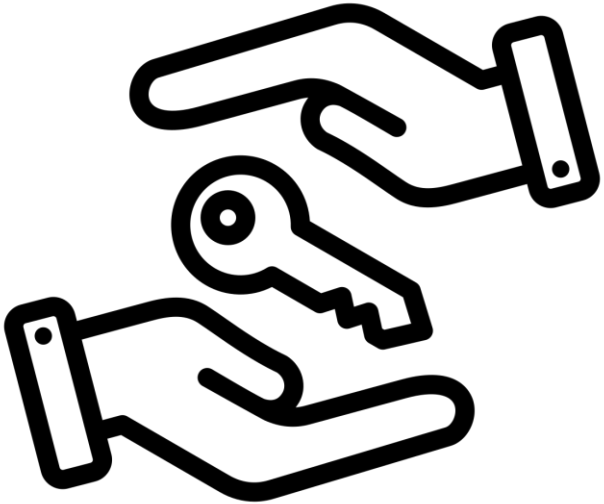


Possesso

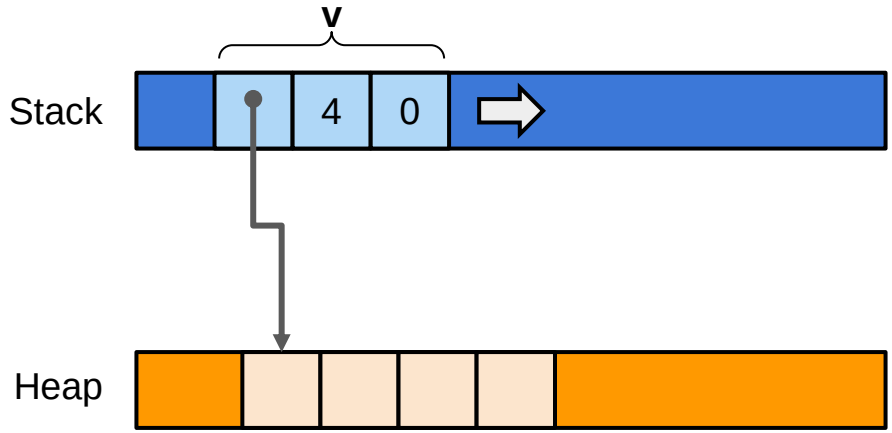
2023-24

Possesso: ownership

- In Rust, ogni **valore** introdotto nel programma è **posseduto** da una ed una sola variabile
  - Un particolare blocco logico contenuto nel compilatore, detto **borrow checker**, verifica formalmente questo fatto, per ogni punto dell'esecuzione del programma
    - se verifica che non è posseduto provvede a rilasciarlo
  - Ogni violazione (ossia un tentativo di far possede lo stesso valore a 2 variabili) porta ad un **fallimento della compilazione**
- Possedere un valore significa essere responsabili del suo **rilascio**
  - Se il valore contiene una risorsa (puntatore a memoria dinamica, handle di file o socket, …), questa deve essere liberata
  - Dopodiché occorre restituire al sistema operativo la memoria in cui il valore è memorizzato
- Il rilascio avviene quando la variabile che lo possiede **esce** dal proprio *scope* sintattico o quando le viene assegnato un nuovo valore
  - Rust offre un meccanismo (drop) mediante il quale è possibile associare azioni arbitrarie da eseguire prima che sia liberata la memoria
  - Il rilascio può essere rimandato a dopo, se il contenuto della variabile viene trasferito (mosso) in un'altra variabile: in questo caso la nuova variabile diventa responsabile del suo rilascio

Possesso e rilascio

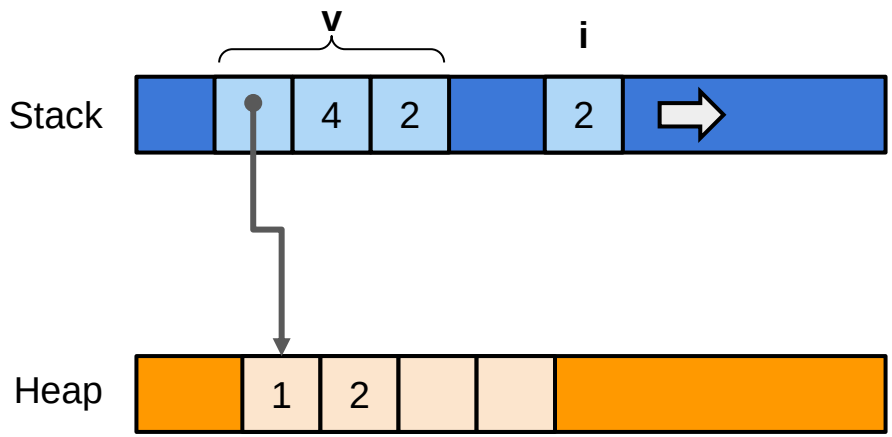
```
fn main() {
  let mut v = Vec::with_capacity(4);
                  // v possiede il vec
  for i in 1..=5 {
    v.push(i);
  }
  println!("{:?}",v);
}
```



All'atto della creazione, viene acquisito un blocco sullo heap, il cui puntatore è memorizzato all'interno della struttura dati sullo stack

Possesso e rilascio

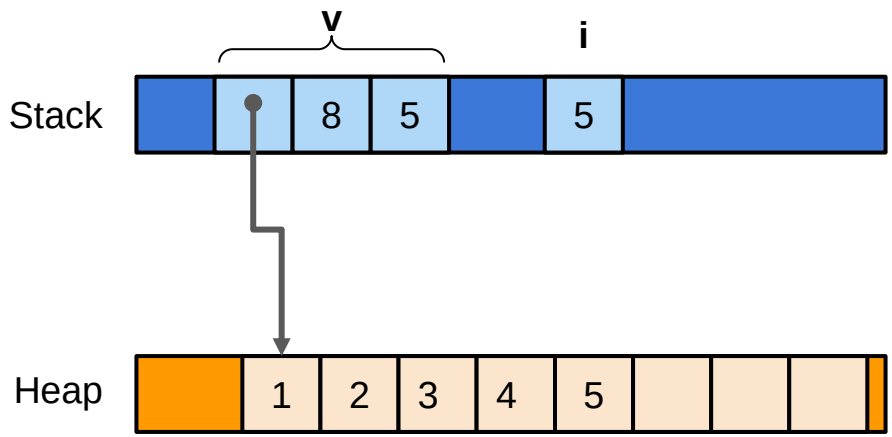
```
fn main() {

  let mut v = Vec::with_capacity(4);
                // v possiede il vec

  for i in 1..=5 {

    v.push(i);

  }

  println!("{:?}",v);

}
```



Inserendo valori all'interno del vettore, lo spazio precedentemente allocato viene via via riempito

Possesso e rilascio

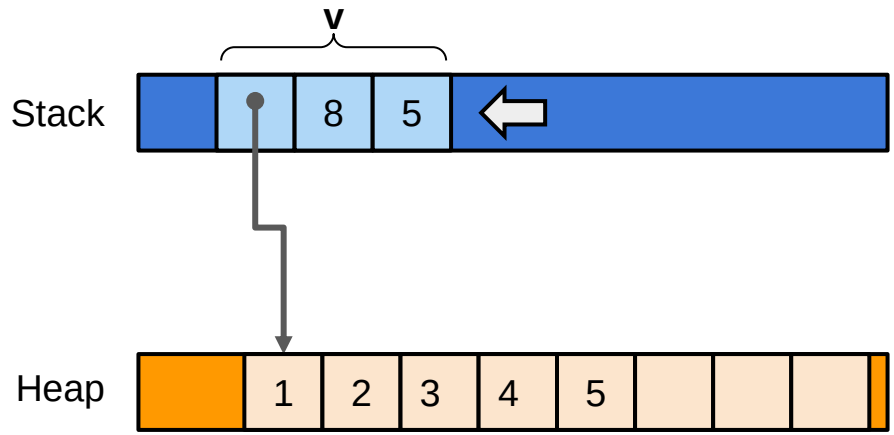
```
fn main() {

  let mut v = Vec::with_capacity(4);
                // v possiede il vec

  for i in 1..=5 {

    v.push(i);

  }

  println!("{:?}",v);

}
```



Se necessario, il blocco viene riallocato, per fare spazio ad un maggior numero di elementi

Possesso e rilascio

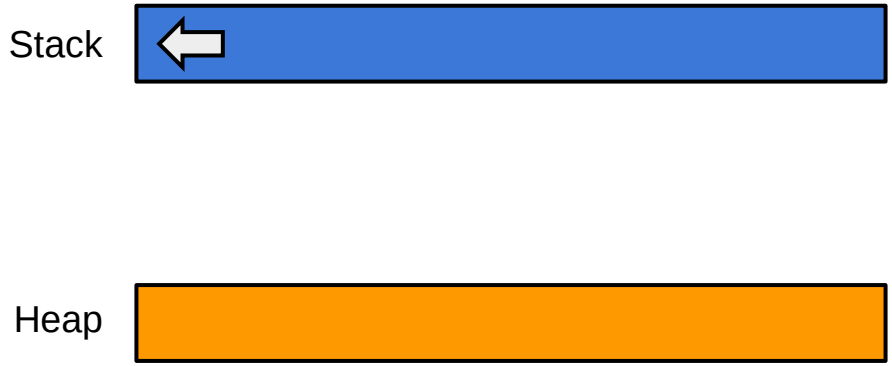
```
fn main() {

  let mut v = Vec::with_capacity(4);
                // v possiede il vec

  for i in 1..=5 {

    v.push(i);

  }

  println!("{:?}",v);
}
```



