

Il linguaggio C

Funzioni

Funzioni C

- A cosa servono ?
 - a raccogliere il codice comune a più parti del programma per poterlo definire e mettere a punto una volta per tutte ...
 - Es: ho replicato 37 volte il codice per il calcolo delle radici di un polinomio e mi accorgo che c'è un piccolo errore
 - A mettere a disposizione ad altri codice che fa qualcosa di utile attraverso il meccanismo delle librerie (es. **printf()** , **sqrt()** , ...)
 - Vedremo come fare più avanti, richiedono la creazione della libreria e del file header (il .h) corrispondenti

Funzioni C

Come si realizzano ?

- Attraverso la **definizione di funzione** :
 - la definizione di una funzione è costituita da:
 - 1) una **intestazione** (*head*) che fornisce il tipo ed il nome dei parametri da passare alla funzione (**parametri formali**), ed il tipo del valore restituito
 - es: $f(x, y) = x + y$

```
int somma (int x, int y) {  
    return (x + y);  
}
```

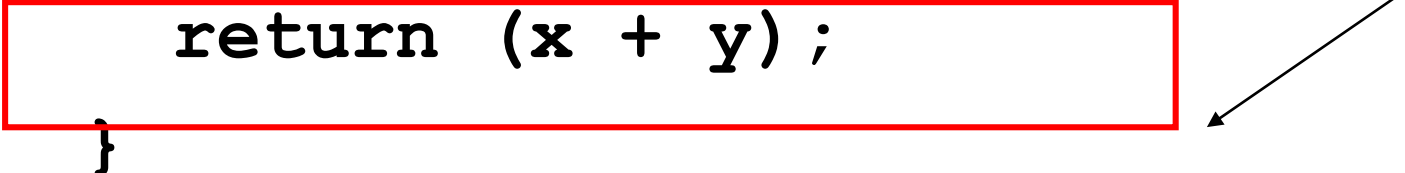
intestazione

Funzioni C

Come si realizzano ?

- Attraverso la **definizione di funzione** :
 - la definizione di una funzione è costituita da:
 - 1) un **nome** (nome della funzione)
 - 2) un **corpo** (*body*) costituito da un blocco che specifica le istruzioni da eseguire
 - L'istruzione **return** permette di specificare quale valore restituire come risultato della funzione
 - es: $f(x, y) = x + y$

```
int somma (int x, int y) { corpo  
    return (x + y);  
}
```



Funzioni C

Come si utilizzano?

- Attraverso la **chiamata di funzione** :
 - La chiamata di funzione permette di eseguire le istruzioni contenute nel body di una funzione fornendo dei valori ai parametri formali
 - Basta utilizzare il nome della funzione e fornire una espressione (**parametro attuale**) per ogni parametro formale
 - Es: `int a = 3; int b = 5;`
`a = somma(10, a+b+1);`
 - Ogni parametro attuale viene valutato ed il valore assegnato al parametro formale corrispondente prima di eseguire il body

Esempio: funzione max

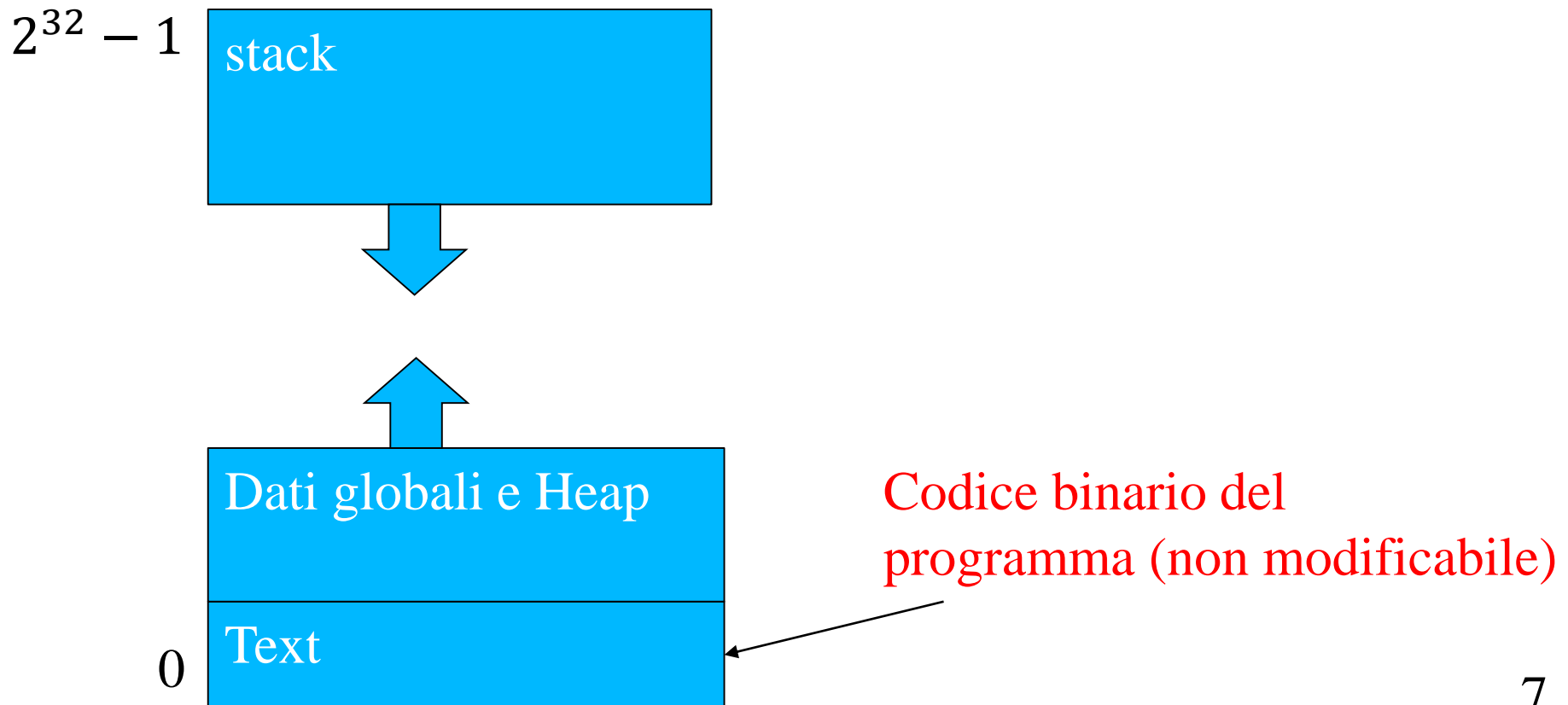
```
#include <stdio.h>
```

```
int max (int a, int b) {  
    int tmp;  
    if (a < b) tmp = b; else tmp = a;  
    return tmp;  
} /* può essere utilizzata da qua in poi */
```

```
int main (void) {  
    int x;  
    x = max(10,2);  
    printf("Il massimo è %d \n",x);  
    return 0;  
}
```

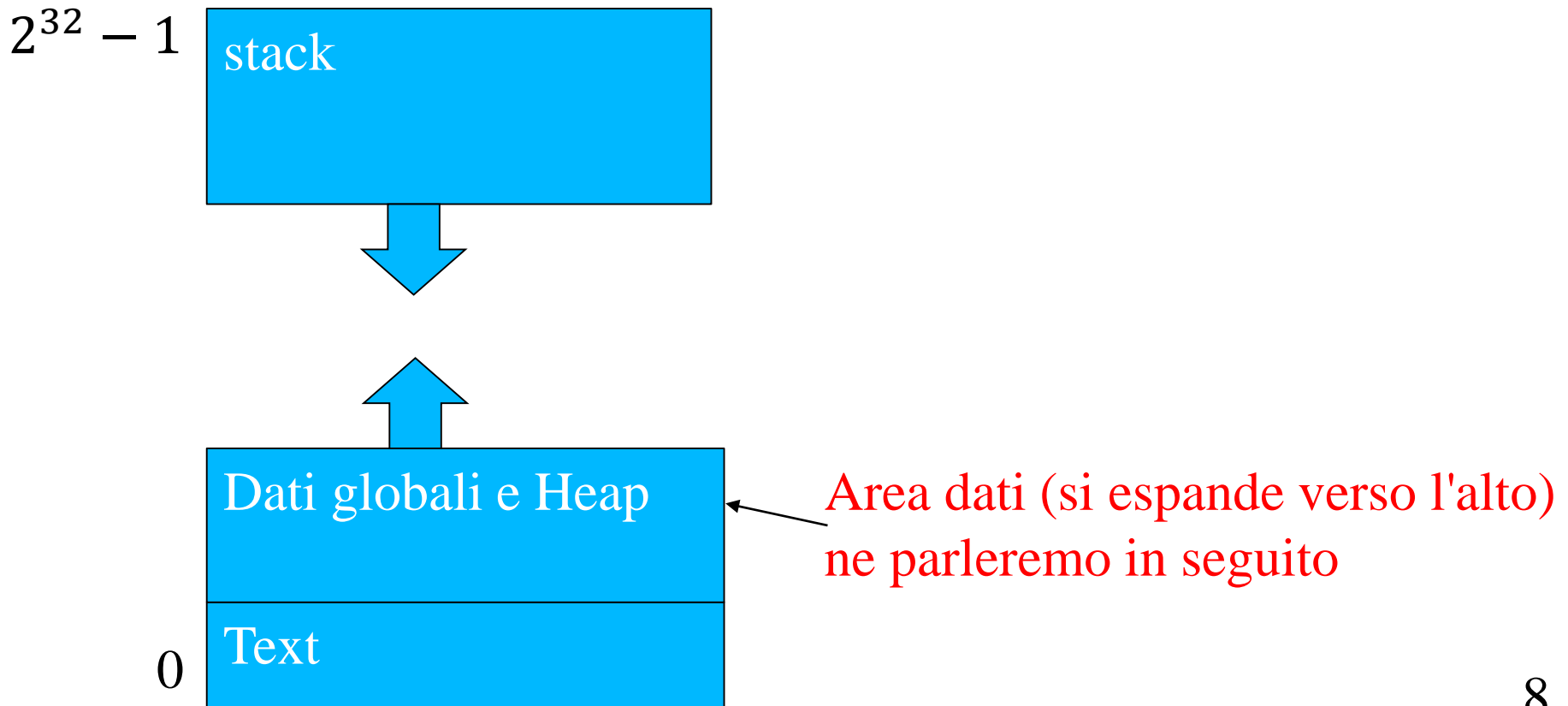
Funzioni C

- Cosa succede veramente quando viene eseguita una funzione ?
 - come vede la memoria un programma C in esecuzione ?



