    int * p = new int [N] ;

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

    cout<<p[0]<<endl ; // stampo primo elemento

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


Corretto?

```
main()  
{  
    int N ;  
    int * p = new int [N] ;  
    cin>>N ;  
}
```

Risposta

- No, perché **N** non è ancora stato letto da *stdin*
- Il numero di elementi dell'array non è uguale al numero che sarà letto da *stdin*
- Al contrario, è un numero casuale

Corretto?

```
main()
{
    int N ;
    cin>>N ;
    new int [N];
    int * p = new int [N] ;
}
```

- No, perché alloca due array dinamici
- Poi ne può usare solo uno
 - Perché viene memorizzato l'indirizzo solo di uno dei due
- L'altro array è inutilizzabile

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
}
```

Puntatore costante

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

    int *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
}
```

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'ASSEGNAIMENTO E L'ACCESSO AGLI ELEMENTI DI UN ARRAY DINAMICO, NON VEDREMO ALTRE OPERAZIONI CON I PUNTATORI
 - Segue le stesse regole di tempo di vita di un qualsiasi altro tipo di oggetto
- Il riferimento di default ad un oggetto di tipo puntatore, ossia il nome dell'oggetto, segue le **stesse regole di visibilità di qualsiasi altro identificatore**

Tempo di vita 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 poter poi accedere ALL'ARRAY STESSO
- Una volta allocato, un array dinamico esiste fino alla fine del programma (o fino a che non viene deallocato, come stiamo per vedere)
 - L'array continua ad esistere anche se non esiste più il puntatore che contiene il suo indirizzo !!!

Puntatore ed array in memoria

Memoria dinamica

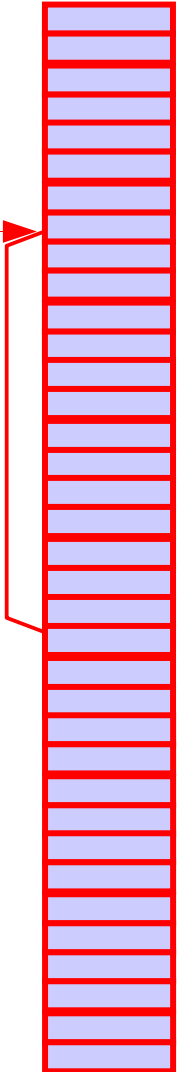
Puntatore

0xFFFF0008

Array dinamico

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

Esempio:

```
int * p = new int[10] ;  
delete [] p ;    // dealloca l'array dinamico  
                // a cui punta 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?
}
```

Esercizio

- Dalla decima esercitazione:
 - *crea_riempi_distruggi_array.cc*
- Videoregistrazione:
<https://meet.google.com/wya-bybk-iio?hs=122&authuser=4>

Passaggio alle funzioni 1/2

- Passaggio di un array dinamico ad una funzione:
 - Stessa sintassi utilizzata per gli array statici
 - Oltre che
 - [**const**] <nome_tipo> <identificatore> []
il parametro formale può essere dichiarato così
 - [**const**] <nome_tipo> * <identificatore>
 - Queste due sintassi sono perfettamente equivalenti
 - Entrambe si possono utilizzare sia per gli array statici che per gli array dinamici

Passaggio alle funzioni 2/2

- 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

Domanda

- Quale importante fatto possiamo provare a dedurre dall'equivalenza delle due possibili sintassi per un parametro formale di tipo array?

Riferimenti e puntatori

- Entrambe le notazioni dichiarano un puntatore
 - La notazione con le parentesi quadre è un puro ausilio sintattico, per mettere in evidenza il passaggio di un array
- Ciò che viene effettivamente passato quando si passa un array, statico o dinamico, è l'indirizzo dell'array
- Quindi, a livello di linguaggio, il passaggio di un array (statico o dinamico) non è per riferimento, ma per valore
- Il parametro formale conterrà una copia dell'indirizzo dell'array
- Ma pertanto, 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, si tratta di un passaggio per riferimento di un array

Domanda

- Abbiamo scoperto che una funzione a cui passiamo un array si aspetta di fatto l'indirizzo del primo elemento dell'array
- Cosa ne deduciamo quindi sul contenuto del parametro attuale che utilizziamo quando passiamo un array?

