Introduzione alla programmazione in C

Appunti delle lezioni di Tecniche di programmazione

Giorgio Grisetti
Luca Iocchi
Daniele Nardi
Fabio Patrizi
Alberto Pretto

Dipartimento di Ingegneria Informatica, Automatica e Gestionale
Facoltà di Ingegneria dell'Informazione, Informatica, Statistica
Università di Roma "La Sapienza"

Edizione 2018/2019

2019

Indice

5. Tipi di dato indicizzati

5.1. Array

Un **array** è una struttura contenente una collezione di elementi dello stesso tipo, ciascuno indicizzato da un valore intero. Una **variabile di tipo array** è un riferimento alla collezione di elementi che costituisce l'array.

Per usare un array in C occorre:

1. dichiarare una variabile di tipo array specificandone la dimensione (numero di elementi contenuti);
2. accedere mediante la variabile agli elementi dell'array per assegnare o leggerne i valori (trattando ciascun elemento come se fosse una variabile).

5.1.1. Dichiarazione di variabili di tipo array

Per usare un array bisogna prima dichiarare una variabile di tipo array.

Dichiarazione di variabili di tipo array

Sintassi:

```
tipo nomeArray[n];
```

dove:

- *tipo* è il tipo degli elementi contenuti nell'array;
- *nomeArray* è il nome della variabile (riferimento ad) array

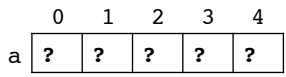
che si sta dichiarando

- *n* è un'espressione costante che rappresenta il numero di elementi dell'array (C99/C++ ammette anche espressioni variabili).

Semantica:
Alloca un array di *n* elementi di tipo *tipo* e crea la variabile *nomeArray* di tipo array.

Esempio:

```
int a[5]; // a e' una variabile di tipo
          // array di 5 interi
```



La creazione di un array corrisponde alla allocazione di n blocchi di memoria *contigui*, ciascuno di dimensione opportuna (ad es., blocchi da 32 bit se gli elementi sono di tipo int). Una dichiarazione di variabile di tipo array comporta un'allocazione dell'array di tipo *statico*. Ciò significa che lo spazio di memoria contenente l'array è fissato al momento della dichiarazione e non varia durante l'esecuzione del programma (contrariamente al suo contenuto, che è ovviamente modificabile). In particolare, la dimensione dell'array rimane invariata per tutto il tempo di vita. Osserviamo inoltre che lo spazio di memoria corrispondente ad una variabile di tipo array viene allocato nello stack, fatto che implica la fine del tempo di vita della variabile (ovvero il rilascio della memoria) quando il blocco in cui è stato dichiarato termina.

Possiamo conoscere la dimensione di un array statico tramite la funzione sizeof.

Esempio:

```
int a[5];
printf("%d byte\n", sizeof(a));  // 20 byte
printf("%d elementi\n", sizeof(a)/sizeof(int));  // 5
    elementi
```

La prima invocazione della `printf` stampa: `20 byte`, ovvero la quantità di memoria necessaria a contenere 5 int (ciascuno di 4 byte). La seconda stampa invece: `5 elementi` (20/4).

5.1.2. Accesso agli elementi di un array

Si può accedere ai singoli elementi di un array tramite l'operatore di *subscripting* (o *indicizzazione*) [].

Accesso agli elementi di un array

Sintassi:

```
nomeArray[indice]
```

dove

- *nomeArray* è l'identificatore della variabile array che contiene un riferimento all'array a cui si vuole accedere
- *indice* è un'espressione di tipo int non negativa che specifica l'indice dell'elemento a cui si vuole accedere.

Semantica:
Accede all'elemento di indice *indice* dell'array *nomeArray* per leggerlo o modificarlo.

Se l'array *nomeArray* contiene *n* elementi, la valutazione dell'espressione *indice* deve fornire un numero intero nell'intervallo [0, *n*-1].

Esempio:

```
int a[5];  // a e' una variabile di tipo array di
    interi
           // viene creato un array con 5 elementi int
a[0] = 23; // assegnazione al primo elemento dell'
    array
a[4] = 92; // assegnazione all'ultimo elemento dell'
    array
a[5] = 16; // ERRORE: l'indice 5 non e' nell'
    intervallo [0,4]
```

È molto importante ricordare che, se l'array contiene N elementi ($N = 5$ nell'esempio), gli unici indici validi sono gli interi nell'intervallo $[0, N-1]$. Tentare di accedere ad un elemento con indice al di fuori di esso può generare un errore a tempo di esecuzione. Nell'esempio precedente, si ha un errore quando viene eseguita l'istruzione a[5]=16;. Mentre esistono dei linguaggi di programmazione che sono in grado di segnalare questo tipo di errore (ad esempio il Python informa il programmatore che l'indice è al di fuori dell'intervallo), il C in genere non aiuta il programmatore. Errori di questo tipo possono essere non rilevati nel momento in cui si verificano ed in genere hanno effetti imprevedibili, in quanto corrispondenti alla scrittura/lettura di locazioni di memoria esterne all'array.

Si osservi inoltre che dichiarando una variabile di tipo array, viene contestualmente creato l'array a cui essa si riferisce (cioè viene allocata memoria).

5.1.3. Inizializzazione di array tramite espressioni

In C è possibile inizializzare gli elementi di un array usando espressioni numeriche.

Inizializzazione di array tramite espressioni

Sintassi:

```
tipo nomeArray[] = { espr_0, ..., espr_n-1 }.
```

dove:

- *tipo* è il tipo degli elementi dell'array;
- *nomeArray* è l'identificatore dell'array;

- *espr_i* è un'espressione di tipo *tipo*.

Semantica:
nomeArray viene inizializzato ad un array di *n* elementi di tipo *tipo*, dove l'elemento di indice *i* ha valore pari al valore restituito dall'espressione *espr_i* (opportunamente convertita, laddove necessario).

Esempio:

```
int v[] = { 4, 6, 3, 1 };
// oppure int v[4] = { 4, 6, 3, 1 };
```

è equivalente a:

```
int v[4];
v[0] = 4; v[1] = 6; v[2] = 3; v[3] = 1;
```

L'assegnazione ad un array tramite espressioni può avvenire *solo all'interno di una dichiarazione di array*.

Esempio:

```
int v[4];
v = { 4, 6, 3, 1 }; // errato
```

Il seguente programma memorizza in un array 10 valori interi letti da input e ne restituisce la somma.

Esempio: Somma degli elementi di un array di interi

somma-array.c

```
int a[10];
int n_elementi = sizeof(a)/sizeof(int);
for (int i = 0; i < n_elementi; i++){
    printf("Inserisci il valore di a[%d]: ",i);
    scanf("%d",&a[i]);
}
int somma = 0;
for (int i = 0; i < n_elementi; i++){
    somma += a[i];
}
```

```
printf("La somma degli elementi e': %d\n",somma);
```

Si noti come l'uso della variabile n_elementi permetta di lasciare il programma essenzialmente invariato nel caso la dimensione dell'array venisse cambiata.

5.1.4. Variabili array e puntatori

5.1.4.1. Accesso ad array tramite puntatori

L'identificatore di una variabile di tipo array denota un puntatore alla prima locazione di memoria dell'array (ovvero al primo elemento).

Esempio: Nel seguente frammento, l'identificatore a viene usato come un puntatore di tipo char*.

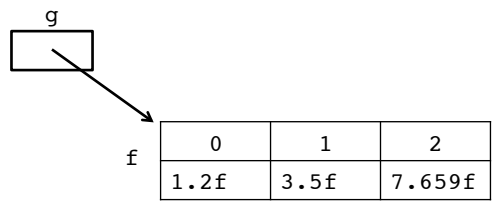
```
char a[3] = {'a','b','c'};
printf("%c\n",*a); // stampa a
```

Viceversa, un puntatore allo stesso tipo degli elementi di un array può essere usato per accedere all'array.

Esempio: In questo esempio, il puntatore g viene usato per accedere all'array f.

```
float f[3] = {1.2f, 3.5f, 7.659f};
float* g = f;
printf("%f\n",*(g+2));// stampa il valore in f[2]
```

Come mostrato nella figura seguente, f e g condividono lo stesso frammento di memoria.



Le modifiche apportate all'array tramite uno qualsiasi dei riferimenti sono pertanto visibili accedendo all'array tramite l'altro.

```
*(g+2)=0;
printf("f[2]=%f\n",f[2]); // stampa f[2]=0.000000
```

Nonostante l'identificatore di una variabile di tipo array denoti un puntatore, a tali variabili non possono essere assegnati valori.

Esempio:

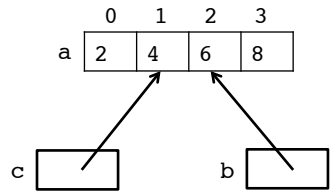
```
f = g; // ERRORE: f non e' assegnabile
```

Poiché un array identifica un insieme di blocchi di memoria contigui, avendo a disposizione il puntatore ad uno dei suoi elementi, è possibile accedere agli altri elementi applicando le operazioni di somma e sottrazione.

Esempio:

```
int a[4] = {2,4,6,8};
int* b = a;
b += 2;
printf("*b=%d\n",*b);// stampa: *b=6
int* c = &a[3];
c -= 2;
printf("*c=%d\n",*c);// stampa: *c=4
```

La figura seguente mostra lo stato della memoria al termine del frammento di codice riportato sopra.



