

Rust All-in-One

1. Lezione del 08/03 - Introduzione a Rust

Il C è stato e per alcune cose è tutt'ora il linguaggio per eccellenza della programmazione basso livello. Quando fu inventato, grazie ai compilatori, si poté finalmente aggiungere un livello di astrazione al proprio codice rispetto all'assembler, che richiedeva una conoscenza puntuale dell'architettura, finanche dei registri, comunque garantendo le prestazioni ed il controllo sull'hardware a basso livello.

Tuttavia, nel tempo le esigenze dei programmatori sono cambiate, dovuto al fatto che la complessità dei programmi da creare è cresciuta notevolmente nei decenni. Durante il corso vedremo anche esempi di C++, linguaggio che nasce come un *super-set* teorico del C per introdurre il paradigma di programmazione a oggetti, ma non si limita ad essere solo questo dato che è anche uno dei linguaggi più moderni nella sfera dei linguaggi compilati.

Tuttavia, il linguaggio che studieremo attivamente nel corso sarà Rust, un linguaggio che esattamente come fece C++ nei riguardi del C nasce molto dopo il C++ (C nasce nei primi anni 70, C++ nasce a fine anni 80, Rust nasce a inizio anni 2000) e che come tale punta a risolvere quelle criticità di design che sono emerse nel corso degli anni in C++.

Rust è un linguaggio molto moderno anche nella suite di tool offerti da esso. Infatti offre supporto nativo per il testing e la gestione di librerie di terze parti, due ambiti dove in C++ la tua miglior speranza è scaricare un `.h` ed un `.c` da internet nella speranza che siano corretti e che siano compatibili con il tuo sistema.

Seppur definito linguaggio ad oggetti, Rust non cade precisamente in questa definizione. Una più corretta nomenclatura per Rust sarebbe infatti un linguaggio a tipi, dato che implementa anche di base un ricchissimo sistema di tipizzazione. Tuttavia, per lo stile di programmazione che generalmente si usa, Rust è impropriamente definibile un linguaggio ad oggetti.

La principale evoluzione di Rust rispetto al C++ sta nella sua catena di compilazione. Se infatti essa è appoggiata ad LLVM, che è la stessa catena di compilazione di C++ e quindi ci garantisce fortissimi livelli di ottimizzazione, Rust aggiunge a tale catena un pezzo piuttosto singolare che lo rende un linguaggio unico nel suo genere, vale a dire il Borrow Checker.

Il Borrow Checker è il meccansimo nativo che Rust ci offre come soluzione ai problemi di cui abbiamo parlato sin'ora, ovvero di validità e possesso della memoria. Esso si assicura che in ogni istante di esecuzione del mio processo le mie variabili e la memoria da loro utilizzata sia valida e abbia uno ed un solo proprietario. Questo meccanismo è imposto in fase di compilazione, quindi se queste due condizioni non sono assolutamente verificabili, la compilazione fallirà. Ad esempio:

```
void foo(void) {
    Dummy *ptr = (Dummy *)malloc(sizeof(Dummy));
    ptr->a = 2048;
    free(ptr);
    ptr->a = 1024; // ?
    free(ptr); // ???
}
```

Prendiamo questo piccolo esempio didattico di C++, in cui sono presenti tutti i classici meccansimi di uso della memoria dinamica: allocazione, accesso, liberazione. Abbiamo deliberatamente inserito due errori di programmazione. Il primo è l'accesso a una zona di memoria ormai liberata: qui il programma potrebbe non arrestarsi, in altre parole il comportamento non è definito. Tuttavia abbiamo la certezza di incappare in un errore fatale, o SEGFAULT, chiamando la funzione `free` due volte di seguito sullo stesso puntatore.

Questo codice, di cui è facile verificare la correttezza anche per un programmatore non esperto, passerà comunque la compilazione in C++, forse generando al più un avviso. In Rust un codice equivalente non sarebbe stato compilabile. Rust offre anche la possibilità di tracciare altri tipi di errori in fase di compilazione, come l'underflow o l'overflow.

Per via di questo suo stringente controllo di validità, Rust è tra i linguaggi più stabili esistenti ad oggi, se non il più stabile in assoluto. Tuttavia questo stringente controllo lo rende anche uno dei linguaggi con la curva più ripida in assoluto. Filosoficamente parlando, Rust è diametralmente opposto a C e C++: in questi due linguaggi infatti il programmatore ha la totale libertà di fare qualunque cosa voglia, ma può eventualmente cedere parte di questa libertà per ottenere garanzie di correttezza. In Rust si parte invece dalla situazione con meno libertà in assoluto e volta per volta, come vedremo, se ne richiede quel tanto che basta per poter ottenere una funzionalità, fermo restando il controllo del compilatore.

Come già detto, installando Rust andremo a installare in realtà non solo `rustc`, che è il compilatore di Rust, ma anche `cargo`, che offre varie funzionalità tra cui la gestione dei pacchetti, lancio di suite di test, esecuzione dei programmi per monitorare le prestazioni.

Rust obbliga, oltre a una correttezza formale del codice, anche una certa forma nella composizione dei suoi progetti. Infatti per creare un progetto in Rust abbiamo due modi: il primo è il comando da CLI `cargo new <project_name>`, che andrà a creare una cartella con nome `<project_name>` e inizierà la sua struttura ad albero in un certo modo; La seconda è, a cartella già creata e trovandosi all'interno di essa, il comando `cargo init`, e il progetto prenderà il nome della cartella dentro cui ci si trova.

Che si utilizzi `init` o `new`, varie cose verranno create all'interno della cartella di progetto. Oltre alle sottocartelle necessarie allo sviluppo (ad esempio in Rust tutto il sorgente va **necessariamente** all'interno di `<project_name>/src`) ed una repository git, troveremo un file `Cargo.toml` che andrà a descrivere il progetto.

```
[package]
name = "firstproj"
version = "0.1.0"
edition = "2021"
```

```
[dependencies]
```

Possiamo notare alcuni campi interessanti: oltre a `name` e `version`, abbastanza auto-esplicativi, troviamo infatti `edition` che ci indica quale versione del linguaggio usare e `[dependencies]`, sotto il quale va riportato l'elenco di pacchetti necessari al nostro programma.

```
fn main() {
    println!("Hello World!");
}
```

In Rust così come in C e tanti altri linguaggi, il nostro programma inizia la sua esecuzione dalla funzione `main`. In Rust per dichiarare una funzione viene impiegata la parola chiave `fn`. A differenza del C, se non si specifica il tipo di ritorno, esso viene assunto essere `void`, in Rust detto `Unit`, indicato col valore `()`. Inoltre offre il ritorno di un valore implicito: infatti se non si inserisce il `;` alla fine di una funzione, il prodotto di quell'istruzione viene automaticamente restituito.

```
fn return_unit() {
    println!("Hello World!");
    // implicit return ()
}
```

```
fn return_i32() -> i32 {
    println!("Hello World!");
    return 42;
}
```

```
fn implicit_return_i32() -> i32 {
    println!("Hello World!");
}
```

```
42  
}
```

Rust a differenza del C permette di non dichiarare il tipo delle sue variabili. Questo compito verrà delegato al compilatore, ma è possibile che ci sia il bisogno di dichiararlo esplicitamente perché non riesca a dedurlo da solo (generalmente quando è così abbiamo fatto qualche boiata noi comunque). Per dichiarare una variabile si utilizza la parola chiave `let` e di base tutte le variabili in Rust sono immutabili, ovvero, costanti.

```
fn foo(x : u32) {...}  
...  
let x = 5;  
let y : i32 = 5;  
foo(x);  
x = 10; // Non concesso  
...
```

Analizziamo questo piccolo pezzo di codice. Notiamo subito che, nella definizione delle funzioni, è necessario specificare il tipo della variabile che si va ad accettare, in questo caso `u32` corrisponde ad un intero senza segno a 32 bit. Dopodiché, istanziamo due variabili. Nel primo caso non definiamo il tipo mentre nel secondo decidiamo di definirla come `i32`, ovvero intero su 32 bit con segno. In questo contesto il compilatore, vedendo che passiamo `x` alla funzione `foo` che accetta un `u32` come parametro, associerebbe ad `x` il tipo `u32`. Infine come detto tutte le variabili in Rust sono di base immutabili, quindi l'istruzione `x = 10` farebbe fallire la compilazione.

Per permettere che il valore di una variabile venga modificato è necessario usare la parola chiave `mut` in fase di dichiarazione della variabile.

Chiudiamo la lezione inoltre illustrando l'uso della macro (e non funzione, ne parleremo più avanti) `println!` che stampa un messaggio sullo standard output, interpolando i valori passategli come farebbe un'analoga `printf` in C o C++ usando il segna-posto `{}`.

```
let mut x = 0;  
println!("x is {}", x); // "x is 0"  
x = 10;  
println!("x is {}", x); // "x is 10"
```

2. Lezione 09/03 – Introduzione a Rust II

Come già detto Rust offre un ricchissimo sistema di tipizzazione, che è necessario esplorare prima di addentrarsi in dettagli funzionali ben più complessi. Tuttavia, essendo Rust come già detto non un vero linguaggio ad oggetti, esso non ha una struttura gerarchica dei tipi di dato, ma raggiunge le sue funzionalità tramite i tratti, su cui il linguaggio si basa e usa in maniera intensiva, di cui parleremo più avanti.

Parlando del valore di `null` in Rust, abbiamo detto che è noto come `Unit` ed è indicato dal simbolo `()`. In realtà `()` sta ad indicare un tipo ben specifico di dato, la tupla, che è a nostra disposizione in maniera nativa. Segue le regole descritte finora delle variabili e permette eterogeneità dei dati. È possibile accedere al dato in una data posizione come `tupla.n` con `n` numero del dato cui si vuole accedere

```
let t = (1, 2, 3);  
let x = t.1; // x = 2  
t.0 = 4; // No! La tupla è immutabile  
let mut t2 = (1, 2, 3);  
t2.0 = 4; // Ok! La tupla è mutabile  
let t3 : (i32, mut i32, i32) = (1, 2, 3);  
t3.1 = 4; // Ok! La tupla è immutabile ma il suo secondo elemento è mutabile  
let t4 : (i32, f32) = (1, 2.0); // Totalmente ok
```

Tuttavia, l'interesse principale ai tipi di Rust è da dedicarsi ai riferimenti perché sono strettamente legati alla funzionalità più unica del linguaggio, il Borrow Checker.

In Rust deve essere in ogni momento definito il proprietario di una variabile, ma questo proprietario può prestare una variabile ad un altro, in due modi diversi: prestito mutabile e prestito immutabile. Va da sé che un prestito mutabile permetterà la modifica della variabile ed un prestito immutabile no.

La cosa cui dobbiamo stare attenti è che, esattamente come non è assolutamente problematico che molte persone leggano da una singola variabile costante potrà cederla infinite volte, mentre un prestito immutabile deve essere fatto uno per volta e con nessuno che possieda un prestito immutabile nel mentre. Si indica con `&var` il prestito immutabile e con `&mut var` il prestito mutabile.

```
let x = 10;
let y = &x;
println!("{}", y); // 10
println!("{}", x); // 10
```

Nel caso descritto qui sopra, `x` rimane il proprietario mentre `y` la ha solamente in prestito. Questo non crea problemi con l'esecuzione delle due `print` in quando tutte le operazioni che stiamo eseguendo sono solo ed unicamente in lettura. La situazione cambia radicalmente quando:

```
let mut x = 10;
let y = &mut x;
println!("{}", y);
println!("{}", x);
```

Questo codice non passerebbe la compilazione in Rust. Anzitutto notiamo l'aggiunta della parola chiave `mut` dinanzi ad `x`: questo è dovuto al fatto che ovviamente non è possibile cedere un prestito mutabile di una variabile che è immutabile. Tuttavia la compilazione fallirebbe per via della `println!` su `x`. Questo perché internamente per richiamare la funzione di stampa è necessario prendere in prestito immutabile la variabile; tuttavia come descritto sopra, i prestiti mutabili sono incompatibili con i prestiti immutabili, il borrow checker si accorge di questa situazione e fa fallire la compilazione.

Sebbene quindi fin qui i riferimenti in Rust possano apparire molto simili ai puntatori del C++, alcune differenze sono nette. Infatti Rust che si pone come obiettivo quello di eliminare i comportamenti indefiniti, rende impossibile la creazione di un caso in cui si abbia un riferimento nullo. L'utilizzo delle referenze in modo esclusivo, secondo una politica singolo scrittore o multipli lettori, garantisce questa particolarità.

Quanto detto finora vale per le variabili locali, tuttavia è comune una casistica in cui si voglia avere un oggetto allocato sulla memoria di heap, magari per estenderne il tempo di vita. In quel caso il linguaggio offre il tipo `Box<T>`, che è anche quindi il primo esempio di programmazione generica su tipo `T` che andiamo a vedere. Il tipo dato `Box` è molto più simile a quello che definiremmo un puntatore in C++, e infatti come anche essi permette la dereferenziazione per l'accesso al dato mediante l'operatore `*`.

```
let v = vec![1, 2, 3]
{
    let box = Box::new(v);
    println!("{}", *box); // "1, 2, 3"
}
// `box` distrutta, `v` rilasciato
```

Nel caso delle `Box`, il dato da loro contenuto terminerà la vita quando la referenza della `Box` verrà distrutta. Tuttavia in alcuni casi estremi, può essere necessario l'uso di puntatori nativi stile C. Per questi casi Rust definisce una parola chiave da usare con cautela, denominata `unsafe`, che non viene sottoposta al controllo del Borrow Checker. In questo tipo di blocchi è consentito l'uso di puntatori come `*const T` e simili, ma bisogna evitare di utilizzarli quando non strettamente necessario (quasi mai).

Passiamo ora agli array, che in Rust sono resi idiomaticamente ricchi. I modi per dichiarare un array possono inizialmente confondere, questo perché ci sono più modi di dichiarare ed inizializzare un array in una sola riga a seconda delle esigenze. È bene notare che ciò scaturisce dal fatto che in Rust, a differenza di quanto accade in C++, non è possibile instanziare un array senza definirne il contenuto.

```
let a : [i32; 5] = [3, 3, 3, 3, 3];
let b = [3; 5];
```

Questi sono due modi del tutto equivalenti di produrre lo stesso array. Nel primo caso annotiamo il tipo e la sua lunghezza, per poi successivamente definirne il contenuto. Nel caso volessimo tutti elementi uguali, come qui, la seconda scrittura permette di creare un array secondo la notazione `[valore_iniziale; lunghezza_array]`.

Se invece avessimo bisogno di un array di dimensione variabile, quindi la cui dimensione non è necessariamente nota in fase di compilazione e con la possibilità di essere eventualmente allargato, si può ricorrere al tipo `Vec<T>`.

Anche in questo caso, gli array vivono nello stack mentre i `Vec` vivono nello heap. Per instanziare un `Vec`, è sconsigliato l'uso del costruttore `Vec::new()` che porterebbe a un vettore inizialmente nullo che dovrà essere riallocato più volte inizialmente, ma è consigliabile utilizzare la comoda macro `!vec[]` oppure la funzione `with_capacity` per dichiarare da subito una dimensione minima da poter sostenere.

```
let v1 = vec![1, 2, 3];
let v2 : Vec<i32> = Vec::with_capacity(3);
```

Anche qui come nei casi precedenti il tipo viene automaticamente dedotto quando possibile. Nella seconda riga il compilatore non riuscendo a farlo potrebbe avere bisogno dell'annotazione.

Notiamo una cosa:

```
let v : Vec<i32> = Vec::with_capacity(3);
let x = v[0];
println!("{}", x);
```

Notare che il codice qui sopra è un codice che passerebbe tranquillamente la fase di compilazione di Rust, nonostante non si sappia che valore `x` abbia e abbiamo finora parlato dei grandi sforzi per non ottenere comportamenti indefiniti. Tecnicamente parlando, il comportamento in questo caso è ben definito: facendo accesso fuori posizione al vettore, il programma chiamerà la macro `panic!()` che arresterà bruscamente il programma.