Risposta

- Tale parametro attuale deve contenere quindi l'indirizzo del primo elemento dell'array
- Questo vale
 - sia che si tratti di un array dinamico, e quindi passiamo come parametro attuale un puntatore al primo elemento
 - sia che si tratti di un array statico, e quindi passiamo come parametro attuale il nome dell'array
- Cosa ne possiamo dedurre sull'uso del nome di un array?

Nome array statico ed indirizzo

- Scrivere il nome di un array statico
 - equivale a scrivere l'indirizzo del primo elemento dell'array
- Ecco perché non hanno senso assegnamenti tra array.
Ad esempio

```
int a[5], b[5];
```

```
...
```

```
a = b; // significherebbe chiedere di assegnare  
       // l'indirizzo di b all'indirizzi di a
```

Ritorno da parte di funzioni

- Una funzione può ritornare l'indirizzo di un array dinamico
- Il tipo di ritorno deve essere
`[const] <nome_tipo> *`

Domanda

- Considerate una funzione che alloca un array dinamico e ne memorizza l'indirizzo in una variabile locale di tipo puntatore

```
int * fun() {  
    int * p = new int[10] ;  
    return p ;  
}
```

- Tale puntatore viene deallocato al termine della funzione
- Alla luce di questa considerazione tale funzione può comunque ritornare l'array dinamico senza problemi?

- Sì
- Perché l'array dinamico **non viene deallocato** alla fine della funzione
 - Il tempo di vita del puntatore in cui viene memorizzato l'indirizzo dell'array dinamico all'interno della funzione
 - Non ha niente a che fare col tempo di vita dell'array dinamico
- L'array dinamico rimane in memoria fino a quando non viene esplicitamente deallocato (o fino alla fine del programma stesso)

Esercizio

- Scrivere un programma che utilizzi una funzione per leggere da *stdin* un numero di valori di tipo `int` fornito a tempo di esecuzione del programma, ed inserisca tali valori in un array allocato dinamicamente dalla funzione stessa
- La funzione deve restituire al `main()` l'indirizzo del primo elemento dell'array dinamico creato. Stampare poi l'array nel `main()`
- Vediamo assieme un prima proposta di algoritmo, struttura dati e programma

Algoritmo e struttura dati

- Algoritmo
 - Si chiede il numero di valori che si vogliono inserire
 - Si alloca un array dinamico della dimensione richiesta
 - Si inseriscono i valori nell'array
- Struttura dati
 - 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

Proposta programma 1/2

```
int* creaVett(void)
{
    int num ;
    cout<<"Quanti valori? ";
    cin>>num; // trascuriamo il controllo per brevità
    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 ;
}
```

Proposta programma 2/2

```
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 ;
}
```

Al termine della funzione non si sa più 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

- Estendere opportunamente il programma e scrivere anche il codice di stampa del contenuto dell'array

Programma

```
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 correttamente agli elementi dell'array

Riferimento a puntatore

- Come sappiamo, il riferimento è un tipo derivato
 - Dato un tipo di partenza, si può definire un riferimento a tale tipo
- Se il tipo di partenza è un puntatore, allora un riferimento ad un oggetto di tipo puntatore si definisce come segue:

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

- Se fate fatica a comprendere il concetto, considerate che un tipo puntatore è sostanzialmente equivalente ad un tipo intero senza segno
 - Un puntatore contiene un numero naturale
- Quindi un riferimento ad un puntatore è sostanzialmente un riferimento ad un intero senza segno

Esempio 1/2

- Come esempio vediamo un modo alternativo di scrivere il precedente programma
- Per ritornare l'indirizzo dell'array allocato nella funzione, memorizziamo tale indirizzo in un parametro di uscita
- Per contenere tale indirizzo il parametro deve essere un puntatore
- Ma per poter modificare il valore del parametro attuale passato alla funzione e memorizzarvi dentro l'indirizzo dell'array
 - il parametro formale dovrà essere di tipo riferimento
- In definitiva, il parametro formale deve essere proprio un riferimento a puntatore

Esempio 2/2

```
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.