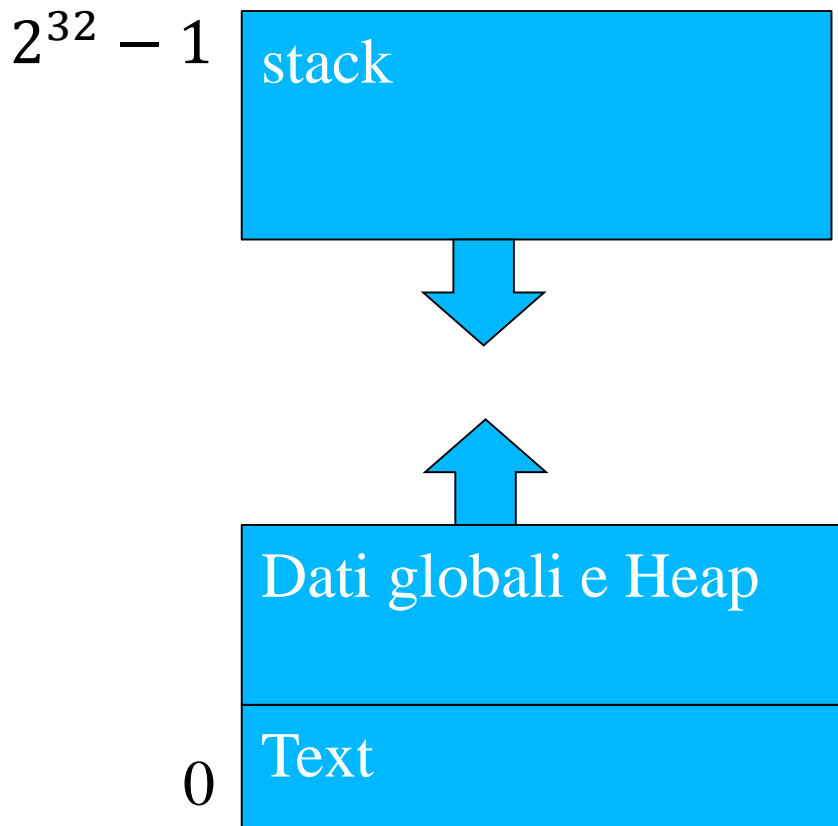
Funzioni C

- Cosa succede veramente quando viene eseguita una funzione ?
 - come vede la memoria un programma C in esecuzione ?



Funzioni C

- Cosa succede veramente quando viene eseguita una funzione ?
 - come vede la memoria un programma C in esecuzione ?



Area utilizzata per realizzare le esecuzioni delle funzioni attraverso delle strutture (*frame*)
Che contengono:

- Le variabili della funzione
- I *parametri attuali* (copia dei valori con cui viene attivata)
- Indirizzo da dove ricominciare quando l'esecuzione è finita (*indirizzo di ritorno*)

Frame: Esempio

```
#include <stdio.h>

int max (int a, int b) {
    int tmp;
    if (a < b) tmp = b; else tmp = a;
    return tmp;
}

int main (void) {
    int x;
    x = max(10,2);
    printf("Il massimo è %d \n", x);
    return 0;
}
```

Frame: esempio

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

```
int max (int a, int b) {  
    int tmp;  
    if (a < b) tmp = b; else tmp = a;  
    return tmp;  
}
```

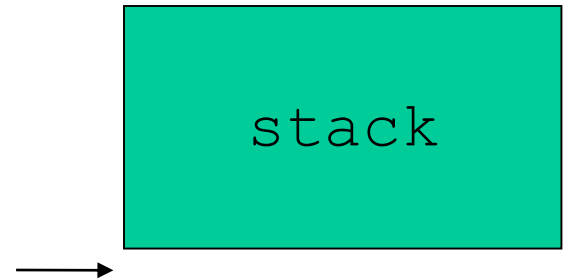
```
int main (void) {  
    int x;  
    x = max(10, 2);  
    printf("Il massimo è %d \n", x);  
    return 0;  
}
```

Parametri attuali il cui valore è copiato sullo stack

Frame: esempio

```
→ x = max(10,2);  
XX: printf("Il massimo è %d \n", x);  
   return 0;  
}
```

```
int max (int a, int b) {  
    int tmp;  
    if (a < b) tmp = b;  
    else tmp = a;  
    return tmp;  
}
```

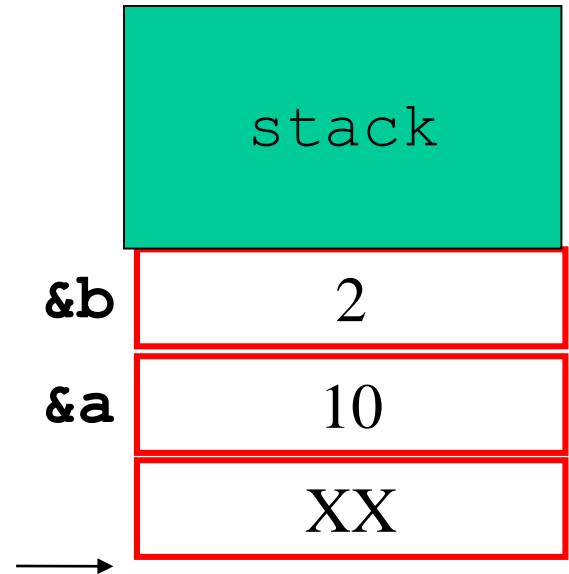


Frame: esempio

→ `x = max(10, 2);`

```
XX: printf("Il massimo è %d \n", x);  
    return 0;  
}
```

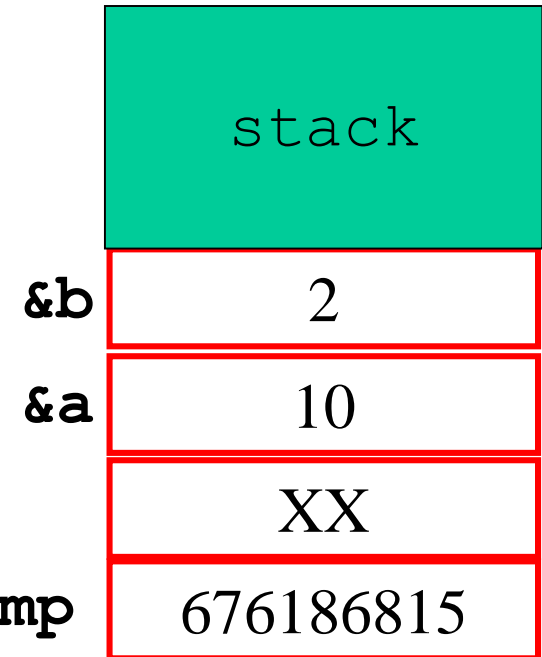
```
int max (int a, int b) {  
    int tmp;  
    if (a < b) tmp = b;  
    else tmp = a;  
    return tmp;  
}
```



Frame: esempio

```
x = max(10, 2);  
XX: printf("Il massimo è %d \n", x);  
    return 0;  
}
```

```
int max (int a, int b) {  
→ int tmp;  
  if (a < b) tmp = b;  
  else tmp = a;  
  return tmp;  
}
```

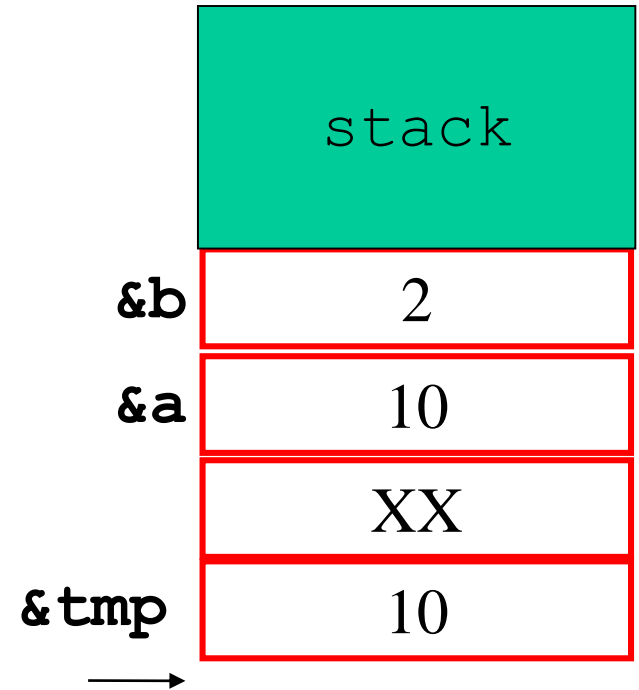


Variabile locale
Allocate sullo stack

Frame: esempio

```
x = max(10,2);  
XX: printf("Il massimo è %d \n", x);  
return 0;  
}
```

```
int max (int a, int b) {  
    int tmp;  
    → if (a < b) tmp = b;  
    else tmp = a;  
    return tmp;  
}
```