Un ultimo modo per fare riferimento agli array sono le `Slice`. Esse sono analoghe a come presenti in altri linguaggi che le hanno popolarizzate, come Python, e permettono appunto di ottenere un riferimento a una porzione di un array la cui dimensione potrebbe non essere nota in fase di compilazione.

Le slice vengono inoltre gestite come dei `fat pointers`, che indicano all'interno della variabile cui sono memorizzati l'area di memoria dove effettivamente risiedono e la loro dimensione.

```
let v = [1, 2, 3, 4, 5];
let s = &v[1..3]; // Operatore di range, vedere avanti

println!("{}", v); // 1, 2, 3, 4, 5
println!("{}", s); // 2, 3
```

Parliamo ora delle stringhe, una delle parti dove il design di Rust è più vivido che mai. Di base abbiamo due tipi ben specifici: `String` e `str`.

`str` rappresenta dei tipi di caratteri con codifica Unicode, memorizzati staticamente. Non è un tipo direttamente manipolabile quindi per utilizzarli come stringa bisogna far riferimento alle loro slice, `&str`.

`String` invece è più un tipo da intendere come un buffer. A differenza di `&str` la sua dimensione non è infatti fissa e può espandersi quando necessario. Fare attenzione perché, essendo appunto un buffer, ha a disposizione due chiamate a funzioni per ottenere la sua lunghezza: una restituisce la dimensione del buffer, l'altra il numero di caratteri in esso presenti. Non solo, ma internamente sia `&str` che `String` sono implementate come un buffer `&[u8]`, ovvero una serie di byte, quindi anche quando il buffer è interamente pieno, è garantito che le due dimensioni non coincidano.

La presenza di questi due tipi può inizialmente sembrare strana, soprattutto dovendo scegliere quando usarli. La realtà dei fatti tuttavia, è che spesso è necessario usarli entrambi: per le chiamate a funzioni, o comunque per operazioni che non richiedano la modifica della stringa, è preferibile l'uso di `&str`, mentre per quel che riguarda la manipolazione delle stringhe, essendo le slice di dimensione fissa, bisogna utilizzare `String`.

Passiamo ora a parlare di istruzioni per l'iterazione. Il costrutto `while` permette di iterare il blocco fintanto che la condizione è verificata:

```
let mut n = 0;
while n < 10 {
    n += 1;
}
println!("{}", n) // 10
```

mentre il costrutto `for` è ispirato a linguaggi moderni che hanno abrogato l'accesso tramite indice, usando implicitamente gli iteratori, di cui parleremo approfonditamente più avanti.

```
let vec = vec![1, 2, 3];
for v in vec {
    println!("{}", v);
}
// 1... 2... 3...
```

Aggiunge tra le altre cose un operatore per creare cicli infiniti, ovvero da rompere esplicitamente usando una istruzione `break`.

```
let mut n = 0;
loop {
    n += 1;
    if n == 10 {
        break;
    }
}
println!("{}", n) // 10
```

Questi tipi di cicli possono anche essere annidati ed etichettati, in modo da poter rompere un ciclo esterno da un ciclo interno:

```
let mut n = 0;
'outer : loop {
    'inner : loop {
        break 'outer;
    }
    n = 100;
}
println!("{}", n) // 0
```

Volendo tuttavia utilizzare qualcosa di più simile ai metodi tradizionali del C, anche solo puramente per comodità, il linguaggio rende più conciso anche quello grazie al tipo `Range`. Esso infatti ci permette di definire delle sequenze crescenti di valori tramite gli operatori `..` e `..=`. Nel primo caso, l'ultimo numero è escluso dall'insieme, mentre nel secondo è incluso.

```
let inclusive_range = 0..10 // Ultimo elemento: 9
let exclusive_range = 0..=10 // Ultimo elemento: 10
let even_nums = 0..=10.step_by(2) // 0, 2, 4, 6, 8
```

Non è possibile creare dei range decrescenti, ma è possibile iterare su di essi al contrario.

```
let inclusive_range = 0..=10;
let reversed = inclusive_range.rev(); // 10, 9, 8, ...
```

Un'istruzione singolare in Rust, per via della sua potenza, è il costrutto `match`. Esso è analogo a quello che era la parola chiave `switch` in C/C++, ma è molto più forte, tanto che intere funzioni molto complesse sono riscrivibili in termini di solo `match`.

```
let x = random_number();
match x {
    0 => println!("zero"),
    10..=20 => println!("ten to twenty"),
```

```
value if value < 5 => println!("less than five"),
30 | 60 => println!("thirty or sixty"),
_ => println!("other"),
}
```

Infine, il linguaggio ha anche una sua convenzione sull'estetica del codice. Infatti se fin'ora il codice ha seguito uno stile di scrittura `snake_case` è perché questa è quella ufficialmente adottata dal compilatore che, nel caso in cui venga infranta, rilascia dei warning. Infine, tramite il comando `cargo fmt`, è possibile eseguire la formattazione, indentazione, etc. di tutto il codice sorgente del progetto. # Lezione 11/03 - Possesso

Torniamo ora sul tema del possesso in Rust. Come già detto, una variabile usata nel linguaggio viene creata in modo tale da avere in ogni momento dell'esecuzione un valore valido ed un proprietario. Controllare, inteso come possedere, una variabile, significa avere il potere leggerla e modificarla.

Il possesso di una variabile, inteso come la variabile che passa all'avere nessun proprietario, avviene nel momento in cui la sua memoria viene rilasciata, idiomaticamente detto `drop`. Quando si giunge al termine di un blocco di codice, detto `scope`, viene automaticamente eseguito il `drop` di tale variabile implicitamente. Il `drop`, come tutto in Rust, è definito tramite un tratto, il tratto `Drop`, che non permette di modificare il comportamento di liberazione della memoria ma permette di eseguire delle operazioni preliminari alla liberazione.

```
let x = 5;
{
    let b = 0;
    ...
    // chiamata implicita a drop(b)
}
drop(x);
// Ora x non è più una variabile valida
```

Notiamo una particolarità del linguaggio. In C, non esistendo il concetto di movimento di una variabile, ogni assegnazione viene eseguita per copia. Vale a dire, un'istruzione come `a = b`, copierà il contenuto di `b` in `a` lasciando inalterato `b`.

In C++ è pratica comune aggiungere un livello di astrazione, andando a definire un operatore di movimento, ovvero un operatore tale per cui, eseguendo `a = b`, il contenuto di `b` viene copiato in `a` e `b` viene svuotato. Questo viene più spesso definito per gli oggetti in C++ visto che per i tipi di base ha meno senso.

In Rust il comportamento è diametralmente opposto in quanto, a differenza del C e del C++, di base tutto avviene tramite movimento, e solo intenzionalmente possiamo andare a copiare il contenuto di un tipo complesso (vedremo avanti due tratti per raggiungere questo obiettivo) oppure solo esplicitamente passare la referenza all'aria di memoria, ovvero un riferimento.

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

// s1 non è più accessibile, vita in termine dato terminata
```

Tuttavia, dal punto di vista del linguaggio tra copia e movimento non esiste differenza per via della presenza del *borrow checker*, che semplicemente impedisce comportamenti che con il movimento non sarebbero possibili.

```
let point = (1.0, 1.0)
let reference = &point;
println!("{}", reference.0, reference.1);
```

In questo caso `reference` può fare accesso alla variabile in sola lettura solo fintanto che la variabile `point` esiste. `reference` non possiede il dato quindi non può modificarlo e tantomeno non può distruggerlo. Per questo motivo i riferimenti sono copiabili, poiché è essenzialmente la copia di un

puntatore. In più, a differenza di C/C++, il compilatore fa in modo che il riferimento non possa essere compilato in una porzione di codice che mette in pericolo la vita del dato. Per questo esiste la differenza logica tra puntatore e riferimento, poichè il puntatore è un contenitore ad un indirizzo di memoria generico, non solo non tipizzato ma potenzialmente non valido, mentre un riferimento non solo è tipizzato ma grazie alla compilazione ci assicura sia sempre valido.

Per garantire questi meccanismi il linguaggio abilita il i riferimenti mutabili, ma solo una volta. Questo vuol dire ad esempio:

```
let v = "String"
let r = &v; // Ok
let r2 = &v; // Errore, solo UN riferimento mutabile è concesso
```

Questo perchè chiaramente l'operazione di mutabilità tira un po per le braccia il concetto di possesso, e quindi il linguaggio impone alcuni limiti. Per via di ciò, nel prestito è possibile eseguire la copia del riferimento mentre nel prestito mutabile è concesso solo il movimento in quanto solo un riferimento è concesso. Il prestito mutabile impone anche che la variabile passata in prestito non è accessibile in alcun modo perchè quella variabile, fintanto non riprende controllo del dato, è interamente rimossa dallo scope.

```
let mut s = String::from("Hello");

{
    let m = &mut s;
    println!("{}", s); // Errore, s non esiste come variabile
}

println!("{}", s); // Ok
```

Problema comune del linguaggi C è anche che i puntatori non hanno idea di che tipo di dato stiano puntando. Per fare un esempio, un `int*` potrebbe essere:

- Un riferimento a un singolo intero in memoria
- Il primo elemento di un array di interi
- I primi byte di un dato più lungo, tipo `long*`

In Rust tale comportamento “agnostico” non è concesso, infatti tutti i puntatori, in Rust dette referenze, sono talvolta chiamati *fat pointers*, poichè oltre ad avere appresso l'indirizzo dove il dato è memorizzato, portano con se dei dati accessori per sapere le dimensioni dell'area di memoria e del tipo di dato.

È interessante prendere un attimo per discutere ad esempio dei doppi puntatori, in C banalmente utilizzati per ottenere ad esempio delle matrici.

Il tipo `dyn` in Rust permette di definire che non si conosce esplicitamente il tipo di dato puntato ma si sa che implementa alcuni tratti e che quindi espone alcune funzioni. La referenza a un tipo `&dyn` quindi, che potrebbe essere di qualunque tipo, esplica quindi solo le funzionalità che esso può offrire.

Ma se non conosce il tipo, e quindi non ne conosce nemmeno la dimensione, quello che si viene a creare in memoria è qualcosa di simile a questo.

(Image: [../imgs/2022-03-11-15-26-59.png](#))

Ovvero il puntatore doppio, o comunque annidato, è diviso in due parti: la prima che punta realmente al tipo di dato, la seconda che punta a una tabella virtuale dove sono presenti le chiamate funzioni cui il tipo può accedere. Questo accade perché, a differenza di quanto avviene in C o C++, il compilatore non per forza va a sostituire le chiamate a funzioni con delle istruzioni di salto all'atto della compilazione, andando invece a recuperare il puntatore a dove quella funzione è memorizzata in memoria quando il programma è in esecuzione.

3. Lezione del 21/03

Il concetto di controllo di una variabile essenzialmente esprime la scelta di cosa possa essere mutabile e cosa no. Facendo un uso frequente di questo concetto, posso anche evitare situazioni ambigue in cui per errore ho modificato una variabile che invece doveva rimanere invariata

Tuttavia un sistema così costruito, e che adoperi anche un borrow checker, è molto complicato da saper usare. Nello spettro diametralmente opposto trovo invece il C, dove il concetto di possesso non è definito dal linguaggio ed inoltre la mutabilità è alla base del linguaggio, con la non mutabilità che è richiesto dal professore.

Infine il linguaggio espone anche 3 paradigmi di accesso alle risorse: accesso puntuale al dato, accesso in sola lettura al dato, accesso in scrittura vincolato al possedere il dato.

L'accesso alla riga di comando è orientato alla programmazione funzionale, a differenza del C, dove i parametri sono una matrice di caratteri, o un vettore di stringa che dir si voglia.

```
use std::env::args;
fn main() {
    let args: Vec<String> = args().skip(1).collect();
    if args.len() > 0 {
        // We have args and we can use them
    }
}
```

Notiamo l'uso della funzione `skip()` per saltare il primo parametro che rimane comunque il nome del programma chiamato e l'uso di una `collect()` per convertire i parametri da riga di comando in un vettore di stringhe.

Per l'IO, la libreria standard contiene tutto quel che è necessario per interfacciarsi ad esso. Le informazioni ritornate da tali funzioni spesso non sono il dato vero e proprio ma, come spesso accade in Rust per indicare comodamente la corretta esecuzione di una funzionalità, di una `Result<>`.

`Result` mette a disposizione due funzioni per capire istantaneamente se l'esecuzione è andata a buon fine: `is_ok()` e `is_err()`. Dopo aver verificato, possiamo accedere al dato con la funzione `unwrap()` che dobbiamo star attenti a richiamare solo dopo la verifica, perché se si tentasse di eseguirla su una `Result<>` che ha in realtà ritornato un errore, il programma avvierebbe un `panic!()`.

```
let mut string = String::new();
if io::stdin().read_line(&mut string).is_ok() {
    println!("Got {}", s.trim());
}
```

Seguono due ore di code review abbastanza dimenticabile

La programmazione ad oggetti richiede di concepire, prima dell'algoritmo, come i nostri dati sono stati strutturati. In C il costrutto `struct` permette di creare appunto strutture dal contenuto eterogeneo, ma non è un linguaggio propriamente orientato agli oggetti come lo è ad esempio il C++. Notiamo che dal punto di vista del compilatore le due cose sono equivalenti se non per l'accesso ai dati: di base in una `struct` tutti i campi sono pubblici, mentre nei linguaggi ad oggetti possiamo dichiararli come privati o protetti.

Due tipi di dato presenti in C/C++ e spesso trascurati sono gli enumerator e le union. I primi permettono di associare un etichetta ad un valore puramente numerico, mentre i secondi permettono di interpretare un dato come due tipi diversi a seconda delle esigenze.

Un esempio di union in C++:

```
union sign {
    int svar;
    unsigned int uvar;
} number;
```

Questo è un esempio è un caso molto comodo. Infatti, in questo caso, sia `int` che `unsigned int` occupano la stessa memoria. Quindi è vero che io potrei utilizzare la dichiarata variabile `number` sia come intero che intero senza segno, qualora lo reputassi necessario, ma questo avrebbe un costo nullo.

Se infatti avessi provato a definire una union tra due tipi di dato di dimensione diversa, come ad esempio un `long` che occupa più byte di un `int`, di base ogni variabile di tipo `sign` che andremmo a dichiarare, dovendo poter accogliere entrambi i tipi di dato, si allineerà alla dimensione del dato più

grande.# Lezione del 22/03

Rust non è propriamente un linguaggio di programmazione ad oggetti, ma sarebbe più corretto definirlo un linguaggio per tipi. Nonostante ciò, possiamo definire strutture dati che per tanti aspetti sono funzionalmente indistinguibili da quello che normalmente ci aspetteremmo in un linguaggio ad oggetti.

In Rust la dichiarazione di una struttura viene divisa in due parti. La prima, quella con la dichiarazione dei dati, la seconda è la sua implementazione dove troviamo i metodi ad essa associata. Per queste due azioni, si utilizzano rispettivamente le parole chiavi `impl` e `struct`. È anche presente una parola chiave `self` che prende il ruolo di analogo alla più comune `this`. Quindi un codice come questo in C++:

```
class Something {
    int i; // Dati
    String s;
    void proces() {...} // Metodi
    int increment() {...}
}
```

In Rust avrebbe queste sembianze:

```
struct Something {
    i : i32,      // Dati
    s : String
}

...

impl Something {
    fn process(&self) {...} // Metodi
    fn increent(&mut self) {...}
}
```

Notiamo come in Rust ogni “metodo” accetti come primo parametro una qualche referenza a `self`, di cui parleremo meglio nel dettaglio, e che a differenza di altri linguaggi, in metodo non dichiarato esplicitamente come pubblico (`pub`) è di base privato.

La chiamata a funzione è concessa come `istanza.funzione` oppure `struct.funzione(istanza)`

```
impl str {
    pub const fn len(&self) -> usize {...}
}

...
let str1 : &str = "abc";
println!("{}", str1.len());
println!("{}", str.len(str1));
```

`self` può essere gestito in vari modi, che corrispondono a diversi modi di intendere chi possieda `self` infatti. Infatti indicando `self` come parametro, non esistendo di base il concetto di copia in Rust, quel che staremmo attuando è un movimento, vale a dire che nel movimento in cui richiamo la funzione su un dato, il vecchio dato risulterà mosso e quindi non più utilizzabile

Ovviamente se questo fosse l'unico modo di utilizzare le funzioni, sarebbe piuttosto sconveniente, e infatti è possibile passare una referenza in sola lettura alle funzioni, che quindi non consentono la modifica dei dati all'interno della struttura, ed una che invece cede momentaneamente il possesso della variabile per eseguirne la modifica, rispettivamente `&self` ed `&mut self`.

In Rust a differenza di altri linguaggi non esiste propriamente il concetto di costruttore o distruttore. Questo non significa che le nostre strutture ci compaiano tra le mani per magia, ma che tocchi quindi a noi implementare i metodi per ottenere le istanze delle strutture.

Tuttavia, per rimanere più vicini al concetto di programmazione ad oggetti, per convenzione la funzione che inizializza i campi di una struttura è comunque chiamata `new`, mentre il tratto `Drop` permette di eseguire alcune operazioni preliminari prima che il SO liberi le risorse da esse occupate.

Qui vediamo un primo esempio di come implementare un tratto per una funzione, che funzionalmente potremmo inquadrare in quelle che sono le interfacce in Java.