Esercizio per casa

- Scrivere una funzione 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). La funzione non legge niente da *stdin* e non scrive niente su *stdout*.
- Se ci riuscite, realizzate la funzione dichiarandola con tipo di ritorno `void`

Programma

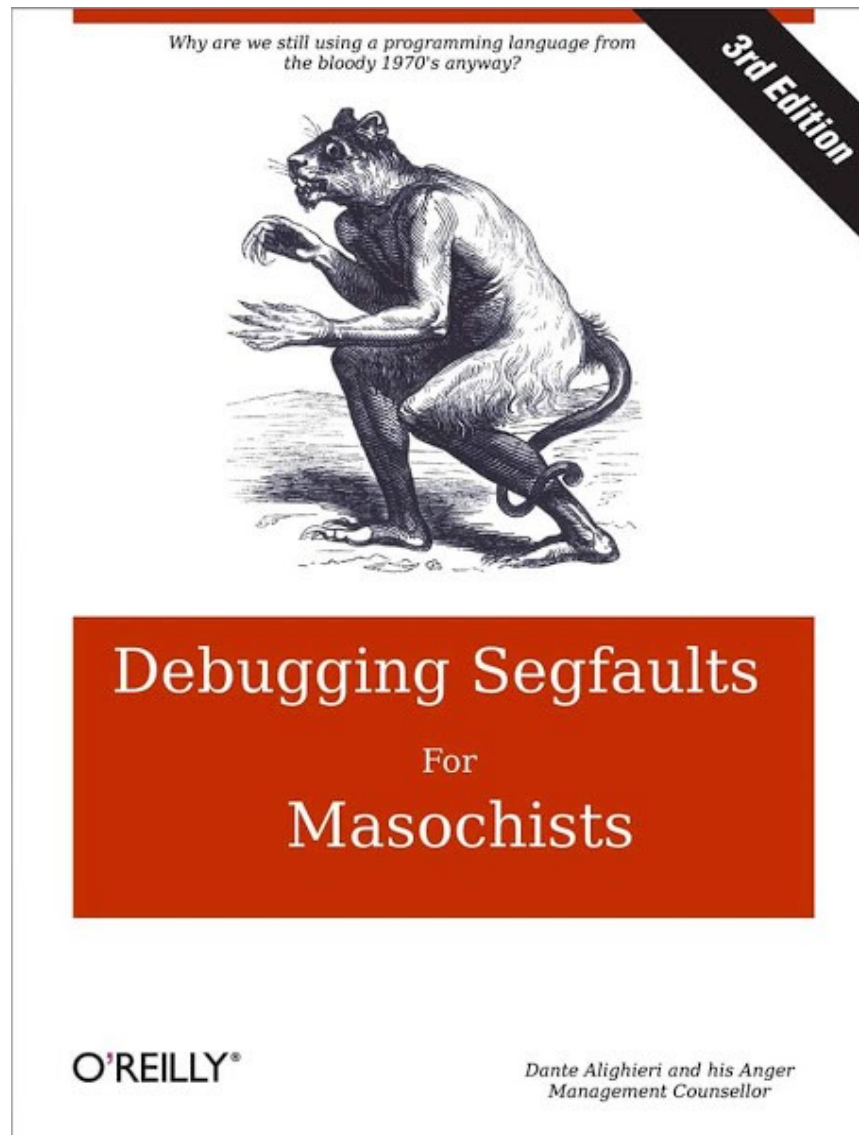
```
void vett_copy(const int* v1, int num,
              int*& v2)
{
    v2 = new int[num] ;
    for (int i=0; i<num; i++)
        v2[i] = v1[i];
}

main()
{
    int vettore[] = {20,10,40,50,30};
    int* newVet = 0 ;
    vett_copy(vettore, 5, newVet);
    delete [] newVet ;
}
```

Flessibilità e problemi seri

- Più di un puntatore può puntare allo stesso oggetto
 - Quindi possono esservi effetti collaterali
- 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
- Queste caratteristiche dei puntatori possono portare ad alcuni degli errori di programmazione più difficili da trovare
- Come esemplificato nella copertina del seguente manuale ...