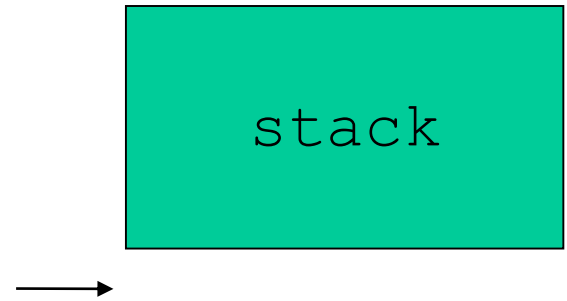


Frame: esempio

```
x = max(10, 2);
```

```
→ xx: printf("Il massimo è %d \n", x);  
    return 0;  
}
```

```
int max (int a, int b) {  
    int tmp;  
    if (a < b) tmp = b;  
    else tmp = a;  
  
    return tmp;  
}
```



Funzioni C : prototipi

- E se voglio usare la funzione prima di averla definita ?
 - Posso usare la **dichiarazione di funzioni** (*prototipo*):
 - Anticipa l'intestazione della funzione: nome della funzione, il tipo del valore restituito ed il tipo di tutti gli argomenti utilizzati

Prototipo: Esempio

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

```
int max (int a, int b); /* prototipo */
```

```
int main (void) {  
    printf("Il massimo è %d \n", max(10,2));  
    return 0;  
}
```

```
int max (int a, int b) {  
    int tmp;  
    if (a < b) tmp = b;  
    else tmp = a;  
    return tmp;  
}
```

Prototipo: esempio

- prototipo della funzione di somma di due interi

```
int somma (int, int);
```

oppure

```
int somma (int x, int y);
```

x, **y** sono inutili, ma vengono convenzionalmente specificati per documentazione

Funzioni C: commenti

- È molto importante commentare e documentare le funzioni
 - Format che useremo nel corso (doxygen)

```
/** breve descrizione della funzione  
 \param x significato del parametro  
 \param y significato del parametro  
 .....  
 \retval n valore restituito se ...  
 \retval e valore restituito se ...  
 .....  
 altre informazioni utili */
```

Funzioni C: commenti

- Esempio: funzione polinomio

```
/** calcola le radici di  $a*x^2 + b*x + c$ 
```

```
*/
```

```
double polinomio(double a, double b, double c);
```

Funzioni C: commenti

- Esempio: funzione polinomio

```
/** calcola le radici di  $a*x^2 + b*x + c$   
  \param a coeff. Grado 2  
  \param b coeff. Grado 1  
  \param c coeff. Grado 0  
  
  .....  
  \retval r_1 la radice reale maggiore (Se il polinomio  
  ha radici reali)  
  \retval 0 se il polinomio non ha radici reali  
*/  
double polinomio(double a, double b, double c);
```

Funzioni C : variabili

- Le variabili dichiarate all'inizio del blocco che definisce il corpo della funzione sono dette *locali o automatiche*:
 - sono allocate sullo stack,
 - sono accessibili e visibili solo dentro il blocco in cui sono dichiarate (ed eventuali blocchi interni)
 - perdono il valore fra una esecuzione e l'altra del blocco dove sono dichiarate
- In C ci sono altri tipi di variabili !!!

Funzioni C : variabili globali

- Le variabili **globali** sono variabili dichiarate al di fuori delle funzioni
 - sono accessibili all'interno di tutte le funzioni che si trovano nello stesso file
 - sono allocate nell'area dati e vengono deallocate solo alla terminazione del programma
 - Le globali sono sconsigliate a meno di casi motivati!
 - E devono essere sempre adeguatamente documentate

Esempio: variabile globale

```
#include <stdio.h>
int max (int a, int b);
int k = 0;          /* var globale */

int main (void) {
    printf("Il massimo è %d \n", max(10,2));
    printf("Il valore di k è %d \n", k);
    return 0;
}

int max (int a, int b) {
    k = k + 1;      /* side effect */
    return (a < b)? b : a ;
}
```

Esempio: variabile globale

Se compiliamo ed eseguiamo si ottiene:

```
$ ./max  
Il massimo è 10  
Il valore di k è 1  
$
```

Esempio: variabile globale

```
#include <stdio.h>
int max (int a, int b);
/** conta il numero di attivazioni
    della funzione */
int k = 0;
int main (void) {
    extern k;
    printf("Il massimo è %d \n", max(10,2));
    printf("Il valore di k è %d \n", k);
    return 0;
}
int max (int a, int b) {
    extern k;
    k = k + 1;
    return (a < b)? b : a ;
}
```

Funzioni C: variabile globale

```
/** ...  
  \param ...  
  
  \retval ...  
  incrementa k, globale, ad ogni  
  invocazione */  
int max (int a, int b) {  
    extern k;  
    k = k + 1;  
    return (a < b) ? b : a ;  
}
```

Funzioni C: variabili static

- Sono variabile locali che mantengono il valore fra una invocazione e l'altra della funzione:
 - sono introdotte dalla parola chiave **static**
 - sono accessibili all'interno del blocco in cui sono dichiarate
 - mantengono il valore fra una esecuzione e l'altra del blocco che le contiene
 - Sono allocate nell'area dati come le globali ma sono protette negli accessi
 - Devono essere documentate al solito

Esempio: variabile statica

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

```
int max (int a, int b);
```

```
int main (void) {
```

```
    printf("Il massimo è %d \n", max(10,2));
```

```
    /*k non è più accessibile fuori da max*/
```

```
    return 0;
```

```
}
```

```
int max (int a, int b) {
```

```
    static int k = 0;
```

```
    k++;
```

```
    printf("Il valore di k è %d \n", k);
```

```
    return (a < b) ? b : a ;
```

```
}
```

Esempio: variabile statica

Se compiliamo ed eseguiamo si ottiene un risultato simile ma le stampe sono invertite:

```
$ ./max  
Il valore di k è 1  
Il massimo è 10
```

```
$
```

Tipica organizzazione di un file .c

```
/* direttive al preprocessore */  
#include ...  
#define ...  
/* dichiarazioni di variabili globali*/  
int k;  
/* dichiarazione di funzioni (prototipi)*/  
int somma (int x, int y);  
  
int main (...) {... somma(4,5); ... }  
  
/* definizione di funzioni */  
int somma (int x, int y) {...}
```


Funzioni annidate

- E se volessi definire una funzione dentro un'altra funzione ?
 - Sempre per migliorare l'organizzazione del codice
 - In C non è possibile!
- Vedremo più avanti che è possibile usare la suddivisione di un programma su più file per avere una organizzazione migliore

Funzioni & tipo void

Combinando le funzioni con il tipo speciale **void** possiamo definire funzioni che non producono un valore ma producono delle modifiche dell'ambiente esterno...oppure fare a meno dei parametri

Il tipo `void`

- Può essere utilizzato al posto degli usuali tipi nella intestazione/dichiarazione di una funzione.
 - Es:

```
double leggi_da_input (void) ;  
void stampa_d (double x) ;  
void stampa_versione (void) ;
```
- Usiamolo per fattorizzare codice che "fa delle cose" invece che solo calcolare valori

Esempio 1

```
double leggi_da_input (void) {
    double tmp;
    printf("Inserisci un double:\n");
    scanf("%lf", &tmp);
    return tmp;
}
```

```
int main (void) {
    double x;
    x = leggi_da_input();
    printf("%f\n\n", x);
    return 0;
}
```

Esempio 1: output

Se compiliamo ed eseguiamo si ottiene :

```
$ ./leggi  
Inserisci un double:
```

Inserendo 3.12 e invio ↓

```
3.12
```

```
$
```

- Infatti lo standard input e lo standard output sono condivisi da tutte le funzioni di uno stesso programma!

Esempio 2

```
double leggi_da_input (void) {.... }
void stampa_d (double a) {
    printf("%f\n\n", a);
}
void stampa_versione (void) {
    printf("Versione: 1.1\n", a);
}
int main (void) {
    double x;
    x = leggi_da_input(); stampa_d(x);
    stampa_versione(x);
    return 0;
}
```

Esempio 2: output

Se compiliamo ed eseguiamo si ottiene :

```
$ ./leggi  
Inserisci un double:
```

Inserendo 3.12 e invio ↓

```
3.12  
  
Versione: 1.1  
$
```

Esempio 2

```
double leggi_da_input (void) {.... }
void stampa_d (double a) {
    printf("%f\n\n",a);
    /* manca l'istruzione di return !!!!*/
}
void stampa_versione (void) {
    printf("Versione: 1.1\n",a); }
int main (void) {
    double x;
    x = leggi_da_input(); stampa_d(x);
    stampa_versione(x);
    return 0;
}
```


Funzioni Ricorsive

Ovvero funzioni che richiamano se stesse...

A cosa servono, come funzionano ed esempi....

Introduzione

- Quasi tutti i linguaggi di programmazione permettono ad una funzione di richiamare se stessa dentro il body che la definisce ...
- Vediamo con un esempio:
 - che definizioni che usano la ricorsione ci sono già note dalla matematica
 - e che la cosa può servire anche nella programmazione
 - E daremo l'intuizione del funzionamento

Fattoriale

Consideriamo la definizione:

$$n! = 1 * \dots * n = \prod_{i=1}^n i$$

è possibile fornire una definizione induttiva:

$$n! = \begin{cases} 1 & \text{se } n = 1 \\ n * (n - 1)! & \text{altrimenti} \end{cases}$$

- Di fatto questa seconda definizione riusa se stessa al suo interno, possiamo quindi vederla come un primo esempio di ricorsione
- In questo caso supponiamo di avere già definito la funzione per $n-1$ e spieghiamo come usare questo per definire la funzione per n

Fattoriale

```
/* definizione diretta */
int fattoriale(int n) {
    int i, fatt=1;
    for (i = 2; i <=n ; i++)
        fatt *=i;
    return fatt;
}

/* definizione ricorsiva */
int fattoriale_r(int n) {
    if ( n == 1 ) return 1;
    return (n * fattoriale_r(n-1));
}
```