```
pub struct Shape {  
    ...  
}  
  
impl Drop for Shape {  
    fn drop(&mut self) {  
        println!("Dropping shape");  
    }  
}
```

Parleremo dopo della differenza tra `Copy` e `Clone`, ma questa è una occasione per notare che in Rust alcuni tratti possono essere mutualmente esclusivi, ovvero che una struttura che implementi un tratto `A` non possa implementare un tratto `B`. In questo caso ad esempio, una struttura che implementa il tratto `Drop` non può implementare il tratto `Copy`.

È consentito l'utilizzo di metodi statici, ovvero metodi che non appartengono ad una istanza della struttura ma alla struttura in sé.

Questo è concesso tramite la parola chiave `static`, e non richiedono ovviamente il parametro `self` come primo argomento. Questo è anche il modo in cui si possono implementare alcuni pattern molto noti, come il `Singleton`.

Passiamo ora a parlare di una funzionalità che in Rust è stata molto arricchita rispetto al C, gli enumeratori. Qui non solo possiamo definire un'etichetta senza per forza definirne il valore o definirle fuori sequenza.

```
enum HTTPResponse {  
    OK = 200,  
    NOTFOUND = 404,  
    INTERNALERROR = 500  
}
```

Una differenza sostanziale rispetto ad altri linguaggi è che possiamo anche definirli anche come un tipo di somma o come un dato specifico, ovvero un `enum` in Rust può contenere l'unione dei valori di dato delle singole etichette. Tuttavia facendo ciò bisogna tener conto che si applicano dei criteri esattamente opposti a quelli degli `enum`.

(Image: [../imgs/2022-03-23-14-39-57.png](#))

Questo perché, dovendo potenzialmente ospitare più etichette contemporaneamente dello stesso enumeratore, di base Rust allineerà la memoria per poterli contenere potenzialmente tutti.

Gli enumeratori possono quindi fare uso di clausole `match` per aumentare il nostro livello di astrazione.

```
enum Shape {  
    Square { s: f64 }  
    Circle { r: f64 }  
    Rectangle { w: f64, h: f64 }  
}  
  
...  
  
match my_enum {  
    Square { s } => s*s  
    Circle { r } => r*r*3.1415
```

```
Rectangle {w, h} => w*h
}
```

Avevamo prima parlato della `Result<>` in Rust. Esiste un altro modo, anche esso largamente utilizzato nel linguaggio ma non collegato alla corretta esecuzione di un programma ma alla validità o meno di un dato, che è la `Option`.

Se nella `Result` abbiamo, per costruire una istanza corretta la funzione `Ok(valore)` e quella `Err(erore)`, qui quel che abbiamo sono invece le funzioni `Some(valore)` ed il tipo `None` comune a tutte le `Option`. Anche in questo caso è molto comodo gestire i due casi tramite l'uso di clausole `match`.

```
fn plus_one(x: Option<i32>) -> Option<i32> {
    match x {
        None => None,
        Some(i) => Some(i+1)
    }
}
```

// Oppure

```
fn open_file(n: &str) -> File {
    match File::open(n) {
        Ok(file) => file,
        Err(_) => panic!("Error")
    }
}
```

Rust, non essendo un linguaggio prettamente ad oggetti, non consente un uso del polimorfismo nel senso classico, ma lo stesso potrebbe dirsi del C++ che implementa tale concetto nei limiti imposti dal linguaggio tramite una `VTABLE`, che è anche a grosse linee la scelta intrapresa da Rust.

Questo approccio può sembrare strano, più correttamente limitante, ma come abbiamo detto prima Rust è più propriamente un linguaggio per tipi o per tratti, che punta a non delegare al programmatore la gestione della linea ereditaria ma esplicitare tramite essi le capacità delle strutture. # Lezione del 04/04 - Rust e Polimorfismo

Come già detto Rust non è propriamente un linguaggio ad oggetti in quanto non implementa un vero e proprio meccanismo di ereditarietà. Per via di ciò il polimorfismo qui è inteso come il dare funzionalità comuni a strutture diverse attraverso i tratti.

Il meccanismo dei tratti se vogliamo è ispirato al concetto delle interfacce in altri linguaggi. Su di essi il linguaggio implementa tutte le funzionalità di base e non solo.

Ad esempio in Rust possiamo stampare una variabile in due modi differenti, ossia facendo interpolazione dei caratteri `{}` all'interno di una stringa o dei caratteri `{:?}`, con la differenza che nel secondo caso stiamo chiedendo la stampa in modalità `Debug` del dato. Questo comportamento è definito secondo un tratto.

La sintassi è fondamentalmente simile a quanto visto in altri linguaggi, ma il principio è avere una funzione che definisce il tratto.

// Definizione del tratto

```
trait Something {
    fn someOperation(&mut self) -> SomeResult;
}
```

...

// Implementazione

```
impl Something for SomeType {  
    ....  
}
```

Uno delle inconvenienze tipiche della programmazione è la scrittura frequente di pezzi di codice triviali. Per alcuni tratti ed alcune casistiche, Rust permette di ovviare a tale cosa.

Quando si vuole utilizzare questa caratteristica invece iniziano i mal di testa. Il linguaggio offre questa possibilità in due modi. Ad esempio:

```
trait Default {  
    fn default() -> Self;  
}
```

Questa funzionalità non ha parametro quindi non la posso applicare ad una struct, e pertanto va richiamato con la sintassi `Default::default()` e pertanto è detta riflessiva, come fosse un metodo statico di altri linguaggi, ma possiamo anche dire che è possibile chiamarlo facendo riferimento al tipo. Questo significa che è possibile definire prima il tipo da cui il compilatore andrà a recuperare il metodo per tale tipo, se implementato

```
fn main() {  
    let zero: i32 = Default::default(); // i32::default() richiamato implicitamente  
    let zero_again = i32::default();    // i32::default() richiamato esplicitamente  
}
```

Tecnicamente il parametro `self` sarebbe il nome richiamato all'interno della funzione e sarebbe `Self` con la `S` maiuscola, con tutte le variazioni desiderabili di `&Self` e `&mut Self`.

```
trait T2 {  
    fn takes_self(self);  
    fn takes_self_again(self: Self);    // Equivalenti  
}
```

In Rust posso anche definire un tipo come secondario, in modo da essere richiamato con più facilità. Questo concetto è meglio assimilato tramite un esempio, quindi facciamo finta di star implementando una struttura `Container` che vuole implementare un tratto detto `Contains`:

```
trait Contains {  
    type A;  
    type B;  
    ...  
}
```

Le funzioni che vogliono utilizzare il tratto `Contains` una volta che esso è stato implementato per una struttura ora non dovranno più esplicitarlo. Per confronto, proviamo ad implementare la funzione `contains` prima senza i tipi associati e poi con.

Senza:

```
trait Contains<A, B> {  
    fn contains(&self, _: &A, _: &B) -> bool;  
}  
  
impl Contains<i32, i32> for Container {  
    fn contains(&self, _: &A, _: &B) -> bool {  
        ...  
    }  
}
```

Ora vediamo la sintassi con il tipo associato:

```
trait Contains {  
    type A;  
    type B;
```

```
fn contains(&self, _: &Self::A, _: &Self::B) -> bool;
}

impl Contains for Container {
    type A = i32;
    type B = i32;
    fn contains(&self, _: &i32, _: &i32) -> bool {
        ...
    }
}
```

L'uso dei tipi associati consente anche di non dover specificare affatto i tipi cui si fa riferimento dopo averli definiti.

```
fn difference<A, B, C>(container: &C) -> i32 where C: Contains<A, B> {...} // Senza tipi associati
```

```
fn difference<C: Contains>(container: &C) -> i32 { ... } // Con tipi associati
```

Come visto in altri linguaggi è possibile, in fase di definizione di un tratto, definire delle implementazioni di default delle funzioni che vanno a richiedere, in modo da lasciarle inalterate qualora non sia strettamente necessario la loro ridefinizione.

```
trait Tratto {
    fn f(&self) {
        println!("Default action, not implemented")
    }
}
```

```
struct Struttura {
    ...
}
```

```
impl Tratto for Struttura;
```

```
let struttura = Struttura;
struttura.f(); // "Default action, not implemented"
```

Sebbene Rust non abbia una linea di ereditarietà delle strutture, esso dispone di una linea ereditaria dei tratti. Posso cioè definire per un tratto un suo sottotratto, che rende automaticamente il tratto originale un supertratto. Questo crea però delle ambiguità nel caso delle chiamate a funzioni, che se vengono re-implementate hanno bisogno di esplicitare quale delle due si va a chiamare.

```
trait Supertratto {
    fn f(&self) { println!("Supertratto") }
}
```

```
trait Sottotratto : Supertratto {
    fn f(&self) { println!("Sottotratto") }
}
```

```
struct Struttura {
    fn new() -> Self {
        Struttura
    }
}
```

```
impl Supertratto for Struttura {} // Impl. di Default
impl Sottotratto for Struttura {} // Impl. di Default
```

```
fn main() {  
    let struttura = Struttura::new();  
    Sottotratto::f(&struttura); // "Sottotratto"  
    Supertratto::f(&struttura); // "Supertratto"  
}
```

Come già accennato altre volte, grazie ai tratti possiamo richiedere di non conoscere esplicitamente il tipo di dato su cui una funzione va a lavorare ma a richiedere al compilatore che esso implementi i tratti necessari. Per fare ciò si fa uso della parola chiave `dyn` che accetta un tratto o una combinazione di tratti.

```
trait Stampa {  
    fn stampa(&self);  
}  
  
impl Stampa for Struttura {  
    fn stampa(&self) {  
        println!("Stampa struttura");  
    }  
}  
  
fn process( val: &dyn Stampa) {  
    val.stampa();  
}  
  
fn due_tratti_richiesti(val: &dyn Stampa+Clone) {  
    val.stampa();  
    val.clone();  
}
```

Per far sì che la cosa funzioni, la referenza a `dyn` è un fat pointer che include una referenza al dato, più nello specifico un'istanza della struttura ovvero quella su cui si chiama il tipo, e l'altro a una tabella virtuale che contiene i puntatori alle funzioni da richiamare. A runtime, quando si richiama la funzione sul tipo `$dyn Tratto$`, si consulta la tabella per ottenere il puntatore e poi tale funzione è eseguita. Potremmo dire che, come in C, il puntatore al dato è un puntatore generico, come fosse un `void *`, e come tale porta delle leggere inefficienze che il compilatore non può superare in quanto questo funzionamento è gestito a runtime.

In Rust non esiste l'overloading degli operatori. Di fatto, quando chiamiamo Rust in linguaggio per tratti, è anche dovuto al fatto che persino la ridefinizione degli operatori di somma, sottrazione e quant'altro è gestito tramite i tratti.

Per ridefinire l'operazione di somma di una struttura:

```
impl Add for Struttura {  
    type Output = Struttura;  
  
    fn add(self, other: Struttura) -> Struttura {  
        // La nostra operazione di somma  
    }  
}
```

La cosa interessante di modo di operare è che è persino possibile ridefinire tali operazioni per tipi di dato eterogenei. Anche qui, un esempio chiarisce subito il concetto:

```
use std::ops::Add;  
  
struct Punto {  
    x: i32,  
    y: i32,  
}
```

```
impl Add<i32> for Punto {
    fn add(&self, other: i32){
        Punto {
            x: self.x + other,
            y: self.y + other,
        }
    }
}

...

let p = Punto(3, 4);
println!("{}", p); // { x: 3, y: 4 }
println!("{}", p + 3); // { x: 6, y: 7 }
```

Notiamo che in Rust esistono tratti per l'operatore di uguaglianza, `Eq` e `PartialEq`. `PartialEq` richiede che siano garantite dall'implementazione sia la proprietà simmetrica che transitiva. Per simmetria si intende che se `A == B` allora `B == A`, mentre per transitività se `A == B` e `B == C` allora `A == C`. Il tratto `Eq` impone anche la proprietà di essere uguali a se stessi, e può sembrare una banalità ma non è così. Ad esempio, per i tratti floating point non è definito `Eq`, in quanto si ha che `NaN != NaN`. `PartialEq` è definito come un supertratto di `Eq`.

Due tratti importanti ma che raramente andremo a implementare da noi sono `Clone` e `Copy`. Nello specifico, `Clone` è quasi sempre superfluo da modificare oltre quanto fornitoci dalla macro `#[derive(Clone)]`, mentre `Copy` non è un tratto implementabile in altro modo.

I due tratti sono simili con delle sottigliezze a differenziarli. `Clone` è funzionalmente quello che noi chiederemmo da un operatore di copia, ovvero copia dei dati contenuti in una struttura ma non dei riferimenti. `Copy` dall'altro lato, non esegue copia dei dati ma dei riferimenti.

Spieghiamo nuovamente questo concetto con un esempio. Supponiamo una basilare struttura di questo tipo:

```
struct ContenitoreVec {
    vec: Vec<i32>,
}
```

La differenza tra `Copy` e `Clone` è la seguente. Con `Clone` si allocherebbe lo spazio per una nuova struttura, e si eseguirebbe la copia dei dati all'interno, nel senso che si creerebbe un altro vettore il cui contenuto è una copia dei dati dell'originale, ma in due indirizzi diversi. La `Copy` invece è definita come copia byte a byte, ovvero si copierebbe il riferimento al vec originale, con le due strutture che puntano allo stesso indirizzo e allo stesso `Vec`.

Il tratto `Drop` invece permette di definire il tratto `drop(&mut self)` che è analogo a quello che chiameremmo distruttore. È in mutua esclusione col tratto `Copy`, vale a dire che se implementiamo il tratto `Drop` per un tipo non possiamo definirne anche il tratto `Drop` e viceversa.

Potremmo aver bisogno di definire un sistema di indicizzazione. Significa richiamare le parentesi quadre come faremmo ad esempio su un vettore (`[i]`) e definire il comportamento desiderato. In Rust se ne hanno due tipi, quello "normale" e quello "mutabile". Questo perché in lettura vogliamo ottenere un riferimento non mutabile ed in scrittura un riferimento mutabile.

