

FUNZIONI: IL MODELLO A RUN-TIME

Ogni volta che viene invocata una funzione:

- si crea di una nuova **attivazione** (istanza) del servitore
- viene **allocata la memoria** per i parametri e per le variabili locali
- si effettua il **passaggio dei parametri**
- si **trasferisce il controllo** al servitore
- si **esegue il codice** della funzione

Record di Attivazione

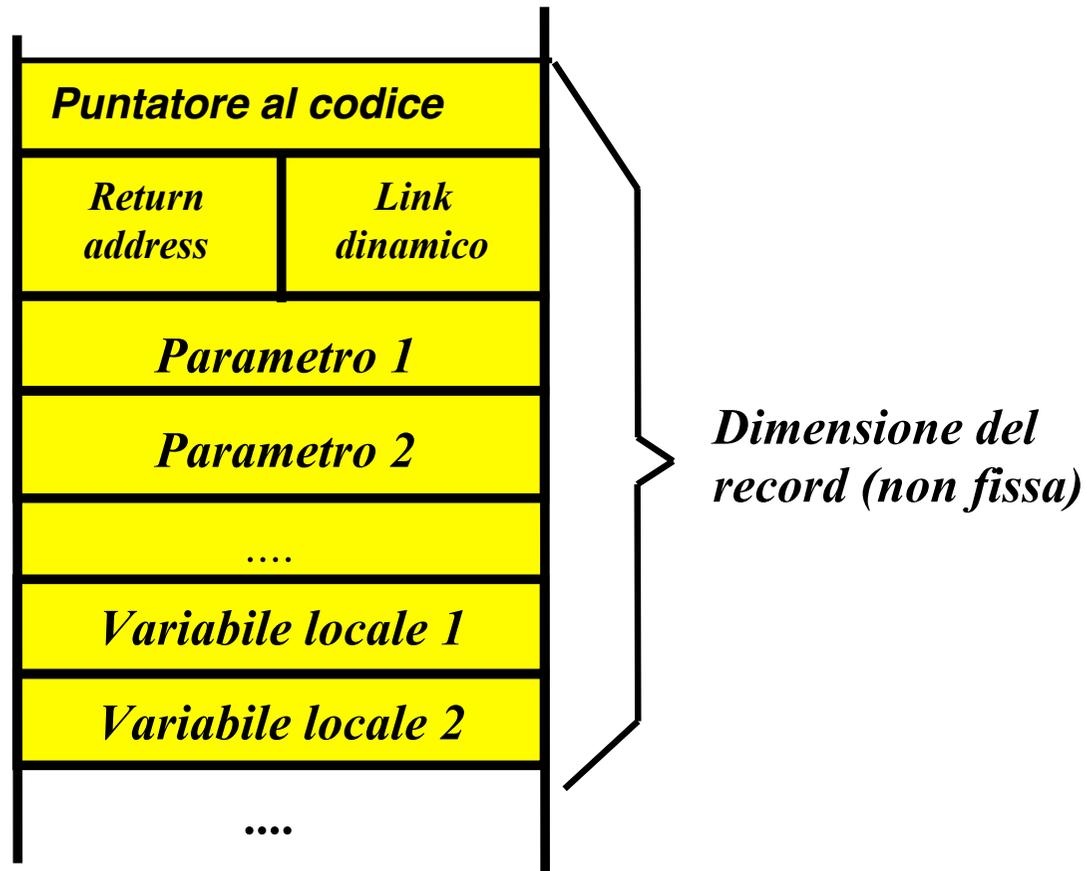
- Al momento dell'invocazione:
 - viene creata dinamicamente una struttura dati che contiene i binding dei parametri e degli identificatori definiti localmente alla funzione detta **RECORD DI ATTIVAZIONE**.

Record di Attivazione

È il "**mondo della funzione**": contiene tutto ciò che serve per la chiamata alla quale è associato:

- i **parametri formali**
- le **variabili locali**
- l'**indirizzo di ritorno** (*Return address RA*) che indica il punto a cui tornare (nel codice del cliente) al termine della funzione, per permettere al cliente di proseguire una volta che la funzione termina.
- un collegamento al record di attivazione del cliente (*Link Dinamico DL*)
- l'**indirizzo del codice** della funzione (puntatore alla prima istruzione del corpo)

Record di Attivazione



Record di Attivazione

- Il record di attivazione associato a una chiamata di una funzione f :
 - è creato al momento della invocazione di f
 - permane per tutto il tempo in cui la funzione f è in esecuzione
 - è distrutto (*deallocato*) al termine dell'esecuzione della funzione stessa.
- Ad ogni chiamata di funzione viene *creato un nuovo record, specifico per quella chiamata di quella funzione*
- La dimensione del record di attivazione
 - varia da una funzione all'altra
 - *per una data funzione, è fissa e calcolabile a priori*

Record di Attivazione

- *Funzioni che chiamano altre funzioni danno luogo a una sequenza di record di attivazione*
 - allocati secondo l'ordine delle chiamate
 - deallocati in ordine inverso
- La sequenza dei link dinamici costituisce la cosiddetta *catena dinamica*, che rappresenta la *storia delle attivazioni* ("chi ha chiamato chi")

Stack

L'area di memoria in cui vengono allocati i record di attivazione viene gestita come una *pila* :

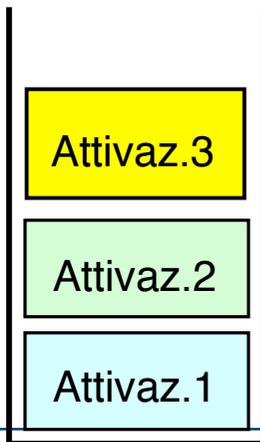
STACK

E' una struttura dati gestita a tempo di esecuzione con politica *LIFO* (*Last In, First Out* - l'ultimo a entrare è il primo a uscire) nella quale ogni elemento e' un record di attivazione.