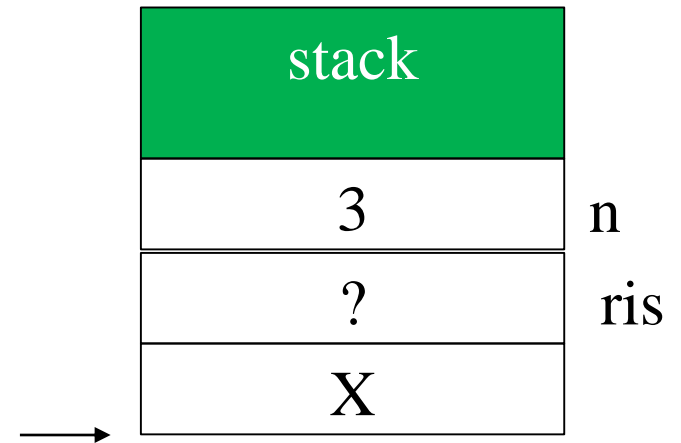
Fattoriale: lo stack

```
/* definizione ricorsiva */  
int fattoriale_r(int n) {  
    if ( n == 1 ) return 1;  
    return (n * fattoriale_r(n-1));  
}  
...  
X: a = fattoriale_r(3);  
...
```



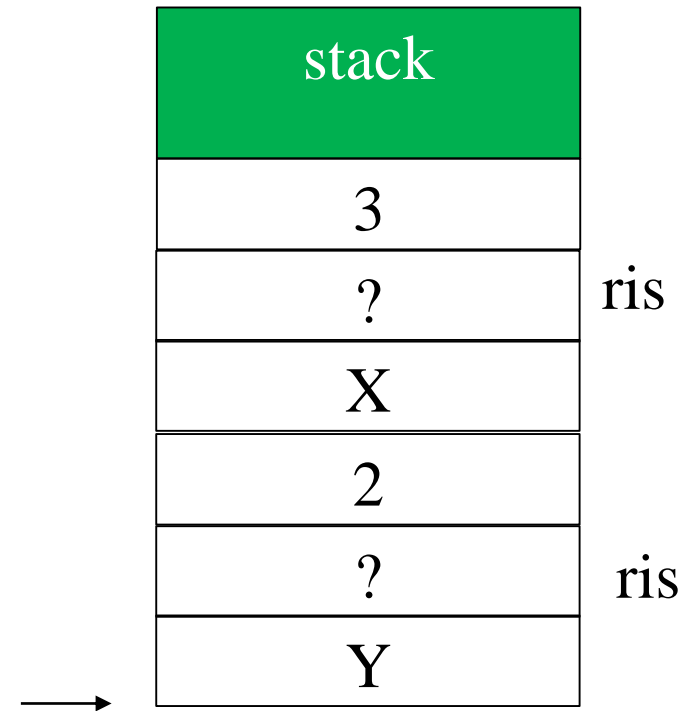
Fattoriale: lo stack

```
/* definizione ricorsiva */  
int fattoriale_r(int n) {  
    if ( n == 1 ) return 1;  
    return (n * fattoriale_r(n-1));  
}  
...  
X: a = fattoriale_r(3);  
...
```



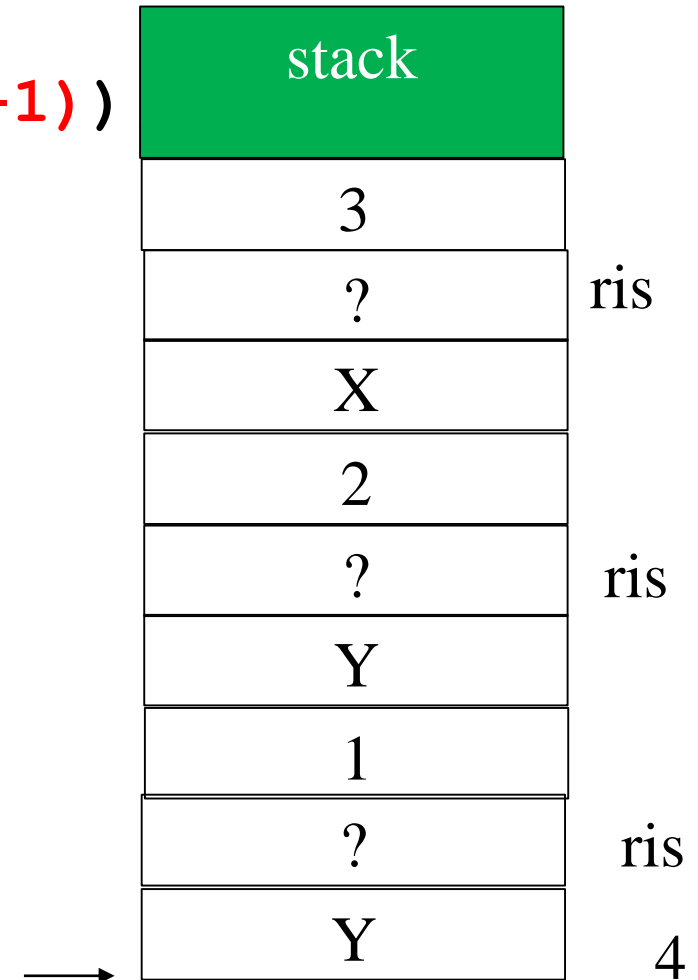
Fattoriale: lo stack

```
/* definizione ricorsiva */  
int fattoriale_r(int n) {  
    if ( n == 1 ) return 1;  
Y:   return (n * fattoriale_r(n-1)) ;  
}  
...  
X: a = fattoriale_r(3) ;  
...
```



Fattoriale: lo stack

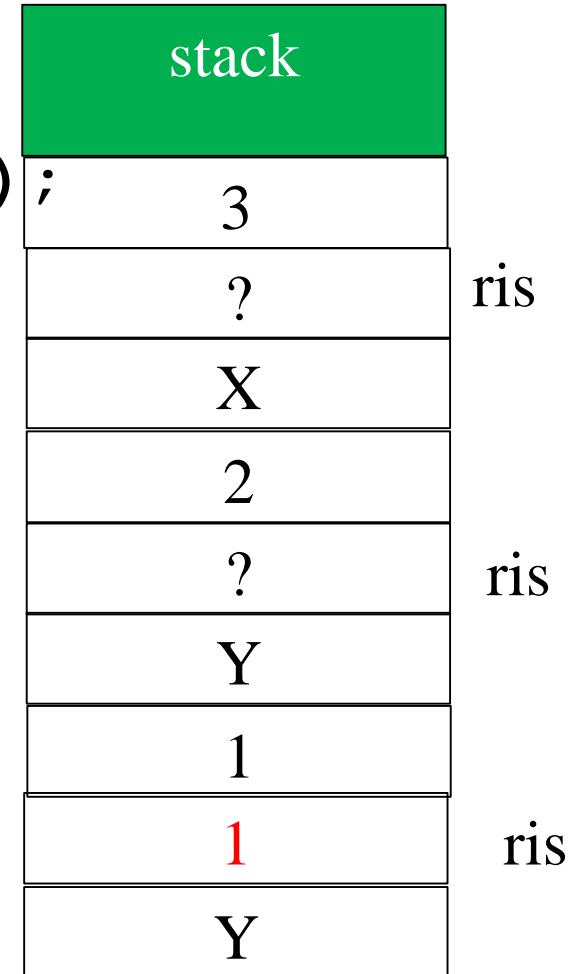
```
/* definizione ricorsiva */  
int fattoriale_r(int n) {  
    if ( n == 1 ) return 1;  
Y: return (n * fattoriale_r(n-1))  
}  
...  
X: a = fattoriale_r(3);  
...
```



Fattoriale: lo stack

```
/* definizione ricorsiva */
int fattoriale_r(int n) {
    if ( n == 1 ) return 1;
Y: return (n * fattoriale_r(n-1));
}
...
X: a = fattoriale_r(3);
...
```

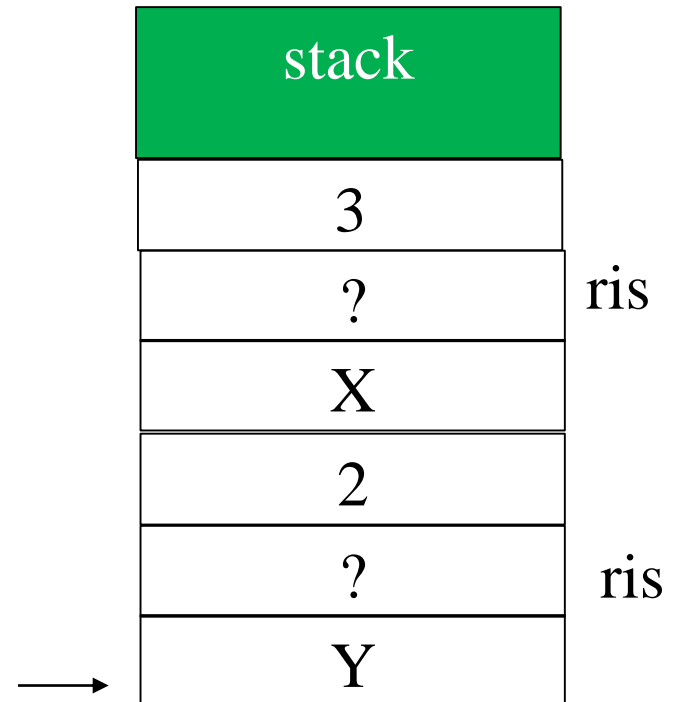
Abbiamo raggiunto il caso base, si ritorna il valore 1



Fattoriale: lo stack

```
/* definizione ricorsiva */  
int fattoriale_r(int n) {  
    if ( n == 1 ) return 1;  
Y:   return (n * fattoriale_r(n-1));  
}  
...  
X:  a = fattoriale_r(3);  
...
```

