CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

- Predicati predefiniti che consentono di influenzare e controllare il processo di esecuzione (dimostrazione) di un goal.

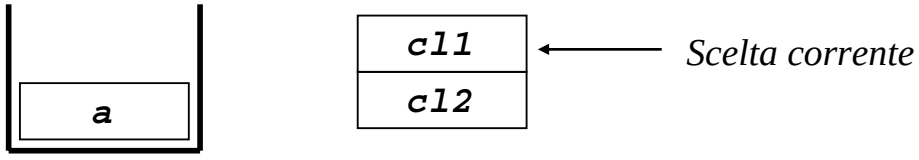
- PREDICATO CUT (!)
  - E' denotato dal simbolo !
  - E' uno dei più importanti e complessi predicati di controllo forniti da Prolog

- Per capire come funziona il predicato cut e' necessario vedere il modello run time di Prolog

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- p,c.
(cl3)      p.
```

- E la valutazione della query `:-a.`

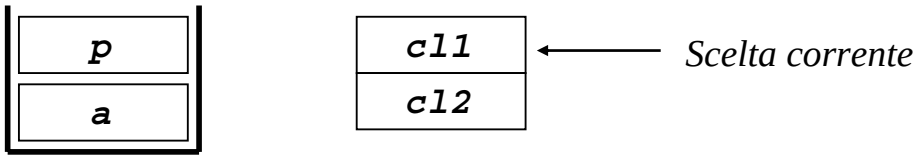


Stack di esecuzione *Scelte per* **a**

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- p,c.
(cl3)      p.
```

- E la valutazione della query `:-a.`



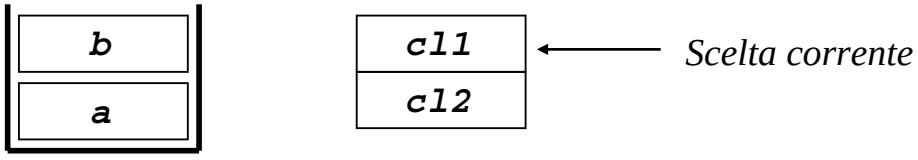
Stack di esecuzione *Scelte per* **a**

La valutazione di p ha successo

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- p,c.
(cl3)      p.
```

- E la valutazione della query `:-a.`



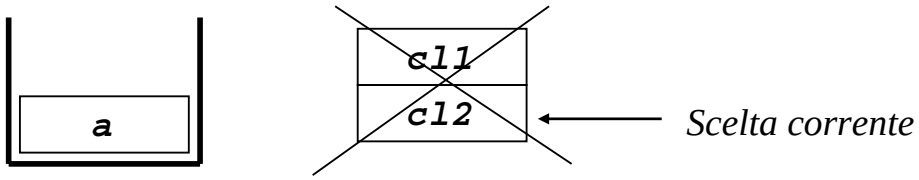
Stack di esecuzione *Scelte per* **a**

La valutazione di b fallisce ⇒ viene attivato il meccanismo di backtracking

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- p,c.
(cl3)      p.
```

- E la valutazione della query `:-a.`

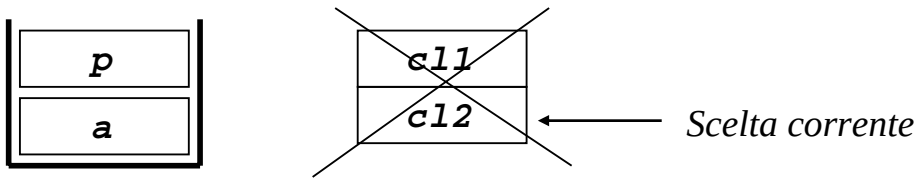


Stack di esecuzione *Scelte per* **a**

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- p,c.
(cl3)      p.
```

- E la valutazione della query `:-a.`



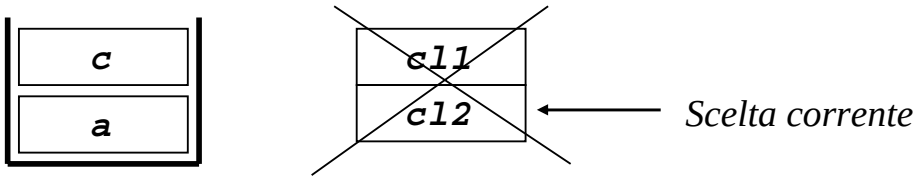
Stack di esecuzione *Scelte per* **a**

La valutazione di p ha successo

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- p,c.
(cl3)      p.
```

- E la valutazione della query `:-a.`



Stack di esecuzione *Scelte per* **a**

La valutazione di c fallisce ⇒ viene attivato il meccanismo di backtracking ma non ci sono più punti di scelta. Quindi si ha il fallimento di a

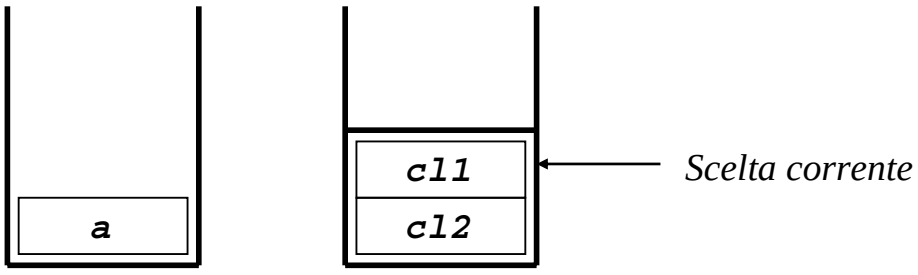
CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

- Due stack:
  - Stack di esecuzione che contiene i record di attivazione delle varie procedure
  - Stack di backtracking che contiene l'insieme dei punti di scelta. Ad ogni fase della valutazione tale stack contiene puntatori alle scelte aperte nelle fasi precedenti della dimostrazione.