Finché la variabile è in scope, le risorse che possiede sono accessibili

Possesso e rilascio

```
fn main() {

  let mut v = Vec::with_capacity(4);
                // v possiede il vec

  for i in 1..=5 {

    v.push(i);

  }

  println!(“{:?}”,v);

}
```



Quando v esce dal proprio scope sintattico, si occupa di rilasciare le risorse che possiede : (l’array allocato sullo heap, con tutto il suo contenuto)

Movimento

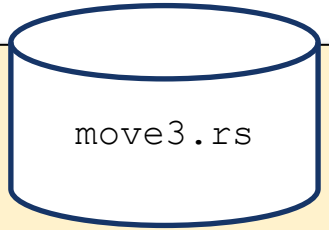
- Quando una variabile viene inizializzata, prende possesso del relativo valore
- Se ad una variabile è assegnato un nuovo valore, quello precedentemente posseduto viene rilasciato e la variabile diventa proprietaria del nuovo valore.

```
fn main() {

    let mut my_box = Box::new(1);

    my_box =  Box::new(2);

    println!("{:?}", my_box);

}
```

move1.rs

```
fn main() {
    let s1 = String::from("hello");
    println!("{s1}");
    let mut s1 = String::from("ciao");
    s1.push_str(" Mamma");
    println!("{s1}");
}
```

move2.rs




```rust
[derive(Debug)]
struct Test(i32);

impl Drop for Test {
    fn drop(&mut self) {
        println!("Distruggo {:?} @{:p}", self, self);
    }
}

fn main() {
    let t = Test(1);
    println!("{:?}@{:p}", t, &t);
    let mut t = Test(2);
    println!("{:?}@{:p}", t, &t);
    t.0 += 1;
    println!("{:?}@{:p}", t, &t);
}
```

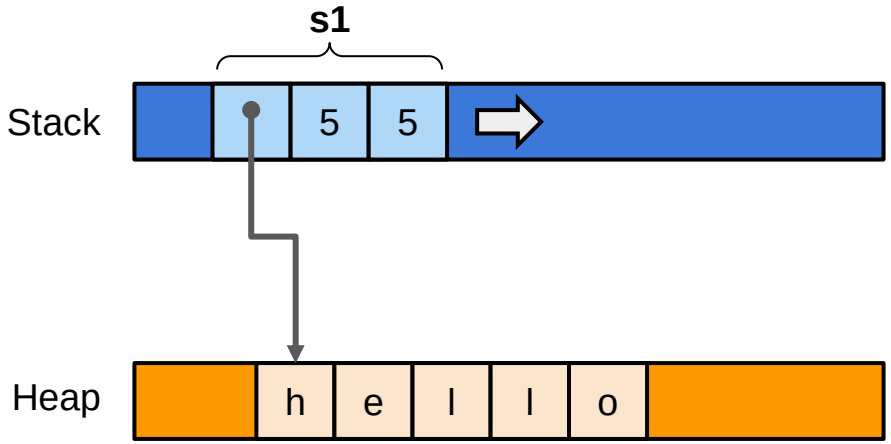
```
Test(1)@0x7aac6ff844
Test(2)@0x7aac6ff8a4
Test(3)@0x7aac6ff8a4
Distruggo Test(3) @0x7aac6ff8a4
Distruggo Test(1) @0x7aac6ff844
```

Movimento

- Se una variabile viene assegnata ad un'altra variabile oppure passata come argomento ad una funzione, il suo contenuto viene **MOSSO** nella destinazione
  - La variabile originale cessa di possedere il valore (non ne è più responsabile) ed il possesso passa alla variabile destinazione (o al parametro della funzione invocata)
  - La variabile originale resta allocata fino a quando non termina la sua visibilità (chiusura del blocco in cui è stata definita)
  - Eventuali accessi in **lettura** alla variabile originale porteranno ad **errori di compilazione**
  - Eventuali accessi in **scrittura** alla variabile originale **avranno successo** e ne riabiliteranno la lettura
  - La variabile destinazione conterrà una **copia** bit a bit del valore originale (ammesso che il compilatore non riesca a riusare i dati originali al loro posto)

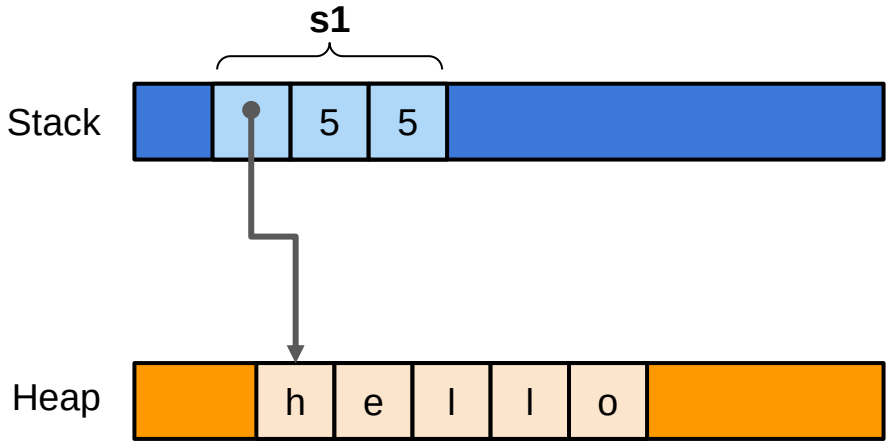
Movimento

```
let mut s1 = “hello”.to_string();

println!(“s1: {}”, s1);

let s2 = s1;

println!(“s2: {}”, s2);


//s1 non è più accessibile
```



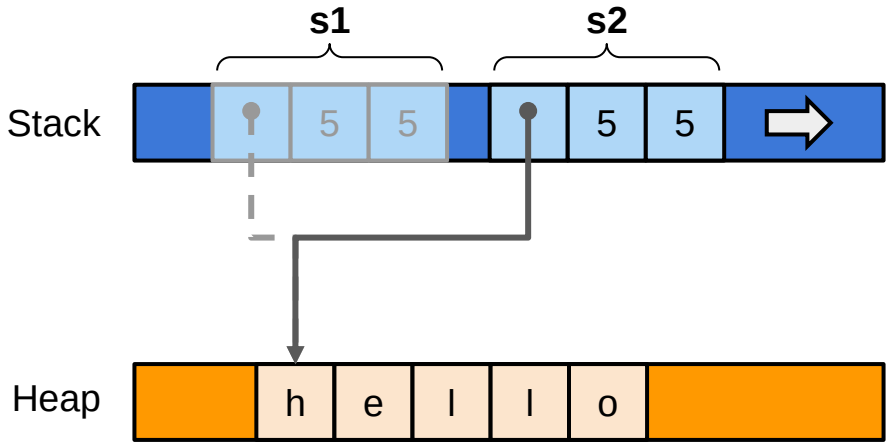
Movimento

```
let mut s1 = “hello”.to_string();
println!(“s1: {}”, s1);
let s2 = s1;
println!(“s2: {}”, s2);

//s1 non è più accessibile
```



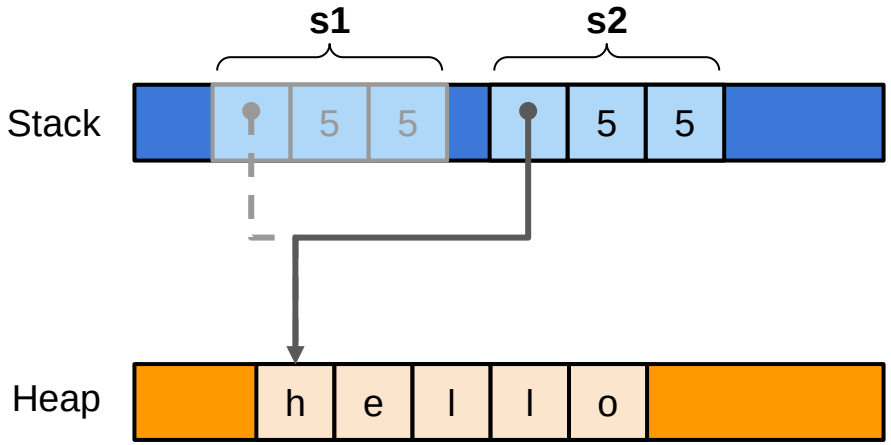
Movimento

```
let mut s1 = “hello”.to_string();

println!(“s1: {}”, s1);

let s2 = s1;

println!(“s2: {}”, s2);


//s1 non è più accessibile
```

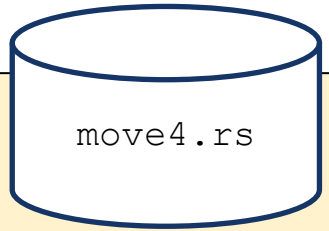


Movimento

```
let mut s1 = “hello”.to_string();

println!(“s1: {}”, s1);

let s2 = s1;

println!(“s2: {}”, s2);


//s1 non è più accessibile
```