5.1.4.2. Operatore di subscripting e puntatori

L'operatore di subscripting [] può essere applicato ad un puntatore, indipendentemente dal fatto che esso punti ad un array o meno. Il valore restituito da un'espressione della forma *puntatore*`[`*indice*`]` è pari al valore restituito dall'espressione *(*puntatore*+*indice*). Si osser-

vi che l'espressione restituisce il *contenuto* della locazione puntata da *puntatore+indice*, non il valore del puntatore.

Esempio: Le seguenti assegnazioni sono equivalenti:

```
int v, i, *p;
...
v = p[i];
v = *(p + i);
```

Nel caso in cui il puntatore fa riferimento ad un array, l'uso dell'operatore di subscripting è particolarmente utile, in quanto permette di accedere all'array tramite puntatore con le stesse modalità viste per variabili di tipo array.

Esempio:

```
char v[3]={'a','b','c'};
char *p = v;
printf("%c\n",v[2]); // stampa c
printf("%c\n",p[2]); // stampa c
```

5.1.4.3. Sottrazione di puntatori

La differenza tra puntatori che puntano ad elementi di uno stesso array è pari alla differenza tra gli indici degli elementi puntati.

Esempio:

```
int a[4] = {2,4,6,8};
int* b = &a[2];
int* c = &a[1];

printf("c-b= %ld\n",c-b); // stampa -1
printf("b-c= %ld\n",b-c); // stampa 1
```

La sottrazione tra puntatori che non fanno riferimento ad elementi di uno stesso array produce un comportamento indefinito.

5.1.5. Passaggio di parametri di tipo array

Anche gli array possono essere usati come parametri di funzione.

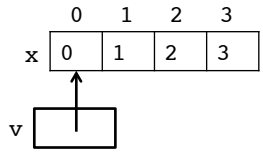
Esempio: La seguente funzione prende in input un array di interi e la sua dimensione e restituisce la somma degli elementi contenuti nell'array.

```
int sommaValoriArray(int v[], int n) {
    int somma = 0;
    for (int i=0; i < n; i++)
        somma += v[i];
    return somma;
}
```

Esempio d'uso:

```
int main() {
    const int n = 4;
    int x[n] = {0,1,2,3};
    printf("somma = %d\n" ,sommaValoriArray(x,n));
}
```

Nell'esempio, la specifica del parametro formale int v[] indica che il tipo del parametro denotato da v è *array di* int. In effetti, il parametro v viene trattato semplicemente come un puntatore ad intero: al momento dell'invocazione della funzione, viene copiato nel parametro formale v il valore dell'espressione x (cioè l'indirizzo della prima locazione dell'array) passato come parametro attuale. Per quanto riguarda l'array, invece, esso non viene copiato, cosicché eventuali modifiche ad esso apportate dalla funzione risulteranno visibili al modulo chiamante. In altre parole, tramite il riferimento, la funzione può effettuare side-effect sull'array passato in input. La figura seguente mostra lo stato della memoria all'atto dell'invocazione di sommaValoriArray nella funzione main dell'esempio precedente.



Si osservi che al momento dell'invocazione di sommaArray, non viene creata una copia dell'array, ma viene solo copiato, nella variabile v il riferimento ad esso. Ciò avviene indipendentemente dal fatto che l'array sia memorizzato nello heap (per effetto di un'allocazione

dinamica) o nello stack (per effetto di una dichiarazione locale avvenuta in precedenza all'interno di un blocco non ancora terminato, ad es. il modulo chiamante).

È anche possibile indicare esplicitamente, nell'intestazione della funzione, il numero di elementi contenuti nell'array di input. *Esempio:* La seguente funzione prende in input solo array con 3 elementi.

```
void f(int v[3]) { ... }
```

Poiché i parametri di tipo array vengono considerati a tutti gli effetti puntatori, è anche possibile usare un parametro di tipo puntatore, nella segnatura di una funzione, in luogo di un parametro di tipo array. Nell'esempio precedente, avremmo potuto usare la specifica int *v invece di int v[], rendendo esplicito l'uso di un riferimento. Si noti tuttavia che in questo modo si perde l'utile indicazione, fornita dalla segnatura della funzione, che il riferimento è ad un array.

Per la stessa ragione, è anche possibile usare un puntatore in luogo di un array nell'invocazione di una funzione.

Esempio:

```
void f(char[] s) { // oppure void f(char *s)
...
}

int main(){
  char t[3] = {1,2,3};
  char *p = t;
  f(t); // oppure f(p)
}
```

Notiamo infine che l'invocazione della funzione sizeof su un parametro di tipo array, all'interno di una funzione, non restituisce la dimensione dell'array a cui il parametro fa riferimento.[1] Infatti, essendo il parametro trattato come una variabile di tipo puntatore, l'invocazione restituisce semplicemente la dimensione (in byte) dello spazio contenente il valore del parametro. Pertanto, laddove necessario, occorre

[1] Alcuni compilatori segnalano questa situazione con un warning, ad es.: warning: sizeof on array function parameter will return size of 'int *' instead of 'int []'.

passare il numero di elementi contenuti nell'array come parametro della funzione (o specificarlo esplicitamente nell'intestazione).

Esempio:

```
void f(int v[], int n) {
  printf("Dimensione di v: %d byte\n",sizeof(v)); // 4
  printf("Numero di elementi in v[]: %d\n",n);
}
```

5.1.5.1. Esempio: ricerca sequenziale di un elemento in un array

La seguente funzione cercaArray prende come parametri un array di interi, un intero corrispondente alla dimensione dell'array ed un intero e da cercare nell'array e restituisce 1 (true) se il valore e è presente nell'array, 0 (false) altrimenti.

```
int cercaElemArray(int v[], int n, int e) {
    for (int i=0; i<n; i++)
        if (e == v[i])
            return 1;
    return 0;
}
```

Esempio d'uso:

```
int main () {
    const int n=4;
    int x[n]= {1,2,3,4};
    if (cercaElemArray(x,n,3)) // cerca 3 nell'array x
        printf("trovato\n");
    else
        printf("non trovato\n");
}
```

5.1.5.2. Esempio: ricerca del valore massimo in un array

La seguente funzione massimoArray prende come parametri un array di long int e la sua dimensione e, assumendo che l'array non sia vuoto, restituisce il valore massimo che esso contiene.

```
long massimoArray(long v[], int n) {
    long max = v[0];
    for (int i=1; i<n; i++)
        if (v[i]>max) max = v[i];
    return max;
}
```

Esempio d'uso:

```
int main () {
  const int n = 5;
  long x[n] = { 5, 3, 9, 5, 12 };
  printf("Max = %ld",massimoArray(x,n));
}
```

5.1.5.3. Esempio: gli ultimi saranno... i primi

Vediamo ora un esempio di funzione che effettua side-effect sui parametri di input di tipo array. La funzione rovesciaArray prende in input un array di interi e ne modifica il contenuto riorganizzando gli elementi in ordine inverso, dall'ultimo al primo.

rovesciaArray sfrutta la funzione ausiliaria scambia che effettua side-effect sulle locazioni a cui puntano i suoi argomenti, scambiandone il contenuto.

```
void scambia(int *i, int *j){
    int t=*i;
    *i=*j;
    *j=t;
}
```

```
void rovesciaArray(int v[], int n) {
    int temp;
    for (int i=0; i<n/2; i++)
        scambia(&v[i],&v[n-i-1]);
}
```

Esempio d'uso:

```
int main () {
    const int n=5;
    int x[n] = {5, 3, 9, 5, 12};
    for (int i=0; i<n; i++) // stampa 5 3 9 5 12
        printf("%d ", x[i]);
    printf("\n");
    rovesciaArray(x,n);
    for (int i=0; i<n; i++) // stampa 12 5 9 3 5
        printf("%d ", x[i]);
    printf("\n");
}
```

5.1.6. Array come risultato di una funzione

Una funzione può restituire un array. In questo caso, la restituzione può avvenire solo tramite puntatore. Si noti che l'array restituito non può essere allocato staticamente dalla funzione, in quanto, al pari di qualunque altra variabile locale, il suo tempo di vita terminerebbe al completamento dell'esecuzione della funzione.

Esempio: La funzione seguente crea un array e restituisce un puntatore ad esso.

```
int* creaArray(){
  int risultato[5] = {10,20,30,40,50};
  return risultato;
}
```

Nel seguente frammento di codice, la funzione creaArray viene invocata allo scopo di inizializzare il valore del puntatore a all'indirizzo dell'array da essa creato. Tuttavia, dopo l'assegnazione, la variabile a punta ad una locazione di memoria libera, in quanto al termine dell'esecuzione della funzione creaArray la memoria allocata per l'array risultato viene automaticamente rilasciata (e può essere usata, ad esempio, per allocare variabili locali di altre funzioni).

```
int main(){
  int* a = creaArray(); // a punta ad una locazione
    non allocata!
  ...
}
```

Questo problema, legato alla definizione della funzione creaArray viene evidenziato dal compilatore tramite un messaggio di warning: address of stack memory associated with local variable 'risultato' returned

In alternativa alla creazione del nuovo array nel corpo della funzione, si può allocare l'array (staticamente) nel modulo chiamante e passarlo come argomento alla funzione, che può effettuare side-effect sull'array. Tuttavia, per adottare questo approccio è necessario che la dimensione dell'array sia nota prima dell'esecuzione della funzione.