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- r.
(cl3)      p :- q.
(cl4)      p :- r.
(cl5)      r.
```

- E la valutazione della query `:-a.`

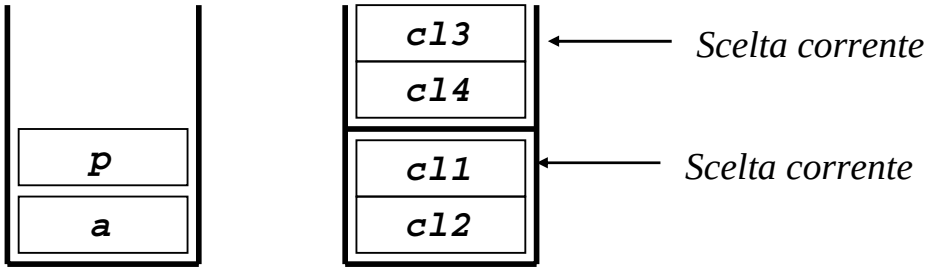


Stack di esecuzione *Stack di backtracking*

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- r.
(cl3)      p :- q.
(cl4)      p :- r.
(cl5)      r.
```

- E la valutazione della query `:-a.`

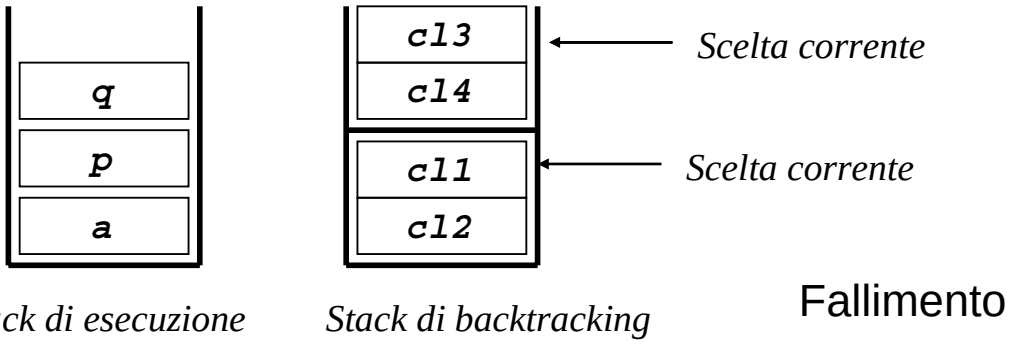


Stack di esecuzione *Stack di backtracking*

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- r.
(cl3)      p :- q.
(cl4)      p :- r.
(cl5)      r.
```

- E la valutazione della query `:-a.`



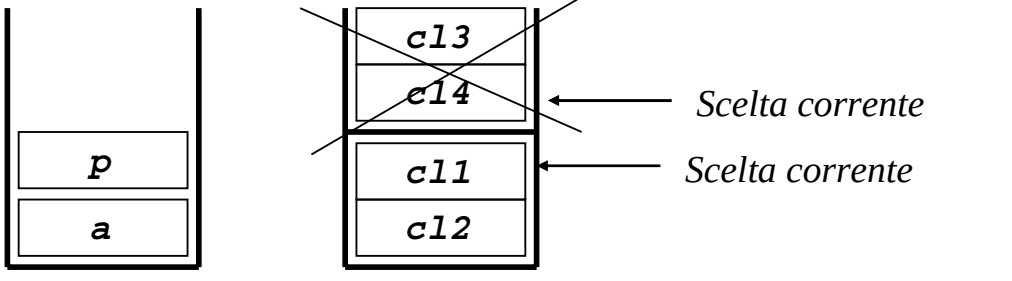
Stack di esecuzione *Stack di backtracking*

Fallimento

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- r.
(cl3)      p :- q.
(cl4)      p :- r.
(cl5)      r.
```