Purtroppo è così ...



Problema: dangling reference

- **Dangling reference (pending pointer)**
 - Si ha quando 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
- Problema molto serio
 - Se si usa un pending pointer si hanno errori di gestione della memoria che possono portare ad un comportamento imprevedibile del programma

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 ; // ERRORE LOGICO
                       // E DI ACCESSO ALLA MEMORIA
}
```

Per ridurre i problemi

- Ovunque possibile, utilizzare perlomeno puntatori costanti
- Esempio:
`int dim ;`
`cin>dim ;`
`int * const p = new int[dim] ;`
- Così siamo costretti ad inizializzarli
- Inoltre non possiamo riassegnarli ad altri array

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 è terminato forzatamente
- Se si vuole, si può
 - gestire l'eccezioneoppure
 - *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

- Compilare ed eseguire il seguente programma

```
main()
{
    while(true) {
        int *p = new int[100000] ;

        for (int i = 0 ; i < 100000 ; i++)
            p[i] = i ;
    }
}
```

- Il precedente programma esaurisce abbastanza rapidamente tutta la memoria del calcolatore
- A causa dell'importante errore descritto nella prossima slide

Problema serio: memory leak

- **Memory leak**
 - Esaurimento inaspettato della memoria causato da mancata deallocazione di oggetti dinamici non più utilizzati
- Spesso correlato con la perdita dell'indirizzo degli oggetti stessi

Esempio memory leak

```
void fun()
{
    int N ;
    cin>>N ;
    int * p = new int [N] ;
}

main()
{
    fun() ;
    // una volta invocata fun(), l'array rimane in memoria,
    // ma nel main p non è visibile, per cui, una
    // volta terminata fun(), si è perso ogni
    // modo di accedere all'array, quindi, tra l'altro, non
    // si può più deallocarlo !
    ...
}
```

Tipo elementi array dinamici

- E' possibile allocare array dinamici di oggetti di qualsiasi tipo
 - Come si alloca una stringa dinamica?
 - Come si alloca una array di struct?
 - Come si alloca un array di array, ossia una matrice dinamica?

Stringhe dinamiche

- Stringa di 10 caratteri:

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

- Stringa di dimensioni definite da *stdin*:

```
int dim ;  
do cin>>dim ; while (dim <= 0) ;  
char * const str = new char[dim+1];
```

Array dinamici di struct

```
struct persona
{
    char nome_cognome[41];
    char codice_fiscale[17];
    float stipendio;
} ;

main()
{
    int dim ;
    do cin>>dim ; while(dim <= 0) ;
    persona * const t = new persona[dim] ;
    ...
}
```


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
 - Ci concentriamo solo sul caso in cui sia un array statico
 - Le sue dimensioni devono essere quindi 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 ;`

Passaggio e ritorno

- Per passare una matrice dinamica bidimensionale occorre un parametro della forma:

`[const] <nome_tipo> (* <identificatore>) [<espr_costante>]`

Ad esempio, per passare una matrice dinamica da 10 colonne:

```
void fun(int (*p) [10]) { ... }
```

- Nel caso si ometta il nome del parametro in una dichiarazione, la sintassi diviene

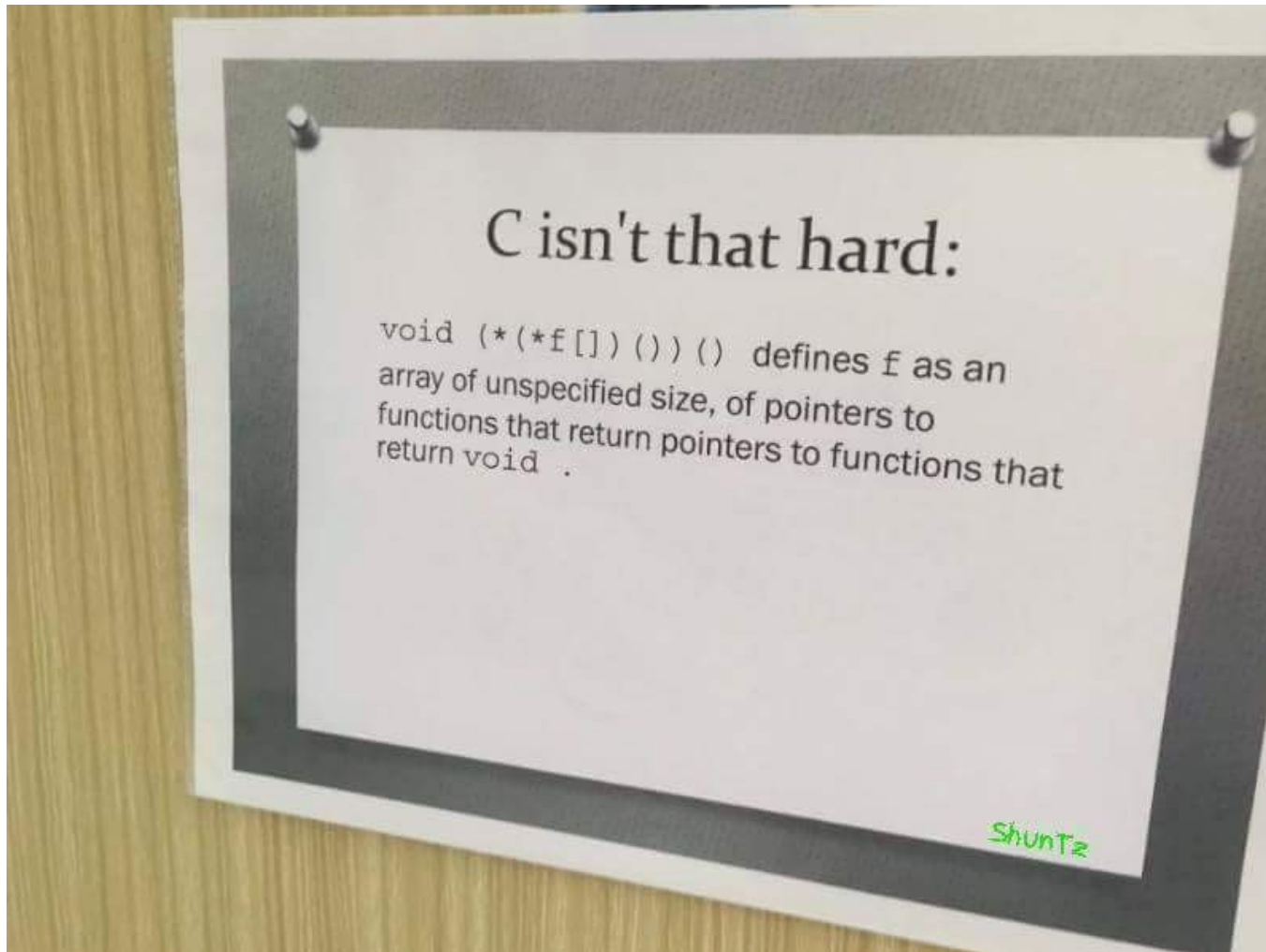
```
void fun(int (*) [10]) ;
```

- La stessa forma si usa per ritornare una matrice dinamica. Ad esempio:

```
int (*fun(...)) [10] ;
```

Il C non è così difficile ...

- Ora potete capire meglio questa battuta:



Accesso agli elementi

- Si accede agli elementi di una matrice dinamica utilizzando la stessa sintassi che si utilizza per una matrice statica

Esercizi

- Svolgere tutti gli esercizi della decima esercitazione fino all'I/O non formattato escluso
- Videoregistrazione:
<https://drive.google.com/file/d/1bNt9Ezh6CC42xAhcy6W9MVNENLxTYdrJ/view?usp=sharing>