Esempio:

```
void inizializzaArray(int v[], int n){
  for(int i = 0; i < n; i++){
    v[i]=0;
    }
}
```

Esempio d'uso:

```
int main(){
  const int n = 10;
  int x[n];
  inizializzaArray(x,n);
}
```

Come soluzione generale, si può sfruttare l'allocazione *dinamica* dell'array, che permette di superare gli inconvenienti mostrati nei casi precedenti. Questo argomento sarà analizzato in dettaglio nel seguito. Mostriamo comunque l'implementazione generale della funzione creaArray dell'esempio precedente.

Esempio:

```
int* creaArrayDinamico(int n) {
    int* risultato = (int*) malloc(n*sizeof(int));
    // Alloca n interi contigui
    // Accessibile come se fosse un array

    return risultato;
}
```

Si ricordi che l'invocazione alla funzione malloc alloca uno spazio di memoria di N byte contigui, per N pari al valore del parametro, e restituisce un puntatore alla prima locazione di tale spazio. Per quanto detto circa l'operatore [] applicato ai puntatori, è possibile visitare gli elementi memorizzati in questo spazio come se comparissero all'interno di un array.

5.1.7. Riepilogo: come dichiarare un array

Il seguente codice mostra tutte le modalità di dichiarazione di un array viste fino a questo punto.

crea-array.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define dimdef 10
const int dimconst = 10;

int * crearray (int d) {
  return (int *) malloc(sizeof(int)*d);
}

int * crearrayAppeso (int d) {
  int a[d];
  return a;
}

int main(){
  // allocazione statica
  int A[dimdef];
  int AA[dimconst];
  // allocazione stack run-time
  int n = 0;
  printf("dimensione dell'array: ");
  scanf("%d", &n);
  int b[n];
  // allocazione dinamica
  int * bb;
  bb = (int*) malloc(n*sizeof(int));
  // allocazione dinamica tramite funzione
  int * c;
  c = crearray(n);
  // allocazione stack run-time tramite funzione -- NO
  int * cc;
  cc = crearrayAppeso(n);

  for (int i=0; i<n; i++) {
    printf("prossimo elemento: ");
    scanf("%d",&b[i]);
  }
```

```
    printf("array letto\n");
    for (int i=0; i<n; i++) {
      printf("%d ",b[i]);
    }
    printf("\n");
    return 0;
}
```

5.1.8. Gestione dinamica della memoria

Il meccanismo di dichiarazione delle variabili visto finora permette di associare ad una variabile una quantità di memoria fissa e nota a tempo di compilazione. Ad esempio, ad eccezione del C99/C++ che permettono la dichiarazione di array con espressioni generiche, la dimensione degli array deve essere ottenuta come espressione costante, ovvero il cui valore sia noto a tempo di compilazione e non modificabile durante l'esecuzione del programma.

Per indicare che uno spazio di memoria viene allocato con una dimensione nota a tempo di compilazione, si usa il termine *allocazione statica*. L'esempio seguente mostra quanto sia importante poter allocare strutture dati di dimensione non nota a tempo di compilazione.

Esempio: L'intento del seguente programma è di creare un array di dimensione definita dall'utente e di popolarlo con dei caratteri da esso inseriti.

```
int n;
printf("Inserisci un intero: ");
scanf("%d\n", &n);
char a[n];// ERRORE: n non e' costante
          // (consentito in C99/C++)
for(int i = 0; i < n; i++){
    // Popola l'array con dei caratteri
    printf("Inserisci un carattere: ");
    scanf("%c\n", &a[i]);
}
```

Il programma genera un errore in compilazione dovuto al fatto che la dimensione dell'array a specificata nella dichiarazione è indicata da un'espressione non costante.

5.1.8.1. Allocazione dinamica di array: la funzione calloc

Un modo semplice per allocare un array dinamicamente consiste nell'invocare la funzione malloc passandogli come parametro la dimensione dell'array. *Esempio:* Il seguente frammento di codice alloca un array di 100 interi.

```
int n_elementi = 100;
int* a = malloc(n_elementi * sizeof(int));
```

L'aritmetica dei puntatori e la possibilità di usare l'operatore di subscripting per accedere ai diversi blocchi di un'area di memoria permettono al programmatore di trattare la variabile a come se fosse di tipo array.

Un'alternativa a malloc è la funzione calloc, che ha la seguente segnatura:

```
void* calloc(size_t n_elementi, size_t size)
```

La funzione alloca un vettore di n_elementi elementi, ciascuno di dimensione size, ne inizializza gli elementi a 0 e restituisce il puntatore al primo elemento. *Esempio:* Il seguente frammento di codice alloca un array di 100 interi con calloc e ne inizializza tutti gli elementi a 0.

```
int n_elementi = 100;
int* a = calloc(n_elementi, sizeof(int));
         // inizializza gli elementi a 0
```

5.1.8.2. Ridimensionamento di un'area di memoria allocata: la funzione realloc

Un'altra importante funzionalità disponibile solo nel caso di allocazione dinamica è il *ridimensionamento* dello spazio di memoria a tempo di esecuzione. La funzione C che permette di ridimensionare uno spazio di memoria allocato è la seguente:

```
void* realloc(void *p, size_t size)
```

realloc prende in input un puntatore p e un intero senza segno size, alloca size byte di memoria copiandovi il contenuto dello spazio puntato

da p (fin dove possibile, se la memoria è stata ridotta) e restituisce un puntatore al nuovo blocco.

Il puntatore p deve far riferimento al primo blocco di un'area di memoria precedentemente allocata (con malloc, realloc o calloc). Se p è NULL, il comportamento di realloc è analogo a quello di malloc. Un valore di size pari a 0 comporta la deallocazione dello spazio. Infine, la funzione restituisce l'indirizzo NULL se il ridimensionamento non è possibile.

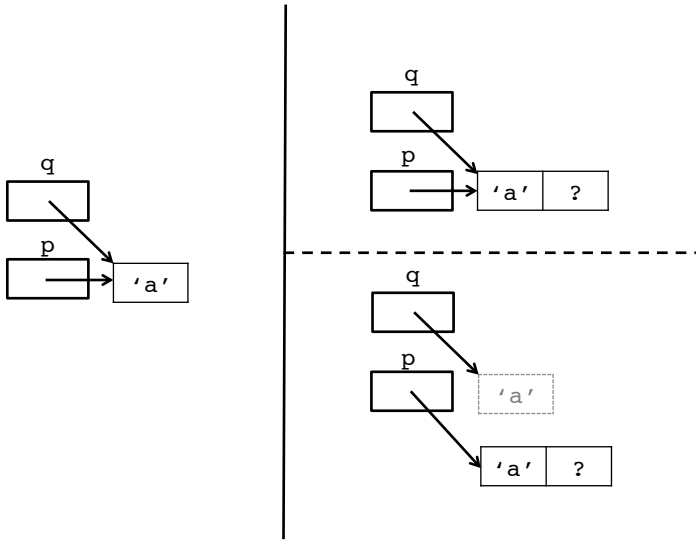
Mentre in generale non è garantito che il primo blocco della nuova area di memoria corrisponda a quello vecchio, ovvero che la vecchia area sia stata estesa ma non spostata, in pratica ciò accade spesso. È tuttavia sempre necessario aggiornare tutti i puntatori alla vecchia area di memoria con il nuovo indirizzo restituito dalla funzione, in quanto, se il blocco viene spostato, la vecchia area di memoria viene deallocata.

Esempio: In questo esempio, la dimensione dell'area puntata da p viene raddoppiata.

```
char *p = (char*) malloc(1);
*p = 'a';
char* q = p;
p = realloc(p,2);
// *(q+1) = 'b'; // ERRORE: L'area potrebbe essere
    cambiata!
q = p; // Aggiorno tutti i riferimenti alla vecchia
    area
*(q+1) = 'b'; // OK! Ora si puo' accedere
```

Poiché l'invocazione a realloc potrebbe aver allocato un nuovo spazio di memoria, prima di utilizzare q è necessario assicurarsi che esso punti effettivamente alla nuova area puntata da p. Questo è lo scopo dell'assegnazione q = p dopo l'invocazione a realloc.

La figura seguente mostra lo stato della memoria immediatamente prima dell'invocazione a realloc (sinistra) e le due alternative possibili immediatamente dopo (destra). Come si vede nella parte inferiore della figura destra, se la funzione alloca una nuova area di memoria, il puntatore q diventa pendente, in quanto la vecchia area viene contestualmente deallocata.



La possibilità di ridimensionare un'area di memoria risulta di particolare utilità nel caso in cui l'area contenga un array.

Esempio: Il seguente programma legge una serie di caratteri inseriti dall'utente e li memorizza in un array, finché non viene inserito il carattere ;. Quando l'array è pieno, la sua dimensione viene incrementata di n. Al termine dell'inserimento, l'array viene ridimensionato in modo da contenere solo gli elementi effettivamente usati ed il suo contenuto viene stampato.

```
int n = 5, i = 0;
char *p = (char*) calloc(n,sizeof(char));
char prox_char;
do{
    printf("Inserisci un carattere (; per uscire): ");
    scanf(" %c",&prox_char);
    if (i>=n){
        // array pieno: incrementa la dimensione n
        n+=n;
        p = (char*) realloc(p,n*sizeof(char));
    }
    p[i] = prox_char;
    i++;
} while(prox_char != ';');


/* Ridimensiona l'array al numero di caratteri
 effettivamente memorizzati: */
p = (char*) realloc(p,i*sizeof(char));

// Stampa:
for (int j = 0; j < i; j++){
    printf("%c",p[j]);
}
printf("\n");
```

5.1.8.3. Esempio: restituire il puntatore ad un nuovo array

Come già discusso in precedenza, possiamo anche restituire un array allocato dinamicamente durante l'esecuzione di una funzione. Consideriamo la funzione copiaInverso che prende in ingresso un array v insieme alla sua dimensione n e, senza modificarlo, restituisce un *nuovo* array contenente gli stessi elementi di v in ordine inverso.