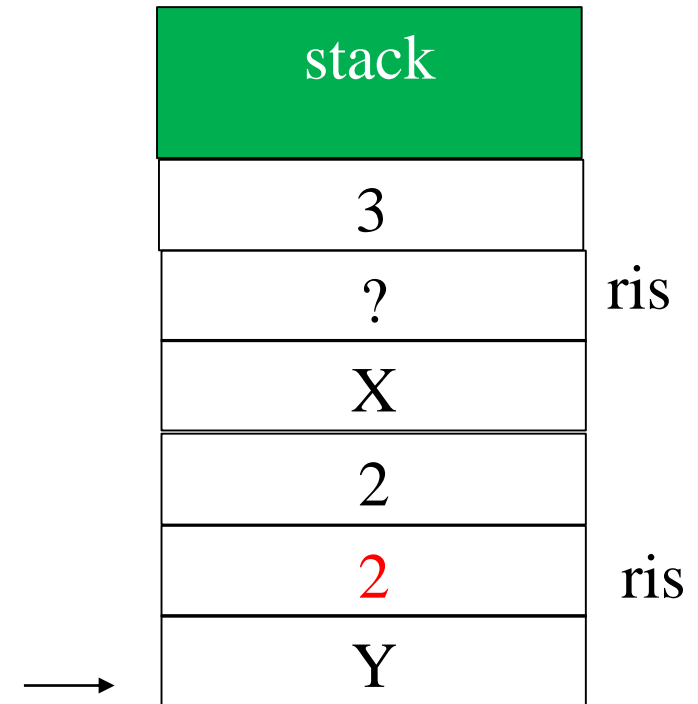
si libera lo stack ritornando ad eseguire
da Y questa chiamata viene sostituita
dal valore 1



Fattoriale: lo stack

```
/* definizione ricorsiva */  
int fattoriale_r(int n) {  
    if ( n == 1 ) return 1;  
Y:   return (n * fattoriale_r(n-1)) ;  
}  
...  
X:  a = fattoriale_r(3) ;  
...
```

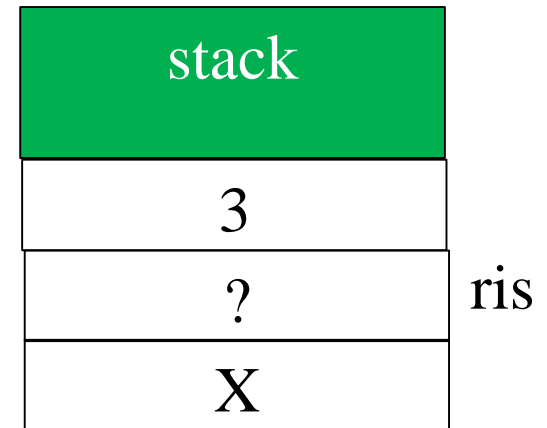
Calcoliamo $2 * 1$ e ritorniamo
2 liberando la pila,
ricominciamo ancora ad
eseguire da Y



Fattoriale: lo stack

```
/* definizione ricorsiva */  
int fattoriale_r(int n) {  
    if ( n == 1 ) return 1;  
Y:   return (n * fattoriale_r(n-1));  
}  
...  
X: a = fattoriale_r(3);  
...
```

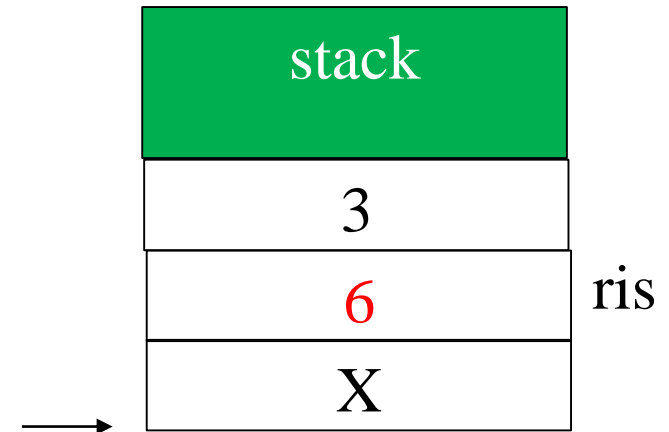
Questa chiamata viene
sostituita da 2



Fattoriale: lo stack

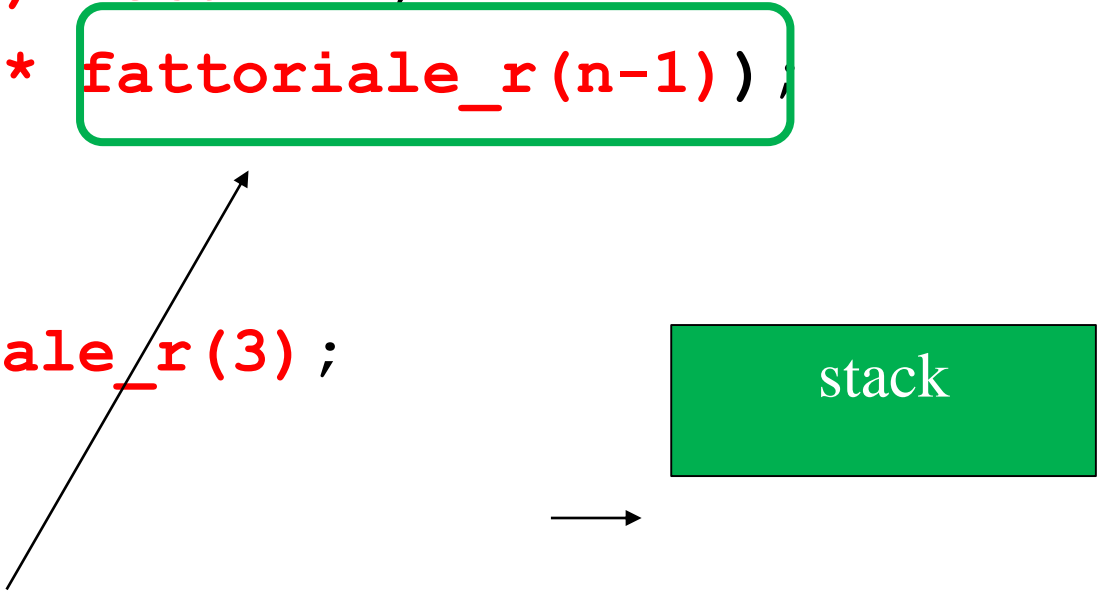
```
/* definizione ricorsiva */  
int fattoriale_r(int n) {  
    if ( n == 1 ) return 1;  
Y:   return (n * fattoriale_r(n-1));  
}  
...  
X:  a = fattoriale_r(3);  
...
```

Calcoliamo $3 * 2 = 6$



Fattoriale: lo stack

```
/* definizione ricorsiva */  
int fattoriale_r(int n) {  
    if ( n == 1 ) return 1;  
Y:   return (n * fattoriale_r(n-1));  
}  
...  
X:  a = fattoriale_r(3);  
...
```



Liberiamo lo stack e ricominciamo
ad eseguire da X assegnando 6 ad **a**

Programmazione ricorsiva

Quindi:

- la programmazione ricorsiva si basa sull'osservazione che a volte la risoluzione di un problema si può ridurre alla **risoluzione di istanze più semplici dello stesso problema combinando i risultati poi in qualche modo**
- Come per *l'induzione ben fondata*, è fondamentale che via via il problema si semplifichi in modo da raggiungere un **caso base** risolubile in modo diretto, altrimenti possiamo non terminare mai!

Esempio 2: invertire una sequenza di caratteri

- Voglio leggere una sequenza di caratteri da standard input (terminata da \n) e stamparla rovesciata su standard output

Casa  **asaC**

Come possiamo comportarci ?

(usando la ricorsione ci possiamo riuscire con quanto sappiamo di C fino ad ora)

Esempio 2: invertire una sequenza di caratteri

- Osserviamo che se so come elaborare correttamente una sequenza di $n-1$ cifre per stampare una sequenza lunga n posso:

- Stampare l'ultima cifra

Cas**a**  **a**

- Chiamare ricorsivamente la stessa funzione per stampare le $n-1$ precedenti

Cas**a**  **asa****C**

- In questo caso il caso base è la sequenza vuota per cui non dobbiamo fare niente

Inversione di una stringa

```
void inverti(void) {
    char c;
    c = getchar();
    if ( c == '\n' ) {
        /* caso base la sequenza è finita, stampo
        una intestazione */
        printf("Sequenza invertita: ");
        return ;
    }
    inverti();
    putchar(c);
    return;
}
```

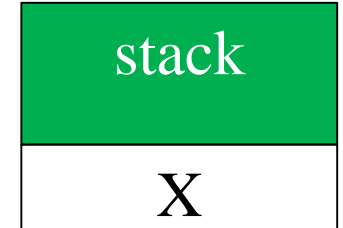
Inversione di una stringa

- Lo eseguiremo in laboratorio per convincerci che funziona...
- Cosa accade stavolta sullo stack ?

Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {
    char c;
    c = getchar();
    if ( c == '\n' ) {
        printf("Sequenza invertita: ");
        return ;
    }
    inverti();
    Y: putchar(c);
    return;
}

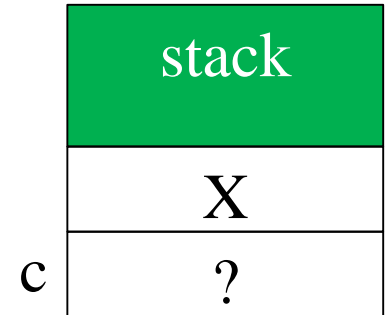
...
inverti();
X: printf("Fine...\n");
...
```



Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {
    char c;
    c = getchar();
    if ( c == '\n' ) {
        printf("Sequenza invertita: ");
        return ;
    }
    inverti();
    Y: putchar(c);
    return;
}

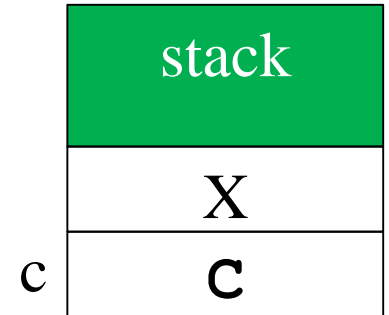
...
inverti();
X: printf("Fine...\n");
...
```



Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {
    char c;
    c = getchar();
    if ( c == '\n' ) {
        printf("Sequenza invertita: ");
        return ;
    }
    inverti();
    Y: putchar(c);
    return;
}

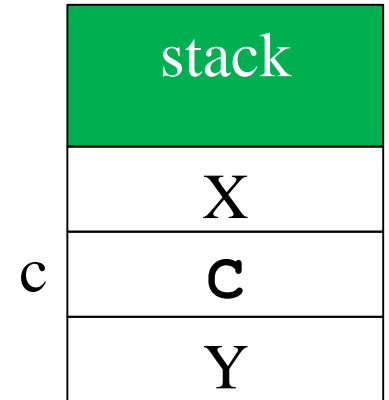
...
inverti();
X: printf("Fine...\n");
...
```



Inversione di una stringa: lo stack

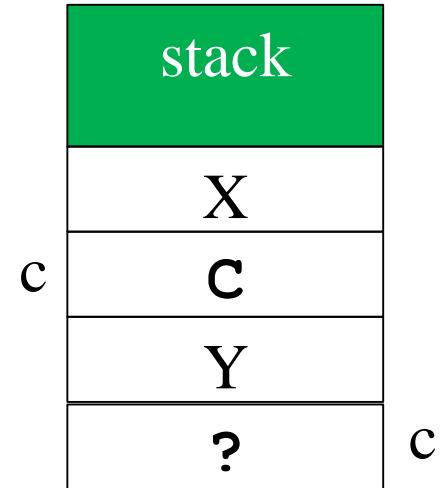
```
void inverti(void) {
    char c;
    c = getchar();
    if ( c == '\n' ) {
        printf("Sequenza invertita: ");
        return ;
    }
    inverti();
    Y: putchar(c);
    return;
}

...
inverti();
X: printf("Fine...\n");
...
```



Inversione di una stringa: lo stack

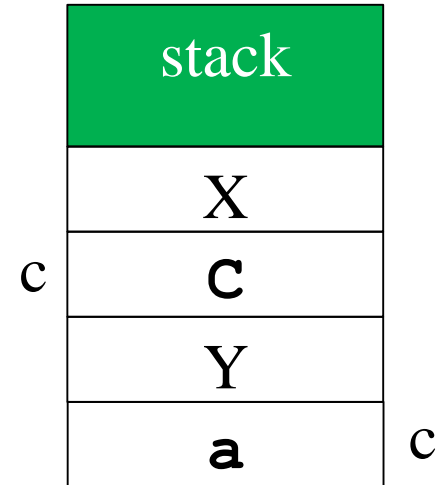
```
void inverti(void) {  
    char c;  
    c = getchar();  
    if ( c == '\n' ) {  
        printf("Sequenza invertita: ");  
        return ;  
    }  
    inverti();  
    Y: putchar(c);  
    return;  
}  
  
...  
inverti();  
X: printf("Fine...\n");  
...
```



Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {
    char c;
    c = getchar();
    if ( c == '\n' ) {
        printf("Sequenza invertita: ");
        return ;
    }
    inverti();
    Y: putchar(c);
    return;
}

...
inverti();
X: printf("Fine...\n");
...
```



Inversione di una stringa: lo stack

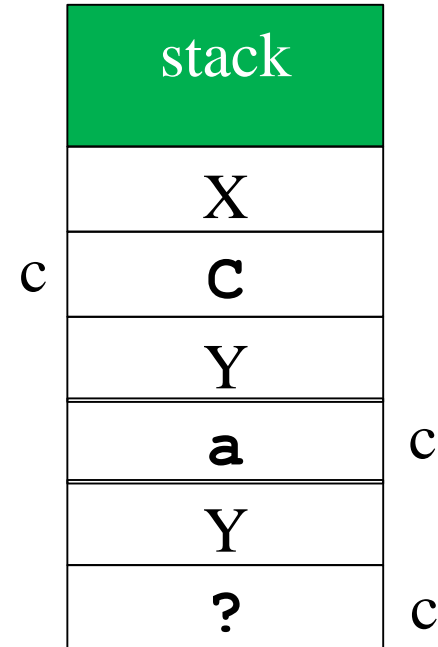
```
void inverti(void) {  
    char c;  
    c = getchar();  
    if ( c == '\n' ) {  
        printf("Sequenza invertita: ");  
        return ;  
    }  
    inverti();  
    Y: putchar(c);  
    return;  
}
```

...

```
inverti();
```

```
X: printf("Fine...\n");
```

...



Inversione di una stringa: lo stack

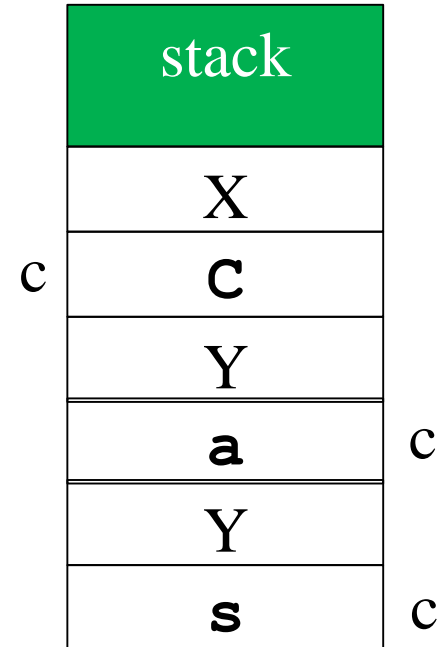
```
void inverti(void) {  
    char c;  
    c = getchar();  
    if ( c == '\n' ) {  
        printf("Sequenza invertita: ");  
        return ;  
    }  
    inverti();  
    Y: putchar(c);  
    return;  
}
```

...

```
inverti();
```

```
X: printf("Fine...\n");
```

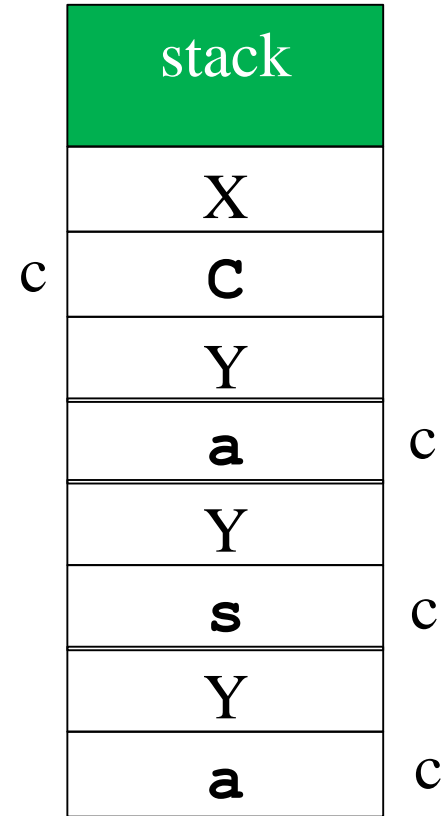
...



Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {
    char c;
    c = getchar();
    if ( c == '\n' ) {
        printf("Sequenza invertita: ");
        return ;
    }
    inverti();
    Y: putchar(c);
    return;
}

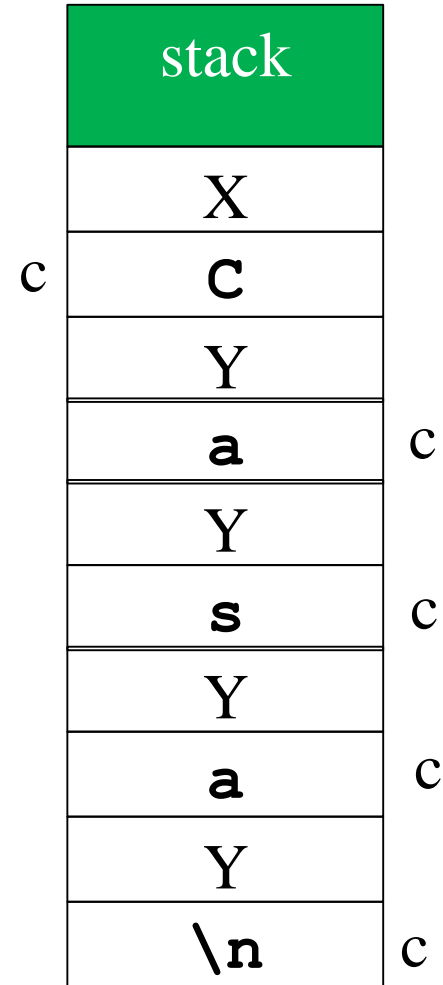
...
inverti();
X: printf("Fine...\n");
...
```



Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {
    char c;
    c = getchar();
    if ( c == '\n' ) {
        printf("Sequenza invertita: ");
        return ;
    }
    inverti();
    Y: putchar(c);
    return;
}

...
inverti();
X: printf("Fine...\n");
...
```



Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {  
    char c;  
    c = getchar();  
    if ( c == '\n' ) {  
        printf("Sequenza invertita: ");  
        return ;  
    }  
    inverti();  
    Y: putchar(c);  
    return;  
}
```

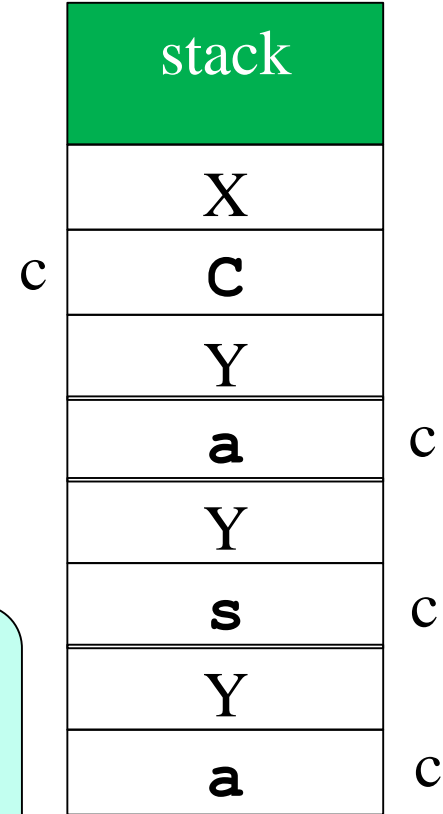
Sequenza invertita:

...