La gestione dello stack avviene mediante due operazioni:

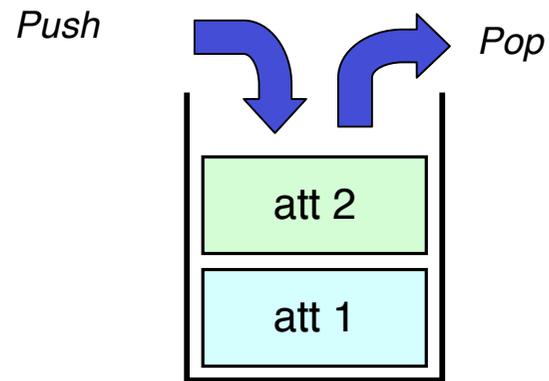
push: aggiunta di un elemento (in cima alla pila)

pop: prelievo di un elemento (dalla cima della pila)



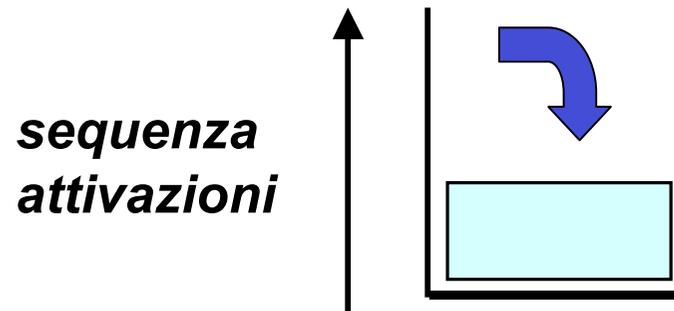
Stack

- L'ordine di collocazione dei record di attivazione nello stack indica la cronologia delle chiamate:

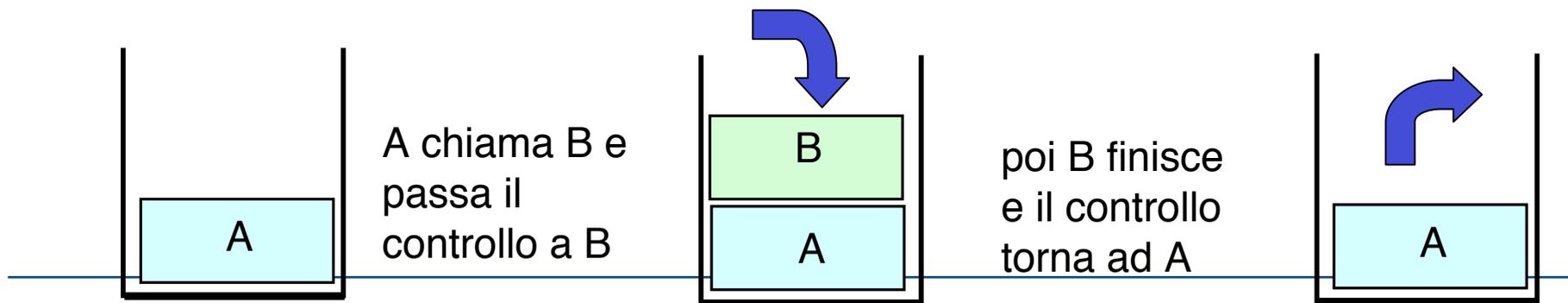


Record di Attivazione

- Normalmente lo *STACK* dei record di attivazione si disegna nel modo seguente:



- Quindi, se la funzione *A* chiama la funzione *B*, lo stack evolve nel modo seguente



Esempio: chiamate annidate

Programma:

```
int R(int A) { return A+1; }  
int Q(int x) { return R(x); }  
int P(void) { int a=10; return Q(a); }  
main() { int x = P(); }
```

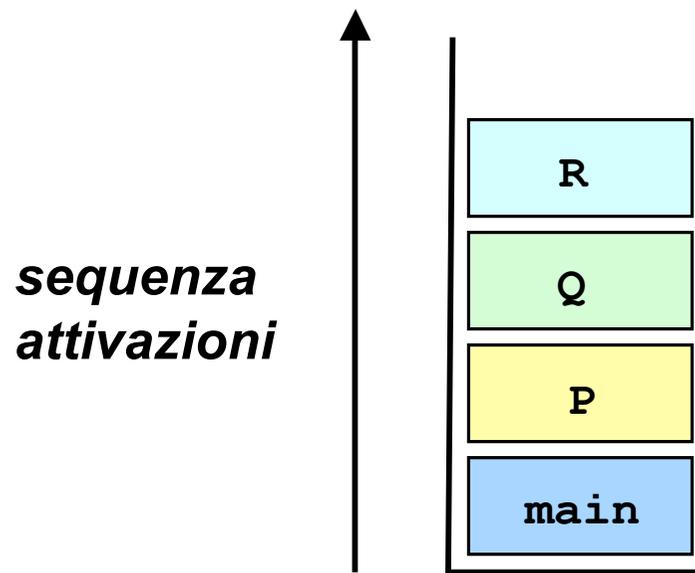
Sequenza chiamate:

S.O. → main → P() → Q() → R()

Esempio: chiamate annidate

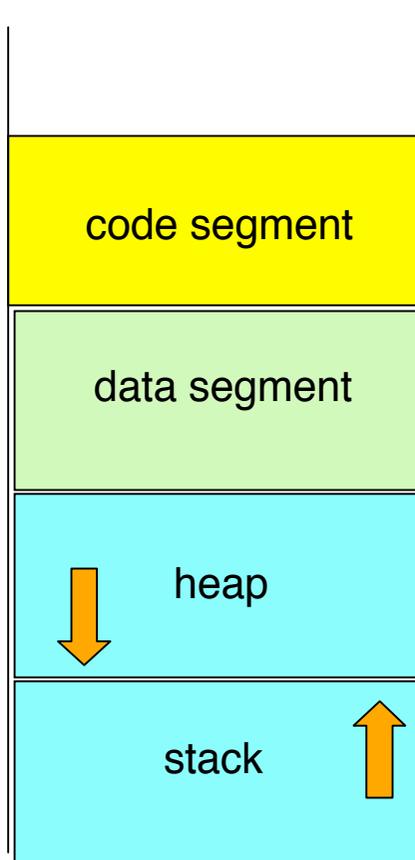
Sequenza chiamate:

S.O. → main → P() → Q() → R()



Spazio di indirizzamento

La memoria allocata a ogni programma in esecuzione e` suddivisa in varie parti (segmenti), secondo lo schema seguente:



- **code segment**: contiene il codice eseguibile del programma

- **data segment**: contiene le variabili globali

- **heap**: contiene le variabili dinamiche

- **stack**: e` l'area dove vengono allocati i record di attivazione

→ **Code segment** e **data segment** sono di dimensione fissata staticamente (a tempo di compilazione).