```
int* copiaInversa(int v[], int n) {
    int* risultato = (int*) calloc(n, sizeof(int));
    for (int i=0; i<n; i++) {
        risultato[n-1-i] = v[i];
    }
    return risultato;
}
```

Osserviamo che la variante, vista in precedenza, in cui viene usata malloc è altrettanto valida.

Esempio d'uso:

```
int main () {
    const int n=5;
    int x[n] = { 5, 3, 9, 5, 12 };
    int *y = copiaInversa(x,n);
    for (int i=0; i<n; i++)
        printf("%d ", y[i]);
    printf("\n");
}
```

5.1.9. Array di puntatori

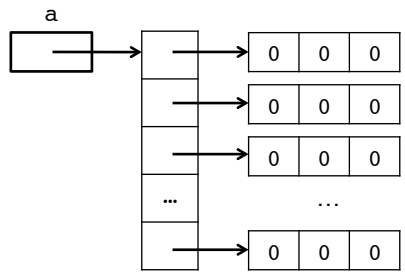
L'uso combinato di array e puntatori, unito alla possibilità di allocare memoria dinamicamente, permette di costruire strutture dati particolarmente utili come gli *array di puntatori*. Al pari di qualunque altro tipo, infatti, anche i puntatori possono essere presi come tipo base nella costruzione di array.

Esempio: Si assuma di dover memorizzare le coordinate di N punti nello spazio cartesiano 3D. Ciascun punto può essere memorizzato in un array di 3 reali (float), mentre l'insieme di punti può essere memorizzato in un array di puntatori, in cui ciascun elemento punta ad uno degli array. Il seguente frammento di codice mostra la costruzione della struttura necessaria a memorizzare i punti.

```
int n;
printf("Quanti punti vuoi memorizzare?\n");
scanf(" %d",&n);
float** a = calloc(n,sizeof(int*));

for(int i = 0; i < n; i++){
    a[i] = calloc(3,sizeof(float));
}
```

La figura seguente illustra la memoria dopo l'esecuzione del frammento di codice.



Nell'esempio, la variabile a è dichiarata come puntatore a puntatore a float. Essa infatti punta ad un array i cui elementi sono di tipo puntatore a float, ovvero float*. Di conseguenza la componente *i*-esima di a, cioè a[i], è un puntatore a float. Tale puntatore viene inizializzato all'indirizzo del primo blocco dell'array restituito dall'invocazione a calloc effettuata all'*i*-esima iterazione del ciclo for (si ricordi che calloc inizializza tutte le componenti del vettore allocato a 0).

L'accesso alle componenti di ciascun array avviene attraverso l'operatore di subscripting. Occorre tuttavia tenere presente che il riferimento all'array *i*-esimo memorizzato in a è ottenuto tramite l'espressione a[i]. Pertanto, la *j*-esima componente dell'*i*-esimo array di a può essere ottenuta tramite l'espressione a[i][j].

Esempio: L'esempio precedente può essere modificato come segue per permettere all'utente di inserire le coordinate di ciascun punto, stampare i dati inseriti e, al termine dell'elaborazione, rilasciare la memoria.

```
int n;
printf("Quanti punti vuoi memorizzare?\n");
scanf(" %d",&n);
float** a = calloc(n,sizeof(int*));

for(int i = 0; i < n; i++){
    a[i] = calloc(3,sizeof(float));
    printf("Inserisci coordinate del punto %d: ",i);
    scanf("%f%f%f",&(a[i][0]),&(a[i][1]),&(a[i][2]));
}

for (int i = 0; i < n; i++){
    printf("P%d = (%f,%f,%f)\n",i,a[i][0],a[i][1],a[i
    ][2]);
}

//... elaborazione

// Deallocazione array profondi:
for(int i = 0; i < n; i++)
    free(a[i]);
// Deallocazione a:
free(a);

//... elaborazione
```

Si noti, nel primo ciclo for, l'uso dell'operatore & per ottenere l'indirizzo della componente *j*-esima dell'array *i*-esimo, da fornire in input a scanf.

Si osservi inoltre che il rilascio della memoria deve avvenire in due fasi: una prima in cui viene rilasciata la memoria occupata dagli array più "in profondità" nella struttura ed una seconda in cui viene rilasciata la memoria dell'array superficiale. Se venisse prima deallocata la memoria occupata dall'array a, si perderebbero infatti i riferimenti agli array più profondi, che non potrebbero quindi essere né usati né deallocati.

5.2. Stringhe

5.2.1. Variabili di tipo stringa in C

Il C non mette a disposizione un tipo speciale per memorizzare stringhe. Semplicemente, una stringa è memorizzata come un array di caratteri terminante con il carattere speciale `'\0'` (codice ASCII = 0), detto *terminatore di stringa*.

Esempio: Nel seguente frammento di codice la stringa 'Hello' viene memorizzata nella variabile s di tipo array di caratteri.

```
const int N=256;
char s[N];
s[0]='H'; s[1]='e'; s[2]='l';
s[3]='l'; s[4]='o';
s[5]='\0'; // terminatore stringa
printf("%s\n",s); // stampa Hello
```

Nell'esempio, il contenuto dell'array viene stampato usando la funzione printf. La specifica di formato %s indica alla funzione che l'argomento corrispondente deve essere trattato come una stringa, cioè che esso è un array di caratteri. printf leggerà l'array in sequenza, partendo dal primo elemento e fermandosi *solo* quando incontra il terminatore di stringa. Il fatto che la dimensione dell'array sia maggiore rispetto a quella della stringa non rappresenta un problema: la stringa rappresentata dall'array è costituita dai caratteri inclusi tra la prima posizione e quella contenente il terminatore di stringa.

Il terminatore di stringa è sempre obbligatorio, anche se l'array ha la stessa dimensione della stringa memorizzata. Nell'esempio precedente, se si omettesse di assegnare il terminatore di stringa ad s[5], la funzione printf stamperebbe tutti i caratteri dell'array (quelli successivi al quinto sono indefiniti), producendo `Hello??????????????...`, fino a raggiungere l'ultimo, superarlo e quindi generando un errore a tempo di esecuzione. La funzione, infatti, non incontrando il terminatore di stringa, andrebbe a leggere locazioni di memoria al di fuori dello spazio allocato per l'array.

5.2.2. Stringhe e puntatori a char

Essendo le stringhe essenzialmente array, per quanto detto circa la relazione tra puntatori ed array, è sempre possibile accedere ad un vettore contenente una stringa mediante un puntatore di tipo char*.

Esempio:

```
char s[10];
. . . // inizializzazione di s
char* p = s; // p punta al primo elemento di s
```

Poiché, come visto, il passaggio di parametri di tipo array avviene essenzialmente tramite puntatori, molte funzioni che prendono in input

stringhe specificano il rispettivo parametro come tipo char* invece di char[]. Inoltre, si può sempre usare un puntatore di tipo char* in luogo di un array di char (char[]) nell'invocazione di una funzione.

5.2.3. Dimensione delle stringhe in C

Negli esempi precedenti si noti la differenza tra la dimensione dell'array e la lunghezza della stringa che esso contiene. La prima rappresenta il numero di elementi dell'array ed è determinata staticamente al momento della sua dichiarazione, mentre la seconda rappresenta il numero di caratteri contenuti nella stringa rappresentata. In particolare, la dimensione dell'array è 256, mentre la lunghezza della stringa è 5. Il carattere di terminazione non è considerato appartenente alla stringa.

Essendo il terminatore di stringa obbligatorio, la lunghezza della stringa rappresentata da un array è sempre strettamente minore della dimensione dell'array. In caso contrario possono verificarsi accessi fuori della zona di memoria allocata per l'array, con conseguenti errori.

Il calcolo della lunghezza di una stringa, cioè il conteggio dei caratteri che precedono il terminatore di stringa, può essere effettuato tramite la funzione `strlen` definita nel file string.h (v. dopo). Poiché tale funzione richiede un ciclo di scansione dell'intera stringa, non è raro, per ragioni di efficienza, l'uso di una variable intera per memorizzare la lunghezza di una stringa.

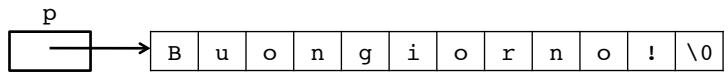
5.2.4. Stringhe letterali e inizializzazione di variabili stringa

Un letterale che denota una stringa è una sequenza di caratteri alfanumerici racchiusi tra apici doppi, ad esempio: "Hello world!". In C, quando viene incontrato un letterale di questo tipo, viene allocato un array costante di dimensione pari alla dimensione della stringa più uno (per memorizzare il terminatore) e viene inizializzato con i caratteri della stringa ed il terminatore. Il letterale viene trattato come un puntatore (di tipo const char*) al primo carattere dell'array.

Esempio: La seguente dichiarazione alloca un array costante di char di dimensione 12 ed assegna il puntatore al suo primo elemento a p.