```
inverti();
```

```
X: printf("Fine...\n");
```

...



Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {  
    char c;  
    c = getchar();  
    if ( c == '\n' ) {  
        printf("Sequenza invertita: ");  
        return ;  
    }  
    inverti();  
    Y: putchar(c);  
    return;  
}
```

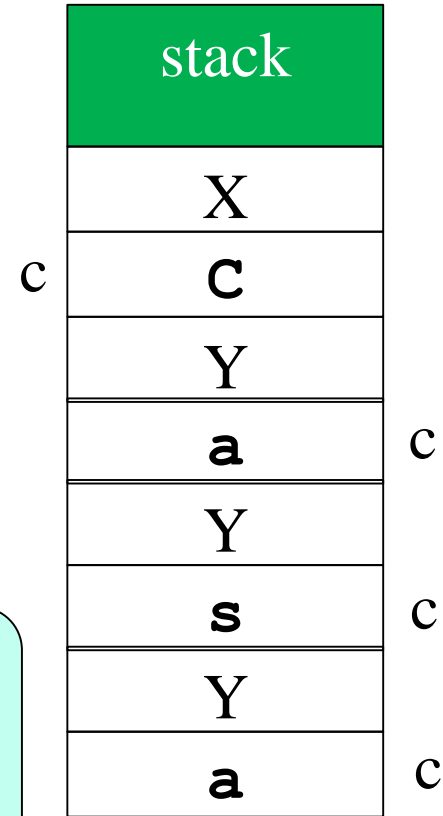
Sequenza invertita: a

...

```
inverti();
```

```
X: printf("Fine...\n");
```

...



Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {  
    char c;  
    c = getchar();  
    if ( c == '\n' ) {  
        printf("Sequenza invertita: ");  
        return ;  
    }  
    inverti();  
    Y: putchar(c);  
    return;  
}
```

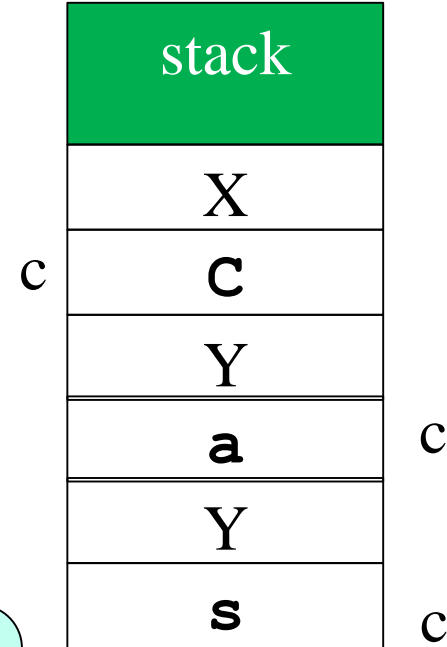
Sequenza invertita: a

...

```
inverti();
```

```
X: printf("Fine...\n");
```

...



Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {  
    char c;  
    c = getchar();  
    if ( c == '\n' ) {  
        printf("Sequenza invertita: ");  
        return ;  
    }  
    inverti();  
    Y: putchar(c);  
    return;  
}
```

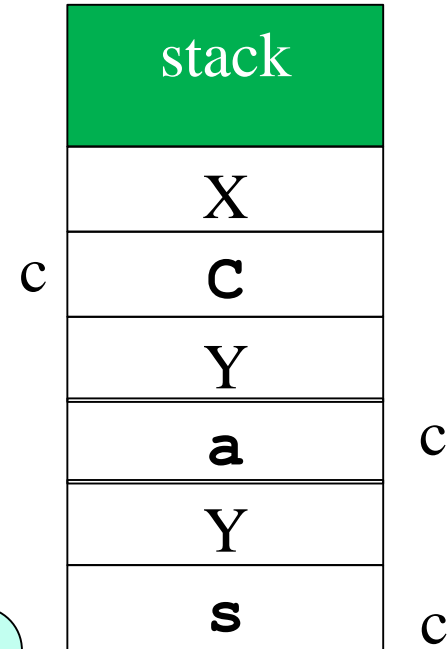
Sequenza invertita: as

...

```
inverti();
```

```
X: printf("Fine...\n");
```

...



Inversione di una stringa: lo stack

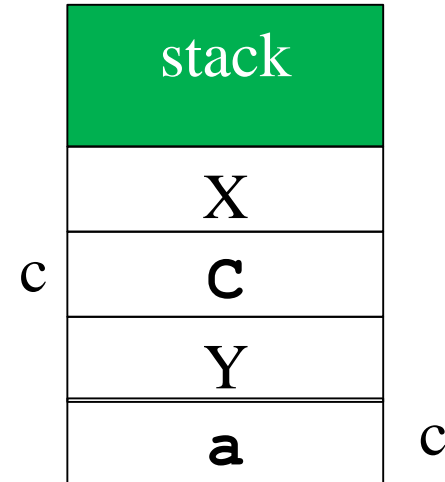
```
void inverti(void) {  
    char c;  
    c = getchar();  
    if ( c == '\n' ) {  
        printf("Sequenza invertita: ");  
        return ;  
    }  
    inverti();  
    Y: putchar(c);  
    return;  
}
```

...

```
inverti();
```

```
X: printf("Fine...\n");
```

...



Sequenza invertita: as

Inversione di una stringa: lo stack

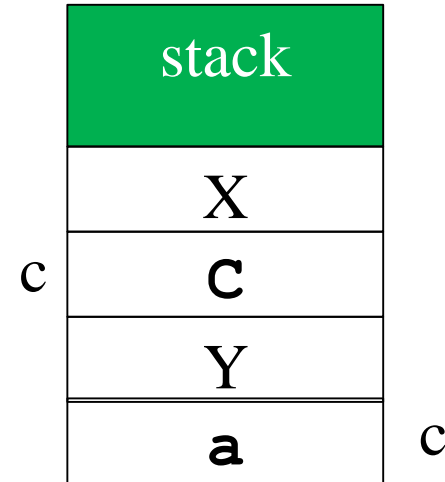
```
void inverti(void) {  
    char c;  
    c = getchar();  
    if ( c == '\n' ) {  
        printf("Sequenza invertita: ");  
        return ;  
    }  
    inverti();  
    Y: putchar(c);  
    return;  
}
```

...

```
inverti();
```

```
X: printf("Fine...\n");
```

...

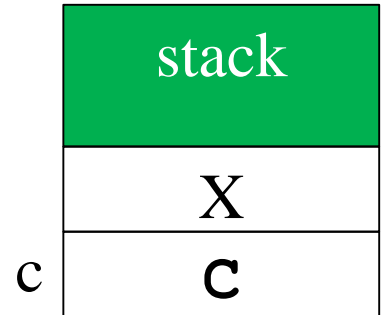


Sequenza invertita: asa

Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {  
    char c;  
    c = getchar();  
    if ( c == '\n' ) {  
        printf("Sequenza invertita: ");  
        return ;  
    }  
    inverti();  
    Y: putchar(c);  
    return;  
}  
  
...  
inverti();  
X: printf("Fine...\n");  
...  

```

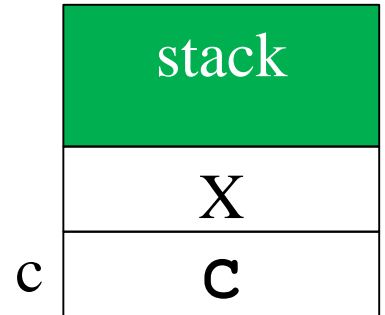


Sequenza invertita: asa

Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {
    char c;
    c = getchar();
    if ( c == '\n' ) {
        printf("Sequenza invertita: ");
        return ;
    }
    inverti();
    Y: putchar(c);
    return;
}

...
inverti();
X: printf("Fine...\n");
...
```



Sequenza invertita: asaC

Inversione di una stringa: lo stack

```
void inverti(void) {  
    char c;  
    c = getchar();  
    if ( c == '\n' ) {  
        printf("Sequenza invertita: ");  
        return ;  
    }  
    inverti();  
    Y: putchar(c);  
    return;  
}
```

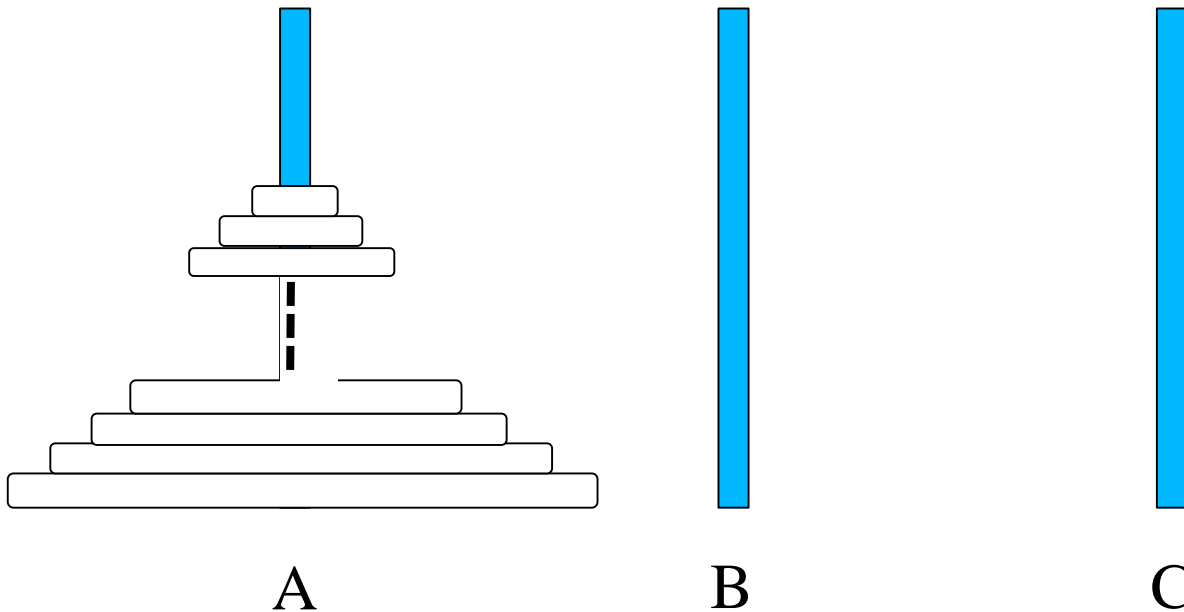
stack

Sequenza invertita: asaC

```
...  
inverti();  
X: printf("Fine...\n");  
...
```