→ La dimensione dell'area associata a **stack + heap** e` fissata staticamente: man mano che lo stack cresce, diminuisce l'area a disposizione dell'heap, e viceversa.

Variabili static

- E' possibile imporre che una variabile locale a una funzione abbia un tempo di vita pari al tempo di esecuzione dell'intero programma, utilizzando il qualificatore `static`:

```
void f()  
{   static int cont=0;  
  
...  
}
```

→ **la variabile static int cont:**

- ✓ e' creata all'inizio del programma, inizializzata a 0, e deallocata alla fine dell'esecuzione;
- ✓ la sua visibilita' e' limitata al corpo della funzione f,
- ✓ il suo tempo di vita e' pari al tempo di esecuzione dell'intero programma
- ✓ e' allocata nell'area dati globale (***data segment***)

Esempio

```
#include <stdio.h>
int f()
{ static int cont=0;
  cont++;
  return cont;
}
main()
{ printf("%d\n", f());
  printf("%d\n", f());
}
```

- la variabile `static int cont`, e' allocata all'inizio del programma e deallocata alla fine dell'esecuzione; essa persiste tra una attivazione di `f` e la successiva: la prima `printf` stampa 1, la seconda `printf` stampa 2.

La ricorsione

- Una funzione matematica è definita *ricorsivamente* quando nella sua definizione compare un riferimento a se stessa
- La ricorsione consiste nella possibilità di *definire una funzione mediante se stessa*.
- È basata sul **principio di induzione matematica**:
 - se una proprietà P vale per $n=n_0$ **CASO BASE**
 - e si può provare che, *assumendola valida per n* , allora vale per $n+1$



allora P vale per ogni $n \geq n_0$

La ricorsione

- Operativamente, risolvere un problema con un approccio ricorsivo comporta
 - di identificare un "caso base" ($n=n_0$) in cui la soluzione sia nota
 - di riuscire a esprimere la soluzione al caso generico n in termini dello stesso problema in uno o più casi più semplici ($n-1, n-2, \text{etc}$).

La ricorsione: esempio

Esempio: il fattoriale di un numero naturale

fact(n) = n!

n! : N → N

$$\begin{cases} n! \text{ vale } 1 & \text{se } n == 0 \\ n! \text{ vale } n * (n-1)! & \text{se } n > 0 \end{cases}$$

Ricorsione in C

In C e' possibile definire funzioni *ricorsive*:

- Il corpo di ogni funzione ricorsiva contiene almeno una chiamata alla funzione stessa.

Esempio: definizione in C della funzione ricorsiva *fattoriale*.

```
int fact(int n)
{ if (n==0) return 1;
  else return n*fact(n-1);
}
```

Ricorsione in C: esempio

- **Servitore & Cliente:** fact e' sia servitore che cliente (di se stessa):

```
int fact(int n)
{ if (n==0) return 1;
  else return n*fact(n-1);
}
main()
{   int fz,f6,z = 5;
    fz = fact(z-2);
}
```

Ricorsione in C: esempio

- **Servitore & Cliente:**

```
int fact(int n) {  
    if (n==0) return 1;  
    else return n*fact(n-1);  
}
```

```
main() {  
    int fz, f6, z = 5;  
    fz = fact(z-2);  
}
```

Si valuta l'espressione che costituisce il parametro attuale (nell'environment del main) e si trasmette alla funzione fact una copia del valore così ottenuto (3).

Ricorsione in C: esempio

La funzione fact lega il parametro n a 3. Essendo 3 positivo si passa al ramo else. Per calcolare il risultato della funzione e' necessario effettuare una nuova chiamata di funzione fact(2)

- **Servitore & Cliente:**

```
int fact(int n) {  
    if (n==0) return 1;  
    else return n*fact(n-1);  
}  
  
main() {  
    int fz, f6, z = 5;  
    fz = fact(z-2);  
}
```

Ricorsione in C: esempio

- **Servitore & Cliente:**

```
int fact(int n) {  
    if (n==0) return 1;  
    else return n*fact(n-1);  
}
```

```
main() {  
    int fz, f6, z = 5;  
    fz = fact(z-2);  
}
```

La funzione fact lega il parametro n a 3. Essendo 3 positivo si passa al ramo else. Per calcolare il risultato della funzione e' necessario effettuare una nuova chiamata di funzione. n-1 nell'environment di fact vale 2 quindi viene chiamata fact(2)

Ricorsione in C: esempio

Il nuovo servitore lega il parametro n a 2. Essendo 2 positivo si passa al ramo else. Per calcolare il risultato della funzione e' necessario effettuare una nuova chiamata di funzione. n-1 nell'environment di fact vale 1 quindi viene chiamata fact(1)

- **Servitore & Cliente:**

```
int fact(int n) {  
    if (n==0) return 1;  
    else return n*fact(n-1);  
}  
  
main() {  
    int fz, f6, z = 5;  
    fz = fact(z-2);  
}
```

Ricorsione in C: esempio

Il nuovo servitore lega il parametro n a 1. Essendo 1 positivo si passa al ramo else. Per calcolare il risultato della funzione e' necessario effettuare una nuova chiamata di funzione. $n-1$ nell'environment di fact vale 0 quindi viene chiamata `fact(0)`

- **Servitore & Cliente:**

```
int fact(int n) {  
    if (n==0) return 1;  
    else return n*fact(n-1);  
}  
  
main() {  
    int fz, f6, z = 5;  
    fz = fact(z-2);  
}
```

Ricorsione in C: esempio

Il nuovo servitore lega il parametro n a 0. La condizione $n \leq 0$ e' vera e la funzione `fact(0)` torna come risultato 1 e termina.