```
char* p = "Buongiorno!";
```

Lo stato della memoria dopo l'esecuzione di questa istruzione è riportato nella figura seguente:



Nota: l'assegnazione di una stringa ad un puntatore char provoca un warning in C++.

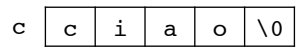
Come visto, una variabile di tipo stringa è in realtà un vettore di caratteri che può, quindi, essere inizializzato tramite espressioni come: char c[5] = {'c','i','a','o','\0'}. Si osservi che per rappresentare una stringa è necessario che l'array contenga il terminatore. In altre parole, con la dichiarazione char c[5] = {'c','i','a','o'} si sta trattando c semplicemente come un array di caratteri.

Tramite l'uso di letterali, il C mette a disposizione una forma semplice d'inizializzazione.

Esempio: Nel seguente frammento di codice l'array dichiarato viene popolato con i caratteri della stringa rappresentata dal letterale, con il terminatore di stringa come ultimo elemento.

```
char c[5] = "ciao";
```

Lo stato della memoria dopo l'esecuzione di questa istruzione è riportato nella figura seguente:



La dichiarazione mostrata sopra è equivalente a

```
char c[5] = { 'c', 'i', 'a', 'o', '\0' };
```

5.2.4.1. Esempio: occorrenze di un carattere in una stringa

Realizziamo una funzione che, presi come parametri una stringa (sotto forma di array di caratteri) ed un carattere c, restituisce il numero di occorrenze di c nella stringa.

conta-carattere.c

```
int contaCarattere(char s[], char c) {
    int quanti = 0;
    int pos = 0;
    while (s[pos] != '\0') {
        if (s[pos] == c)
            quanti++;
        pos++;
    }
    return quanti;
}
```

Si osservi come, assumendo che la funzione prenda in input un array contenente una stringa, non sia necessario indicare la dimensione dell'array. Infatti, il terminatore di stringa garantisce che il ciclo while termini prima che la variabile pos superi l'indice dell'ultima componente dell'array.

5.2.5. Stringa vuota

La stringa vuota rappresenta la sequenza di caratteri di lunghezza 0. Essa è memorizzata come un array di char contenente il terminatore di stringa come primo elemento. La stringa vuota si può denotare con il letterale `""`. Si faccia attenzione a non confondere la stringa vuota con il valore NULL. La prima è un array di caratteri non vuoto (contenente il terminatore come primo carattere) mentre il secondo è il valore di un puntatore.

5.2.6. Esempio: codifica di una stringa

Realizziamo una funzione che, presi come parametri due stringhe str e strRis (come array di caratteri) ed un intero d, restituisce in strRis la stringa ottenuta sostituendo ciascun carattere c di str con il carattere il cui codice ASCII è pari al codice di c incrementato di d. La funzione deve inoltre restituire un puntatore di tipo char* alla stringa contenente il risultato.

```
#include <string.h> // per strlen

char* codificaStringa(const char *str, char strRis[],
    int d) {
    int n = strlen(str);
    for (int i = 0; i < n; i++)
        strRis[i] = d + str[i];
    strRis[n]='\0'; // terminatore di stringa
    return strRis;
}
```

Esempio d'uso:

```
int main(){
  char s[5]="ciao";
  char t[5];
  char* pt = t; //usiamo un puntatore a char
  printf("%s\n",codificaStringa(s,t,1));// stampa djbp
}
```

Si osservi che il primo parametro della funzione codificaStringa svolge il ruolo di input, ed è quindi dichiarato const per prevenire modifiche al suo contenuto, mentre il parametro strRis non può essere dichiarato const in quanto verrà modificato.

Inoltre, si noti che codificaStringa usa la funzione strlen, la quale restituisce la lunghezza della stringa (non dell'array). Pertanto, il ciclo for termina quando l'ultimo carattere diverso dal terminatore è stato letto ed è quindi necessario, per garantire che strRis rappresenti effettivamente una stringa, inserire il terminatore di stringa.

Infine, notiamo che la restituzione del puntatore all'array contenente il risultato della funzione codificaStringa permette di usare il risultato della funzione direttamente all'interno dell'invocazione di printf, senza dover prima eseguire la funzione e successivamente stampare l'array contenente il risultato (come sarebbe necessario se il tipo restituito dalla funzione fosse void).

5.2.7. Esempio: lunghezza della più lunga sottosequenza

Realizzare una funzione che prende in ingresso una stringa `s` (sotto forma di array di caratteri) costituita dai soli caratteri `'0'` e `'1'`, e restituisce la lunghezza della più lunga sottosequenza di `s` costituita da soli `'0'` tutti consecutivi. Ad esempio, se la stringa passata come parametro

è 001000111100, allora la più lunga sottosequenza di soli '0' è quella sottolineata, che ha lunghezza 3.

sottosequenza.c

```c
#include <string.h> // per strlen

int sottosequenza(const char * s) {
    char bit;           // l'elemento corrente della
    sequenza
    int cont = 0;       // lunghezza attuale della
    sequenza di zeri;
    int maxlung = 0;    // valore temporaneo della
    massima lunghezza;
    int N = strlen(s);  // lunghezza della stringa
    for (int i = 0; i < N; i++) {
        bit = s[i];
        if (bit == '0') {// e' stato letto un altro
    '0'
            cont++;// aggiorna la lunghezza della
    sequenza corrente
            if (cont > maxlung)  // se necessario, ...
                // ... aggiorna il massimo temporaneo
                maxlung = cont;
        }
        else // e' stato letto un '1'
            cont = 0;// azzera la lunghezza della
    sequenza corrente
    }
    return maxlung;
}
```

5.2.8. Stampa e lettura di stringhe in C

5.2.8.1. Stampa

La stampa di stringhe in C può essere effettuata tramite le funzioni printf e puts.

Per usare la prima occorre conoscere la specifica di formato per la formattazione delle stringhe: %s.

Per quanto riguarda la seconda, è sufficiente sapere che essa ha un solo argomento di tipo char *, il puntatore al primo carattere della stringa da stampare, e stampa i caratteri della stringa, seguiti da un ritorno a capo.

Esempio:

```
char* s = "Stringa da stampare";
puts(s); // stampa: ''Stringa da stampare'' e torna a
    capo
```

5.2.8.2. Lettura

Per la lettura di stringhe da tastiera (o, più in generale da standard input) si possono usare le funzioni scanf e gets.

La specifica di formato da usare nell'invocazione di scanf è %s, mentre il parametro usato per memorizzare la stringa letta deve essere di tipo char*. Nel caso si usi un array, non è necessario anteporre il carattere &, in quanto l'identificatore dell'array rappresenta già un puntatore di tipo char*.

Esempio: Il seguente frammento di codice memorizza nella variabile di tipo stringa s una stringa fornita in input dall'utente.

```
char s[256];
printf("Inserisci una stringa \n");
scanf("%s",s);
```

La funzione scanf considera gli spazi bianchi come caratteri di ritorno a capo. Pertanto, con la stringa "prova stringa" l'esecuzione di scanf nel programma precedente terminerebbe dopo la prima parola, "prova", che sarebbe quindi l'unica stringa memorizzata in s (per memorizzare la parte restante sono necessarie altre invocazioni di scanf). scanf si occupa di inserire il terminatore di stringa dopo l'ultimo carattere della stringa letta.

Per quanto riguarda la funzione gets, essa ha un solo parametro di tipo char*, che rappresenta il puntatore al primo elemento dell'array in cui memorizzare la stringa letta. Diversamente da scanf, la funzione gets considera gli spazi bianchi come dei caratteri qualunque, terminando la lettura solo quando incontra un ritorno a capo. In altre parole, gets legge e memorizza una riga intera. Anche gets inserisce il terminatore di stringa.

Esempio:

```
printf("Inserisci una stringa \n");
char s[256];
gets(s);
printf("%s\n",s);
```

Sia scanf che gets memorizzano la stringa letta nell'array passato come parametro. Tali funzioni non effettuano alcun controllo sulla dimensione dell'array, in particolare se essa sia sufficiente a memorizzare l'intera stringa letta. Nel caso in cui ciò non accada, queste funzioni semplicemente scrivono i caratteri eccedenti nelle locazioni successive all'array, tipicamente causando errori a runtime. [2]

5.2.9. Funzioni comuni della libreria per le stringhe (string.h)

Il C, come parte della libreria standard, mette a disposizione un insieme di funzioni per la manipolazione di stringhe. Tali funzioni sono dichiarate nel file header string.h quindi, per poterle usare, è necessario inserire la direttiva #include <string.h>. Di seguito descriviamo alcune funzioni di uso comune della libreria.

size_t strlen(char *str): restituisce la lunghezza della stringa passata come parametro (size_t è un tipo definito, corrispondente essenzialmente ad un intero senza segno).

int strcmp(const char *str1, const char *str2): confronta due stringhe in base all'ordinamento lessicografico (v. sotto), restituendo: un valore negativo se str1 precede str2; 0 se str1 è uguale a str2; un valore positivo se str1 segue str2.

char *strcpy(char *dest, const char *src): copia la stringa src in dest (su cui fa side-effect) e restituisce un puntatore a dest.

char *strcat(char *str1, const char *str2): concatena str2 alla fine di str1 (su cui fa side-effect) e restituisce un puntatore a str1.

char *strstr(const char *str1, const char *str2): restituisce il puntatore all'elemento iniziale della prima occorrenza della stringa str2 in str1, oppure NULL se str2 non compare come sotto-stringa di str1.

[2] Per questa ragione, con alcun compilatori, quando si usa la funzione gets, l'esecuzione del programma produce il messaggio: warning: this program uses gets(), which is unsafe.

5.2.9.1. Ordine lessicografico di stringhe

Per definire l'*ordine lessicografico* delle stringhe, occorre innanzitutto stabilire un ordine tra i caratteri. Questo corrisponde all'ordine indotto dai rispettivi codice ASCII di ciascun carattere. In base ad esso abbiamo che:

- l'ordine lessicografico delle lettere alfabetiche corrisponde a quello alfabetico;
- le cifre precedono le lettere;
- le maiuscole precedono le minuscole.

Possiamo a questo punto definire l'ordine lessicografico tra stringhe. Una stringa s precede una stringa t, se:

- s è un prefisso di t, oppure
- se c e d sono il primo carattere rispettivamente di s e t in cui s e t differiscono, allora c precede d nell'ordinamento dei caratteri.

Esempio:

- `auto` precede `automatico`
- `Automatico` precede `auto`
- `albero` precede `alto`
- `H2O` precede `HOTEL`

5.2.10. Esempi d'uso delle funzioni per stringhe

Il seguente frammento di programma usa alcune funzioni della libreria <string.h> per eseguire delle operazioni su stringhe.

esempi-funzioni-stringhe.c