- E la valutazione della query `:-a.`

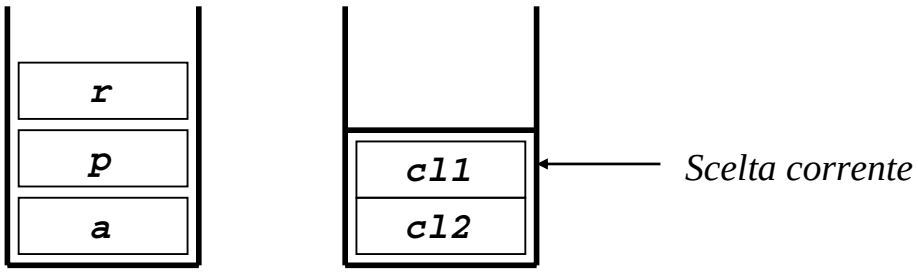


Stack di esecuzione *Stack di backtracking*

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- r.
(cl3)      p :- q.
(cl4)      p :- r.
(cl5)      r.
```

- E la valutazione della query `:-a.`



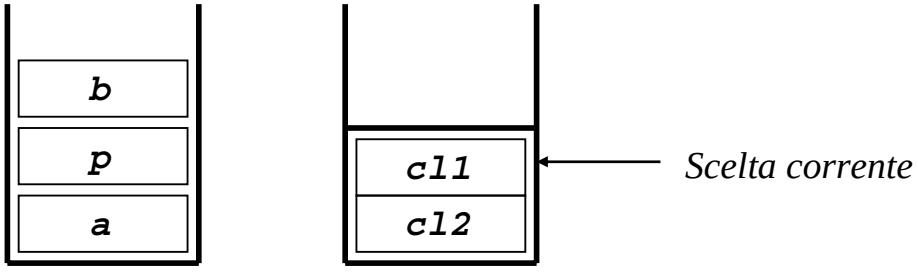
Stack di esecuzione *Stack di backtracking*

`r` ha successo

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- r.
(cl3)      p :- q.
(cl4)      p :- r.
(cl5)      r.
```

- E la valutazione della query `:-a.`



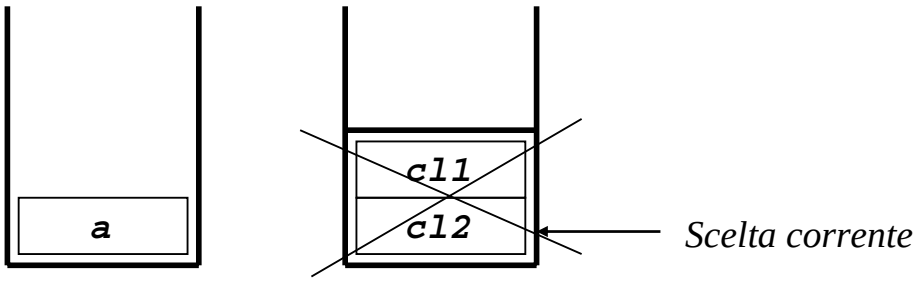
Stack di esecuzione *Stack di backtracking*

`b` fallisce

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- r.
(cl3)      p :- q.
(cl4)      p :- r.
(cl5)      r.
```

- E la valutazione della query `:-a.`

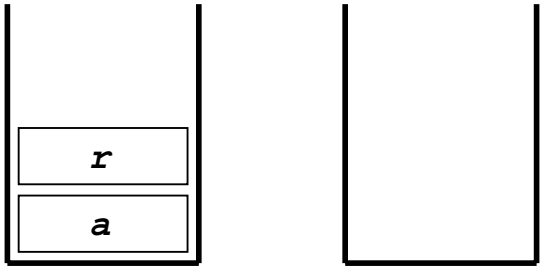


Stack di esecuzione *Stack di backtracking*

CONTROLLO DI UN PROGRAMMA