- **Servitore & Cliente:**

```
int fact(int n) {
    if (n==0) return 1;
    else return n*fact(n-1);
}

main() {
    int fz, f6, z = 5;
    fz = fact(z-2);
}
```

Ricorsione in C: esempio

*Il controllo torna al servitore precedente `fact(1)` che puo' valutare l'espressione $n * 1$ (valutando n nel suo environment dove vale 1) ottenendo come risultato 1 e terminando.*

- **Servitore & Cliente:**

```
int fact(int n) {  
    if (n==0) return 1;  
    else return n*fact(n-1);  
}  
  
main() {  
    int fz, f6, z = 5;  
    fz = fact(z-2);  
}
```

Ricorsione in C: esempio

*Il controllo torna al servitore precedente `fact(2)` che puo' valutare l'espressione $n * 1$ (valutando n nel suo environment dove vale 2) ottenendo come risultato 2 e terminando.*

- **Servitore & Cliente:**

```
int fact(int n) {
    if (n==0) return 1;
    else return n*fact(n-1);
}

main() {
    int fz, f6, z = 5;
    fz = fact(z-2);
}
```

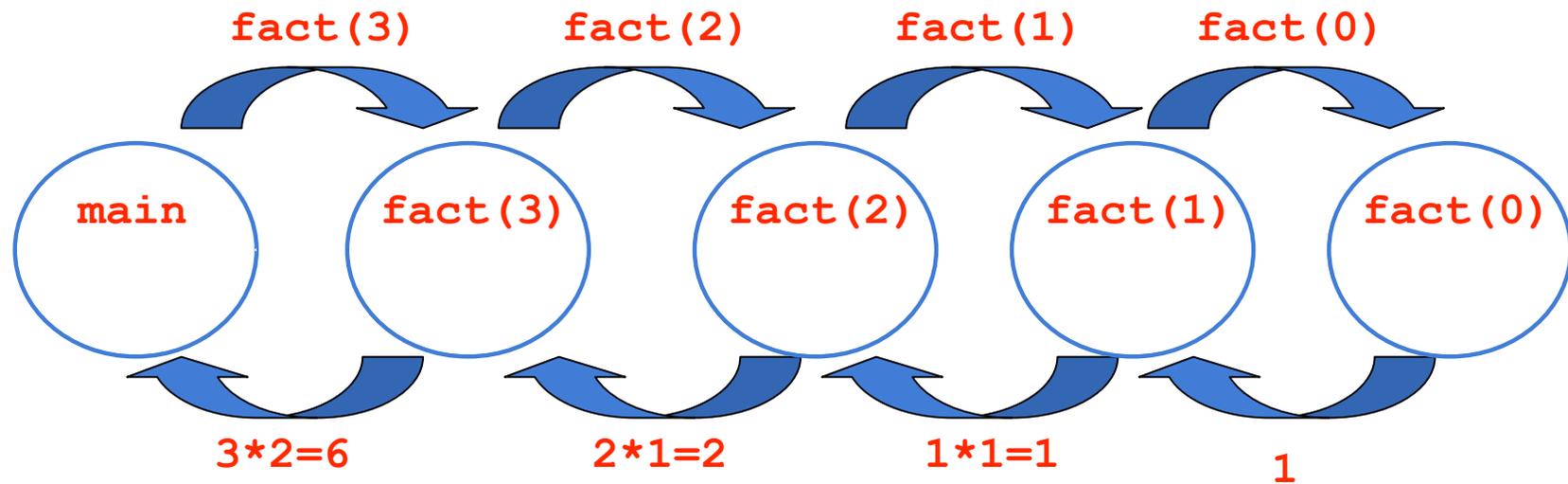
Ricorsione in C: esempio

*Il controllo torna al servitore precedente fact (3) che puo' valutare l'espressione n * 2 (valutando n nel suo environment dove vale 3) ottenendo come risultato 6 e terminando. IL CONTROLLO PASSA AL MAIN CHE ASSEGNA A fz IL VALORE 6*

- **Servitore & Cliente:**

```
int fact(int n) {  
    if (n==0) return 1;  
    else return n*fact(n-1);  
}  
  
main() {  
    int fz, f6, z = 5;  
    fz = fact(z-2);  
}
```

Ricorsione in C: esempio



<code>main</code>	<code>fact(3)</code>	<code>fact(2)</code>	<code>fact(1)</code>	<code>fact(0)</code>
Cliente di <code>fact(3)</code>	Cliente di <code>fact(2)</code> Servitore del <code>main</code>	Cliente di <code>fact(1)</code> Servitore di <code>fact(3)</code>	Cliente di <code>fact(0)</code> Servitore di <code>fact(2)</code>	Servitore di <code>fact(1)</code>

Cosa succede nello stack ?