```
#include <string.h>
#include <stdio.h>

int main(){
    const int N=256;
    char nome[N];
    printf("Inserisci il tuo nome: ");
    gets(nome);
    printf("Il tuo nome contiene %lu caratteri\n",
    strlen(nome));
```

```
    if (strcmp(nome,"Mario")==0)
        printf("Ciao Mario, come stai?\n");
    else
        if (strcmp(nome,"Mario")<0)
            printf("Il tuo nome precede Mario.\n");
    else
        printf("Il tuo nome segue Mario.\n");

    char cognome[N];
    printf("Inserisci il tuo cognome: ");
    gets(cognome);
    strcat(nome," ");
    strcat(nome,cognome);
    printf("Il tuo nome completo e' %s\n", nome);
    if (strcmp(nome,"Mario Rossi")!=0)
        printf("Tu non sei Mario Rossi!\n");
    char* sottostringa = strstr(nome,"Ro");
    if (sottostringa != NULL){
        printf("Il tuo nome completo contiene \"Ro\":
    %s\n",
                sottostringa);
    }
}
```

subsectionslidePassaggio di parametri e risultato di una funzione

Essendo le stringhe un caso speciale di array, il passaggio di parametri e la restituzione di un risultato di tipo stringa da parte di una funzione avvengono secondo gli stessi meccanismi illustrati nel caso degli array.

Si noti, tuttavia, che grazie al terminatore di stringa è possibile conoscere la dimensione della stringa senza doverla passare esplicitamente come parametro, come invece accade per gli array.

5.2.11. Parametri passati ad un programma

La funzione main può essere dichiarata anche con una segnatura a due argomenti:

```
int main(int argc, char **argv)
```

Gli argomenti della funzione main indicano un array di stringhe argv (rappresentate mediante array di caratteri) e il numero di elementi dell'array argc. Il primo argomento, cioè argv[0] corrisponde al nome del file eseguibile. Gli argomenti di un programma vengono forniti in input da linea di comando al momento della sua invocazione.

Esempio: Il seguente programma stampa gli argomenti passatigli in input al momento della sua invocazione.

parametri-main.c

```c
#include <stdio.h>

int main(int argc, char** argv){
    for (int i = 0; i < argc; i++){
        printf("Parametro n.%d: %s\n", i,argv[i]);
    }
}
```

Supponendo di aver generato il file eseguibile myprog, un esempio di linea di comando che fornisce gli argomenti in input al programma è la seguente:

```
> ./myprog primo secondo terzo
```

Il programma stampa:

```
Parametro n.0: ./myprog
Parametro n.1: primo
Parametro n.2: secondo
Parametro n.3: terzo
```

5.3. Matrici

Una **matrice** è una collezione in forma tabellare di elementi dello stesso tipo, ciascuno indicizzato da una coppia di interi positivi (0 incluso) che ne identificano riga e colonna nella tabella.

Esempio: Di seguito è riportata una matrice M di 3 righe e 4 colonne. Gli indici di riga crescono verso il basso e quelli di colonna verso l'alto. L'indice della prima riga e della prima colonna è 0. L'elemento generico con indice di riga i e di colonna j è denotato $M[i, j]$. Pertanto, ad esempio, abbiamo: $M[0, 0] = 1$, $M[1, 3] = 9$ e $M[2, 3] = 19$.

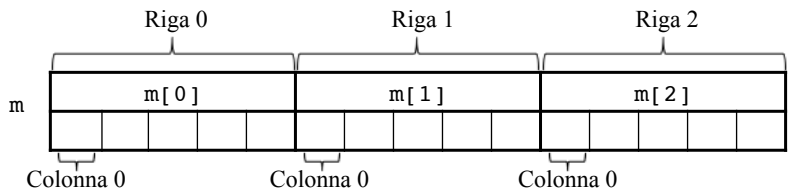
1	3	34	24
2	31	39	9
7	6	8	19

Una matrice di N righe ed M colonne è memorizzata mediante un array di array dello stesso tipo della matrice, ciascuno contenente gli elementi di una riga.

Esempio: Nel seguente frammento di codice viene dichiarata una matrice m di 3 righe e 5 colonne

```
const int N = 3, M = 5;
int m[N][M]; // dichiarazione di una matrice NxM m
```

La figura seguente mostra la rappresentazione interna della matrice m appena dichiarata.



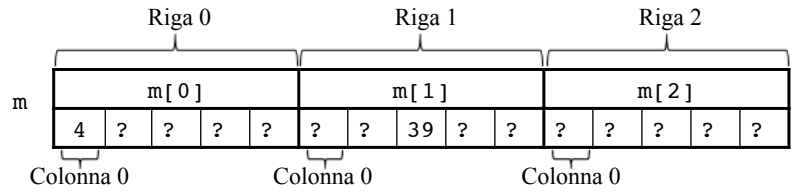
L'array i-esimo di m (contenente la riga i-esima della matrice) è denotato dall'espressione `m[`i`]`. Pertanto, l'elemento con indice di riga i e colonna j è denotato in C dall'espressione m[i][j]. L'identificatore della matrice rappresenta un puntatore all'array m[0].

La lettura e la scrittura delle componenti di una matrice avvengono in maniera essenzialmente analoga a quanto visto per gli array.

Esempio: Con riferimento alla matrice m definita nell'esempio precedente, assegniamo dei valori ad alcune sue componenti.

```
// assegnazione dell'elemento della matrice m
// alla riga 1, colonna 2
m[1][2] = 39;
// assegnazione dell'elemento della matrice m
// alla riga 0, colonna 0
m[0][0] = 4;
printf("%d\n", m[1][2]); // stampa 39
```

La figura seguente mostra lo stato della memoria dopo l'esecuzione del frammento di codice.



5.3.1. Inizializzazione di matrici tramite espressioni

Le matrici possono essere inizializzate mediante espressioni, in maniera simile agli array.

Esempio: Definiamo ed inizializzamo la matrice m usando espressioni.

```
int m[][2] = {
 {3,5},
 {9,12}
};
```

Nella definizione, solo la prima dimensione della matrice, ovvero il numero di righe, può essere non specificata.

La definizione di matrice sopra mostrata è del tutto equivalente al seguente frammento:

```
int m[2][2];
m[0][0] = 3; m[0][1] = 5;
m[1][0] = 9; m[1][1] = 12;
```

5.3.2. Numero di righe e colonne di una matrice

Usando la funzione sizeof è possibile ottenere il numero di elementi contenuti in una matrice ed il suo numero di righe e colonne. *Esempio:*

```
int x[][2]= {{3,5}, {9,12}, {8,10}};
int n_bytes = sizeof(x); // 24 (6 interi x 4 bytes
)
int n_elementi = n_bytes / sizeof(int); // 6
```

Per conoscere il numero di colonne è sufficiente calcolare il numero di elementi di una riga qualsiasi (ovvero del corrispondente array), ad esempio:

```
int n_colonne = sizeof(x[0])/sizeof(int); // 2
```

Infine, il numero di righe può essere ottenuto semplicemente dividendo il numero di elementi per il numero di colonne:

```
int n_righe = n_elementi / n_colonne; // 3
```

5.3.2.1. Esempio: stampa di una matrice per righe e per colonne

La visita degli elementi di una matrice può essere facilmente realizzata facendo uso di due cicli annidati.

Il seguente frammento stampa una matrice x di n_righe righe ed m_colonne colonne, procedendo per righe, e ne stampa il contenuto (una riga per linea di stampa.

```
for (int i=0; i<n_righe; i++) {
    for (int j=0; j<n_colonne; j++)
        printf("%d ", x[i][j]);
    printf("\n");
}
```

Si noti che per accedere a tutti gli elementi della matrice x vengono usati due cicli for annidati: quello esterno legge le righe (i), quello interno legge gli elementi di ogni riga (j). Quando tutti gli elementi di una riga sono stati stampati, viene stampato il carattere di ritorno a capo.

La stampa per colonne può essere effettuata nel modo seguente (una colonna per linea di stampa).