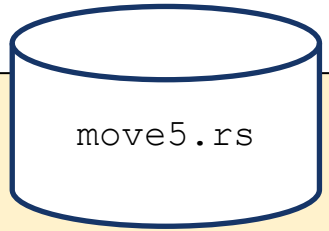
Movimento




```
let mut s1 = “hello”.to_string();
println!(“s1: {}”, s1);

let s2 = s1;
println!(“s2: {}”, s2);                    // s2: hello, in s1 c’è la stessa cosa:
                                           // ma NON è più accessibile
println!(“s1.to_uppercase(): {}”, s1.to_uppercase());
```

```
18   |     let mut s1 = "hello".to_string();
     |         ------ move occurs because `s1` has type `String`, which does not
implement the `Copy` trait
19   |     println!("s1: {}", s1);
20   |     let s2 = s1;
     |              -- value moved here
...
23   |     println!("s1.to_uppercase(): {}", s1.to_uppercase());
     |                                        ^^^^^^^^^^^^^^^^^ value borrowed here
after move
```

Movimento

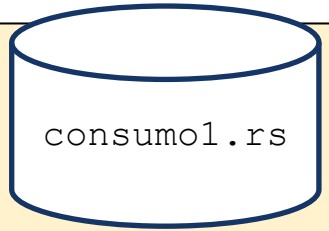



```
let mut s1 = “hello”.to_string();
println!(“s1: {}”, s1);

let s2 = s1;
println!(“s2: {}”, s2);                    // s2: hello, in s1 c’è la stessa cosa:


s1 = "world".to_string(); // s1 torna accessibile in scrittura
println!(“s1.to_uppercase(): {}”, s1.to_uppercase());
```

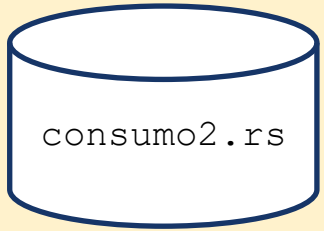
```
s1: hello
s2: hello
s1.to_uppercase(): WORLD
```

Movimento = consumare una variabile

```
fn main() {
    let s = String::from("hello");
    takes_ownership(s);
}

fn takes_ownership(some_string: String) {
    let s = some_string.to_uppercase();
    println!("{}", s);
}
```



```rust
fn main() {
    let s = String::from("hello");
    takes_ownership(s);
    println!("{}", s);
}

fn takes_ownership(some_string: String) {
    let s = some_string.to_uppercase();
    println!("{}", s);
}
```




```
7 | fn takes_ownership(some_string: String) {
  |    ---------------              ^^^^^^ this parameter takes ownership of the value
  |    |
  |    in this function
  = note: this error originates in the macro `$crate::format_args_nl` which comes from
the expansion of the macro `println` (in Nightly builds, run with -Z macro-backtrace for
more info)
help: consider cloning the value if the performance cost is acceptable
  |
3 |     takes_ownership(s.clone());
  |                     ++++++++
```

Copia

- Alcuni tipi, tra cui quelli numerici, sono definiti **copiabili**
  - Implementano il tratto **Copy**
  - Quando un valore viene assegnato ad un'altra variabile o usato come argomento in una chiamata a funzione, il valore originale rimane accessibile in lettura
  - Questo è possibile quando il valore contenuto non costituisce una "risorsa" che richiede ulteriori azioni di rilascio
- I tipi semplici e le loro combinazioni (tuple e array di numeri, ad esempio) sono copiabili
  - Così come sono copiabili i riferimenti a valori non mutabili
  - I riferimenti a valori mutabili NON sono copiabili
- Da un punto di vista del codice generato, **non cambia nulla** tra copia e movimento
  - L'istruzione di assegnazione o il passaggio come argomento comporta la duplicazione (bit a bit) del valore originale
  - Semplicemente, in caso di copia, il borrow checker non impedisce l'ulteriore accesso in lettura al dato originale

Copia e movimento

⇝ **move (for types that do not implement Copy)**


```
let s = String::from("hello");

let b = s + " world";
```

(**cannot** use s anymore)

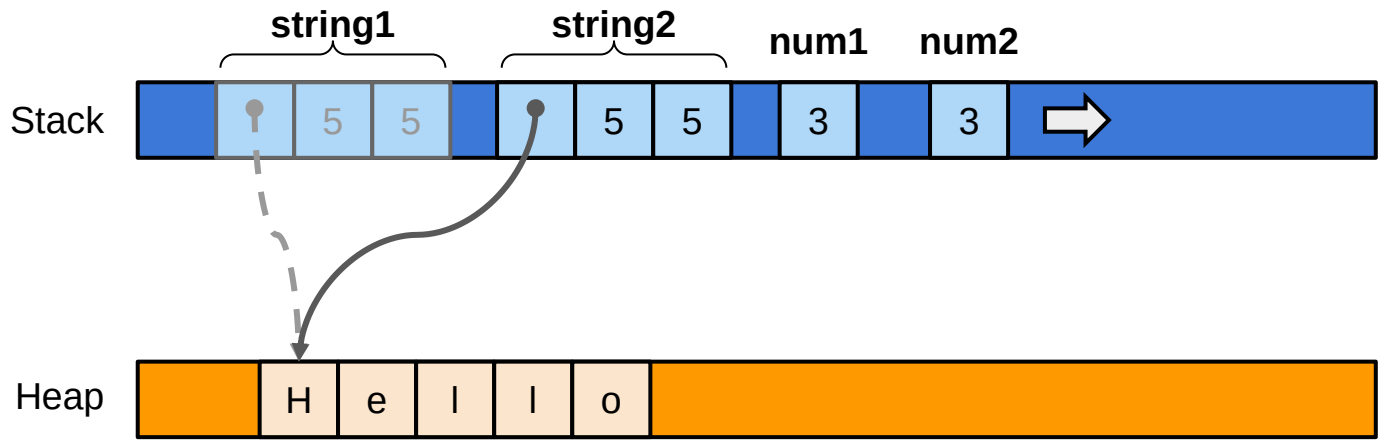
copy (for types that do implement Copy)


```
let i = 42;

let j = i + 1;
```

(can still use i and j)

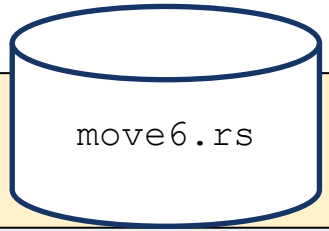
Copia e movimento

```
let string1 = "Hello".to_string();
let string2 = string1; //da qui in poi, string1 è inaccessibile in lettura
                       //a meno che non venga riassegnato
let num1: i32 = 3;
let num2 = num1;       //nessun vincolo su num1!
```



Movimento

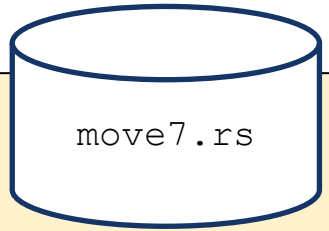
```
let x1 = 42;
let y1 = Box::new(84);
  {
    let z = (x1, y1);
    println!("z: {:?}", z);
  }
let x2 = x1;
println!("x2: {}", x2);
let y2 = y1;
println!("y2: {}", y2);
```




```
4  |     let y1 = Box::new(84);
   |         -- move occurs because `y1` has type
`Box<i32>`, which does not implement the `Copy` trait
...
7  |             let z = (x1, y1);
   |                         -- value moved here
...
13 |     let y2 = y1;
   |              ^^ value used here after move
   |
help: consider cloning the value if the performance cost
acceptable
   |
7  |             let z = (x1, y1.clone());
```

Movimento

```
let x1 = 42;
let y1 = Box::new(84);
  {
    let z = (x1, y1);
    println!("z: {:?}", z);
  }
let x2 = x1;
println!("x2: {}", x2);
```



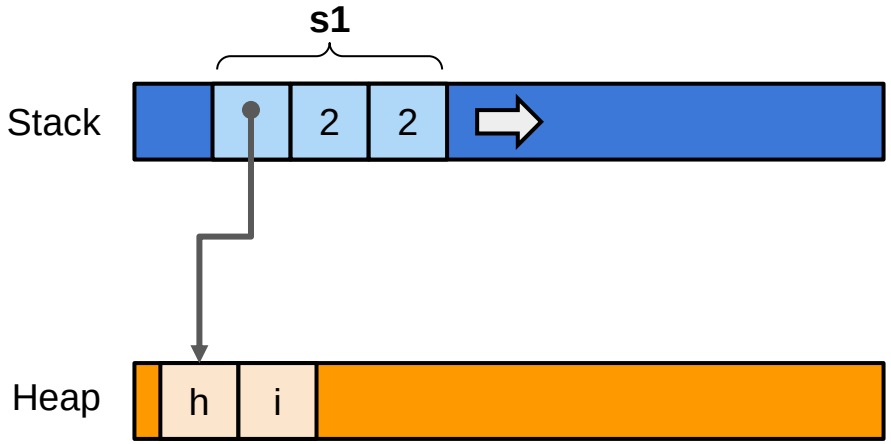

```
z: (42, 84)
x2: 42
```

Clonazione

- I tipi che implementano il tratto **`Clone`** possono essere duplicati invocando il metodo **`clone()`**
  - A differenza della copia e del movimento, la clonazione può comportare una **copia in profondità** dei valori
  - Di conseguenza, il costo della clonazione può essere elevato
- L'implementazione dell'operazione di clonazione è modificabile dal programmatore
  - L'implementazione di copia e movimento, invece, è sotto il controllo esclusivo del compilatore ed è basata sull'invocazione della funzione **`memcpy(...)`**
- Affinché un tipo possa implementare il tratto **`Copy`**, occorre che implementi **anche** il tratto **`Clone`**
  - Tuttavia, non occorre che le due implementazioni coincidano