```
(cl1)      a :- p,b.
(cl2)      a :- r.
(cl3)      p :- q.
(cl4)      p :- r.
(cl5)      r.
```

- E la valutazione della query `:-a.`



Stack di esecuzione *Stack di backtracking*

Successo

EFFETTO DEL CUT

- L'effetto del cut e' quello di rendere definitive alcune scelte fatte nel corso della valutazione dall'interprete Prolog ossia quello di eliminare alcuni blocchi dallo stack di backtracking
- Il cut altera quindi il controllo del programma
- Effetto collaterale piu' importante: perdita di dichiarativita'

EFFETTO DEL CUT

- Si consideri la clausola:

  $p :- q_1, q_2, \ldots, q_i, !, q_{i+1}, q_{i+2}, \ldots, q_n.$

  l'effetto della valutazione del goal `!` (cut) durante la dimostrazione del goal "p" è il seguente:
  - la valutazione di `!` ha successo (come quasi tutti i predicati predefiniti) e `!` viene ignorato in fase di backtracking;
  - tutte le scelte fatte nella valutazione dei goal $q_1, q_2, \ldots, q_i$ e in quella del goal `p` vengono rese definitive; in altri termini, tutti i punti di scelta per tali goal (per le istanze di tali goal utilizzate) vengono rimossi dallo stack di backtracking.
  - Le alternative riguardanti i goal seguenti al cut non vengono modificate

EFFETTO DEL CUT

- Si consideri la clausola:

  $p :- q_1, q_2, \ldots, q_i, !, q_{i+1}, q_{i+2}, \ldots, q_n.$

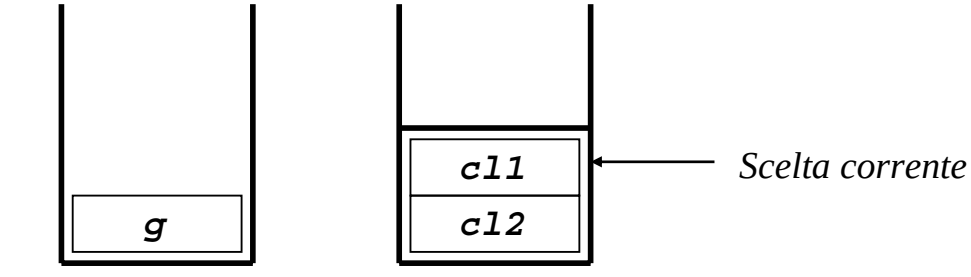
  – Se la valutazione di $q_{i+1}, q_{i+2}, \ldots, q_n$ fallisce, fallisce tutta la valutazione di p. Infatti, anche se p o $q_1, q_2, \ldots, q_i$ avessero punti di scelta questi sarebbero eliminati dal cut;
  – Il cut taglia rami dell'albero SLD

  Pertanto il cut non può essere definito in modo dichiarativo

EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

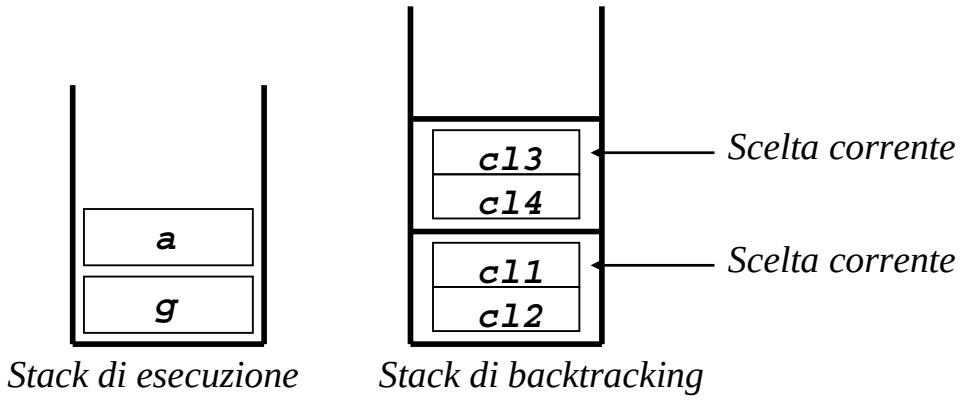
- E la valutazione della query `:-g.`



EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

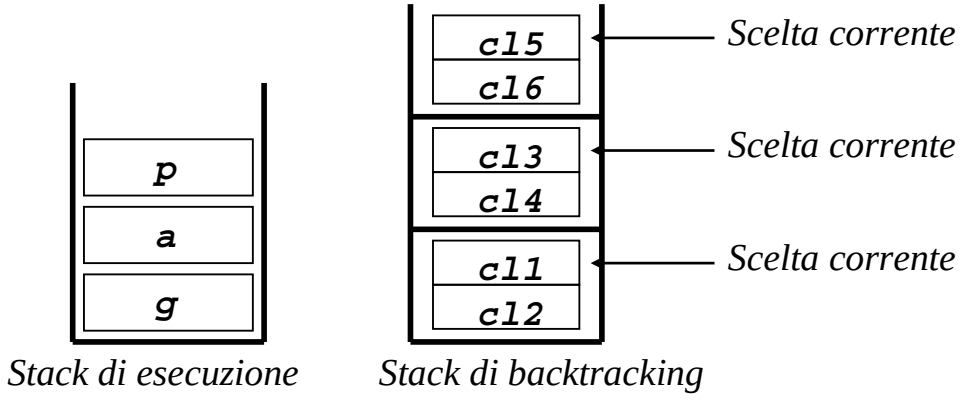
- E la valutazione della query `:-g.`



EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

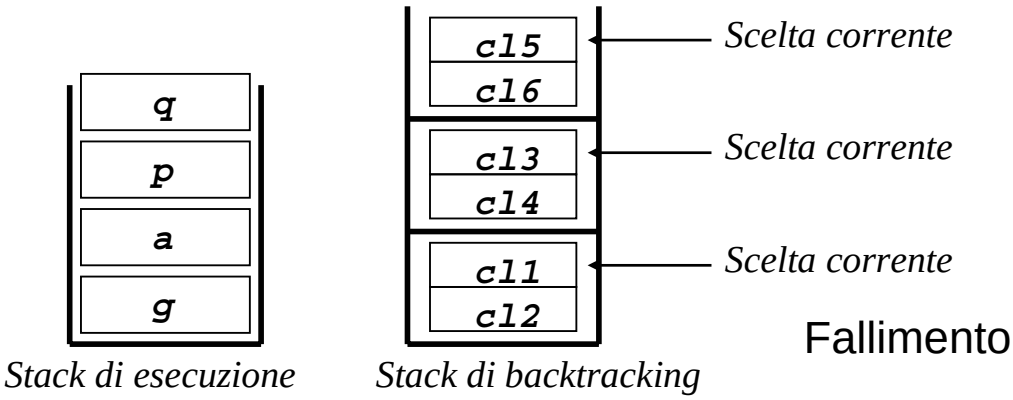
- E la valutazione della query `:-g.`



EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

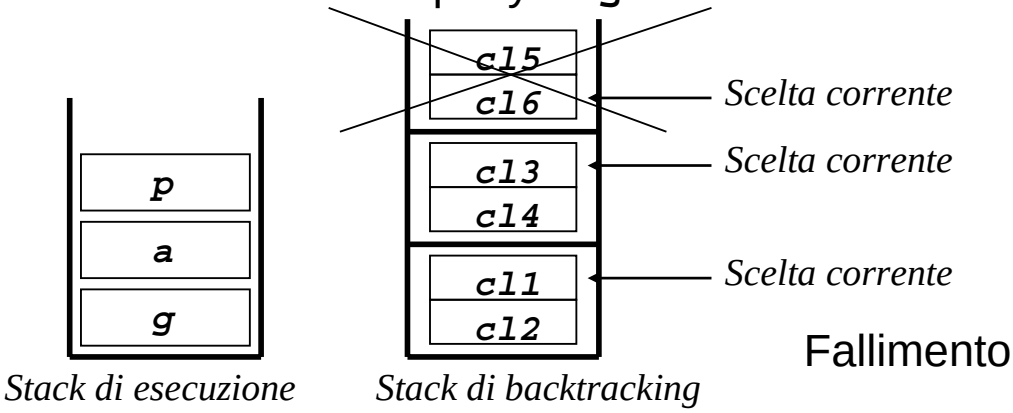
- E la valutazione della query `:-g.`



EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

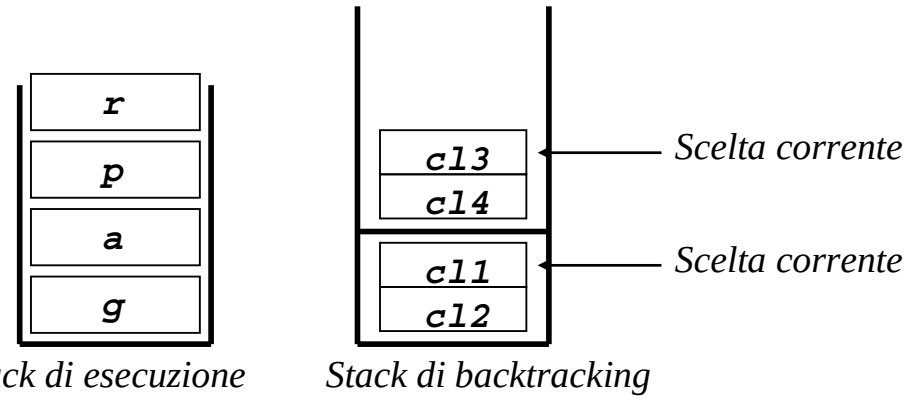
- E la valutazione della query `:-g.`



EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

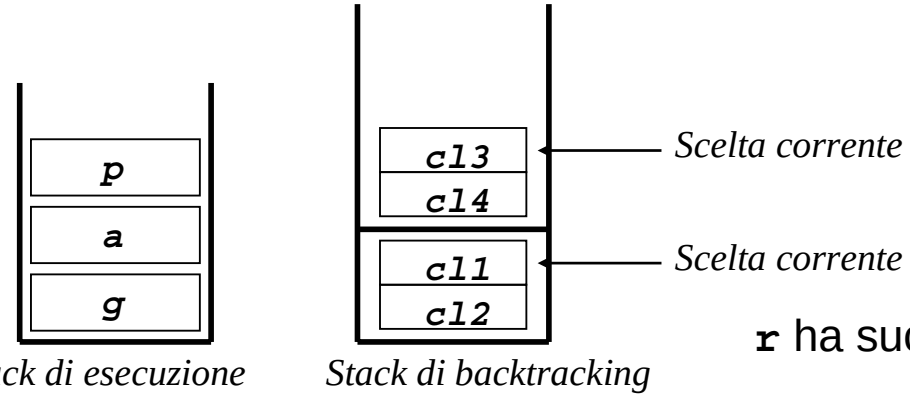
- E la valutazione della query `:-g.`



EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

- E la valutazione della query `:-g.`

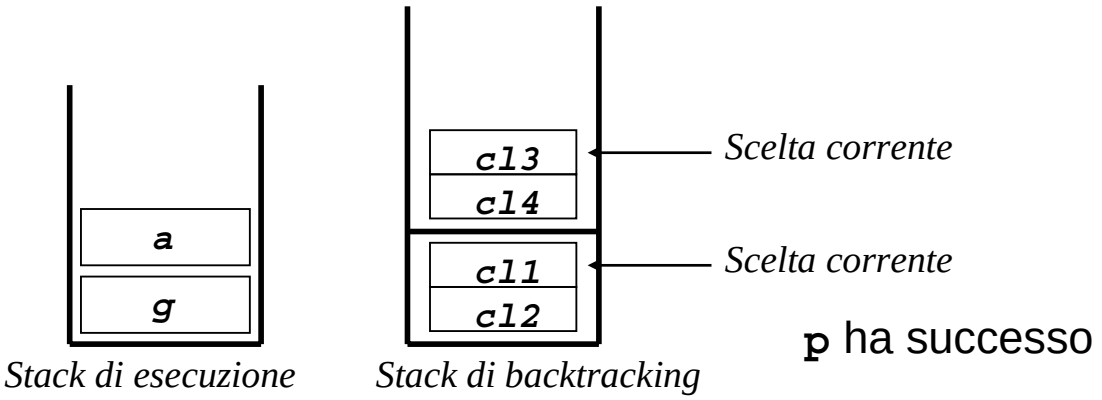


`r` ha successo

EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

- E la valutazione della query `:-g.`



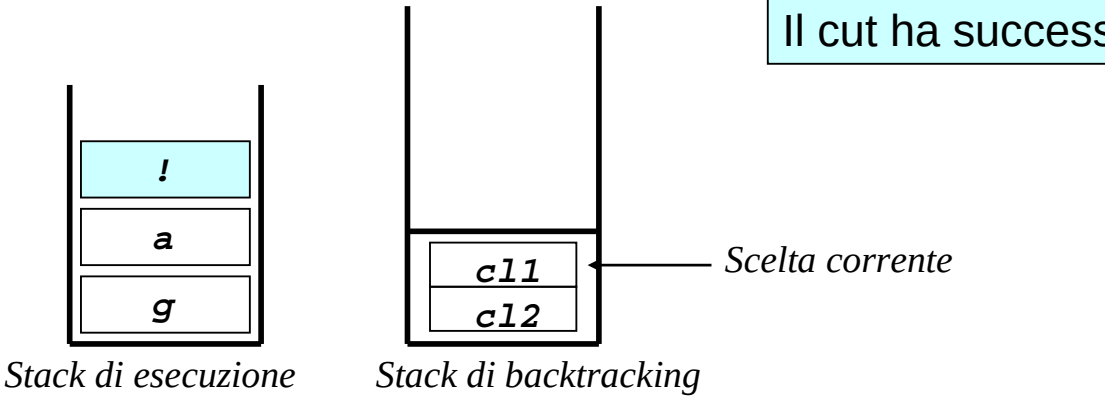
`p` ha successo

EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

- E la valutazione della query `:-g.`

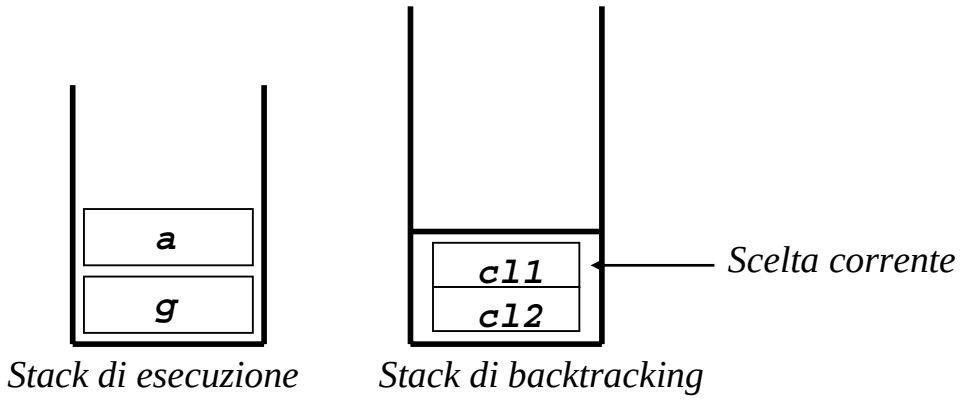
Effetto del `!`
Tutti i punti di scelta per `p` e per `a` sono rimossi dallo stack
Il cut ha successo



EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

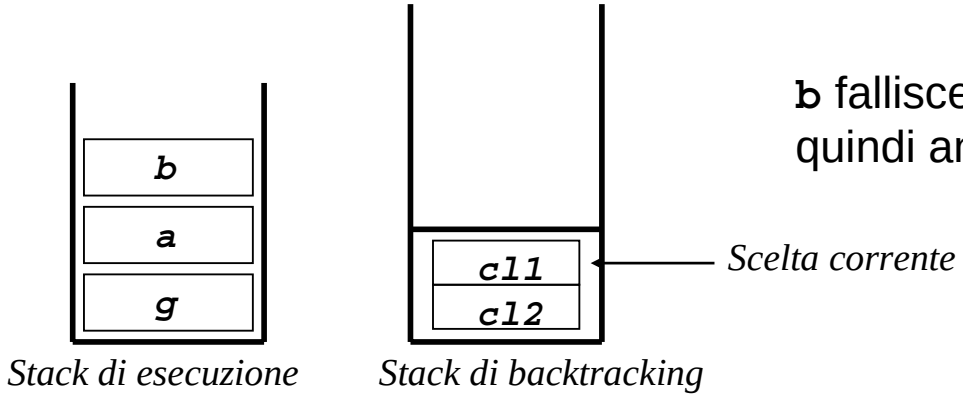
- E la valutazione della query `:-g.`



EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

- E la valutazione della query `:-g.`

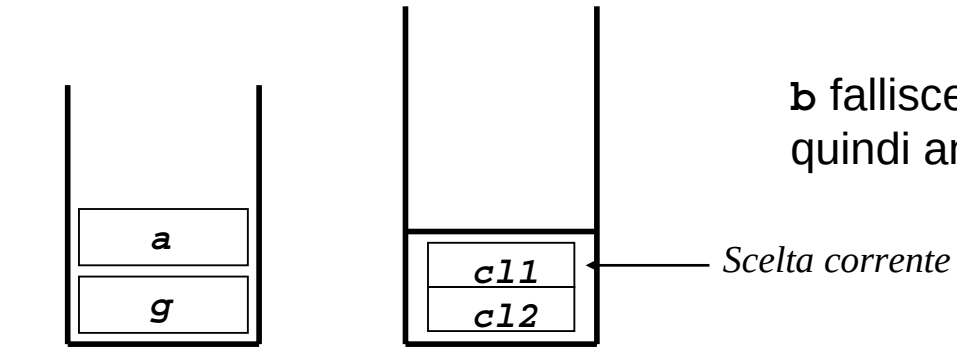


`b` fallisce e fallisce quindi anche `a`

EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

- E la valutazione della query `:-g.`

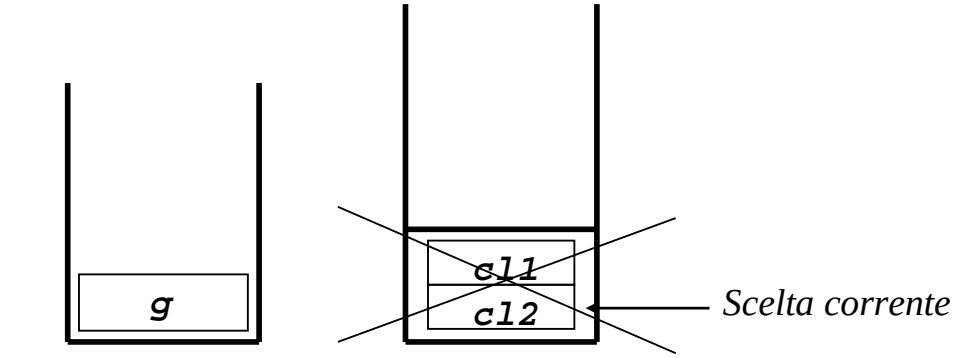


`b` fallisce e fallisce quindi anche `a`

EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

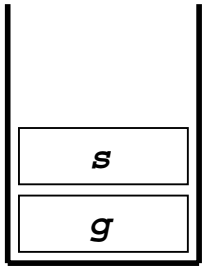
- E la valutazione della query `:-g.`



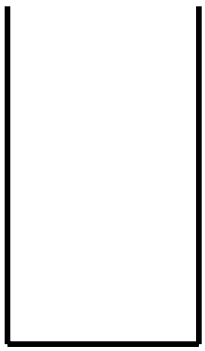
EFFETTO DEL CUT