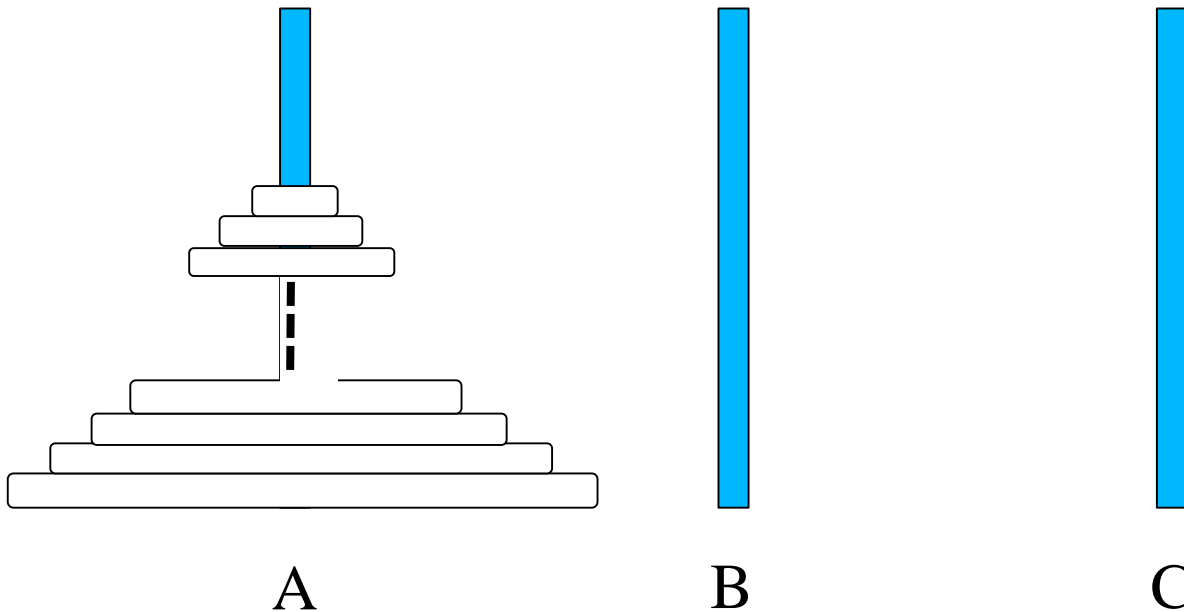
La torre di Hanoi

- Ecco un esempio più complesso in cui la ricorsione aiuta a trovare una strategia di soluzione:



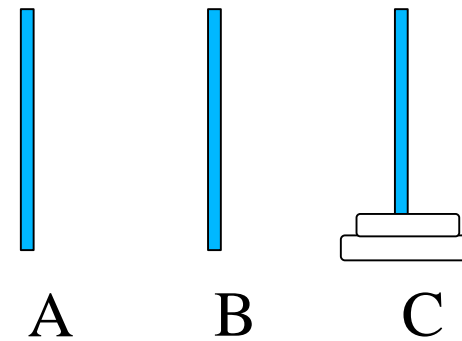
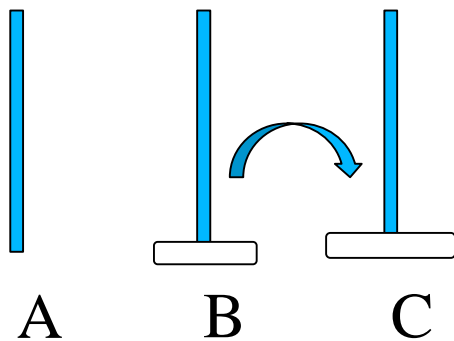
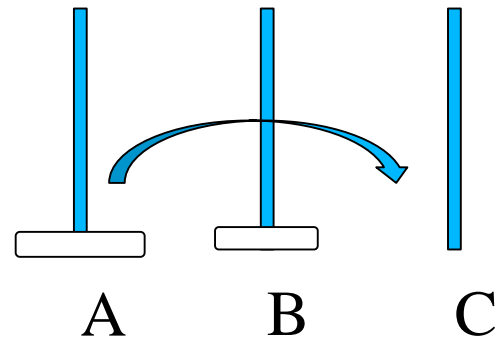
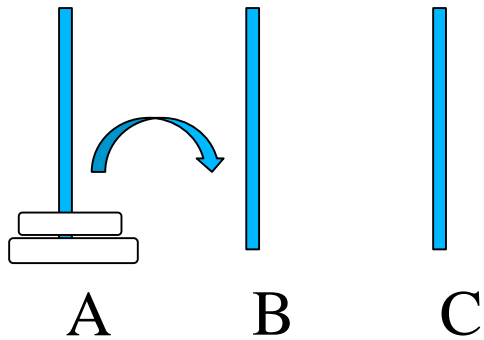
La torre di Hanoi

- Vincoli:
 - Andare da A a C con B perno di appoggio
 - Spostare un solo disco alla volta
 - Un disco più grande non può mai stare su un disco più piccolo



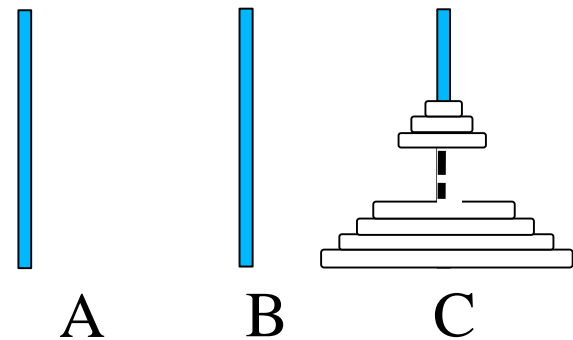
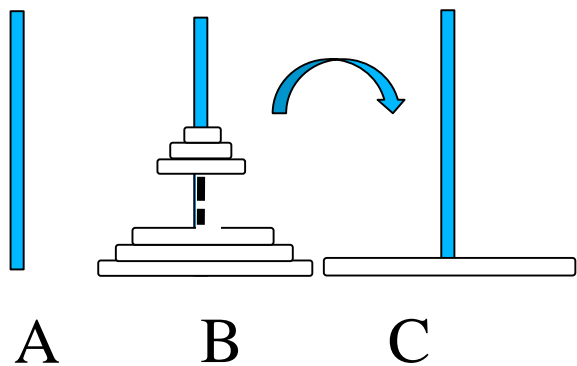
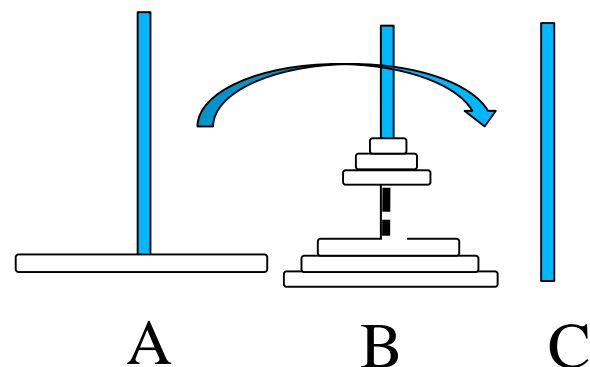
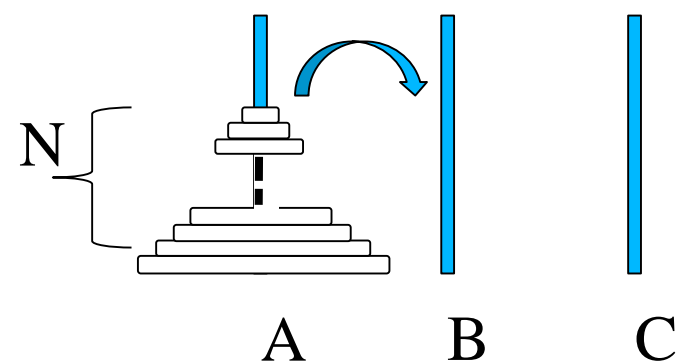
La torre di Hanoi

- Come si individua la soluzione per N dischi ?
 - Per 1 disco e' ovvio
 - Per 2 abbiamo



La torre di Hanoi

- Generalizziamo ?
 - Se sappiamo risolvere per N come si risolve per $N+1$?



La torre di Hanoi

Formalizziamo il ragionamento ...

Indichiamo con `hanoi(N, P1, P2, P3)` il problema:
"spostare **N** dischi dal perno **P1** al perno **P2** utilizzando
P3 come perno d'appoggio".

```
hanoi(N, P1, P2, P3) {  
  if (N=1)  
    sposta da P1 a P2;  
  else {  
    hanoi(N-1, P1, P3, P2);  
    sposta da P1 a P2;  
    hanoi(N-1, P3, P2, P1);  
  }  
}
```

La torre di Hanoi

Esempio: hanoi(3, A, C, B) ...

hanoi(3,A,C,B)

hanoi(2,A,B,C)

hanoi(1,A,C,B) sposta (A,B) hanoi(1, C, B, A)

sposta(A,C)

sposta(C,B)

sposta (A,C)

hanoi(2, B, C, A)

hanoi(1,B,A,C) sposta (B,C) hanoi(1, A, C, B)

sposta(B,A)

sposta(A,C)