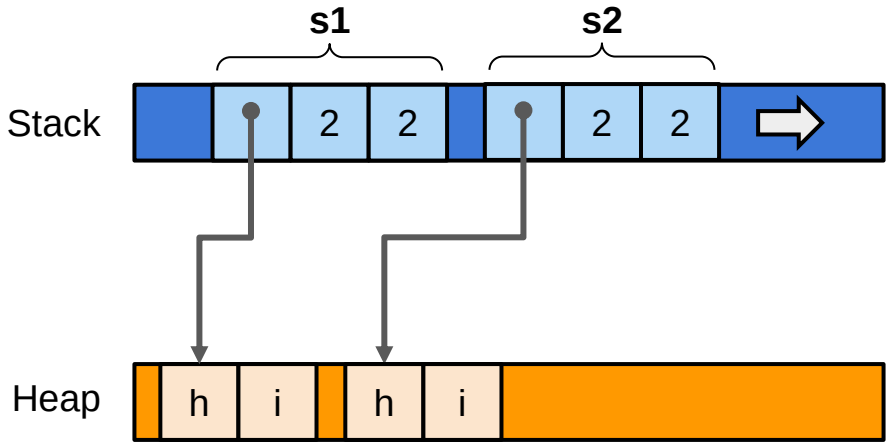
Clonazione

```
let mut s1 = "hi".to_string();

let s2 = s1.clone();

s1.push('!');

println!("s1: {}", s1); //hi!

println!("s2: {}", s2);      //hi
```



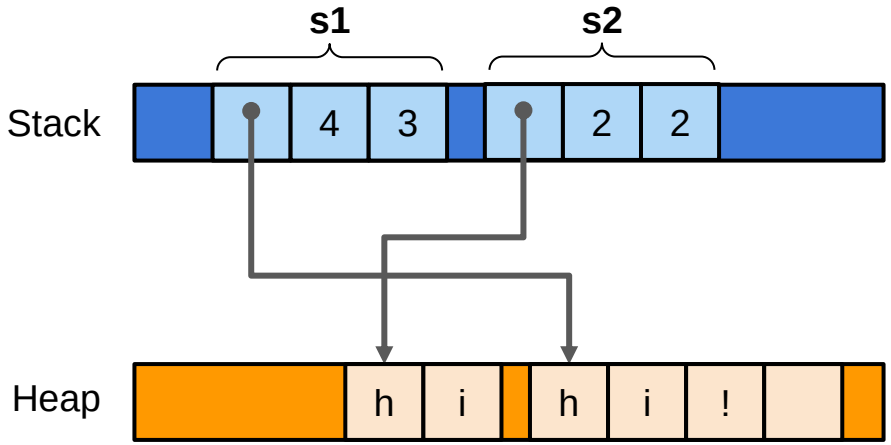
Clonazione

```
let mut s1 = "hi".to_string();
let s2 = s1.clone();
s1.push('!');
println!("s1: {}", s1); //hi!
println!("s2: {}", s2);      //hi
```



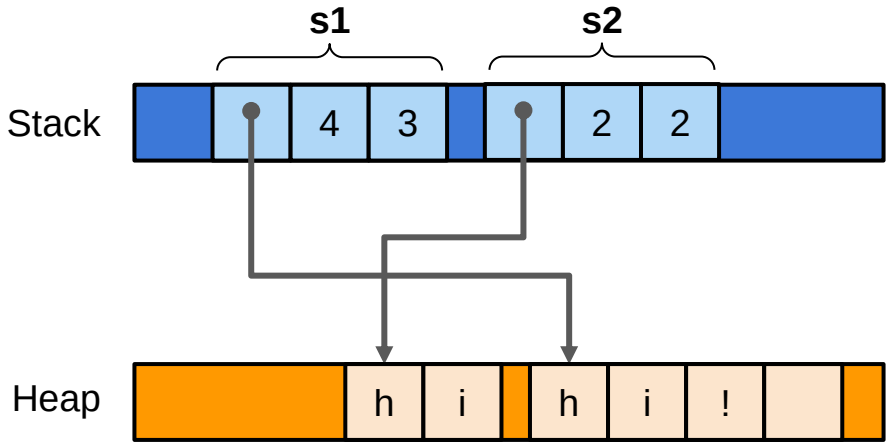
Clonazione

```
let mut s1 = "hi".to_string();

let s2 = s1.clone();

s1.push('!');

println!("s1: {}", s1); //hi!

println!("s2: {}", s2);      //hi
```



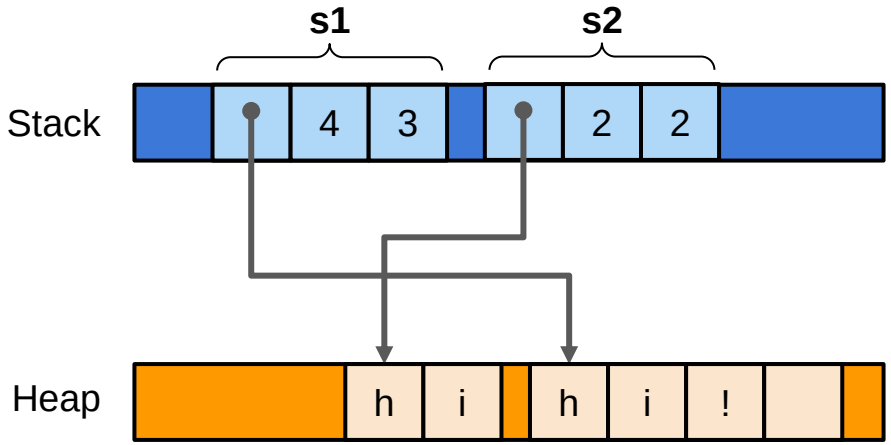
Clonazione

```
let mut s1 = "hi".to_string();

let s2 = s1.clone();

s1.push('!');

println!("s1: {}", s1); //hi!

println!("s2: {}", s2);      //hi
```

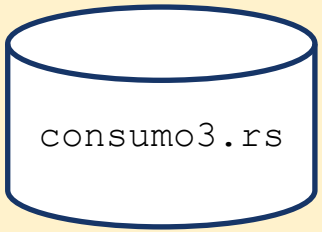


Clonazione

```
let mut s1 = "hi".to_string();

let s2 = s1.clone();

s1.push('!');

println!("s1: {}", s1); //hi!

println!("s2: {}", s2);      //hi
```



```rust
fn main() {
    let s = String::from("hello");
    takes_ownership(s.clone());
    println!("{}", s); // stampa hello
}

fn takes_ownership(some_string: String) {
    let s = some_string.to_uppercase();
    println!("{}", s); // stampa HELLO
}
```



Confronto con C e C++

- A differenza di quanto avviene in C e C++, in Rust il comportamento base adottato dal compilatore a fronte dell'assegnazione di una variabile o del passaggio di un argomento ad una funzione, è quello del **movimento**
  - Solo se il tipo risulta copiabile viene eseguita una copia
- In C, l'unico paradigma possibile è quello della **copia**
  - In C++ è possibile adottare il movimento a patto di invocarlo esplicitamente e che questo comportamento sia stato definito per lo specifico tipo di dato in oggetto
- Poiché in C++ il movimento è possibile, ma non c'è l'equivalente del Borrow Checker, è responsabilità del programmatore, in caso di movimento, lasciare l'oggetto di cui si è preso possesso del contenuto in uno stato coerente:
  - Eventuali accessi ai suoi campi non devono originare errori né visibilità del contenuto pregresso
  - La sua distruzione non deve originare errori né portare a fenomeni di doppio rilascio
  - Questo mette molta responsabilità nelle mani del programmatore che deve fornire implementazioni opportune per copia e movimento, distinguendo anche tra costruzione iniziale e riassegnazione!