```
trait Index<Idx> {
    type Output: ?Sized;
    fn index(&self index: Idx) -> &Self::Output;
}
```

`Sized` è un tratto implicito che indica che la dimensione occupata dalla struct è nota in fase di compilazione. `?Sized` rimuove questo vincolo.

In Rust è possibile esplicitare l'accesso per riferimento, ma in lettura questo è poco utile. Per poter modificare l'elemento, dovremmo richiedere il riferimento mutabile.


```
let vec = vec![1, 2, 3, 4, 5];
let nref : &i32 = &vec[0]; // Riferimento non mutabile
let mut mref : &i32 = &mut vec[0]; // Riferimento mutabile
```

Anche la deferenziazione è un tratto in Rust. Questo potrà sembrare strano ma non lo è, poiché la mia struttura potrebbe contenere un dato sotto forma di puntatore e voglio definire come accedervi senza esporlo pubblicamente. Siccome in Rust si ha una netta distinzione tra cosa è mutabile e cosa non lo è, abbiamo due tratti di dereferenziazione, `Deref` e `DerefMut`.# Lezione del 05/04

Nota sulla lezione precedente: può capitare in Rust come spesso accade in altri linguaggi orientati agli oggetti di voler implementare dei “metodi” getter o setter. In questo caso le scelte da farsi sono poche: per implementare il metodo `get` è strettamente necessario esplicitare il primo parametro come reference non mutabile, ovvero `&self`.

Non è possibile usare solo `self` in quanto ciò causerebbe movimento, con perdita della struttura cui si vuole utilizzare il dato. Sarebbe possibile usare anche una reference mutabile ma la cosa è sconsigliata.

Per i metodi `setter` invece è necessario che non solo la reference acquisita sia mutabile, quindi `&mut self`, ma che anche la variabile che contiene la struttura sia dichiarata come tale, altrimenti il compilatore non ci lascerebbe modificare un dato dichiarato come immutabile.

Abbiamo parlato l’ultima volta di come ridefinire l’operazione di indicizzazione secondo il tratto `Index`. Questa operazione è definibile solo una volta per tipo, vale a dire che non posso eseguire una doppia indicizzazione di un tipo di dato direttamente. Per fare ciò, nell’esempio più semplice possibile volendo definire una struttura per contenere una matrice di interi, è necessario definire due strutture.

Si può scegliere a piacere tra due opzioni nel caso di una matrice, ma banalmente il da farsi è definire due strutture, una `Matrice` e una `Riga` oppure `Colonna`, a seconda della scelta della seconda l’operazione di indicizzazione su `Matrice m[i]` restituirà un `Riga` o una `Colonna` su cui richiamare nuovamente l’indicizzazione per ottenere il dato.

Quando si ha un tratto sono in grado di derivare le funzionalità di dereferenziazione, ovvero di intendere il dato come fosse quel che in C era un puntatore e accedere al dato puntato tramite l’operatore `*`.

```
struct Selettore {
    elementi: Vec<String>,
    corrente: usize,
}

impl Deref for Selettore {
    type Target = String;

    fn deref(&self) -> &String {
        &self.elementi[self.corrente]
    }
}
```

Cosa significa dereferenziare una struttura, come si vede sopra, dipende dall’implementazione che si vuole avere.

Un altro tratto interessante è quello che ci permette di definire il comportamento di una conversione di tipo. Banalmente potremmo voler implementare la conversione di una nostra struttura al tipo `String` per poterne definire una eventuale funzione `to_string`. Per fare ciò esistono due tratti, quello `From` e quello `Into`, che permettono rispettivamente di attuare la conversione dal dato al nostro tipo o dal tipo al nostro dato.

```
impl From<[i32; 2]> for Punto {
    fn from([x, y]: [i32, 2]) -> Punto {
        Punto { x, y }
    }
}
```

Notiamo che nel momento in cui tentiamo di stampare una nostra struttura il linguaggio non vada a vedere se esiste una implementazione di conversione verso il tratto `&str` o `String`, ma bensì abbia due tratti appositi per l'operazione, ovvero il tratto `Debug` ed il tratto `Display`. Il primo viene richiamato nel caso di stampa in debug, ovvero interpolazione di una stringa contenente i caratteri `{: ?}` mentre il secondo viene usato per interpolazioni verso i caratteri `{ }`.

```
[derive(Debug)]
struct ErrorePersonalizzato {
    info: String
}

impl std::fmt::Display for ErrorePersonalizzato {    // Derivazione manuale
    fn fmt(&self, f: &mut std::fmt::Formatter) -> std::fmt::Result {
        write!(f, "{}", self.info)
    }
}

impl std::error::Error for ErrorePersonalizzato {
    fn description(&self) -> &str {
        &self.info
    }
}
```

Notiamo come la macro `[derive(Tratto)]` riduca considerevolmente il codice da scrivere e quindi anche le probabilità di errori banali. Questa operazione non è sempre possibile, poiché per quanto moderno ed avanzato possa il compilatore essere non è comunque perfetto, ma per casi banali che vanno a comporre una larga fetta del codice che poi realmente si usa questo è quasi sempre possibile.

Una caratteristica tipica dei linguaggi ad alto livello sono i tipi generici. Il contenitore `Vec` ad esempio ha un comportamento invariato indipendentemente dal tipo di dato che contiene. In Rust tuttavia, così come accade anche in C++ ma non in tutti i linguaggi ad oggetti, la gestione del tipo generico non avviene in fase di esecuzione ma in fase di compilazione.

Prendiamo ad esempio Java. Quando il linguaggio si trova a gestire un tipo generico, attinge ad un'unica sorgente di istruzioni macchina, e tratta il tipo generico come solamente una referenza, risultando in qualche modo agnostico al tipo di dato che ospita. Lo stesso comportamento si può ottenere in C tramite l'utilizzo di `void *`.

Rust invece segue la filosofia del C++, dove pur di ottimizzare le prestazioni delle operazioni che si eseguono, definita una struttura dati generica `Struttura<T>` e utilizzandola poi con due tipi, `A` e `B`, esso duplicherà il codice di gestione della struttura per i due tipi, inserendo quindi nel nostro linguaggio macchina il caso specifico per gestire `Struttura<A>` e `Struttura`. Non è detto che i due codici risultanti siano identici a meno del tipo, perché a seconda delle loro caratteristiche diverse ottimizzazioni potrebbero venir compiute dal compilatore. # Lezione del 06/04 – Chiusure e Polimorfismo

Abbiamo parlato esaurientemente di come passare ad una funzione un riferimento e dei vantaggi che ciò comporta. Tuttavia il borrow checker esegue vari controlli a riguardo, tipo assicurarsi che quel dato rimanga valido per tutta l'esecuzione della funzione chiamata, potenzialmente anche dopo se viene riutilizzata.

Questo controllo è molto stringente, e per un programmatore non è difficile convivere fino a quando le nostre funzioni vanno a lavorare su un singolo dato. Ma nel caso che una funzione accetti più parametri, esso dovrebbe assicurarsi che entrambi rimangano validi per il tempo necessario, e questo può essere difficile da capire anche per il compilatore.

Può quindi capitare che esso non riuscendo ad intendere quanto una variabile debba rimanere valida, chieda al programmatore di esplicitare il tempo di vita. Precisiamo che nel momento in cui più dati abbiano tempi di vita diversi, si intende che i dati debbano rimanere validi almeno per il tempo di vita più breve tra quelli ricevuti.

Discordo ancor più complicato per una funzione che ritorna a sua volta un riferimento, in quanto anche per tale riferimento è necessario conoscerne il tempo di vita. Per come detto prima, si assegna a tale riferimento il tempo di vita del dato più breve accettato come parametro, ma non è detto che questo sia sufficiente per i nostri scopi, ed è uno degli errori più frustranti che si ottengono all'interno del linguaggio.

Ad esempio:

```
fn f(s: &str, v: &mut Vec<&str>) {  
    v.push(s)  
}
```

Il codice qui descritto genererebbe un errore. Qui andiamo a vincolare il tempo di vita dei due dati, `s` e `v`, senza fornire garanzie che fintanto che `v` avrà vita lo stesso varrà per `s`.

Per definire il tempo di vita di un riferimento in Rust si utilizzano le etichette, ovvero una serie di caratteri che identificano un tempo di vita della referenza, e si fa utilizzando un apice seguito dalla sequenza di caratteri. Ad esempio, `&'rlt var` indica che il tempo di vita di `var` è da chiamarsi `rlt`, ma non si va ad esplicitarne la durata in quanto è dedotta dal compilatore.

Potremmo provare ad obbligare il compilatore a controllare che il tempo dei due dati sia identico come:

```
fn f(s: &'a str, v: &'a mut Vec<&str>) {  
    v.push(s)  
}
```

Qui otterremmo un errore subdolo. Infatti è vero che il dato `s` ha tempo di vita `'a`, identico al contenitore `v`, ma non abbiamo spiegato al compilatore che anche le altre stringhe contenute in `v` abbiano tempo di vita `'a`.

```
fn f(s: &'a str, v: &'a mut Vec<&'a str>) {  
    v.push(s)  
}
```

Ora i tempi di vita dei dati sono congruenti, eppure non basta. Di fatto, abbiamo esplicitato la vita delle variabili all'interno delle funzioni, ma non come si comportano al di fuori di essa, ovvero nel codice chiamante. Ad esempio:

```
fn main() {  
    let mut v: Vec<&str> = Vec::new();  
    {  
        let s = String::from("ciao");  
        v.push(&s)  
    }  
    println!("{:?}", v); // Qui l'errore  
}
```

Se facessimo questo tipo di chiamata il compilatore si arresterebbe perchè `s` ha un tempo di vita minore di `v` e quindi la verifica di validità dei riferimenti non è soddisfatta.

Precisiamo che questi indicatori non sono un modo di complicarsi la vita ma un modo per spiegare al compilatore come ci attendiamo che vengano gestiti i dati a basso livello. Seppur omessi, il compilatore genera per sé questi riferimenti, e questo è solo un modo di esercitare un controllo su loro da parte del compilatore.

Quanto detto può essere esteso alle strutture, poichè anche in esse posso avere questa necessità. Questo perchè è possibile che le strutture a loro volta possano contenere dei riferimenti.

```
struct Utente<'a> {  
    id : u32,  
    nome: &'a str  
}
```

Così facendo vincolo il tempo di vita di `Utente` al tempo di vita della `str` che essa contiene.

Passiamo ora a parlare delle chiusure, componente tipica dei linguaggi moderni e che quindi anche Rust implementa. Una funzione può esser vista a basso livello come essenzialmente un indirizzo di memoria che contiene del codice, quindi nel momento in cui lo si voglia eseguire è sufficiente spostare a tale indirizzo.

Nello stesso modo in cui distinguiamo come si utilizza una variabile dal tipo che essa ha, allo stesso modo distinguiamo l'uso di una funzione dalla sua firma, che altro non è che l'ordine ed il tipo di parametri che accetta assieme al valore che essa va eventualmente a ritornare.

Il linguaggio permette quindi di definire degli oggetti funzionali, puntatori a indirizzi di memoria che saranno predisposti ad un corretto funzionamento compatibilmente alla firma dichiarata, in quanto ad esempio bisogna assicurarsi di allocare abbastanza memoria all'indirizzo puntato per accogliere i parametri passati.

Vediamo un esempio:

```
fn oggetto_funzionale(i: i32, f: f64) -> f64 {  
    return i as f64 * f;  
}  
  
let contenitore: fn(i32, f64) -> f64;  
contenitore = oggetto_funzionale;  
// ^ per qualche motivo OK anche se contenitore non è mutabile  
contenitore(2, 3.14);
```

La reale utilità degli oggetti funzionali è che, a differenza delle funzioni, permettono di implementare funzioni dipendenti da uno stato, mentre una chiamata a funzione fornirà sempre lo stesso risultato dati gli stessi dati in ingresso, e sono pertanto senza stato.

Il loro reale punto debole è l'esser definite in un punto e utilizzate in un altro. Un'alternativa è rappresentata dalle funzioni definite in loco, anche dette lambda, e come gli oggetti funzionali anche loro sono assegnabili ma ci permettono di non preoccuparci della firma, che viene invece dedotta dal compilatore.

La loro caratteristica fondamentale è l'esecuzione di un meccanismo di cattura, che è funzionale all'implementazione delle chiusure, ovvero quando una funzione cambia il suo comportamento in base al contesto in cui viene definita. La cattura avviene per riferimento a meno che il movimento non sia esplicitamente richiesto. Se il riferimento deve anche essere mutabile, la lambda va dichiarata come mutabile e il borrow checker eseguirà i controlli anche su esso.

```
let f1 = |x| { x + y.f() + z }; // Per riferimento  
let f2 = move |x| { x + y.f() + z }; // Per valore
```

Anche queste funzionalità sono ovviamente legate a dei tratti. I due più autoesplicativi sono `Fn` ed `FnMut`, che nel primo caso indica una funzione che cattura i parametri per riferimento e nel secondo per riferimento mutabile. L'ultimo caso, dal nome non così immediato, è `FnOnce`, che lascia al compilatore la scelta su come eseguire il passaggio dei parametri, se per movimento o per referenza, mutabile o meno.

Questo avviene in quanto `FnOnce` è supertratto di `Fn` ed `FnMut`, quindi una variabile che implementa uno di quei due tratti può essere usata in un contesto in cui ci si aspetta un `FnOnce`, ma per correttezza dobbiamo aspettarci che le variabili usate in `FnOnce` siano sempre ottenute per movimento e che il contesto di esecuzione catturato sia consumato dopo la prima esecuzione, vale a dire come il nome suggerisce che quella funzione possa essere utilizzata una sola volta. # Lezione del 26/04 - Gestione degli Errori

Quando parliamo di gestione degli errori, possiamo intendere due cose. La prima è la gestione puntuale del valore del dato, come ad esempio un controllo manuale dei valori di una variabile floating point per assicurarsi che non abbia valore infinito o NaN. La seconda invece è il meccanismo delle eccezioni, popolarizzato da linguaggi come Java che lanciano un'eccezione utilizzando gli interrupt, e va da sé quindi che tale meccanismo non solo sia costoso ma richieda anche un certo support hardware.

A più alto livello distinguiamo due scenari, che ci dicono quale delle due scelte adottare, ovvero il caso in cui l'errore sia recuperabile e quello in cui non lo sia. Si dice errore irrecuperabile quando in seguito all'errore non sia possibile continuare con l'esecuzione.

Rust ad esempio avvolge anche la semplice lettura da tastiera attorno a un possibile errore. Il linguaggio spezza l'operazione in due parti, la lettura di un buffer e la successiva conversione di tale buffer. Questo tipo di errore è recuperabile in quanto su Rust non siamo chiamati a gestire l'errore su tale operazione. Potremmo aver notato che ad esempio l'operazione `println!` ritorna un `Result`, quindi potremmo sapere se quell'operazione è andata a buon fine o meno, ma non siamo tenuti a gestire nessuno dei due casi.

Puntualizziamo che la gestione dell'errore in un contesto concorrente deve essere eseguita in maniera puntuale: se un thread incappa in un errore che richiede il suo arresto, anche tutti i suoi thread paralleli andranno arrestati.

In Rust non abbiamo quindi il meccanismo delle eccezioni, in quanto per consistenza si gestiscono queste casistiche tramite i tipi `Result` ed `Option`. Per confronto, vediamo come il C++ implementa il meccanismo delle eccezioni:

```
try {  
    // codice che puo' lanciare un'eccezione  
} catch (ExceptionTypeOne e) {  
    // codice che gestisce l'eccezione  
} catch (ExceptionTypeTwo e) {  
    // codice che gestisce l'eccezione  
}
```

Questo tipo di codice non si usa per l'arresto del programma ma è solitamente usato per il recupero dell'errore e quindi la continuazione dell'esecuzione. Queste operazioni richiedono una procedura molto costosa detta *stack unwinding*, in quanto devo retrocedere nelle chiamate a funzioni per trovare la fonte dell'errore, eseguire una disamina sul tipo di eccezione che abbiamo incontrato e saltare alla sua gestione specifica.

Il tipo `Result` come sappiamo utilizza due tipi generici, il tipo `T` che è il nostro tipo di dato ed il tipo `E` che invece è il tipo di errore. Quest'ultimo gioca qui il ruolo di discriminante dell'errore un po' come nel pezzo di codice sopra fa il tipo di eccezione. È molto comodo quindi eseguire il recupero dell'errore grazie alle istruzioni di `match`:

```
let r1 = File::open("file.txt");  
let mut file = match r1 {  
    Err(why) => return Err(why),  
    Ok(file) => file  
}  
  
let mut s = String::new();  
let r2 = file.read_to_string(&mut s);  
match r2 {  
    Err(why) => Err(why),  
    Ok(_) => Ok(s)  
}
```

Tuttavia questo ci porta a un problema stilistico. Un linguaggio come Rust che si pone tra gli obiettivi quello di essere più conciso dei suoi predecessori si ritrova ad avere `match` multiple, intese sia come annidate che a cascata per fare un controllo d'errore, che in un applicativo reale deve necessariamente essere presente a differenza degli esempi didattici che possiamo scrivere noi.

Un primo aiuto in tal senso ci è fornito dall'operatore `?`. Esso indica che un'operazione che ha come valore di ritorno una `Result`, ritorna quel valore in caso di errore. Ricordando che anche `println!()` ha come valore di ritorno `Result` e che l'apertura di un file puo' risultare in un errore, la funzione:

```
fn funzione() -> Result<(), Error> {  
    let res = println!("Apro il file");  
    if res.is_err() {  
        return res;  
    }  
}
```

```
let file = File::open("file.txt");

if file.is_err() {
    return file;
}

let res = println!("Ho aperto il file");
if res.is_err() {
    return res;
}

return Ok(());
}
```

Puo' essere riscritta con tale operatore come:

```
fn funzione() -> Result<(), Error> {
    println!("Apro il file")?;
    let file = File::open("file.txt")?;
    println!("Ho aperto il file")?;
}
```

Indubbiamente il codice è molto più snello e fruibile.

4. Lezione del 09/05 – Iteratori

Iniziamo adesso a discutere degli iteratori. Essi non sono altro che una struttura che avvolge un contenitore e mantiene una serie di informazioni aggiuntive sul suo stato.

Come ormai da prassi nel linguaggio, tale funzionalità è raggiunta mediante i tratti e offre 3 modalità di accesso. Iniziamo col caso in cui volessimo iterare su di una collezione già esistente, prendiamo ad esempio un Vec.

Supponendo di avere un vettore `vec` di tipo `Vec<T>`, possiamo iterare su esso come: - `vec.iter()` - iteratore di `&T`, quindi borrow non mutabili e dunque utili in lettura. Non consuma l'iteratore quindi possiamo richiamarlo più volte - `vec.itermut()` - *iteratore di `&mut T`, uguale al precedente ma che permette la modifica del dato nella collezione, permette quindi la modifica dei dati e puo' essere riutilizzato* - `vec.into_iter()` - caso più particolare, iteratore di `T` e quindi causa di movimento e trasferimento di proprietà. Il dato puo' essere quindi modificato come con `iter_mut` ma una volta usato il contenitore iniziale non esiste più.

In generale il linguaggio espande il nostro codice scritto in maniera semplice e fruibile non modo più complesso. Una semplice sequenza come:

```
for i in 0..10 {
    println!("{}", i);
}
```

Viene espansa a:

```
let iter = (0..10).into_iter();
loop {
    let i = iter.next();
    match i {
        Some(i) => println!("{}", i),
        None => break,
    }
}
```

Per comprendere questo codice dobbiamo parlare del tratto `Iterator`. Implementare tale tratto significa definire un'unica funzione `next(&self mut)` che ritorna un `Option`, nel caso sia presente il risultato sarà `Some(prossimo_elemento)` e nel caso l'iteratore sia esausto si ritorna un `None`.

Notiamo quindi che la semantica dei `for` loop ci solleva dal dover eseguire esplicitamente. Altra caratteristica fondamentale ci solleva anche dal dover scegliere il tipo di funzione da chiamare.

Notiamo infatti che è comparsa una chiamata a `into_iter`, che è stata scelta dal linguaggio che può usare una qualunque delle 3 alternative proposte. Contestualmente dall'uso che se ne fa nel ciclo `for` il compilatore aggiungerà tale chiamata, seguendo l'ordine `&T`, `&mut T` e `T`. Il compilatore sceglierà l'opzione più restrittiva che permetta comunque di raggiungere la funzionalità.

Notiamo infine che l'implementazione di `Iterator` utilizza un tipo associato:

```
struct Struttura<T> {  
    dati : Collezione<T>  
}  
  
impl<T> for Struttura { ... }  
  
impl Iterator for Struttura {  
    type Item = T;  
    fn next(&mut self) -> Option<T> {  
        // Operazione per ottenere il prossimo elemento oppure None  
    }  
}
```

Anche gli iteratori sono soggetti al controllo di proprietà. Non sarà infatti possibile chiamare `iter_mut()` su una collezione non dichiarata come mutabile oppure su collezioni di cui non si possa garantire la consistenza di dato con tali operazioni. Ad esempio, non possiamo iterare con referenze mutabili su un `HashSet`, in quanto variando il dato varierebbe anche la chiave e la collezione si troverebbe poi in uno stato inconsistente.

Abbiamo parlato di iteratori in Rust come un modo di eseguire un'operazione su ogni singolo elemento di una collezione, quindi è giusto parlare anche delle collezioni stesse.

Come è immaginabile, Rust offre di base nella sua libreria standard tutti i tipi di collezioni che si si aspetterebbe. Parliamo dunque brevemente della loro implementazione e delle casistiche in cui andrebbero usate.

Quanto studiato in altri specifici per strutture dati rimane ovviamente valido anche qui, ma dobbiamo parlare di quello che succede quando da un approccio teorico si vuole andare a considerare le prestazioni su un sistema reale.

(Image: [../imgs/20220614143929.png](#))

Nella quasi totalità dei casi, tenderemo a escludere le liste, in Rust offerte dalla struttura `LinkedList`. Infatti oltre al tipo `Vec` la libreria standard offre anche il tipo `VecDeque` che è un vettore efficiente a inserire e rimuovere elementi sia in testa che in coda, in quanto realizzato a buffer circolare.

Questo sposta la sua efficienza in tutte le operazioni al pari di una lista ma, essendo comunque memorizzata in memoria contigua sullo heap, e considerando un sistema reale che quindi implementa paginazione e caching, risulterà più veloce sui benchmark.

In genere in caso di parità per l'analisi di complessità per una data operazione, `Vec` risulterà più veloce di `VecDeque` che a sua volta risulterà più veloce di `LinkedList`.

Le restanti strutture dati invece seguono effettivamente quanto visto nei corsi di strutture dati, con una differenza tra collezioni basate su mappe e collezioni basate su alberi. Infatti se si desiderasse una collezione che faccia esattamente quanto previsto da essa si dovrebbe sempre fare affidamento alla versione hash di essa (`HashSet` o `HashMap`) mentre nel caso in cui tale collezione debba essere utilizzata per acquisire un intervallo di valori, inteso come tutti gli elementi nella mappa la cui chiave sia minore di un'altra per dire, le versioni `BTreeSet` e `BTreeMap` risulteranno più performanti.

In ultimo, ogni collezione offre due funzioni che ci permettono di ottimizzare i nostri programmi sia nel tempo che nello spazio, ovvero i metodi `with_capacity` e `shrink_to_fit`.

Nel caso in cui si conosca in anticipo il numero di elementi che si andranno a inserire infatti si potrebbe creare la collezione tramite il metodo `<NomeCollezione>::with_capacity(capacity)` per allocare preventivamente quello spazio, in modo da minimizzare le riallocazioni e ottenere grossi aumenti di prestazione. Se invece se ne conosce solo un (ragionevole) limite superiore, e poi se ne utilizzino effettivamente di meno e si voglia davvero sfruttare al massimo la memoria, il metodo `shrink_to_fit` permette di ridurre le dimensioni in modo da utilizzare meno memoria possibile, ma non è detto che la capacità finale coincida col numero di elementi contenuti, in quanto potrebbe essere leggermente superiore.

Finita questa digressione sulle strutture dati possiamo ora a parlare di I/O. Che si parli di Rust o altri linguaggi ad alto livello, per esso troviamo sempre un concetto cardine per leggere e scrivere, e vale a dire il concetto di interfaccia. Questo significa che tutti i linguaggi, a partire dal C, hanno fatto uno sforzo per far sì che il programmatore, indifferente da dove debba andare a scrivere o leggere le informazioni, sia file, console o altro, utilizzi sempre le stesse funzioni.

Come in altri linguaggi anche qui sono presenti le funzioni per aprire un file in sola lettura o sola scrittura, comunque differenziando il caso in cui il file esista da quello in cui non esista, ed abbiamo le funzioni di seek per spostarci all'interno del file o aprirlo portandoci direttamente già alla fine di esso.

Tutte queste sono per l'appunto interfacce, che ci permettono di scrivere sequenze logiche o stringhe richiamando in realtà funzionalità di sistema che scrivono o leggono dati binari puri (come sequenze di byte).

```
use std::fs::File;
use std::io::{Write, Buffer, BufReader, BufWriter};

let path = "lines.txt";
let mut output = File::create(path).unwrap();

let input = File::open(path)?;
let buffered = BufReader::new(input);

for line in buffered.lines() {
    println!(output, "{}", line?);
}
```

5. Lezione del 10/05 – Puntatori

Parliamo ora di una caratteristica probabilmente nuova e che è propria dei linguaggi alto livello per la programmazione basso livello, vale a dire i puntatori intelligenti.

In C un puntatore è niente più un indirizzo di memoria associato al tipo di dato puntato. L'intera logica della sua gestione e del suo utilizzo è demandato al programmatore, e questo tende a creare dei problemi quando voglio condividere questo dato in più parti del mio programma.

Non potendo infatti tener traccia, per lo meno non in modo conveniente, di quante volte abbia condiviso questo stato e del se quel dato è ancora valido, la probabilità di incappare in errore è alta.

Già il C++, pur essendo solo un superset del C, ha quindi introdotto dei tipi di dato costruiti su essi, detti puntatori intelligenti, per consentire la più facile gestione della memoria dinamica, seppur non avendo il C++ a differenza di Rust un borrow checker non riesce a implementare tutte le funzionalità di Rust, almeno non in maniera idiomatica.

Quello che voglio ottenere con i puntatori intelligenti è un comportamento per cui tutti i controlli che in C sono ottenuti tramite frequenti e manuali controlli, come l'assicurarsi che un dato sia valido prima di accedervi o la liberazione della memoria alla fine dell'esecuzione di un programma, sia essa naturale o per errore, senza però doverlo fare esplicitamente.

In Rust questo concetto andrà anche affiancato al concetto di proprietà. Ricordando che in C non esiste il concetto di proprietà di una variabile, un puntatore può essere usato in qualunque parte del mio programma. In Rust invece l'utilizzo di un puntatore andrà vincolato al concetto di proprietà e prestito,

esclusivo o meno.

Prima di procedere a discutere gli aspetti pratici dei puntatori intelligenti offerti da Rust, notiamo che essi sono disponibili (più propriamente Rust implementa un super-set per questioni di cui parleremo più avanti) anche in C++ e hanno un funzionamento quasi del tutto equivalente.

Il primo puntatore di cui dobbiamo discutere è RC, che sono le iniziali di Reference Counter. Ne esiste anche una versione da utilizzare invece in ambienti concorrenti e che sono quindi thread-safe, ARC.

Il concetto è questo: tramite i meccanismi di copia (in Rust, detta Clone ricordiamo) tengo conto di quante volte io abbia condiviso la risorsa, ovvero quante parti del mio codice stiano attualmente utilizzando quel puntatore. All'atto del drop della risorsa, ovvero quando la sua variabile che contiene l'RC viene distrutta e le sue risorse eventualmente rilasciate, questo contatore verrà decrementato e al raggiungimento dello 0 la memoria puntata verrà liberata.

```
let x = RC::new(5);
let y = x.clone();
println!("{}", x.count()); // 2
drop(x);
println!("{}", y.count()); // 1
```

La variante ARC ha lo stesso identico funzionamento, ma risolve in modo differente l'opzione di decremento. Se infatti un programma in esecuzione su un singolo processore non avrà problemi ad aggiornare il contatore, questo potrebbe trovarsi in stati inconsistenti nel momento in cui più thread vi facciano accesso nello stesso momento. Per cui ARC, che sta per Atomic Reference Counting, utilizza solo istruzioni dette atomiche per la lettura e l'aggiornamento del contatore.

Questa caratteristica è raggiunta tramite l'uso di istruzioni, intese come istruzioni per processore, che eseguono la lettura, l'aggiornamento e la riscrittura del dato in un'unico colpo, ma richiedono molti cicli di clock per essere eseguite e forzano l'aggiornamento del dato in RAM e l'invalidazione della cache. Quindi non è una buona idea utilizzare sempre e solo ARC in quanto riduce le nostre prestazioni: va utilizzato il puntatore adatto al nostro processo.

Il tipo RC va quindi ad essere funzionalmente identico a quello che in C++ è il tipo `shared_ptr`.

In C++ un altro puntatore spesso utilizzato è lo `unique_ptr`, che invece assicura che del puntatore esista una ed una sola variabile che contiene la risorsa. In Rust questo meccansimo è superfluo per via del design del linguaggio, per via del concetto di possesso del dato.

Ripetiamo infatti che in Rust a differenza del C un dato ha uno e un solo proprietario, e che tale proprietà è raggiunta mediante una differenziazione dell'operatore `=`: laddove in C `a=b` significherebbe una copia del dato `b` nella variabile `a` se non specificato diversamente, in Rust questo implica uno spostamento del dato di `b` in `a` se non specificato diversamente.

In C per ottenere la caratteristica di unicità si andrebbe quindi a sovrascrivere il funzionamento dell'operatore `=` per copiare la risorsa nel nuovo contenitore e cancellare la vecchia, cosa che Rust fa in automatico. Per ottenere quindi questa caratteristica in Rust, è sufficiente usare un normale puntatore (`Box<T>`) e non eseguirne mai la clone, ma solo assegnazioni.