```
(cl1)      g :- a.
(cl2)      g :- s.
(cl3)      a :- p,!,b.
(cl4)      a :- r.
(cl5)      p :- q.
(cl6)      p :- r.
(cl7)      r.
```

- E la valutazione della query `:-g.`



Stack di esecuzione



Stack di backtracking

Fallimento !!!

Senza il cut la query avrebbe avuto successo

ESEMPIO

```
a(X,Y):- b(X),!,c(Y).
a(0,0).
b(1).
b(2).
c(1).
c(2).

:-  a(X,Y).
 yes  X=1   Y=1;
      X=1   Y=2;
 no
```

ESEMPIO

```
p(X):- q(X),r(X).
q(1).
q(2).
r(2).

:- p(X).
yes   X=2
```

```
p(X):- q(X),!,r(X).
q(1).

q(2).
r(2).

:- p(X).
no
```


CUT

- La perdita della dichiaratività è il maggiore svantaggio derivante dall'uso del "cut".
- Tuttavia l'uso del "cut" è necessario per la correttezza di alcune classi di programmi ed è utile per l'efficienza di altre classi di programmi.

MUTUA ESCLUSIONE TRA CLAUSOLE

- Il cut può essere utilizzato molto semplicemente per rendere deterministica la scelta tra due o più clausole alternative

```
p(X) :- a(X), b.
p(X) :- c.
```

- Si supponga che la condizione `a(X)` debba rendere le due clausole mutuamente esclusive per realizzare uno schema del tipo:

```
if a(.) then b else c
```


MUTUA ESCLUSIONE TRA CLAUSOLE

- Si supponga che la condizione `a(X)` debba rendere le due clausole mutuamente esclusive per realizzare uno schema del tipo:

```
if a(.) then b else c
```

- Utilizzando il predicato predefinito "cut":

```
p(X) :- a(X), !, b.
p(X) :- c.
```

ATTENZIONE**: la mancanza del cut rende il programma **SCORRETTO

Se `a(X)` e' vera, viene valutato il cut che toglie il punto di scelta per `p(X)`. Se invece `a(X)` fallisce, si innesca il backtracking prima che il cut venga eseguito.

ESEMPIO: INTERSEZIONE DI INSIEMI

- Riprendiamo l'esempio dell'intersezione di due insiemi