Vedi anche: https://radekvit.medium.com/move-semantics-in-c-and-rust-the-case-for-destructive-moves-d816891c354b

Riferimenti

- Per risolvere i problemi di accesso, Rust introduce diverse forme di puntatori, volte a rendere espliciti responsabilità e diritti di chi le maneggia
  - Il borrow checker si occupa di garantire che il codice complessivamente scritto sia conforme a tali regole e impedisce la compilazione in caso contrario
- Un **riferimento** è un puntatore in sola lettura ad un blocco di memoria **posseduto da un'altra variabile**
  - Permette di accedere ad un valore senza trasferirne la proprietà
  - Il riferimento può esistere solo mentre esiste la variabile che possiede il dato a cui punta
  - Il compilatore de-referenzia automaticamente il puntatore, quando si accede al valore tramite l'operatore '.'

```
let point = (1.0, 0.0);     //point possiede il valore

let reference = &point;     //reference PUÒ accedere al valore in lettura
                            //finché esiste point
println!("({}, {})", reference.0, reference.1);
```

Riferimenti e prestiti

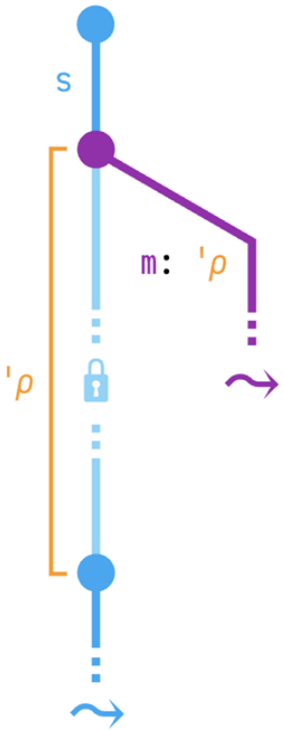
- Un riferimento **prende in prestito** (borrows) l'indirizzo di memoria in cui esiste il valore
  - Fino a che il riferimento è accessibile, non è possibile modificare il valore, né tramite il riferimento (che ha accesso in sola lettura), né tramite la variabile che possiede il valore
- E' possibile creare ulteriori riferimenti a partire dal dato originale o da altri riferimenti ad esso
  - I riferimenti sono **copiabili**: viene duplicato il puntatore
  - Il compilatore (attraverso il borrow checker) garantisce che un riferimento punti SEMPRE ad un dato valido
  - Finché esiste almeno un riferimento, il dato originale non potrà essere né modificato né distrutto

Riferimenti mutabili

- A partire da una variabile che possiede un valore è possibile estrarre UN SOLO **riferimento mutabile** per volta
  - Si crea un riferimento mutabile con la sintassi `let r = &mut v;`
- Mentre esiste un riferimento mutabile...
  - Non possono esistere riferimenti semplici (in sola lettura)
  - Non è possibile modificare né muovere la variabile che possiede il valore
- E' possibile creare un riferimento mutabile **solo se** la variabile che possiede il dato è dichiarata mutabile a sua volta

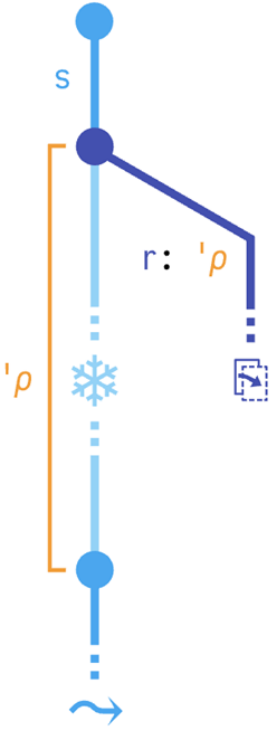
Riferimenti

mutable borrow



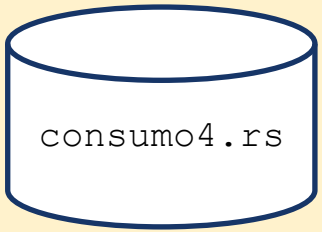

```
let mut s = String::new();

{ let m = &mut s;

    (can move m)
    (can downgrade m as &_)
    (cannot copy m)
    (cannot use s at all)

}
```

borrow

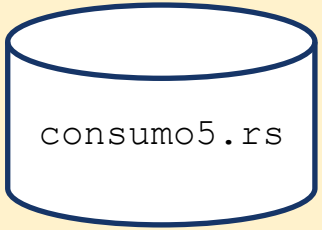



```
let s = String::from("hello");

{ let r = &s;

    (can copy r)
    (can still &s)
    (cannot &mut s)
    (cannot move s)

}
```

```
fn main() {
    let s = String::from("hello");
    takes_ownership(&s);
    println!("{}", s); // stampa hello
}

fn takes_ownership(some_string: &str) {
    let s = some_string.to_uppercase();
    println!("{}", s); // stampa HELLO
}
```



```
fn main() {
    let mut s = String::from("hello");
    s = takes_ownership(&s);
    println!("{}", s); // stampa HELLO
}

fn takes_ownership(some_string: &str) -> String {
    let s = some_string.to_uppercase();
    println!("{}", s); // stampa HELLO
    s
}
```



Riferimento mutabile


```
fn main() {

    let mut b = Box::new(84);
    let r = & mut b;

    *r = Box::new(100);

    println!("{:?}", b);
    println!("{:?}", r);
}
```

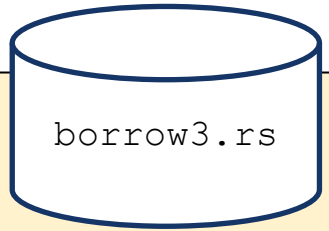
```
  |
4 |     let r = & mut b;
  |             ------- mutable borrow occurs here
...
8 |     println!("{:?}", b);
  |                      ^ immutable borrow occurs here
9 | println!("{:?}", r);
  |                  - mutable borrow later used here
```

Riferimento mutabile


```
fn main() {

    let mut b = Box::new(84);
    let r = & mut b;

    *r = Box::new(100);

    println!("{:?}", r);
    println!("{:?}", b);
}
```

```
100
100
```

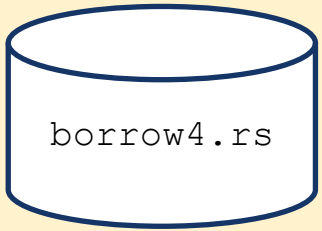
Riferimento mutabile




```
use rand::Rng;
fn main() {

1   let mut b = Box::new(84);
2   let r = & mut b;

3   *r = Box::new(100);

    let mut rng = rand::thread_rng();
    let n = rng.gen_range(0..10);

    if n > 5 {
4   println!("{:?}", b);
    }
    else {
        println!("{:?}", r);
    }
}5
```

100

```
fn cambia (myref: & mut Box<i32>) -> &mut Box<i32>
{
    *myref = Box::new(200);
    myref
}

fn main() {
    let mut mybox = Box::new(150);

    let mut z = &mut mybox;  // mutable borrow

    *z = Box::new(100);

    z = cambia(z);          // movimento del mutable borrow

    let newref = & *z;      // downgrade del mutable borrow
    let secondref = newref; // copia del prestito

    println!("{:?}", newref);    // fine primo prestito
    println!("{:?}", secondref); // fine secondo prestito

    println!("{:?}", mybox);     // ritorno al possesso
}
```



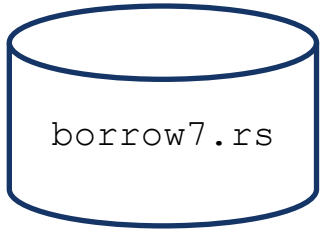
```
fn cambia (myref: & mut Box<i32>) -> &mut Box<i32>
{
    *myref = Box::new(200);
    myref
}

fn main() {

    let mut mybox = Box::new(150);

    let mut z = &mut mybox;

    *z = Box::new(100);

    z = cambia(z);

    let newref = & *z;
    println!("{:?}", newref);

    println!("{:?}", mybox);
    println!("{:?}", newref);

}
```


```
11 |     let mut z = &mut mybox;
   |                 ---------- mutable borrow occurs here
...
20 |     println!("{:?}", mybox);
   |                      ^^^^^ immutable borrow occurs
here
21 |     println!("{:?}", newref);
   |                      ------ mutable borrow later used
here
```

```
fn main() {

    let mut x = Box::new(150);

    let mut z = &x;

    for i in 0..10
    {
        println!("{:?}", z);
        x = Box::new(i);
    }
    println!("{:?}", z);
}
```


```
5  |     let mut z = &x;
   |                 -- `x` is borrowed here
...
9  |         println!("{:?}", z);
   |                          - borrow later used here
10 |         x = Box::new(i);
   |         ^ `x` is assigned to here but it was already borrowed
```

```rust
fn main() {

    let mut x = Box::new(150);

    let mut z = &x;

    for i in 0..10
    {
        println!("{:?}", z);  // fine del ciclo di vita di un prestito
        x = Box::new(i);     // accesso al dato da parte del proprietario
        z = & x;             // inizio del ciclo di vita di un nuovo prestito
    }
    println!("{:?}", z);
}
```

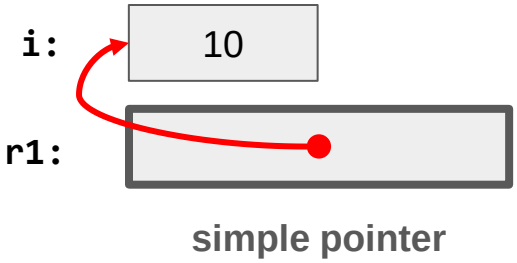


https://github.com/pretzelhammer/rust-blog/blob/master/posts/sizedness-in-rust.md