```
for (int i=0; i<n_colonne; i++) {
    for (int j=0; j<n_righe; j++)
        printf("%d ", x[j][i]);
    printf("\n");
}
```

Anche in questo caso vengono usati due cicli for annidati: quello esterno scorre le colonne (i), quello interno scandisce gli elementi di ogni colonna (j).
Esempio d'uso:

```
int main () {
    const int n_righe=2;
    const int n_colonne=3;
    int m[][n_colonne]= {{1, 2, 2}, {7, 5, 9}};
    printf( "stampa matrice per righe\n");
    for (int i=0; i<n_righe; i++) {
        for (int j=0; j<n_colonne; j++)
            printf("%d ",m[i][j]);
        printf("\n");
    }
    printf("stampa matrice per colonne\n");
    for (int i=0; i<n_colonne; i++) {
        for (int j=0; j<n_righe; j++)
            printf("%d ",m[j][i]);
        printf("\n");
    }
    return 0;
}
```

Il programma stampa:

```
stampa matrice per righe
1 2 2
7 5 9
stampa matrice per colonne
1 7
2 5
2 9
```

5.3.2.2. Esempio: somma di matrici

Sempre usando di cicli annidati, è possibile calcolare la somma di due matrici A e B aventi stesse dimensioni (numero di righe e stesso numero di colonne), ovvero la matrice C ottenuta sommando gli elementi corrispondenti (stessi indici di riga e colonna) delle due matrici.

```
for (int i = 0; i < n_righe; i++){
    for (int j = 0; j < n_colonne; j++){
        C[i][j] = A[i][j] + B[i][j];
    }
}
```

L'uso dei cicli annidati permette di accedere a tutti gli elementi delle matrici A, B (per effettuarne le somme) e C (per inizializzarne i valori). L'accesso agli elementi di ciascuna matrice segue l'ordine per righe (il ciclo esterno scorre le righe, quello interno gli elementi di ogni riga) ma la stessa operazione avrebbe potuto essere realizzata procedendo per colonne.

5.3.2.3. Esempio: prodotto di matrici

Scriviamo un frammento di codice che definisce i valori di una nuova matrice C ottenuta come prodotto di A e B, assumendo che A e B siano quadrate, ovvero abbiano lo stesso numero N di righe e colonne.

Si ricordi che ogni elemento C[i][j] del prodotto di matrici $A \times B$ è ottenuto come prodotto scalare della riga i di A con la colonna j di B, cioè per ogni coppia di indici i,j, si ha: $\texttt{C[i][j]} = \sum_k (\texttt{A[i][k]} * \texttt{B[k][j]})$.

```
for (int i=0; i<N; i++)
    for (int j=0; j<N; j++) {
        C[i][j] = 0;
        for (int k=0; k<N; k++)
            C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];
    }
```

In questo caso occorrono tre cicli annidati: uno (esterno) per scorrere le righe (i) di C, uno (intermedio) per scorrere le colonne (j) di C ed uno (interno) per calcolare il prodotto scalare, da assegnare a C[i][j], della riga i di A con la colonna j di B.

5.3.3. Passaggio di parametri matrice

Per passare dei parametri di tipo matrice è necessario indicare, nell'intestazione della funzione, il numero di colonne della matrice. Il numero di righe è invece opzionale.

Esempio: La seguente funzione prende in input una matrice con un numero di righe passato come parametro (n_righe) ed un numero fisso di colonne pari a 3.

```
void stampaMatrice(float A[][3], int n_righe){
    for(int i = 0; i < n_righe; i++){
        for (int j = 0; j < 3; j++){
            printf("%f ",A[i][j]);
        }
        printf("\n");
    }
}
```

Si osservi che la funzione appena definita può trattare solo matrici con 3 colonne! Inoltre, se il numero di righe fosse stato definito nella specifica della matrice, usando la dichiarazione int A[2][3], anche il numero di righe sarebbe stato fissato.

Per quanto riguarda l'uso della funzione sizeof all'interno di una funzione che prende matrici in input, valgono considerazioni analoghe a quanto visto per gli array. In particolare, quando è necessario conoscere il numero di righe della matrice all'interno della funzione (se non specificato nell'intestazione), questo deve essere fornito in input come parametro.

5.3.3.1. Esempio: somma per righe di una matrice

Realizziamo una funzione void sommaRigheMatrice(int A[][3], int N, int V[]) che assegna all'elemento di indice i dell'array V la somma degli elementi della riga i di M.

```
void sommaRigheMatrice (int A[][3], int N, int V[]) {
    for (int i=0; i<N; i++) {
        V[i]=0;
        for (int j=0; j<3; j++)
            V[i] += A[i][j];
    }
}
```

Esempio d'uso:

```
const int N=3;
int A [][N] = {     // crea matrice A con dimensione 3
    x3
    { 1, 2, 2 },    // riga 0 di A (array di 3 int)
    { 7, 5, 9 },    // riga 1 di A (array di 3 int)
    { 3, 0, 6 }     // riga 2 di A (array di 3 int)
  }
  int B[3];
  sommaRigheMatrice(A,N,B);
  for (int i=0; i<N; i++)
    printf("%d\n", B[i]); // stampa array
```

Il programma stampa:

```
5
21
9
```

5.3.4. Matrici come array di puntatori

La restrizione di dover indicare il numero di colonne rende l'uso delle matrici ristretto a casi particolari, in cui le dimensioni sono note a tempo di compilazione. Quando necessario, è possibile sfruttare gli array di puntatori per creare matrici di dimensioni note a tempo di esecuzione, passarle come parametri e farle restituire da funzioni. *Esempio:*

```
int righe = 10, colonne = 5;
int** m = (int**) calloc(righe,sizeof(int*));
for (int i = 0; i < righe; i++) {
    m[i] = (int*) calloc(colonne,sizeof(int));
}
```

5.3.4.1. Modificare una matrice passata come parametro

Realizziamo una funzione che prenda in input una matrice mat di interi di n righe ed m colonne, rappresentata come array di puntatori, e faccia side-effect su di essa, raddoppiando il valore di ogni suo elemento.

```
void raddoppiaMatrice(int** mat, int n, int m){
    for(int i = 0; i < n; i++){
        for(int j = 0; j < m; j++){
            mat[i][j] *= 2;
        }
    }
}
```

```
int main(){
    int righe = 10, colonne = 5;
    int** m = (int**) calloc(righe,sizeof(int*));
    for (int i = 0; i < righe; i++) {
        m[i] = (int*) calloc(colonne,sizeof(int));
        for(int j = 0; j < colonne; j++){
            m[i][j] = i + j;
        }
    }
    raddoppiaMatrice(m,righe,colonne);
}
```

5.3.4.2. Restituire una nuova matrice

Realizziamo una funzione che crea una matrice tramite allocazione dinamica di array di array inizializzata a 0.

```
int **creamatrice(int righe, int colonne) {
    int** m = (int**) calloc(righe,sizeof(int*));
    for (int i = 0; i < righe; i++) {
        m[i] = (int*) calloc(colonne,sizeof(int));
    return m;
}
```

Realizziamo una funzione che, presa in input una matrice mat di interi di n righe ed m colonne rappresentata come array di puntatori, restituisca una nuova matrice di m righe ed n corrispondente alla trasposta della matrice di input.

```
int** trasponiMatrice(int** mat, int n, int m){
    int** risultato = (int **) calloc(m,sizeof(int*));
    for(int i = 0; i < m; i++){
        risultato[i] = (int*) calloc(n,sizeof(int));
        for(int j = 0; j < n; j++){
            risultato[i][j] = mat[j][i];
        }
    }
    return risultato;
}
```

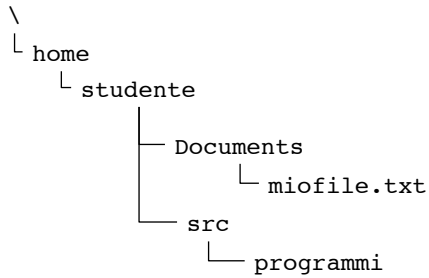
```
int main(){
    int righe = 10, colonne = 5;
    int** m = creaMatrice(righe,colonne);
    int** trasposta = trasponiMatrice(m,righe,colonne)
    ;
}
```

5.4. File

I *file* rappresentano la principale struttura per la memorizzazione di dati in maniera persistente (ovvero tali da essere mantenuti anche dopo lo spegnimento della macchina) su memoria di massa. Essi possono contenere caratteri alfanumerici codificati in formato standard (es. ASCII), direttamente leggibili dall'utente (*file di testo*), oppure dati in un formato interpretabile dai programmi (*file binari*). I file di testo sono normalmente organizzati in sequenze di linee ciascuna delle quali contiene una sequenza di caratteri. In questa unità tratteremo solamente file di testo.

Ogni file è caratterizzato dal nome e dalla directory (o cartella) in cui risiede. In C, un file è identificato dal suo percorso (assoluto o relativo).

Esempio: Si consideri la seguente organizzazione del filesystem:



Il percorso assoluto del file miofile.txt è:

- /home/studente/Documents/miofile.txt.

Il percorso relativo del file a partire dalla directory studente è:

- Documents/miofile.txt

Il percorso relativo del file a partire dalla directory programmi è:

- ../../Documents/miofile.txt

Il percorso relativo del file a partire dalla directory Documents è:

- ./miofile.txt

Le operazioni fondamentali sui file sono: creazione, lettura, scrittura, rinominazione ed eliminazione. Queste operazioni possono essere effettuate tramite il sistema operativo (ovvero un apposito interprete dei comandi) o mediante istruzioni del linguaggio C.

La libreria C che fornisce funzioni, tipi e costanti per la manipolazione di file è definita nel file stdio.h.

5.4.1. Operazioni sui file

Per eseguire operazioni di lettura e scrittura su file è necessario *aprire* il file prima di eseguire le operazioni e *chiudere* il file al termine dell'esecuzione delle operazioni.

- Aprire un file significa indicare al sistema operativo la volontà di eseguire operazioni sui file. Il sistema operativo verifica all'atto dell'apertura del file se tale operazione è possibile (controllando, ad esempio, che non vi siano altri programmi che stiano scrivendo sul file). L'apertura del file può avvenire in diverse modalità, tra cui

apertura in lettura e *apertura in scrittura*, che definiscono un comportamento differente nel sistema operativo (ad esempio è possibile che due applicazioni aprano lo stesso file contemporaneamente in lettura, ma non in scrittura).

- Chiudere un file significa indicare al sistema operativo che il file precedentemente aperto non è più usato dal programma. L'operazione di chiusura serve anche ad assicurarsi che i dati vengano effettivamente scritti sul disco.

5.4.2. Il tipo FILE

Per permettere la manipolazione di file, il C definisce il tipo FILE (come record). Tutte le operazioni su file avvengono tramite puntatori a strutture di questo tipo.

Esempio: Esempio di dichiarazione di un puntatore a FILE