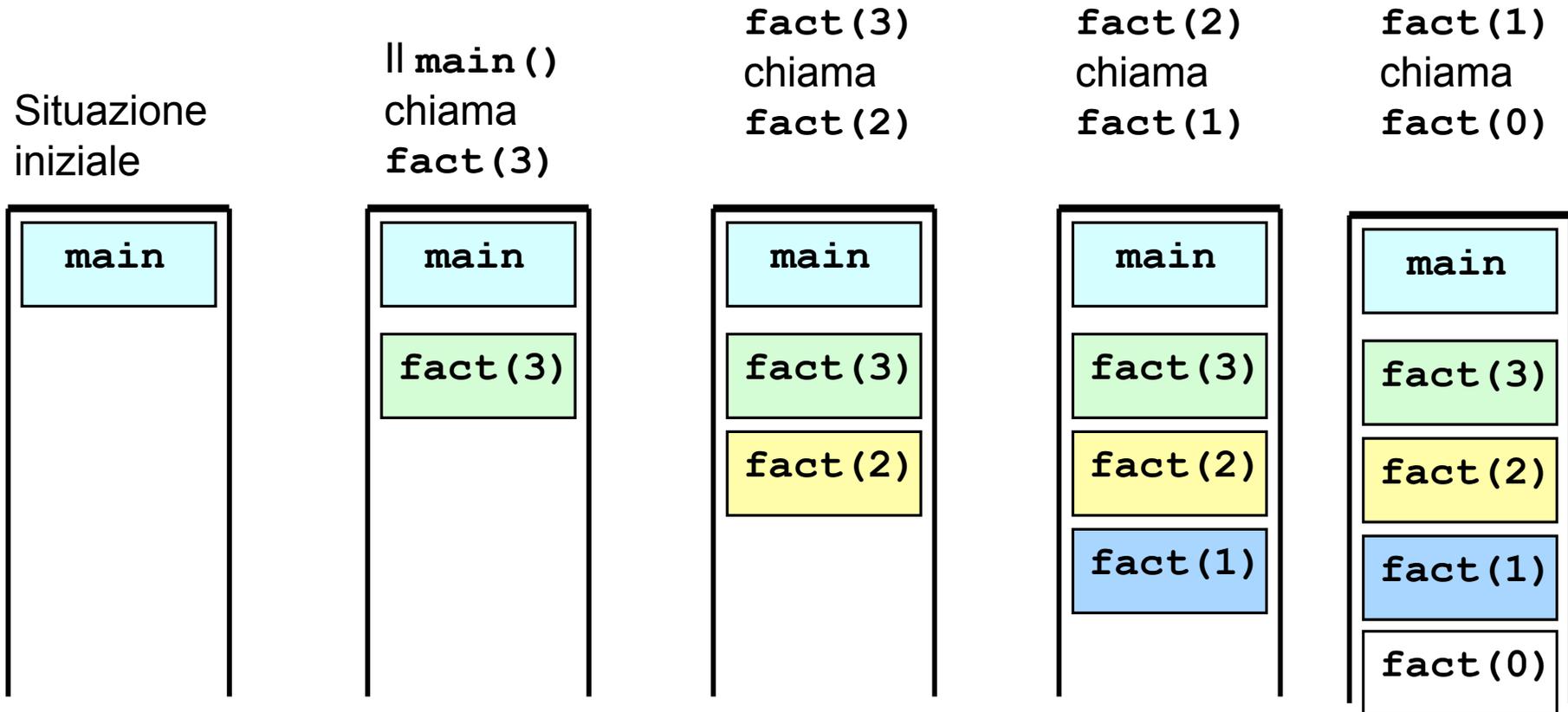
```
int fact(int n) {  
    if (n==0) return 1;  
    else return n*fact(n-1);  
}
```

```
main() {  
    int fz, f6, z = 5;  
    fz = fact(z-2);  
}
```

NOTA: Anche il
`main()` e' una funzione

Seguiamo l'evoluzione dello stack durante l'esecuzione:

Cosa succede nello stack ?



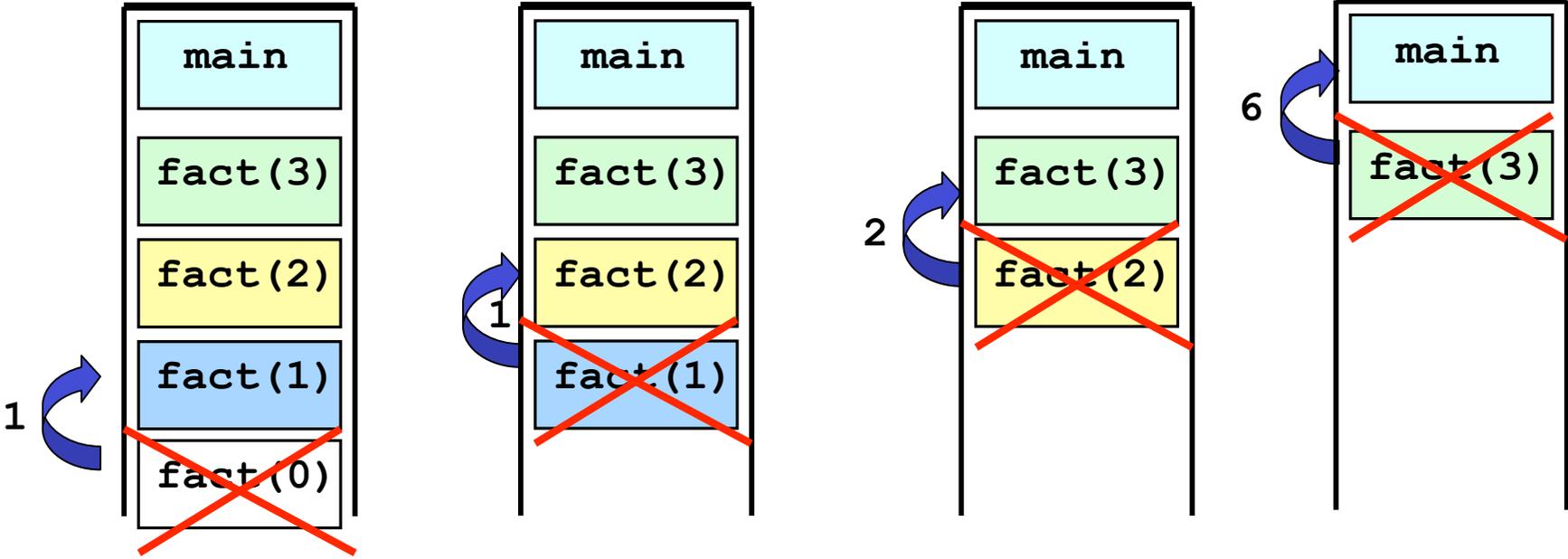
Cosa succede nello stack ?

`fact(0)` termina restituendo il valore 1. Il controllo torna a `fact(1)`

`fact(1)` effettua la moltiplicazione e termina restituendo il valore 1. Il controllo torna a `fact(2)`

`fact(2)` effettua la moltiplicazione e termina restituendo il valore 2. Il controllo torna a `fact(3)`

`fact(6)` effettua la moltiplicazione e termina restituendo il valore 6. Il controllo torna al main.