Riferimenti: disposizione in memoria

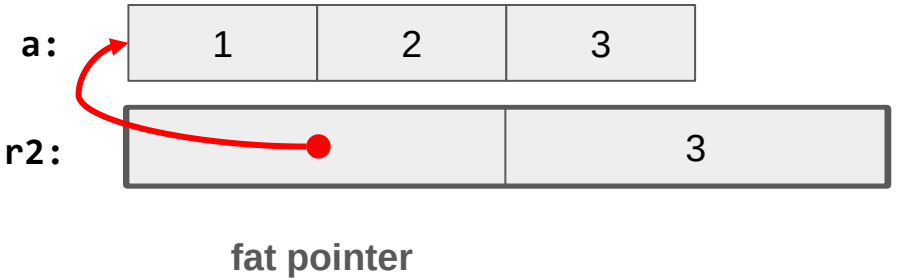
- I riferimenti sono implementati diversamente in base al tipo puntato
  - **Puntatori semplici**, se il compilatore conosce la dimensione del dato puntato
  - **Puntatore + dimensione** (fat pointer), se la dimensione del dato è solo nota in fase di esecuzione
  - **Puntatore doppio**, se il tipo di dato puntato è noto solo per l'insieme di tratti che implementa

```
let i: i32 = 10;
let r1: &i32 = &i;
```



simple pointer

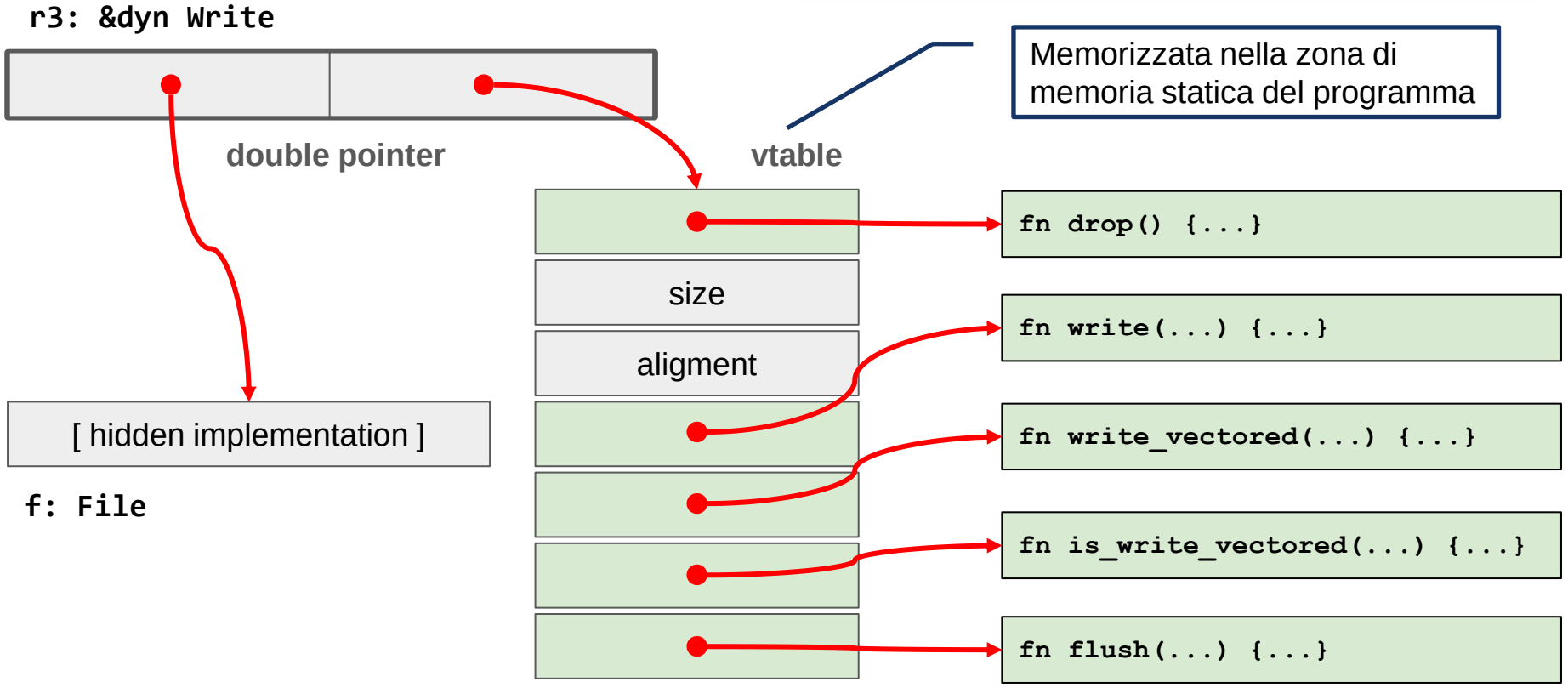
```
let a: [i32;3] = [1,2,3];
let r2: &[i32] = &a;
```



fat pointer

Riferimenti: disposizione in memoria

```
let f: File = File::create("test.txt");
let r3: &dyn Write = &f;
```



Tempo di vita dei riferimenti

- Il borrow checker garantisce che tutti gli accessi ad un riferimento avvengano solo in un **intervallo di tempo** (righe) **compreso** in quelle in cui il dato esiste
  - Serve ad impedire il fenomeno dei *dangling pointer*
- L'insieme delle righe in cui si fa accesso al riferimento costituisce il suo ***lifetime***
  - Tale informazione è mantenuta, dal compilatore, insieme alle informazioni che descrivono il tipo del riferimento e non ha nessuna rappresentazione in fase di esecuzione
- Sebbene in molte situazioni possa essere omesso, il tempo di vita di un riferimento può essere espresso nella firma del tipo, nel seguente modo:
  - **`&'a NomeTipo`**, dove ***a*** è un identificativo qualsiasi e il simbolo **`'`** (tick) serve a qualificarlo come tempo di vita (serve per **assegnare un nome al tempo di vita**)
  - Tale notazione è utile in quelle situazioni in cui occorre imporre vincoli sulla durata relativa dei tempi di vita di due o più riferimenti
- Se un riferimento è valido per l'intera durata di un programma, viene indicato con la notazione **`&'static NomeTipo`**
  - Una stringa espressa in formato letterale ("`some string`") ha come tipo **`&'static str`**, in quanto la sequenza di caratteri viene allocata dal compilatore nella sezione delle costanti e non viene mai rilasciata

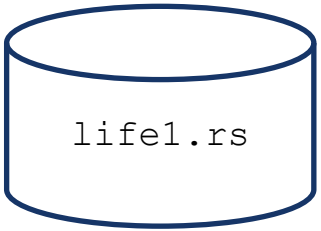
Tempo di vita dei riferimenti

- Per essere lecito, **il tempo di vita** di un riferimento **deve essere contenuto nel** tempo di vita del **valore** a cui punta
  - Il borrow checker si fa carico di garantire tale vincolo
- Questo richiede di esplicitare il tempo di vita quando si memorizza un riferimento all'interno di una struttura dati o si usa un riferimento come valore di ritorno di una funzione
  - Questi due casi saranno trattati dettagliatamente in seguito
- Il vincolo (apparentemente ovvio) di esistenza in vita dei vincoli **dovrebbe** essere alla base anche di tutti gli usi dei puntatori in C e C++
  - Poiché, però, in questi linguaggi non viene tracciato il tempo di vita, il compilatore non è in grado di identificare la presenza di dangling pointers, né identificare eventuali problemi di non rilascio o doppio rilascio, come invece avviene in Rust

Esistenza in vita

```
{

  let r;

  {

    let x = 1;

    r = &x;

  }

  assert_eq!(*r, 1);

}
```

```
error: `x` does not live long enough
   |
9  |     r = &x;
   |         ^^ borrowed value does not live long
enough
10 |
11 |   }
   |   - `x` dropped here while still borrowed
12 |
13 |   assert_eq!(*r, 1);
   |   ----------------- borrow later used here
```



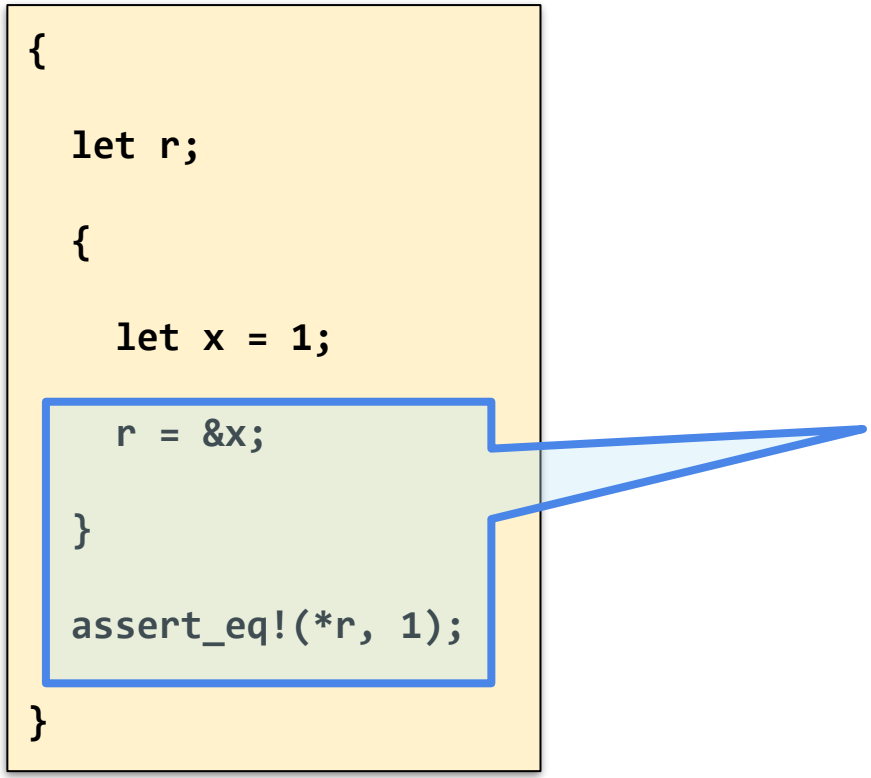
Esistenza in vita

```
{
  let r;
  {
    let x = 1;
    r = &x;
  }
  assert_eq!(*r, 1);
}
```