```
let x = Box::new(5);
let y = x;
println!("{}", x); // Errore di compilazione qui: `x` è stato spostato!
```

Un'ultima categoria di puntatori è quella che in C sono i `weak_ptr`. Per capirli, è più veloce fare un esempio pratico: cosa accadrebbe se volessi implementare un buffer circolare mediante una lista ciclica?

Supponiamo il caso più banale con due nodi. `A->B` e quindi anche `B->A`. Notiamo una sottigliezza: essendo il buffer circolare, `B` ha a sua volta una referenza verso `A`, il che porta il conteggio delle referenze di `A` a 2.

Questo implica che in fase di liberazione del buffer, in fase di `drop()`, in seguito al `drop()` di `B` la sua referenza verso `A` viene distrutta ed il suo contatore non raggiungerà mai lo 0 e quindi non verranno mai liberate le sue risorse.

I puntatori deboli quindi offrono un modo di tenere traccia dei riferimenti senza che essi vadano a toccare i contatori di quante volte questo riferimento è stato condiviso, ma questo implica che non si può esser sicuri che il dato puntato sia valido al momento dell'utilizzo e quindi vada fatto un controllo preventivo.

Questo problema è risolto in Rust nuovamente mediante l'utilizzo di un `Option`. Funzionalmente, un `Weak` in Rust non è direttamente utilizzabile, ma ha prima bisogno di essere convertito in un RC vero e proprio.

La funzione `upgrade()` di RC infatti ritorna un `Option<RC>` che contiene, nel caso di dato valido, un vero e proprio RC, che ha incrementato i contatori e li decreterà nuovamente quando verrà distrutto, oppure un `None` nel caso in cui questo dato non fosse valido.

Notiamo infine che, anche se disponibile un metodo `new` per la creazione diretta di un `Weak`, il modo più tipico per ottenerne uno è prima creare un RC e successivamente richiamare su esso la funzione `downgrade()` per ottenere il puntatore debole.

Commento personale: gli sviluppatori di Rust sono delle capocce geniali per aver prodotto sto linguaggio, eppure hanno ben pensato di non differenziare il nome dei `Weak` di tipo RC e quelli di tipo ARC. Quindi se dovete importare nello stesso file entrambi, dovete fare:

```
use std::rc::Weak as RCWeak;
use std::sync::Weak as ARCWeak;
```

Parliamo ora degli aspetti che Rust ha migliorato rispetto al C++ grazie al suo vantaggio di essere un linguaggio più moderno.

Una situazione tipica che potremmo incontrare è quella di aver bisogno di un dato immutabile ma che saltuariamente potremmo desiderare mutabile. Questo comportamento non è di base consentito, ma può essere raggiunto tramite i tipi `Cell` e `CellRef`.

Questo comportamento è necessario infatti perché i puntatori descritti prima permettono di condividere i dati con poca cura di come ciò accada, un concetto che mal si sposa con la filosofia di Rust. Per via di ciò, i dati puntati possono solo essere ottenuti come riferimento non mutabile, una restrizione non da poco.

Il tipo `Cell` è quindi un tipo di dato simile ad un puntatore ma che pur essendo immutabile, è accompagnato dal concetto di mutabilità interiore, ovvero il dato contenuto può eventualmente essere modificato.

Questo vale a dire che il concetto di proprietà di dato introdotto dal borrow checker in Rust non può esser fatto rispettare in fase di compilazione ma vada affrontato in fase di esecuzione. In Rust si fa ciò ad esempio spostando i valori all'interno e all'esterno di `Cell`.

Ci sono tre possibili alternative, a seconda del tipo `T` contenuto in `Cell<T>`: - `T` implementa `Copy` - Allora una copia di `T` viene restituita (esempio: `i32`) - `T` implementa `Default` - Allora una `take()` su `T` lascerà all'interno della `Cell` il valore `T::default()` - Per tutti gli altri casi: - `Cell::replace` permette di sostituire ad un dato `T` un altro dato di tipo `T`.

I tipi `Cell` e `RefCell` si differenziano in base al fatto che si vada a contenere un tipo di dato `T` oppure uno `&T`.

```
let cell = Cell::new(5); // notiamo: non mutabile
println!("{}", cell.get()); // 5
cell.set(7);
```

Un altro tipo molto utile per l'ottimizzazione di memoria sono i `Cow`. Essi infatti implementano il meccanismo di `Copy (Clone) on Write`, per cui permettono la condivisione di una zona di memoria fintanto che nessuno dei detentori della risorsa la modifica. Quando ciò accade, una copia esclusiva viene creata.

Infine, parliamo brevemente della dereferenziazione. In C avendo un puntatore possiamo accedere al dato puntato sia in lettura che scrittura tramite la dereferenziazione, ottenuta con la notazione `*`. Posso quindi leggere il valore tramite `a=*b` ed assegnarlo come `*b=a`.

In Rust ovviamente questa operazione è ottenuta tramite due tratti, `Deref` e `DerefMut`, che permettono di eseguire queste due operazioni. Non c'è bisogno di chiamare le funzioni `deref()` o

`deref_mut()`: l'operatore `*` funziona nella stessa identica maniera, ed anzi a volte il compilatore renderà superflua la sua chiamata a seconda dell'analisi statica del codice.

Tuttavia non tutti i puntatori supportano entrambe le operazioni. Di base un oggetto immutabile non esporrà `deref_mut()` ad esempio, ma alcuni tipi potrebbero non aspettarlo affatto. È il caso di `Cell` che essendo progettato per essere usato come estrazione-modifica-reinserimento, esso non espone né `deref` né `deref_mut`.

Va fatto notare che il compilatore di Rust ci viene incontro e ha funzionalità di coercizione della dereferenziazione. Questo significa che se ci dimenticassimo di applicarla ma sarebbe chiaro il nostro intento, esso espanderbbe il codice per ottenere il codice che avevamo intenzione di scrivere. In altre parole un codice del tipo:

```
let mut var : i32 = 0;
var = 10;
```

verrebbe automaticamente adattato dal compilatore come:

```
let mut var : i32 = 0;
*var = 10;
```# Lezione dell'11/05 --
```

**\*\*Questa lezione non l'ho riscritta che mi pare inutile\*\***

Vi sarete accorti sicuramente con tanto di maledizione che il processo di gestione dei crate è un po' complicato. Questo perché il progetto per lui è l'equivalente di qualsiasi altra libreria esterna, o crate.

Con un crate io posso avere due obiettivi, un'eseguibile oppure una libreria. La grossa differenza è abbastanza semplice, nel primo caso voglio qualcosa di eseguibile, nel secondo di libreria.

Supportando entrambe le cose, devo supportare sia librerie statiche che dinamiche e far sì che sia possibile. Notiamo che non ho usato la parola funzione ma libreria.

Nel C, se faccio un programma e lo compilo in modo statico, e uso la `stdio`, dentro l'eseguibile ho già tutto. Il vantaggio è che ho appreso tutto e quindi non devo chiedere nulla al SO, lo svantaggio è che l'eseguibile è più grande.

Di contro posso compilare con le librerie dinamiche, quindi con un'eseguibile più piccolo. Dall'altro lato, l'esecuzione è leggermente più lenta, perché le librerie vengono caricate dinamicamente.

Queste sono differenze importanti per casi reali, ad esempio per sistemi embedded vorrò un'eseguibile statica. In un general purpose invece vorrò che siano dinamiche, perché non ha molto senso visto che il sistema operativo ha già tutto.

Avremo notato che c'è la possibilità di indicare nel toml la sezione `[lib]` che definisce se è una libreria o un'eseguibile. Scrivendo una libreria in Python è possibile che io non possa utilizzarla in C. Questo perché lo strumento con cui le librerie vengono messe in condivisione in modo che siano utilizzabili da tutti.

In termini pratici cambia il debug.

Se decidessimo di fare una libreria C compatibile e la usassimo inizialmente solo in Rust, non ci sarebbero problemi.

Per modulo rust intende sia fisicamente che virtualmente, che all'inizio da un po' di fa. Questo è molto simile al namespace di C++ che è un modo per dare lo stesso nome alle funzioni e variabili. Questo avviene in maniera esplicita utilizzando il nome `mod nome_modulo` oppure in modo implicito.

I moduli permettono di avere sottomoduli che permettono di accedere alle funzioni private. Gestendo la libreria standard anche i tratti sottostanno alle stesse regole. Quando scriviamo un metodo di un qualche tratto lui include usando la `use ...` una variabile o una funzione.

L'altra cosa è che come altri linguaggi, tutto il modulo può essere incluso in un'unica unità. È possibile invece creare sottocartelle con il nome desiderato del nostro modulo da usare.

Chiaramente, c'è una parte `[dependencies]`, quella grazie all'IDE è di facile gestione. Questo perchè anche il nostro eseguibile può essere sottoposto a versioning.

C'è una parte di `edition`.

Questo perchè quella sorta di gruppo di librerie di base è definita dalla versione del Rust. Alcune funzioni presenti in una nuova versione potrebbero essere sperimentali in una precedente.

# Testing

I test sono i tool che supportano il linguaggio di avere, con l'eseguibile, due blocchi di codice. Il primo è quello che trattiamo, il secondo non lo vedremo che sono i benchmark, che sono per misurare le prestazioni.

Per il C il testing è complesso, esistono molti standard per implementare i test spesso in modo diverso.

Il principio è mettere insieme delle funzionalità da eseguire prima della compilazione e poi eseguire.

I test sono tipicamente pensati per dividere il problema in funzioni o funzionalità e poi testarle. L'utilità è duplice, ovvero in fase di produzione e in fase di mantenimento.

Vorrei infatti essere certo di non rompere parti di codice funzionante nel momento in cui si aggiorna.

Un'altro cappello sul test è quello di integrazione.

Qui andiamo a toccare il fatto che un programma non sia composto da un singolo componente ma da molti. Quello che faccio con i test di integrazione non è testare la singola funzionalità ma come interagiscono.

I test di unità in Rust hanno più opzioni.

Posso prendere il mio modulo e riempirlo con la configurazione di `[cfg(test)]`, quindi compilare. Ma quando mi faccio una libreria con tante funzioni e tanti test questo non scala.

Invece possiamo creare una cartella di test, in cui inserire i miei test.

Ricordiamo che i test di unità servono a testare il modulo, quindi un errore comune è compilare e testare.

I test di unità si basano sul richiamare funzioni o funzionalità dalla mia libreria e poi testarle. Queste assert impongono il vero funzionamento del test, quindi cerchiamo di non usare solo assert.

Per eseguire i test è sufficiente richiamare da riga di comando `cargo test`.

Notate che ad esempio su Exercism tutto è organizzato tramite test, che segue lo schema di test.

Spesso e volentieri l'approccio da seguire è di tentare di passare prima i test più semplici.

# Lezione del 23/05 -- Concorrenza I ( LEZIONE TEORICA )

Quando parliamo di esecuzione intendiamo che all'interno di un processo o di un programma ci sono flussi di esecuzione. Questi flussi di esecuzione non per forza si alternano, anzi sono pensati proprio per eseguirli contemporaneamente.

Alla creazione, un processo dispone di un unico flusso di esecuzione, detto thread.

Esso esegue le istruzioni contenute nell'eseguibile da cui viene lanciato, partendo dal punto di ingresso.

La programmazione concorrente è quindi una scelta esplicita del programmatore, in quanto si creano più thread.

Ogni thread esegue un suo flusso indipendente, parte da un punto di ingresso deciso dal programmatore.

La programmazione concorrente è resa possibile dalle funzionalità che il SO espone e dall'hardware. È quindi il classico scenario in cui il SO implementa delle primitive per creare i thread.

Il SO tiene anche traccia dei thread in esecuzione su di una tabella, assieme ad alcune informazioni.

In base al SO può essere un'unica struttura dati, come accade nei sistemi UNIX-like, o

Questi flussi sono solitamente tanti e spetta al SO scegliere quando e quali eseguire, e  
Possiamo immaginare lo scheduler come un oggetto che manipoli due liste, quella dei thread  
Un thread è eseguibile quando è pronto ad iniziare l'esecuzione e sta solo attendendo che

Quando un core del nostro processore è disponibile, lo scheduler pesca un thread e lo mette  
Essi resteranno in esecuzione per un tempo definito di tempo, detto *\*quantum\**, al termine  
Più tardi verrà rimesso in esecuzione.

La posizione in cui thread in esecuzione viene riposto nella lista è soggetta a vari fattori

Un thread interrotto e in seguito ripreso continua l'esecuzione esattamente da dove era

L'allocazione di un thread su una CPU può e deve essere delegata al SO, ed in questo caso  
Si parla invece di Green Thread quando questi thread sono schedulati da una virtual machine  
Questo perché le VM simulano il multi-threading senza supporto del SO e sono gestiti ne

Il funzionamento dei thread varia a seconda del SO.

Per quanto funzionalmente le differenze siano minime, alcuni accorgimenti vanno fatti ne

Le funzioni messe a disposizione per i thread solitamente accettano come parametro un f  
Possono opzionalmente accettare anche uno stack, in quanto ogni thread ha un suo stack c

Le funzioni di creazione dei thread ritornano solitamente un handle, che ci serve per f  
Ogni thread è univocamente identificato tramite un ID, detto TID.

Inoltre spesso sono presenti funzioni per permettere a un thread di attendere il verifi

Il passaggio da non eseguibile ad eseguibile non implica che il thread verrà eseguito s

Tramite la concorrenza possiamo sovrapporre operazioni più lente con operazioni più vel

Valutando l'ipotesi di impiegare i thread nel nostro programma, dobbiamo chiederci se i

Un altro motivo per la concorrenza è, se vogliamo, di natura storica.

UNIX originariamente non aveva il concetto di thread, ma solo di processo, ognuno quindi  
Anche operazioni comuni, come ``ls | grep ... | sed ...`` creavano quindi ognuna il suo p

Il primo problema che si riscontra passando da un contesto a singolo flusso di esecuzione  
A questo va aggiunto che spesso nelle architetture moderne la lettura da memoria raramen

Due o più thread in esecuzione all'interno di un processo possono spesso proseguire sen  
L'utilità di avere computazioni parallele è spesso proprio quella di poter scomporre il

In genere in un contesto concorrente dobbiamo tentare di garantire tre proprietà:

- Attesa Limitata
  - Un thread messo in attesa di esecuzione non deve poter attendere per sempre
- Visibilità
  - Le operazioni di lettura + modifica di dati comuni non devono poter essere interrotte
- Ordinamento
  - Stabilire le garanzie minime per l'esecuzione nel corretto ordine delle operazioni

I principali errori che si commettono in programmazione concorrente sono proprio quelli

Quando nel contesto di un processo si chiede di creare un thread, il kernel lo inserisce. Esso ha come vincolo che deve essere contiguo, quindi un blocco preallocato per intero. In un processo variabili globali, codice e heap sono condivisi, lo stack no.