Esempio: somma dei primi N naturali

Problema:

calcolare la somma dei primi N naturali

Specifica:

Considera la somma $1+2+3+\dots+(N-1)+N$ come composta di due termini:

- $(1+2+3+\dots+(N-1))$ 
- N  Valore noto

Il primo termine non è altro che lo stesso problema in un caso più semplice: calcolare la somma dei primi N-1 interi

Esiste un caso banale ovvio: **CASO BASE**

- la somma fino a 1 vale 1.

Esempio: somma dei primi N naturali

Problema:

calcolare la somma dei primi N naturali

Algoritmo ricorsivo:

Somma: $N \rightarrow N$

{	Somma(n)	vale 1	se $n == 1$
	Somma(n)	vale $n + \text{Somma}(n-1)$	se $n > 0$

Esempio: somma dei primi N naturali

Codifica:

```
int sommaFinoA(int n)
{
    if (n==1)
        return 1;
    else
        return sommaFinoA(n-1)+n;
}
```

Esempio: somma dei primi N naturali

```
#include<stdio.h>
int sommaFinoA(int n);

main()
{ int dato;
  printf("\ndammi un intero positivo: ");
  scanf("%d", &dato);
  if (dato>0)
    printf("\nRisultato: %d", sommaFinoA(dato));
  else printf("ERRORE!");
}
int sommaFinoA(int n)
{ if (n==1)      return 1;
  else          return sommaFinoA(n-1)+n;
}
```

Esercizio: seguire l'evoluzione dello stack nel caso in cui dato=4.

Calcolo iterativo del fattoriale

- Il fattoriale puo` essere anche calcolato mediante un'algorithmo iterativo:

```
int fact(int n) {  
    int i;  
    int F=1; /*inizializzazione del fattoriale*/  
    for (i=2;i <= n; i++)  
        F=F*i;  
    return F;  
}
```

**DIFFERENZA CON LA
VERSIONE RICORSIVA: ad
ogni passo viene
accumulato un risultato
intermedio**

Calcolo iterativo del fattoriale

```
int fact(int n) {  
    int i;  
    int F=1; /*inizializzazione del fattoriale*/  
    for (i=2; i <= n; i++)  
        F=F*i;  
    return F;  
}
```

La variabile F accumula risultati intermedi: se $n = 3$ inizialmente $F=1$ poi al primo ciclo for $i=2$ F assume il valore 2. Infine all'ultimo ciclo for $i=3$ F assume il valore 6.

- Al primo passo F accumula il fattoriale di 1
- Al secondo passo F accumula il fattoriale di 2
- Al i -esimo passo F accumula il fattoriale di i

Processo computazionale iterativo

- Nell'esempio precedente il risultato viene sintetizzato *“in avanti”*
- L'esecuzione di un algoritmo di calcolo che computi “in avanti”, per accumulo, e` un *processo computazionale iterativo*.
- La caratteristica fondamentale di un *processo computazionale iterativo* è che *a ogni passo è disponibile un risultato parziale*
 - dopo k passi, si ha a disposizione il risultato parziale relativo al caso k
 - questo *non è vero nei processi computazionali ricorsivi*, in cui nulla è disponibile finché non si è giunti fino al caso elementare.

Esercizio

Scrivere una funzione ricorsiva `print_rev` che, data una sequenza di caratteri (terminata dal carattere '.') stampi i caratteri della sequenza in ordine inverso. La funzione non deve utilizzare stringhe.

Ad esempio:



Esercizio

Osservazione: l'estrazione (*pop*) dei record di attivazione dallo stack avviene sempre in ordine inverso rispetto all'ordine di inserimento (*push*).

→ associamo ogni carattere letto a una nuova chiamata ricorsiva della funzione

Soluzione:

```
void print_rev(char car) ;
{ char c;
  if (car != '.')
  {   scanf("%c", &c);
      print_rev(c);
      printf("%c", car);
  }
  else return;
}
```

ogni record di attivazione nello stack memorizza un singolo carattere letto (*push*); in fase di *pop*, i caratteri vengono stampati nella sequenza inversa



Soluzione

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
void print_rev(char car);
main()
{ char k;
  printf("\nIntrodurre una sequenza terminata da .:\t");
  scanf("%c", &k);
  print_rev(k);
  printf("\n*** FINE ***\n");
}