Intervallo di esistenza di x

qualunque riferimento ad x, non può eccedere questo periodo

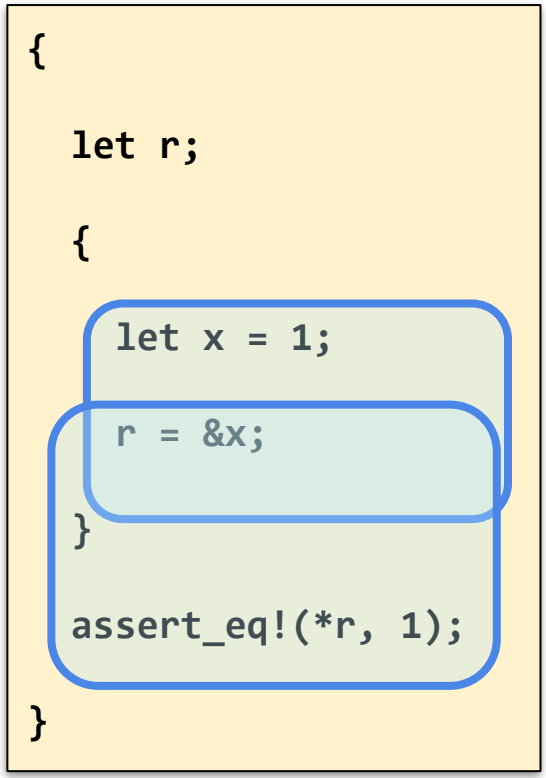
Esistenza in vita



Intervallo di validità di r

il valore memorizzato al suo interno deve avere una vita che si estende per tutto questo periodo

Esistenza in vita



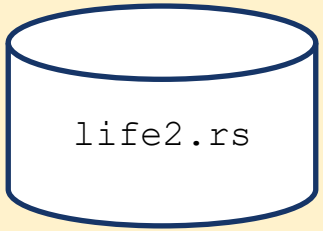
Violazione dei vincoli

Non è possibile soddisfare entrambi i vincoli

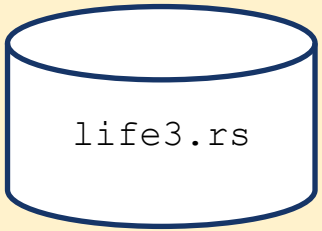
Esistenza in vita

- Le regole, ovviamente, valgono anche quando si crea un riferimento ad una parte di una struttura dati più grande
  - L'esistenza in vita del riferimento deve essere inclusa in quella della struttura a cui punta
  - `let v = vec![1, 2, 3];`
  - `let r = &v[1];` `// v deve durare più a lungo di r`

```
fn cambia (par: &mut i32, val: i32)
{
   *par = val;
}
fn main() {
    let r:&mut i32;
    {
        let mut v = vec![1, 2, 3];
        r = &mut v[1];
        cambia(r, 100);
        v.push(4);
        println!("{:?}", v);
    }
}
```

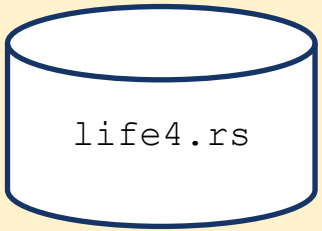


```
fn cambia (par: &mut i32, val: i32)
{
   *par = val;
}
fn main() {
    let r:&mut i32;
    {
        let mut v = vec![1, 2, 3];
        r = &mut v[1];
        cambia(r, 100);
        v.push(4);
        println!("{:?}", v);
    }
    cambia(r, 200);
}
```




```
10 |         let mut v = vec![1, 2, 3];
   |             ----- binding `v` declared here
11 |
12 |         r = &mut v[1];
   |                  ^ borrowed value does not live long enough
...
18 |     }
   |     - `v` dropped here while still borrowed
19 |     cambia(r, 200);
   |            - borrow later used here
```

```
fn cambia (par: &mut i32, val: i32)
{
    *par = val;
}
fn main() {
    let r:&mut i32;
    {
        let mut v = vec![1, 2, 3];
        r = &mut v[1];
        println!("{:?}", v);
        cambia(r, 100);
        v.push(4);
    }
}
```

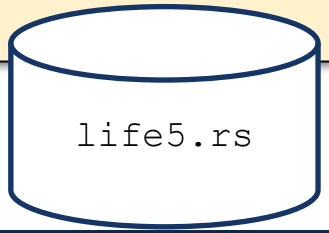



```
10 |         r = &mut v[1];
   |                  - mutable borrow occurs here
11 |         println!("{:?}", v);
   |                          ^ immutable borrow occurs here
12 |         cambia(r, 100);
   |                - mutable borrow later used here
```

Esistenza in vita

- Se, al contrario si memorizzano dei riferimenti in una struttura, tutti questi riferimenti devono avere una durata di vita maggiore della struttura dati in cui sono memorizzati

```
{
  let mut v = Vec::new();
  {
      let a = 1;
      v.push(&a);
  }
  println!("{:?}", v);
}
```




```
error[E0597]: `a` does not live long enough
 --> src/main.rs:5:14
  |
5 |       v.push(&a);
  |              ^^ borrowed value does not live long enough
6 |   }
  |   - `a` dropped here while still borrowed
7 |   println!("{:?}", v);
  |                    - borrow later used here
```

Possesso - riassunto delle regole

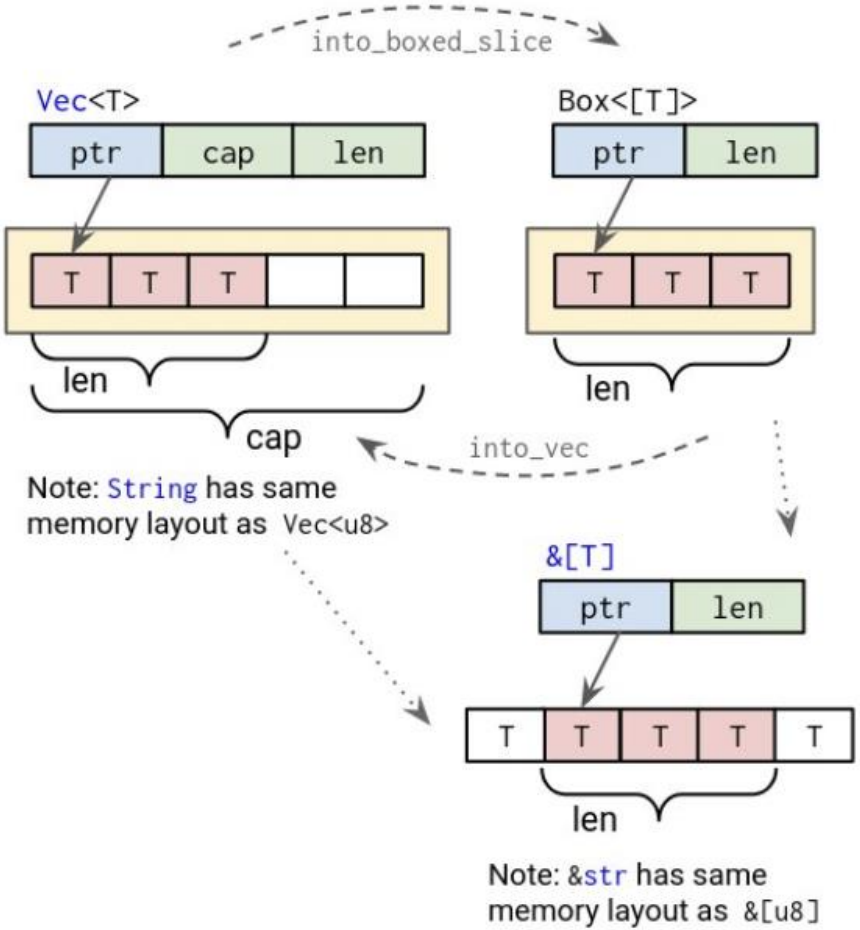
- Ciascun valore ha un **unico** possessore (variabile o campo di una struttura)
  - Il valore viene rilasciato (drop) quando il possessore esce dal proprio scope o quando al possessore viene assegnato un nuovo valore
- Può esistere, al più, un **singolo riferimento mutabile** ad un dato valore
- **Oppure**, possono esistere **molti riferimenti immutabili** al medesimo valore
  - Ma fintanto che ne esiste almeno uno, il valore non può essere mutato
- Tutti i riferimenti devono avere una **durata di vita inferiore** a quella del valore a cui fanno riferimento