```
intersection(S1,S2,S3) "l'insieme S3 contiene gli elementi
                appartenenti all'intersezione di S1 e S2"
```

```
intersection([],S2,[]).
intersection([H|T],S2,[H|T3]):- member(H,S2),
                                intersection(T,S2,T3).
intersection([H|T],S2,S3):- intersection(T,S2,S3).
```

- La seconda e la terza clausola **devono essere mutuamente esclusive**

```
:-  intersection([1,2,3], [2,3,4], S).
      yes    S=[2,3];
             S=[2];
             S=[3];
             S=[]
```

*Risposte **scorrette** a causa delle non mutua esclusione tra la seconda e la terza clausola*

ESEMPIO: INTERSEZIONE DI INSIEMI

- La condizione che determina la mutua esclusione e' `member(H,S2)` quindi il cut va inserito dopo tale condizione

```
intersection([],S2,[]).
intersection([H|T],S2,[H|T3]):- member(H,S2), !,
                                intersection(T,S2,T3).
intersection([H|T],S2,S3):- intersection(T,S2,S3).
```

- La seconda e la terza clausola sono **mutuamente esclusive**

```
:-  intersection([1,2,3], [2,3,4], S).
      yes    S=[2,3];
```

RIMOZIONE DI ELEMENTI DA LISTE

- Cancellazione di un elemento uguale a T dalla lista

```
(cl1)   delete1(T, [], []).
(cl2)   delete1(T, [T|TAIL], TAIL).
(cl3)   delete1(T, [HEAD|TAIL], [HEAD|L]):-
        delete1(T, TAIL, L).
```

- Cancellazione di tutti gli elementi uguale a T dalla lista

```
(cl4)   delete(T, [], []).
(cl5)   delete(T, [T | TAIL], L):-
              delete(T, TAIL, L).
(cl6)   delete(T,[HEAD|TAIL],[HEAD|L]):-
        delete(T, TAIL, L).
```


RIMOZIONE DI ELEMENTI DA LISTE

- Cancellazione di un elemento uguale a T dalla lista: le clausole `(cl2)` e `(cl3)` devono essere mutuamente esclusive.

- La condizione di mutua esclusione e' l'unificazione dell'elemento da cancellare con la testa della lista

```
(cl1)   delete1(T, [], []).
(cl2')  delete1(T, [T|TAIL], TAIL):- !.
(cl3)   delete1(T, [HEAD|TAIL], [HEAD|L]):-
        delete1(T, TAIL, L).
```

RIMOZIONE DI ELEMENTI DA LISTE

- Cancellazione di tutti gli elementi uguali a T dalla lista: le clausole `(cl5)` e `(cl6)` devono essere mutuamente esclusive.

- La condizione di mutua esclusione e' l'unificazione dell'elemento da cancellare con la testa della lista

```
(cl4)    delete(T, [], []).
(cl5)    delete(T, [T | TAIL], L):- !,
                delete(T, TAIL, L).
(cl6)    delete(T,[HEAD|TAIL],[HEAD|L]):-
         delete(T, TAIL, L).
```


EFFICIENZA

- La presenza del "cut" rende in molti casi un programma ricorsivo deterministico e consente l'applicazione dell'ottimizzazione della ricorsione tail.

- Merge di due liste ordinate di numeri interi in una nuova lista ordinata.

```
merge([], L2, L2).
merge(L1, [], L1).
merge([X|REST1],[X|REST2],[X,X|REST]) :-
     merge(REST1,REST2,REST).
     merge([X|REST1],[Y|REST2],[X|REST]):- X < Y,
     merge(REST1,[Y|REST2],REST).
merge([X|REST1],[Y|REST2],[Y|REST]):- X > Y,
     merge([X|REST1],REST2,REST).
```

EFFICIENZA

- Sebbene merge sia definita in modo tail ricorsivo, la presenza dei punti di scelta rende l'ottimizzazione impossibile

- Inserendo il cut il programma cambia così.

```
merge([], L2, L2).
merge(L1, [], L1).
merge([X|REST1],[X|REST2],[X,X|REST]) :- !,
     merge(REST1,REST2,REST).
     merge([X|REST1],[Y|REST2],[X|REST]):-  X  <  Y,
!,
     merge(REST1,[Y|REST2],REST).
merge([X|REST1],[Y| REST2],[Y|REST]):- X > Y,
     merge([X|REST1],REST2,REST).
```


EFFICIENZA

- Abbiamo visto il predicato **member**

```
member(El, [El|_]).
member(El, [_|Tail):- member(El,Tail).
```

- Se abbiamo bisogno di interpretare tale predicato solo per la verifica di appartenenza di un elemento a una lista, possiamo inserire un cut per migliorare l'efficienza

```
member(El, [El|_]):- !.
member(El, [_|Tail):- member(El,Tail).
```

- In questo caso pero' non e' possibile usare il predicato **member** per
  - individuare tutti gli elementi di una lista
  - verificare l'appartenenza multipla di un elemento alla lista