void print_rev(char car)
{ char c;
  if (car != '.')
  {   scanf("%c", &c);
      print_rev(c);
      printf("%c", car);
  }
  else return;
}
```

Stack

Codice

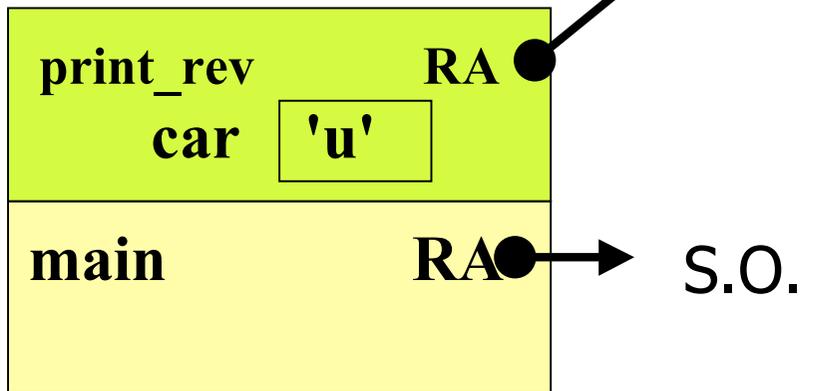
```
...
main(void)
{
    ...
    print_rev(k);
}
void print_rev(char car);
{
    if (car != '.')
    { ...
        print_rev(c);
        printf("%c", car);
    }
    else return;
}
```



Standard Input:
"uno."

Stack

Codice



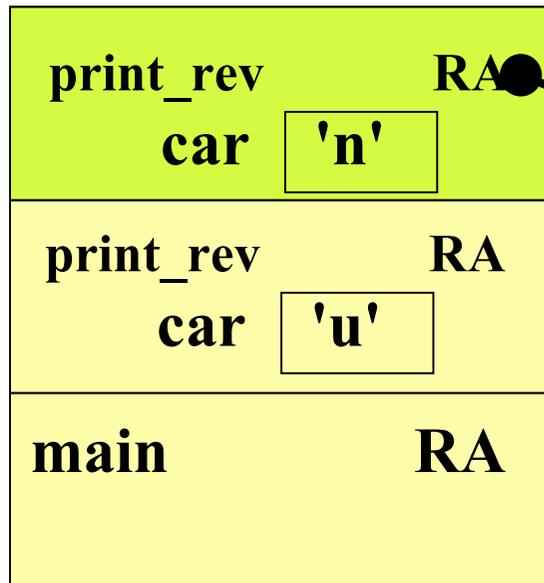
```
...
main(void)
{
    ...
    print_rev(k);
}
void print_rev(char car);
{
    if (car != '.')
    { ...
        print_rev(c);
        printf("%c", car);
    }
    else return;
}
```

Standard Input:

"u"no."

Stack

Codice



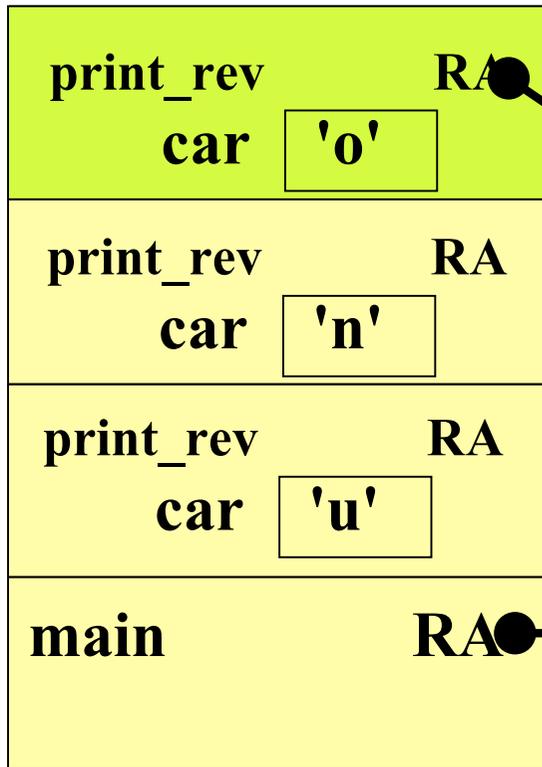
```
...
main(void)
{
    ...
    print_rev(k);
}
void print_rev(char car);
{
    if (car != '.')
    { ...
        print_rev(c);
        printf("%c", car);
    }
    else return;
}
```

Standard Input:

"uno."

Stack

Codice



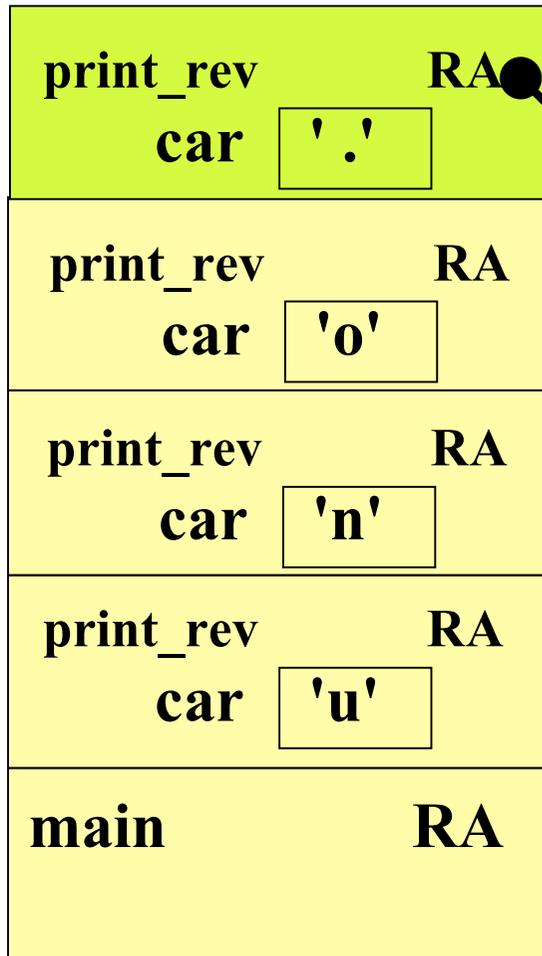
```
...
main(void)
{
    ...
    print_rev(k);
}
void print_rev(char car);
{
    if (car != '.')
    { ...
        print_rev(c);
        printf("%c", car);
    }
    else return;
}
```

Standard Input:

"uno."

Stack

Codice