```
FILE* pfile = NULL;
```

5.4.3. Apertura di un file di testo

La funzione C che permette l'apertura di un file è la seguente:

- `FILE* fopen(const char* filename, const char* mode)`

Questa funzione apre il file identificato dal percorso filename nella modalità indicata dalla stringa mode e restituisce un puntatore alla struttura di tipo FILE che lo identifica (NULL se non è stato possibile aprire il file). Il percorso può essere sia assoluto che relativo. Nel secondo caso, il percorso deve partire dalla directory di lavoro del programma in esecuzione (tipicamente, la directory da cui il programma è stato lanciato, a meno che non sia modificata all'interno del programma). Per quanto riguarda la modalità di apertura, per i file di testo sono disponibili le seguenti opzioni:

r	lettura (default)
w	scrittura (sovrascrive, crea se non esiste)
a	accodamento (crea se non esiste)
r+	lettura e scrittura da inizio file
w+	lettura e scrittura (sovrascrive, crea se non esiste)
a+	lettura e scrittura (accodamento, crea se non esiste)

Esempio: Il seguente frammento di codice apre il file miofile.txt in lettura e scrittura (creandolo, se non esiste) ed assegna il puntatore al file alla variabile file:

```
FILE* file = fopen("/home/studente/Documents/miofile.
    txt", "w+");
```

5.4.4. Chiusura di un file di testo

La funzione C che permette la chiusura di un file è la seguente:

- `int fclose(FILE* file)`

Essa prende in input il puntatore ad una struttura di tipo FILE e chiude il file corrispondente. In caso di successo, la funzione restituisce il valore 0, altrimenti la costante EOF definita in stdio.h.

Esempio: Il seguente frammento di codice mostra il classico schema di accesso ad un file. Il file viene aperto, elaborato e al termine dell'elaborazione viene chiuso.

```
FILE* file = fopen("/home/studente/Documents/miofile.
    txt", "w+");
// ...accesso al file
fclose(file);
```

5.4.5. Scrittura di file di testo

Per scrivere stringhe in un file di testo occorre:

1. aprire il file e verificarne la corretta apertura
2. scrivere testo nel file
3. chiudere il file e verificarne la corretta chiusura

Ricordando che fopen ed fclose restituiscono rispettivamente il valore NULL e EOF in caso di insuccesso, gli esiti dell'apertura e della chiusura possono essere facilmente verificati tramite il test di una condizione (v. esempio seguente).

Per quanto riguarda l'output, le funzioni più comuni sono:

- int fprintf(FILE* file, const char* formato, ...)
- int fputs(const char* s, FILE* file)

La prima funzione è essenzialmente analoga a printf, ad eccezione del fatto che il suo primo parametro è un puntatore a FILE che rappresenta il file su cui essa andrà a stampare l'output.

Esempio: Il seguente frammento di codice stampa 3 righe in un file di testo. Se il file non esiste, lo crea, altrimenti ne sovrascrive il contenuto a partire dal primo carattere.

scrivi-file.c

```
FILE* file = fopen("/home/studente/Documents/miofile.
    txt", "w+");

if (file == NULL){
    printf("Errore nell'apertura del file\n");
    exit(1);
}

for(int i = 0; i < 3; i++){
    fprintf(file, "Questa e' la riga numero %d\n", i);
}

int ok = fclose(file);
if (ok != 0){
    printf("Errore nella chiusura del file\n");
    exit(1);
}
```

Si noti come la corretta apertura e chiusura del file siano verificate tramite il test di opportune condizioni.

L'esecuzione di questo frammento produce il seguente output nel file /home/studente/Documents/miofile.txt

```
Questa e' la riga numero 0
Questa e' la riga numero 1
Questa e' la riga numero 2
```

La funzione fputs si comporta in maniera analoga a puts, ovvero stampa la stringa seguita dal carattere di ritorno a capo, ma stampa l'output nel file passato come parametro.

5.4.5.1. Esempio: scrittura su un file di input fornito da utente

Realizziamo un programma che accoda in un file, il cui percorso è preso da input, il testo inserito dall'utente. Se il file non esiste, deve essere creato. Il programma termina quando l'utente inserisce il carattere ;.

appendi-testo.c

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

int main(int argc, char** argv){
    char* nomefile = argv[1];

    FILE* file = fopen(nomefile,"a");
    if (file == NULL){
        printf("Errore nell'apertura del file\n");
        exit(1);
    }

    char stringa[256] = "";

    while(strcmp(stringa,";")!= 0){
        printf("Inserisci una stringa: ");
        gets(stringa);
        fprintf(file,"%s\n",stringa);
    }
    int close = fclose(file);
    if(close == EOF){
        printf("Errore nella chiusura del file\n");
        exit(1);
    }
}
```

Si notino l'uso del ciclo while, la cui condizione di terminazione corrisponde all'immissione da parte dell'utente del carattere ;, ed il controllo della corretta apertura e chiusura del file. Si osservi che in caso di errore il programma termina restituendo il valore (non nullo) 1.

5.4.6. Lettura da file di testo

Per leggere da file di testo occorre:

1. aprire il file e verificarne la corretta apertura
2. leggere il testo fino al punto desiderato
3. chiudere il file e verificarne la corretta chiusura

Per la lettura da file, due funzioni comunemente utilizzate sono le seguenti:

- int fscanf(FILE* file, const char* formato, ...)
- char* fgets(char* line, int n, FILE* file)

fscanf si comporta in maniera analoga a scanf, prendendo però come primo parametro il puntatore al file da cui leggere l'input. Raggiunta la fine del file, fscanf restituisce la costante EOF.

Analogamente fgets legge una stringa (fino al carattere di fine linea) dal file specificato.

Esempio: Il seguente frammento di codice legge il file miofile.txt parola per parola e ne stampa il contenuto su schermo.

leggi-file.c

```
FILE* file = fopen("/home/studente/Documents/miofile.
    txt", "r");

if (file == NULL){
    printf("Errore nell'apertura del file\n");
    exit(1);
}
char s[256];
while (fscanf(file,"%s",s) != EOF){
    printf("%s",s);
}
int close = fclose(file);
if (close == EOF){
    printf("Errore nella chiusura del file\n");
    exit(1);
}
```

La funzione fgets prende in input un puntatore ad array di caratteri (line), un intero n e il puntatore al file da cui si vuole leggere (file), legge la riga corrente del file, partendo dalla prima ed avanzando ad ogni invocazione, e la memorizza nell'array puntato da line. Il valore n indica il massimo numero di caratteri che line può contenere meno 1 (l'ultimo carattere è usato dal terminatore di stringa). Ad ogni invocazione, fgets legge o la riga corrente del file (se essa non contiene più di n-1 caratteri) oppure i prossimi n-1 caratteri. Quando viene raggiunta la fine del file, la funzione restituisce il puntatore NULL, altrimenti restituisce il valore del suo primo argomento (ovvero un riferimento alla stringa appena letta).

Esempio: Il seguente frammento di codice legge il file miofile.txt riga per riga e ne stampa il contenuto su schermo.

leggi-file-fgets.c

```
FILE* file = fopen("/home/studente/Documents/miofile.
    txt", "r");

if (file == NULL){
    printf("Errore nell'apertura del file\n");
    exit(1);
}
char line[256];
while (fgets(line,sizeof(line),file) != NULL){
    printf("%s",line);
}
int close = fclose(file);
if (close == EOF){
    printf("Errore nella chiusura del file\n");
    exit(1);
}
```

Infine, è anche possible leggere un file carattere per carattere, usando la funzione:

```
int fgetc(FILE* file)
```

Questa funzione legge il carattere corrente del file a cui il parametro file fa riferimento, avanzando ad ogni invocazione, e restituendo il codice ASCII dell'ultimo carattere letto. Raggiunta la fine del file, fgetc restituisce la costante EOF.

5.4.6.1. Schema di ciclo di lettura da file

Osserviamo che la lettura da file avviene secondo lo schema di ciclo seguente:

```
FILE* f = fopen(...);
//...
while (!<fine-file>) {
  // leggi prossimo blocco (carattere, parola o riga)
}
fclose(f);
//...
```