Vediamo un esempio di creazione di thread in C++:

```
```C++
void run(std::string msg) {
    for ( int i = 0; i < 10; i++ )
        std::cout << msg << i << std::endl;
}

int main() {
    std::thread t1(run, "aaaa");
    std::thread t2(run, "bbbb");
    t1.join()
    t2.join()
}
```

Questo codice non ha un risultato fisso, infatti sia:

```
aaaa0
aaaa1
bbbb0
aaaa2
...
```

che:

```
bbbb0
aaaa0
bbbb1
aaaa1
```

Sono due possibili output. Anche Rust ovviamente essendo un linguaggio moderno offre un modo idiomatico per creare dei thread:

```
fn run(msg: String) {
    for i in 0..10 {
        println!("{}", msg, i);
    }
}

fn main() {
    let t1 = thread::spawn( || { run("aaaa") } );
    let t2 = thread::spawn( || { run("bbbb") } );
    t1.join().unwrap();
    t2.join().unwrap();
}
```

Una comodità di Rust è che ovviamente il borrow checker ci dà delle garanzie extra sulla correttezza del codice che si va a scrivere, ma l'analisi statica del codice da sola non può identificare tutti i possibili errori di programmazione.

La sincronizzazione è necessaria per evitare il verificarsi delle *race condition*, ovvero comportamenti del codice che dipendono dal modo (in altre parole, dalla sequenza) con cui i thread vengono schedulati, e le si possono superare mediante le operazioni atomiche ormai da anni disponibili su qualunque processore. Il problema delle operazioni atomiche però è che sono molto limitate, spesso ad operazioni molto banali, ed

infatti fungono da pietra angolare metodi di sincronizzazione avanzati. # Lezione del 24/05 – Concorrenza II

Per gestire le problematiche legate alla concorrenza, sia i processori che i SO ci danno delle astrazioni di alto livello, talvolta anche indipendenti dalla piattaforma.

La prima, legata alle caratteristiche dei processori, sono le operazioni atomiche, che operano su tipi primitivi. Abbiamo poi i Mutex, oggetti possedibili da un solo thread per volta che fanno sì che solo chi li possiede possa avanzare in una sezione critica, nome che associamo alle parti di codice che vogliamo possano essere eseguite da un solo thread in un dato istante.

Quando un thread rilascia un mutex, quel che accade è che non solo esso viene reso disponibile, ma il SO va a recuperare altri thread che erano in attesa che esso fosse disponibile per posizionarlo nella lista dei thread eseguibili. Se più thread sono in attesa su un Mutex, la scelta di quale sarà il prossimo non è deterministica.

Si evince subito che un thread che ottiene il possesso di un Mutex senza mai rilasciarlo blocca l'esecuzione di tutti gli altri. In Rust questo processo è difficile accadere in quanto il rilascio di un Mutex è un'operazione automatica.

Un ulteriore strumento sono le Condition Variable. I Mutex infatti realizzano un tipo di attesa binaria, attendendo finché il Mutex non è libero, le Condition Variables invece permettono di attendere anche su espressioni algebriche complesse prima di continuare l'esecuzione.

Esse non vanno a sostituire interamente i Mutex, ma vanno usate in cooperazione con essi per raggiungere lo scopo, anche perché soffrono del problema dei risvegli spuri, ovvero di un thread che viene rimesso in esecuzione anche se la condizione non è verificata.

La creazione tramite libreria standard di un thread in C++ avviene mediante richiamo di `thread` nativi, e fa sì che il thread venga aggiunto alla lista dei thread eseguibili.

All'interno di un oggetto thread troviamo un handle, un riferimento opaco al thread che ci permette di interrogarlo sul suo stato di esecuzione. Questo handle è diverso dal thread id, che è invece solo un identificativo.

Una differenza fra Windows e Linux è ad esempio che mentre in Windows per la gestione dei thread si utilizza un handle, in Linux si utilizza un file descriptor (???)

Bisogna stare particolarmente attenti alle eccezioni lanciate all'interno di un thread in quanto se esse non vengono gestite al loro interno, butteranno giù l'intero processo.

In Rust è possibile far ritornare dei valori ad un thread. Infatti richiamando la funzione `spawn()` per generare un nuovo thread esso ci darà una `JoinHandle<T>`, che al momento della `join` ci darà il valore ritornato dal thread.

I thread in Rust possono essere richiamati direttamente tramite la funzione `thread()`, che esegue la funzione ad essa passata con le varie catture del caso, oppure si può usare un'interfaccia costruita con Builder Pattern per definire altri valori, come il nome del thread o la dimensione del suo stack.

```
use std::thread;
let builder = thread::Builder::new()
    .name("t1".into())
    .stack_size(100_000)
let handler = builder.spawn { || println!("Hello world!") }
```

Indovinate un po'? Anche la concorrenza in Rust è raggiunta mediante i tratti. Essi tuttavia sono spesso tratti Marker o marcatori, ovvero tratti che non implementano realmente una funzionalità ma indicano solo che l'operazione che si vuole eseguire è lecita.

Il tratto `Send` indica che lo scambio fra thread del tipo `T` è sicuro. Questo tratto potrebbe essere implementato dal compilatore se lo ritiene necessario, ma ovviamente essendo un tratto marcatore (`std::marker::Send`) la sua implementazione è nulla, appunto la marchia solo come tale.

La comunicazione fra thread richiede che ci si scambi tipi di dato `T` tale che `T` implementi `Send`, quindi le strutture standard che le implementano non possono essere scambiate, tipo `RC` (ARC invece lo implementa).

Il tratto `Sync` è simile. Più nello specifico, è possibile implementare `Sync` per un tipo `T` se e solo se `&T` implementa `Send`. Questo perché il tratto `Sync` indica tipi di dato per i quali è sicuro scambiarsi le referenze fra thread, da cui il vincolo. Anche questo tratto potrebbe venir implementato implicitamente dal compilatore.

Una conseguenza bizzarra di tale definizione è che `&mut T` è `Sync` nel momento in cui `T` implementa `Sync`. I tipi non `Sync` sono generalmente i tipi di dato che implementano la mutabilità interiore, tipo `Cell` o `RefCell`, in quanto potendo modificare il contenuto (in maniera non atomica) anche solo con una referenza non mutabile, questo comportamento non può essere accettato. Per tornare all'esempio di prima, essendo `&RC` non `Send`, `RC` non può implementare `Sync`.

Per la comunicazione fra processi Rust supporta due modelli: strutture dati condivise fra tutti i thread, sia in lettura che scrittura, e i canali di comunicazione verso uno o più destinatari. Esistono altre possibilità offerte da crate esterni di cui non parleremo qui.

Per condividere una struttura dati, dobbiamo assicurarci che mentre un thread la stia leggendo un altro non vi scriva sopra e ovviamente che non sia possibile più di una lettura contemporaneamente. Per raggiungere questo obiettivo, si utilizzano i `Mutex`.

Un `Mutex` esegue i passaggi logici di `lock()` della risorsa, con eventuale preventiva attesa se un altro thread la stesse usando prima della chiamata, operazioni sulla risorsa successive all'acquisizione del lock, rilascio del lock in modo che altri thread possano accedervi.

Internamente le implementazioni di `lock()` e `unlock()` (in Rust `unlock()` è realizzato come `drop(LockGuard)`) sono realizzate con barriere di memoria, ovvero garantiscono che la cache venga pulita prima delle operazioni in modo da avere dati sempre aggiornati e che i miei cambiamenti siano subito disponibili in memoria principale al momento del rilascio della memoria.

Va fatto notare che i lock non sono funzionalità offerte da un linguaggio ma astrazioni accanto alle API di sistema. In altre parole, se un SO non esponesse queste funzionalità in primo piano, queste sarebbero irrealizzabili.

Se un thread terminasse mentre è in possesso del lock, non sarebbe possibile per gli altri thread acquisire la risorsa e continuare l'esecuzione. Per questo Rust come il C++ segue il paradigma *Resource Acquisition Is Initialization* (RAII). Solitamente per le parole così brevi si omette una lettera dall'acronimo ma sono sicuro che la SIAE si sia lamentata agli sviluppatori di Rust per violazione del marchio.

Stando alla documentazione ufficiale di Rust:

(Image: [../imgs/20220614214956.png](#))

Infatti il concetto dietro questo paradigma è che una risorsa vada inizializzata nel suo metodo costruttore e vada azzerata nel suo metodo distruttore. Rust fa sì che questo paradigma sia rispettato per i lock in un modo molto semplice: per design del linguaggio, una funzione che giunge al termine esegue il `Drop` di tutte le variabili locali, tra cui i lock che nel linguaggio sono delle strutture di tipo `LockGuard<T>`. Al momento del `Drop` di `LockGuard`, viene automaticamente eseguito l'`unlock()` sul `Mutex` cui corrispondono, di fatto assicurandosi che non si possa mai lasciare il `Mutex` bloccato per sempre.

Notiamo ora come il tipo di ritorno di una `lock()` non sia direttamente una `LockGuard` ma una `LockResult`. Questo accade perché in Rust un `Mutex` può essere avvelenato.

Per essere più specifici, un thread che chiama `panic!()` mentre mantiene una `LockGuard` NON esegue il `Drop` di tale `LockGuard`, e come tale rende inutilizzabile il `Mutex`.

Se ciò accade quindi la `lock` ritorna una `LockResult` che contiene un errore, ovvero che il `Mutex` non si sbloccherà mai. Allo stesso modo chiamare la `lock` su un `Mutex` mentre già lo si possiede, causerà un `panic!()`.

`Mutex` non implementa il tratto `Clone`. Per questo motivo, il suo utilizzo tipico è quello di essere avvolto attorno a una referenza ARC, perché dobbiamo scambiarlo fra thread, e poi clonare e distribuire questo ARC tra i vari thread. # Lezione del 25/05 - Concorrenza III

Un'alternativa ai `Mutex` in Rust è rappresentata dagli `RWLock`, che è funzionalmente simile ma con delle differenze interessanti.

I `Mutex` in Rust rappresentano una scelta piuttosto netta che solo una thread per volta possa eseguire le istruzioni successive all'acquisizione del lock. Questo è ottimale quando vogliamo a tutti i corsi costruire una sezione critica, ma non molto efficiente in altri contesti.

Ad sempio, una risorsa può esser letta da più thread contemporaneamente senza rischi di consistenza di dato, sono le letture che vogliamo eseguire in completa esclusione, eppure i `Mutex` limiterebbero anche le letture ad un singolo consumatore.

Gli `RWLock` implementano proprio questa funzionalità, garantendo che molti thread possano leggere contemporaneamente dalla risorsa ma che quando uno tenta di scrivere sarà l'unico a starvi operando sopra.

Per far ciò si utilizzano due funzioni: `read()` e `write()`. Entrambe ritornano una `LockResult` identica a quella vista per i `Mutex`, con tanto di meccanismo di avvelenamento (per questo si usa una `LockResult`) in quanto le scritture potrebbero fallire. (Non perché è insicuro usarle, solo perché praticamente tutto può finire con una chiamata a `panic!()`).

Passiamo infine a discutere dei tipi atomici. Essi sono disponibili solo per i tipi di base, come `i32` o `bool` e simili, e forniscono funzioni per operazioni atomiche come l'incremento/decremento atomico, test-and-test-and-set, test-and-set e test-and-swap.

Tutte queste operazioni hanno come parametro una barriera di memoria che vogliamo andare ad utilizzare le operazioni.

I tipi atomici sono thread safe ma non offrono meccanismi di condivisione esplicita. Come tutti i valori di Rust, sono soggetti alla regola del possessore unico, e quindi per essere condivise hanno bisogno di essere avvolte in un `Arc`. Per offrire queste funzionalità questi tipi, similmente a `Cell`, implementano mutabilità interna, ed è quindi possibile richiamare tali operazioni anche variabili immutabili.

Potremmo con essi realizzare un nostro spinlock come:

```
let spinlock = Arc::new(AtomicUsize::new(1));
let spinlock_clone = Arc::clone(&spinlock);
let thread = thread::spawn( move || {
    spinlock_clone.store(0, Ordering::SeqCst);
});

while spinlock.load(Ordering::SeqCst) != 0 {
    hint::spin_loop(); // è un NOOP macchina
}
thread.join().unwrap();
```

Digressione personale su Ordering::*

Dalla documentazione ufficiale:

(Image: [../imgs/20220614222601.png](#))

Essenzialmente gli enum definiti in `Ordering::` spiegano come verranno riordinate, sia in fase di compilazione che di esecuzione, le istruzioni macchina del nostro codice.

La versione breve è: - `SeqCst`: le istruzioni prima e dopo un'operazione `SeqCst` avverranno esattamente prima e dopo, NO riordino ma costo di esecuzione (invalida le cache) alto - `Acquire` o `Release`: permettono un po' di riordino, sono pensate per essere usate in fase di acquisizione o rilascio dei lock. - `Relaxed`: permette il riordino di tutto ma un'operazione dichiarata come atomica sarà comunque eseguita in modo atomico.

Fine digressione personale

Nelle situazioni in cui ci si vuole fermare fino alla fine di un thread, un `Mutex` non è ottimale, in quanto non permette di interrompere un thread in polling o in busy waiting.

Non sapendo a priori quanto dovrò attendere, per non sprecare tempo di CPU potrei pensare dopo ogni controllo di aggiungere una `sleep()` di durata fissa ma predefinita, ma questo non è un approccio ottimale. In questi casi la soluzione migliore è l'utilizzo di una `Condition Variable`.

Esse sono delle astrazioni dei SO implementate dai linguaggi che permettono di bloccare l'esecuzione fino al raggiungimento di una condizione.

Per mettersi in attesa su una Condition Variable si utilizzerà una funzione `wait()`. Il thread a fare tale chiamata verrà inserito in una lista di thread in attesa (in Rust denominata `parking_lot`) e quando un altro thread noterà che la condizione è esaudita risveglierà uno o più thread in tale lista tramite le funzioni `wake_one()` o `wake_all()`.

Notiamo come sia possibile svegliare più thread anche in un contesto dove vogliamo comunque ottenere una sezione critica. Per questo motivo le `wait()` sono solitamente implementate in un ciclo per verificare che la condizione per cui si è stati svegliati sia ancora valida al risveglio. Tale meccanismo è solitamente raggiunto abbinando un `Mutex` alle `Condvar`. Un altro motivo per fare ciò è che con le Condition Variables possono accadere risvegli spuri:

Supponiamo che il thread principale debba attendere che la condizione di una variabile booleana campi. A quel punto, il codice sarà:

```
let lock = Mutex::new(true);
let cvar = Condvar::new();
let lock_arc = Arc::new(lock);
let cvar_arc = Arc::new(cvar);

thread::spawn(move || {
    let mut started = lock_arc.lock().unwrap();
    *started = true;
    cvar_arc.notify_one();
})

let mut go = lock.lock().unwrap();
while !*go {
    cvar.wait(&mut go).unwrap();
}
```

Notiamo come il controllo `!*go` sia in un loop per i motivi sopra descritti.

Inoltre, non solo è importante che ad una `Condvar` sia sempre associato un `Mutex`, ma è anche importante che vi sia associato **un solo** `Mutex`, altrimenti avremmo problemi di sincronismo.

Se non facessimo questo tipo di controllo in modo esplicito, creeremmo dei bug software difficili da identificare. Capita raramente, ma capita.

Sia C++ che Rust offrono forme di `wait()` più articolate rispetto a queste più semplici, tipo `wait_while()` che accetta per parametro una lambda che viene eseguita ad ogni risveglio per verificare la condizione, che probabilmente è il meccanismo che il nome Condition Variable suggerisce. In Rust quando questa lambda ritorna `true` il thread torna a dormire, altrimenti viene risvegliato.

Esistono infine dei metodi per l'attesa vincolata, vale a dire che permettono di mettersi in attesa per un tempo massimo alla fine del quale il thread continuerà comunque la sua esecuzione. # Lezione del 06/06 – Comunicazione fra Thread

Esistono varie tecniche per comunicare fra thread, inteso come il vero e proprio scambio di informazioni o messaggi a differenza di informazioni di sincronizzazione.

Il principio è quello di implementare un pattern Produttore-Consumatore, dove un thread produce dei dati e li conserva ed un altro li riprende e li consuma.

Questo approccio porta due grosse problematiche. La prima è l'ordinamento, ovvero garantire che i messaggi vengano elaborati nello stesso ordine con cui siano stati prodotti (o con un ordine predefinito). Questa proprietà non è del tutto garantita, perché come vedremo i canali implementano una politica di estrazione dei messaggi a coda, quindi è sicuro che avremo un' estrazione dei messaggi nell'ordine di arrivo ma non una loro elaborazione nell'ordine di arrivo.

L'altro problema è il capire che la comunicazione è terminata e che quindi eventuali ascoltatori possono smettere di attendere nuovi messaggi. Dobbiamo interrogarci anche del caso opposto, quello in cui la

produzione è continua e veloce mentre il consumo dei messaggi non riesce ad essere altrettanto rapida.

Rust mette a disposizione due strumenti per questi casi. Il primo sono i canali, composti da un trasmettitore e un ricevitore. Il trasmettitore implementa il tratto `Clone`, vale a dire che può essere clonato e distribuito fra thread in modo che il creatore del canale possa ricevere messaggi da più fonti, mentre il ricevitore no.

Il ricevitore può ricevere un messaggio, sotto forma di `Result`, il cui campo `Error` indica che il trasmettitore si è disconnesso. Nel caso tipico, dove il trasmettitore viene clonato e distribuito, che tutti i trasmettitori sono stati disconnessi (ricordate di fare `ildrop()` del trasmettitore nel main thread...).

Dall'altro lato la situazione è più o meno simile. Anche la `send` operata sul trasmettitore ritorna una `Result`, ma in questo caso si ottiene errore solo se il nostro ricevitore si è disconnesso. Una sottigliezza sta ad indicare che una `Result` di tipo `Ok` non indica che il dato è stato ricevuto oppure che verrà ricevuto, ma solo che è stato inviato. Dal lato opposto, un `Error` indica che il dato non verrà mai ricevuto in quanto il ricevitore si è disconnesso.

Vediamone un esempio:

```
use std::sync::mpsc;
let (tx, rx) : (i32, i32) = mpsc::channel();

for _ in 0..5 {
    let tx_clone = tx.clone();
    std::thread::spawn( move || {
        tx_clone.send(1).unwrap();
        // drop(tx_clone); automatico
    });
}

drop(tx);

while let Ok(x) = rx.recv() {
    println!("{}", x);
}
println!("All txs are done");
```

Notiamo che eseguiamo manualmente il `drop` del `tx` originale. Questo perchè se così non facessimo, `rx.recv()` rimarrebbe in ascolto perenne, in quanto non tutti i `tx` hanno eseguito il `drop`.

Un'alternativa a questi canali, detti asincroni, sono i `sync_channel`. Si differenziano dai canali appena visti in quanto garantisce che i messaggi vengano estratti nello stesso ordine con cui sono stati inviati (ma qual è l'ordine con cui sono stati inviati?) ed accetta in fase di istanziazione un parametro `bound`. Tale parametro è un `usize` che limita il numero di messaggi in coda, il che significa che una `send` quando in coda vi sono `bound` messaggi già in coda causerà l'attesa fino a quando non si sarà liberato un posto.

Due casistiche particolari sono rappresentate dai valori di 0 e di 1 per il parametro `bound`. Il primo infatti rende il canale un canale di rendez-vous, dove la chiamata a `send` non esegue ritorno fin tanto che sul messaggio inviato non viene eseguita una `recv`, mentre il parametro 1 indica che ad ogni scrittura debba necessariamente alternarsi una lettura.

Passiamo ora dal parlare di thread a parlare di processi. Come forse abbiamo già visto in altri corsi, la comunicazione fra processi è nettamente più difficile della comunicazione fra thread. Lo stesso vale per la coordinazione.

Alcuni problemi non sono possibili da risolvere solo con thread, anzi l'approccio tipico alla parallelizzazione è proprio di aver un processo padre che genera più processi figlio che a loro volta andranno a generare più thread, al fine di sfruttare tutte le capacità hardware del computer.

In ogni SO è presente un Process Control Block, che mantiene informazioni utili al processo non solo in termini di scheduling ma anche di isolamento. Questo perchè in un cambio di contesto è necessario ad esempio salvare i registri della MMU per la protezione degli spazi di indirizzamneto.

Per far cominciare due processi tutti i SO mettono a disposizione dei meccanismi di Inter Process Communication, IPC. Questo richiede che in qualche modo i processi possano condividere fra loro alcune zone di memoria.

Dal punto di vista della parallelizzazione non è detto che un problema debba per forza esser scomposto in thread. Una pratica comune nei web-servers ad esempio è creare un processo per gestire la singola richiesta.

L'API per la creazione di processi in Windows ha molti parametri. La funzione `CreateProcess` non disitngue tra la creazione di un processo interno a un processo o l'avvio di un processo per un programma. Al contrario la `fork()` in Linux non accetta alcun parametro e ha come valore di ritrno un solo identificativo numerico.

Un altro modo per creare processi in Linux è la famiglia di funzioni `exec` che esiste in varie versioni a seconda che il tipo di parametri che gli si voglia passare.

Linux all'atto della duplicazione, nel tentativo di risparmiare memoria, attua meccanismi di Copy on Write. A seconda del processo cui ci si trova, il valore di ritorno cambia. Infatti il padre avrà come valore di ritorno il PID del figlio e il figlio avrà come valore di ritorno 0. Qui Savino ha fatto una battuta? Ragionamento? Sul fatto che a chiedere la duplicazione dei processi in un processo figlio sono i processi genitori, "al limite del filosofico" ha detto. Vabbè.

Anche per terminare un processo le alternative sono molteplici. Sia Linux che Windows espongono delle primitive per terminare un processo, rispettivamente `_exit()` e `ExitProcess()`, che accettano come parametro un univo valore numerico che sarà il valore di ritorno del processo. Questo identificatore serve a notificare altri processi sulla correttezza o meno dell'esecuzione del processo.

Rust permette la creazione di processi con una certa distiznione del SO. Per lanciare un nuovo processo si puo' utilizzare la libreria `Command`, usando sia un builder pattern che un'unica chiamata acon un vettore di elementi che sono il nostro comando.

```
let output = Command::new("ls")
    .arg("-l")
    .arg("-a")
    .output()
    .expect("failed to execute process");

let output = Command::new(["ls", "-l", "-a"])
    .output()
    .expect("failed to execute process");
```

Queste due chiamate sono equivalenti e, a seconda del grado di funzionalità che voglio raggiungere, posso anche abilitare una IPC basata sul piping (operatore `|` in Linux) in modo che ogni processo legga da standard input e legga su standard output, con l'input di un processo e l'output di un altro che sono in realtà la stessa risorsa.

Potrei anche in alcuni contesti due processi figli, il secondo senza controllare che la generazione del primo sia già avvenuta. Questo torna utile nel momento in cui voglia avere due processi indipendenti, come nel caso in cui abbia due algoritmi, uno preciso ma più lento ed uno più veloce ma approssimato. In quel caso se dopo un certo tempo predefinito l'algoritmo preciso non è terminato, accetterò per buona la soluzione approssimata e chiderò l'interruzione del primo figlio mediante `kill <pid>`.

Per quanto riguarda il valore di ritorno, le varie funzioni di `exit` accettano come parametro un identificativo numerico che indica le modalità con cui il processo è terminato. Non siamo obbligati a fare ciò in quanto altre versioni di `exit`, nominalmente le `abort`, non richiedono tale parametro.

Naturalmente sono posisbili anche le `wait`, che sono disponibili in due modalità. La prima è la `wait` casuale, dove non specifico il pid su cui attendere e quindi mi basta che uno degli `N` processi che

ho generato termini per continuare l'esecuzione, mentre la seconda, detta anche `waitpid`, attende che il processo identificato dal `pid` termini.

Infatti la `wait` generica in Linux ci fa gestire due parametri. Il primo, che è il valore di ritorno, è il `pid` del processo che ha terminato l'esecuzione, il secondo, passato come riferimento in memoria, è l'`exit code` del processo che ha terminato.

Sempre su Linux, il valore di ritorno è un intero a 16 bit, poichè composto da due valori a 8 bit. Gli 8 bit meno significativi indicano la modalità di uscita, quindi se tramite `exit` o tramite `abort`, mentre i bit più significativi indicano l'`exit code`. Se gli 8 bit meno significativi non sono tutti 0, vuol dire che il processo è terminato con un errore.

La gestione dell'errore dipende dal SO. Su una piattaforma Windows ad esempio se il padre termina prima del figlio a quest'ultimo viene dato come nuovo padre il processo di init di sistema. Questo comportamento viene anche sfruttato in maniera voluta in modo che un processo termini solo allo spegnimento del computer.

Quando accade il contrario invece, il processo figlio diventa uno zombie, il che significa che la sua esecuzione è stata arrestata e le sue informazioni nella tabella dei processi verranno pulite solo quando il processo padre andrà a raccogliere il suo valore di uscita.

Nelle comunicazioni fra processo la scelta tipica è quella di una comunicazione strettamente binaria e orientata al byte. Una prima per fare ciò è scegliere un numero fisso di byte, e indicare come messaggio una sequenza lunga tale numero di byte, quindi andrò a scrivere e leggere `N` byte per volta.

Questo va bene per tipi di dato semplice ma non per tipi di dato complesso, come esistono in linguaggi di alto livello e in particolar modo in Rust. In questo caso le soluzioni più frequenti si basano sull'utilizzo di standard noti, come XML o JSON. In questi casi il dato viene serializzato e si indica nei primi `N` byte del messaggio la lunghezza del dato serializzato, che è quello che andrà letto.

Le pipe sono flussi di dato unidirezionali, quindi per una comunicazione bidirezionale bisogna avere due pipe tra due processi, e questo crea problemi nella coordinazione tra problemi.

A prescindere dal SO, il concetto di pipe è molto simile. Essi sono funzionalmente simili a dei file, e quindi come tali vanno aperti e chiusi correttamente. È necessario attuare la chiusura manuale di una pipe in quanto altrimenti avremmo la certezza della chiusura del file ma non lo svuotamento del buffer ad essa associata. Infine, teniamo a mente che sono file binari.

Rust permette l'accesso alle pipe in modo leggermente più semplice se paragonato agli standard del C. Nello specifico possiamo definire lo standard input e lo standard output del processo come delle pipe in modo da poter leggere e scrivere su di essi. # Lezione del 07/06 – Networking

Un contesto in cui il multithreading torna utile è quello in cui bisogna utilizzare la connessione di rete. Specifichiamo subito che la comunicazione tramite socket è spesso associata alla comunicazione su rete esterna, ma non è detto che le cose stiano così ed anzi sono molto utilizzate anche per la comunicazione fra processi.

I socket nascono infatti per far cominciare più processi, nello specifico l'intento era mettere in comunicazione processi in esecuzione su due macchine differenti, ma la loro struttura permette di far comunicare processi in esecuzione sulla stessa macchina.

I socket hanno un vantaggio comunicativo rispetto alle pipe, quello di essere bidirezionali. Essi possono comunicare su 3 domini, in realtà riconducibili essenzialmente a due.

Il primo è il dominio applicativo, gestito tramite IP nelle due versioni disponibili, vale a dire IPv4 e IPv6. Quindi in questo modo il discriminante su chi riceve il messaggio sono gli indirizzi di rete.

Ovviamente noi non vogliamo comunicare con un computer in modo generico ma con un processo specifico, e qui ci viene in aiuto l'infrastruttura internet esistente in quanto i protocolli di livello trasporto offrono i numeri di porta per individuare un processo specifico sulla macchina. Questa operazione è svolta dal SO, quindi nel caso tipico dei web-server la porta comune è la porta 80, quindi le richieste in arrivo sulla porta 80 verranno reindirizzate al processo che si occupa di gestire la richiesta.

I socket permettono di definire dei domini applicativi che accompagnano la parte di indirizzamento. Tali domini applicativi sono anche chiamate famiglie di socket.

La prima, usata per la comunicazione sullo stesso computer, sono quelle dette `AF_UNIX` oppure `AF_LOCAL`, dove l'indirizzo può anche essere sostituito da un percorso per puntare un file nel file system. In quel caso faccio riferimento a un file che rappresenta il socket. Questo è come Docker gestisce i suoi container.

Nelle comunicazioni tra socket possiamo distinguere dei ruoli. Un server ad esempio apre un socket e si mette in ascolto su di esso, ma fintanto che non riceve dei messaggi esso non farà nulla, ma attenderà di ricevere una richiesta che, seppur non è scontato sia così, molto probabilmente arriverà da un client.

Gli aspetti che riguardano la sicurezza della comunicazione, non inteso in termini di crittografia ma come garanzia della consegna dei messaggi, dipende da noi. Sta quindi a noi implementare i vari meccanismi di acknowledgement per informare che il messaggio è stato ricevuto. **Commento Personale:** mi sa che stava parlando quando usiamo i socket basati su Datagram, ma Rust ha anche quelli basati su TCP.

Sta quindi a noi implementare i vari meccanismi di acknowledgement per informare che il messaggio è stato ricevuto. **Commento Personale:** mi sa che stava parlando quando usiamo i socket basati su Datagram, ma Rust ha anche quelli basati su TCP.

In Linux l'apertura del socket avviene tramite la funzione `socket` che ritorna un intero che serve per il bind. La funzione `bind` richiede come primo parametro il `socketfd`, il parametro ritornato dalla funzione `socket` che è effettivamente il suo File Descriptor.

La funzione `connect` non supporta eventuali cancellazioni tipiche invece delle varie librerie dei linguaggi ad alto livello. Anche in questo caso bisogna notificare tra i parametri il socket su cui ci si vuole connettere.

Al momento dell'invio dei dati, la `send` è identica alle varie `open`, `write`, etc di file binari in Linux. Questo perché la funzione accetta un `void*` per indicare un puntatore generico a dato. Anche in questo caso ho la possibilità di sapere se il tutto è stato trasferito o meno tramite il valore di ritorno, tipica delle funzioni di scrittura binarie.

Su questo aspetto si costruisce il protocollo. Se il mio messaggio è di 10 byte, e trovo che solo 8 sono state trasferite, sappiamo che c'è stato un errore.

Naturalmente la stessa identica funzionalità la si ottiene in fase di ricezione. Qui come parametri passiamo nuovamente il socket e trovandoci in un contesto di programmazione grezza viene passato un puntatore ad un buffer che non si auto ridimensiona. Quando ho costruito un protocollo orientato al messaggio, il parametro `n` che indicava la dimensione del buffer è esattamente la lunghezza del messaggio.

Posso specificare sia l'invio che la ricezione in modo puntuali. Nelle architetture di cui abbiamo parlato sono presenti un client ed un server. Il server non ha un indirizzo di invio fissato, perché si apre in ricezione. Il che significa che io, che devo gestire le API, devo dare la possibilità di inviare l'informazione specificando l'indirizzo. Questo perché se sono il server, io ricevo tanti messaggi potenzialmente da indirizzi diversi, e devo far sì che la comunicazione di ritorno finisca nel posto giusto.

A ribadire quanto detto finora, poiché non vogliamo perderci niente per strada, potremmo incappare nel classico errore del file mezzo pieno. Ovvero ho dei dati da inviare che non vengono inviati perché il socket viene liberato prima e perdo un pezzo di dato. Forzando la chiusura è come se garantissi il *flush* del socket. Banalmente allora ritroveremmo che se io ho un paradigma RAII messo in pratica, allora quel che io faccio è forzare la chiusura del socket nel distruttore e la sua apertura nella costruzione.

Rust ci consente di gestire i socket che per lui sono solitamente una struttura TCP, stream o listener dipende dal lato dove ci troviamo, e che l'approccio alla programmazione è un pizzico più semplice di quanto visto finora, perché con gli enumeratori sono in grado di gestire facilmente gli IP.

Il listener fondamentalmente modella il server, ovvero il binding e l'accettazione della connessione in ingresso, e che si sia in grado di recuperare la parte di ingresso. Il vantaggio di usare Rust è che usando una `Result` ottengo in un unico blocco sia l'errore che il dato, stando attenti a notare che avendo l'ascolto la durata del processo, l'iteratore non si esaurisce mai.

```
let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:12345")?;

for stream in listener.incoming() {
    match stream {
```

```
Ok(stream) => {
    println!("Connection established!");
    handle_connection(stream);
}
Err(e) => {
    println!("Connection failed: {}", e);
}
}
```

Qui quello che facciamo è metterci in ascolto, che vuol dire usare un indirizzo locale e gestire le richieste una per volta tramite un iteratore.

Quando leggiamo facciamo una cosa particolare. Cercando di estrarre i dati dallo stream, questi dati sono letti come fossero sequenze di byte. Quando eseguiamo una `readline` è come se stessimo leggendo un file grezzo, che permette di capire se la connessione ha effettivamente ha un dato.

Se non ha un dato, quindi la stringa ha size 0, la comunicazione si è interrotta, e posso quindi attendere il prossimo stream.

La connessione del client segue le stesse regole del server, dove troviamo una `wait_timeout`. Esattamente come un problema di sincronizzazione, potrei ritrovarmi in `starvation`. I linguaggi di alto livello offrono queste funzioni con `timeout` perché queste chiamate sono tipicamente bloccanti e si decide che se la connessione non viene stabilita entro un certo lasso di tempo, essa è da considerarsi fallita.