```
...
main(void)
{
    ...
    print_rev(k);
}

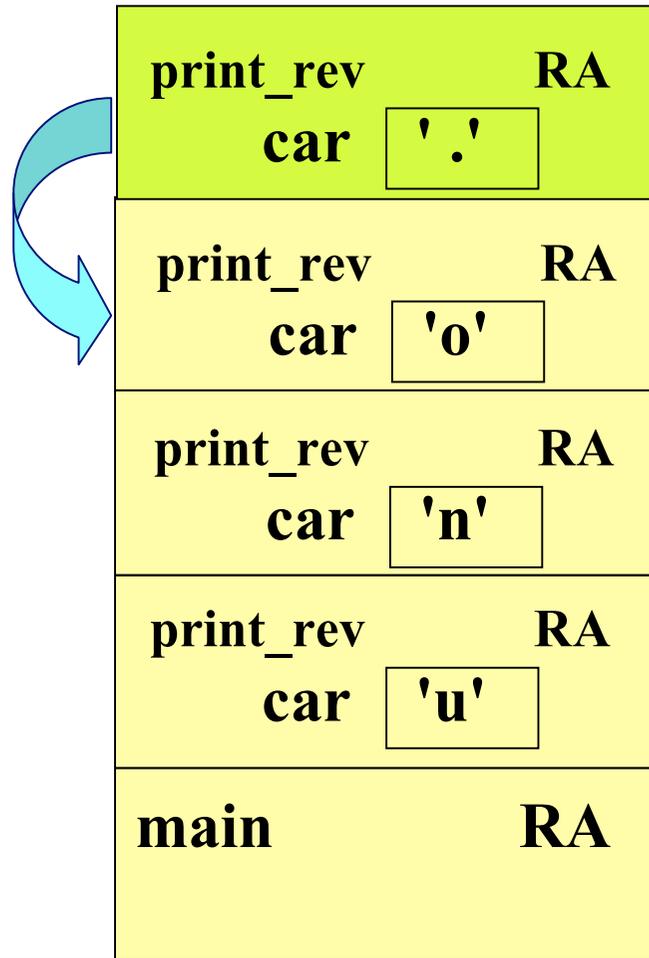
void print_rev(char car);
{
    if (car != '.')
    { ...
        print_rev(c);
        printf("%c", car);
    }
    else return;
}
```

Standard Input:

"uno."

Stack

Codice

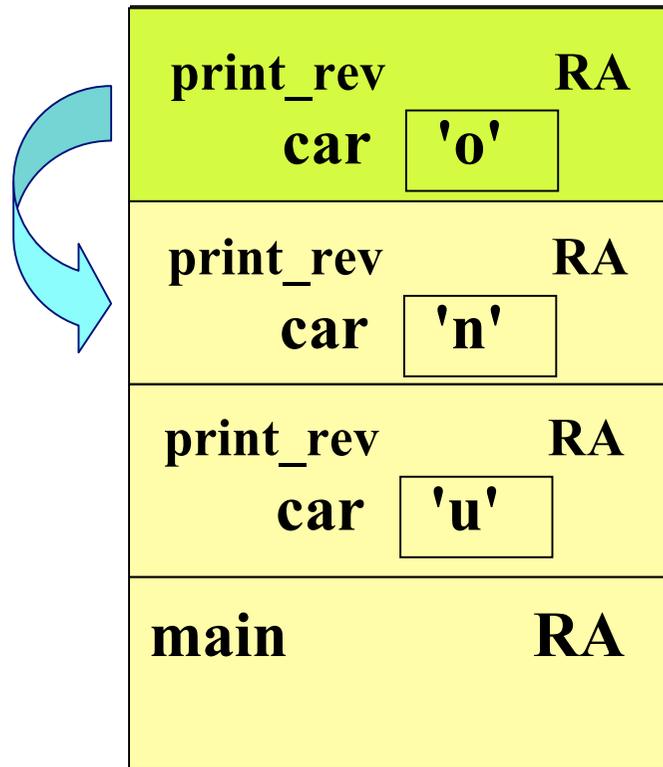


```
...
main(void)
{
    ...
    print_rev(k);
}
void print_rev(char car);
{
    if (car != '.')
    { ...
        print_rev(c);
        printf("%c", car);
    }
    else return;
}
```

Standard Input:
"uno."

Stack

Codice



```
...
main(void)
{
    ...
    print_rev(k);
}

void print_rev(char car);
{
    if (car != '.')
    { ...
        print_rev(c);
        printf("%c", car);
    }
    else return;
}
```

Standard output:

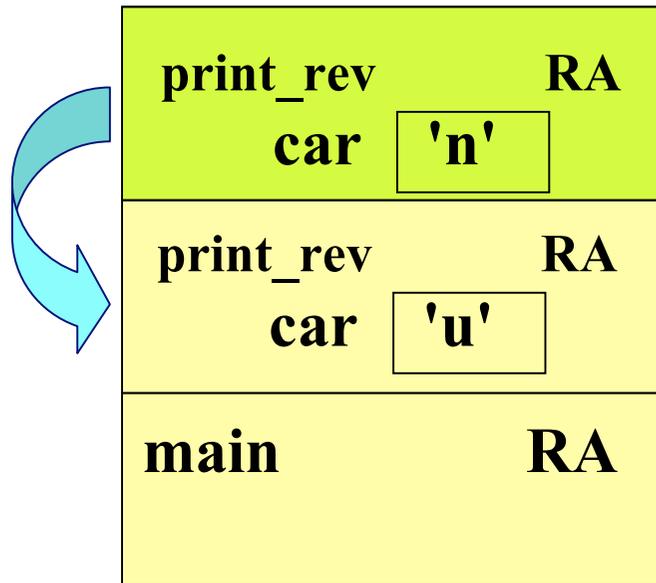
"o"

Standard Input:

"uno."

Stack

Codice



```
...
main(void)
{
    ...
    print_rev(k);
}
void print_rev(char car);
{
    if (car != '.')
    { ...
        print_rev(c);
        printf("%c", car);
    }
    else return;
}
```

Standard output:

"on"

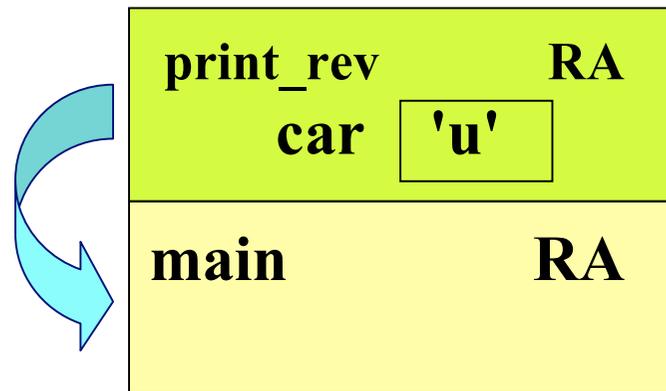
Standard Input:

"uno."

Stack

Codice

```
...
main(void)
{
    ...
    print_rev(k);
}
void print_rev(char car);
{
    if (car != '.')
    { ...
        print_rev(c);
        printf("%c", car);
    }
    else return;
}
```



Standard output:

"onu"

Standard Input:

"uno."

Stack

Codice

```
...
main(void)
{
    ...
    print_rev(k);
}
void print_rev(char car);
{
    if (car != '.')
    { ...
        print_rev(c);
        printf("%c", car);
    }
    else return;
}
```

main RA

Standard output:
"onu"

Standard Input:
"uno."