Slice

- Una slice (fetta) è una VISTA di una sequenza contigua di elementi, la cui lunghezza NON è nota in fase di compilazione, ma disponibile durante l'esecuzione
  - Internamente viene rappresentata come una **tupla di due elementi**, il primo dei quali punta al primo valore della sequenza, mentre il secondo indica il numero di elementi consecutivi
  - Una slice di elementi T ha tipo `[T]`
- Una slice **non possiede** i dati cui fa riferimento
  - Questi appartengono sempre ad un'altra variabile, da cui la slice viene derivata
  - Tutti i valori contenuti sono garantiti essere inizializzati, gli accessi sono verificati in fase di esecuzione
- E' possibile ricavare una slice a partire da un array, ma anche da altri tipi di contenitori (std::Vec<T>, String, Box<[T]>, …)

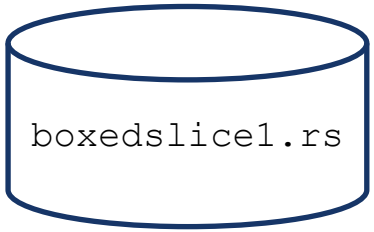
```
let a: [i32; 5] = [1, 2, 3, 4, 5]; // a è un array di 5 interi
let s = &a[1..3];                  // s è una slice formata da 2 elementi [2,3]
let two = s[0];                                  // two contiene il valore 2
```

Slice



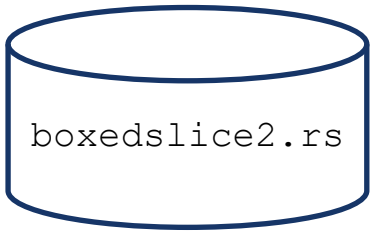
Da Vec a Box (boxed slice)

```
fn main() {
    let vec = vec![1, 2, 3, 4, 5];
    let boxed_slice: Box<[i32]> = vec.into_boxed_slice();

    println!("{:?}", boxed_slice);
}
```



Da Box a Vec

```
fn main() {

    let boxed_slice: Box<[i32]> = Box::new([1, 2, 3, 4, 5]);
    let vec: Vec<i32> = boxed_slice.into_vec();

    println!("{:?}", vec);
}
```

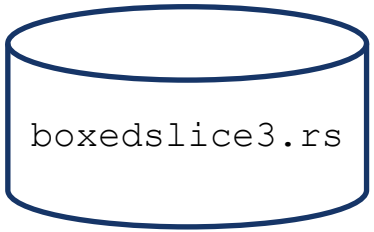


Da Vec a Slice


```
fn main() {
    let vec = vec![1, 2, 3, 4, 5];

    // Ottenere una slice che include tutto il vettore
    let slice1: &[i32] = &vec[..];

    // Ottenere una slice che include solo una parte del vettore
    let slice2: &[i32] = &vec[1..3]; // Dal secondo all'indice 3 (escluso)

    println!("{:?}", slice1); // Stampa: [1, 2, 3, 4, 5]
    println!("{:?}", slice2); // Stampa: [2, 3]
}
```

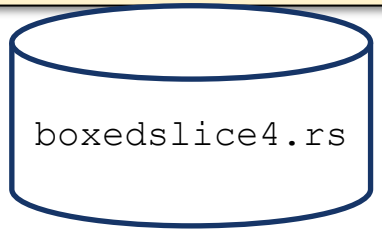
Da Box a Slice

```
fn main() {
    let boxed_slice: Box<[i32]> = Box::new([1, 2, 3, 4, 5]);

    // Ottenere una slice da un Box<[i32]>
    let slice: &[i32] = &*boxed_slice;

    println!("{:?}", slice); // Stampa: [1, 2, 3, 4, 5]
}
```



Da Box a Slice (II)

```
fn main() {
    let boxed_slice: Box<[i32]> = Box::new([1, 2, 3, 4, 5]);

    // Creare una slice che considera solo una parte del vettore contenuto nel Box

    let slice: &[i32] = &boxed_slice[1..3]; // Da 2 a 3 (escluso 3)

    println!("{:?}", slice); // Stampa: [2, 3]
}
```



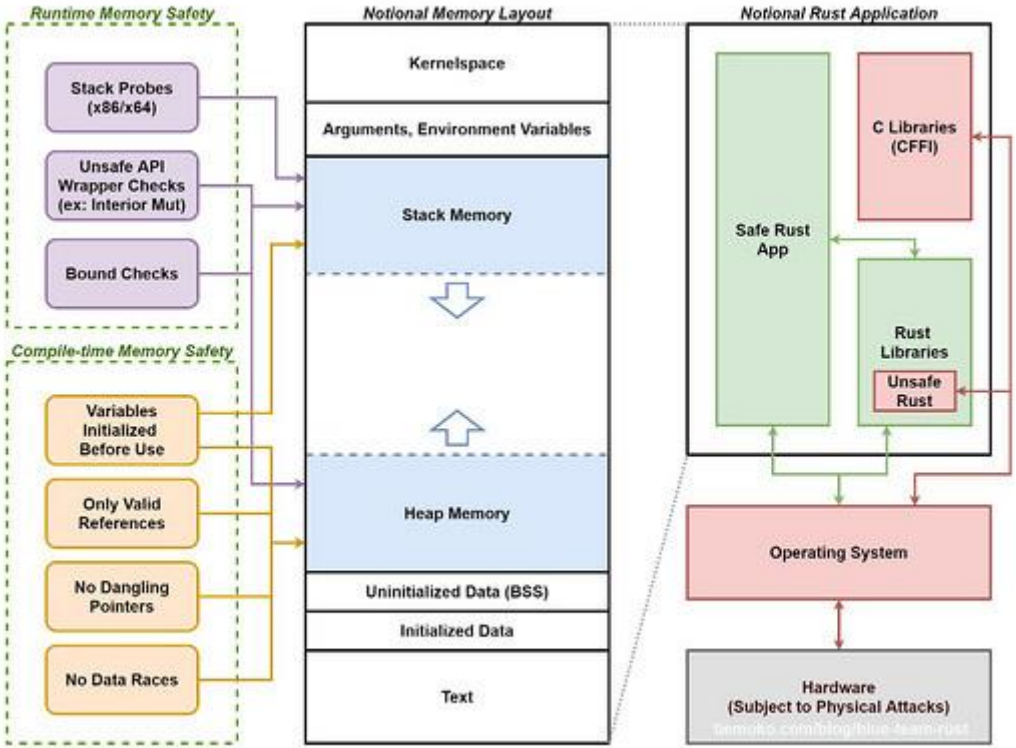
Vantaggi introdotti dal concetto di possesso

- Un programma Rust, pur non avendo un garbage collector, offre molteplici garanzie relative alla correttezza degli accessi in memoria e del rilascio delle risorse
  - Non esiste il concetto di **riferimento nullo** e, di conseguenza, non c'è il rischio di dereferenziarlo
  - Poiché il borrow checker vigila sulle assegnazioni dei riferimenti e sugli intervalli temporali in cui essi sono effettivamente usati impedendo accessi illeciti, non c'è il rischio di originare **errori di segmentazione** o **accesso illegale** ad aree ristrette di memoria, né la possibilità di avere riferimenti ad aree già rilasciate (**dangling pointer**)
  - Poiché in ogni istante il borrow checker è in grado di determinare la dimensione di un blocco di memoria cui un riferimento punta, non possono verificarsi **buffer overflow** né **buffer underflow**
  - Per lo stesso motivo, gli **iteratori** offerti da Rust **non eccedono** mai **i loro limiti**

Vantaggi introdotti dal concetto di possesso

- Tutte le variabili sono **immutabili** per default e occorre una dichiarazione esplicita per renderle mutabili
  - Questo obbliga il programmatore a riflettere attentamente sul come e dove i dati debbano essere modificati e su quale sia il ciclo di vita di ciascun valore
- Il modello di possesso non riguarda solo la gestione della memoria, ma anche la **gestione delle risorse** contenute in un valore
  - Come socket di rete, handle di file e database, descrittori dei dispositivi, …
- L'assenza di un garbage collector impedisce **comportamenti non deterministici**
  - In particolare, la sospensione totale del funzionamento ogni qual volta occorra ricompattare la memoria

Disposizione in memoria



Per saperne di più

- Rust Ownership by Example
  - https://depth-first.com/articles/2020/01/27/rust-ownership-by-example/
  - Carrellata di esempi, progressivamente più articolati, per illustrare il concetto di possesso
- Understanding Ownership in Rust with Examples
  - https://medium.com/coinmonks/understanding-ownership-in-rust-with-examples-73835ba931b1
  - Altro articolo introduttivo che illustra i diversi aspetti collegati al possesso
- Rust Lifetimes: A Complete Guide to Ownership and Borrowing
  - https://earthly.dev/blog/rust-lifetimes-ownership-burrowing/
  - Approfondimento sul concetto di tempo di vita di un valore e gestione dei prestiti
- Effective Rust - Item 14: Understand lifetimes
  - https://www.lurklurk.org/effective-rust/lifetimes.html
  - Altra trattazione dettagliata del concetto di tempo di vita, parte di un libro più ampio con molti altri contenuti utili