Algoritmi e programmi

Riferimenti:
Alla scoperta dei Fondamenti dell'Informatica, capitolo 3 (paragrafi 3.1, 3.2, 3.3, 3.5) e capitolo 4

Trattamento delle Informazioni

- Informatica = studio sistematico dei *processi* che servono al trattamento delle informazioni o più in generale della definizione della soluzione di problemi assegnati.
  - analisi dettagliata di ciò che serve al trattamento dell'informazione,
  - progetto di una soluzione applicabile alla generazione di informazioni prodotte da altre informazioni,
  - verifica della correttezza e della efficienza della soluzione pensata,
  - manutenzione della soluzione nella fase di funzionamento in esercizio

Informatica e studio di Algoritmi

- “algoritmo”
  - introdotto nella matematica per specificare la sequenza precisa di operazioni il cui svolgimento è necessario per la soluzione di un problema assegnato.
  - Algoritmo & esecutore
- Informatica → studio sistematico degli algoritmi.
  - Il calcolatore è tra tutti gli esecutori di algoritmi (compreso l’uomo) quello che si mostra più potente degli altri e con una potenza tale da permettere di gestire quantità di informazioni altrimenti non trattabili.
- Lo studio dell’Informatica considera quindi il computer come uno scienziato utilizza il proprio microscopio: uno strumento per provare le proprie teorie e, nel caso specifico, verificare i propri ragionamenti o algoritmi.

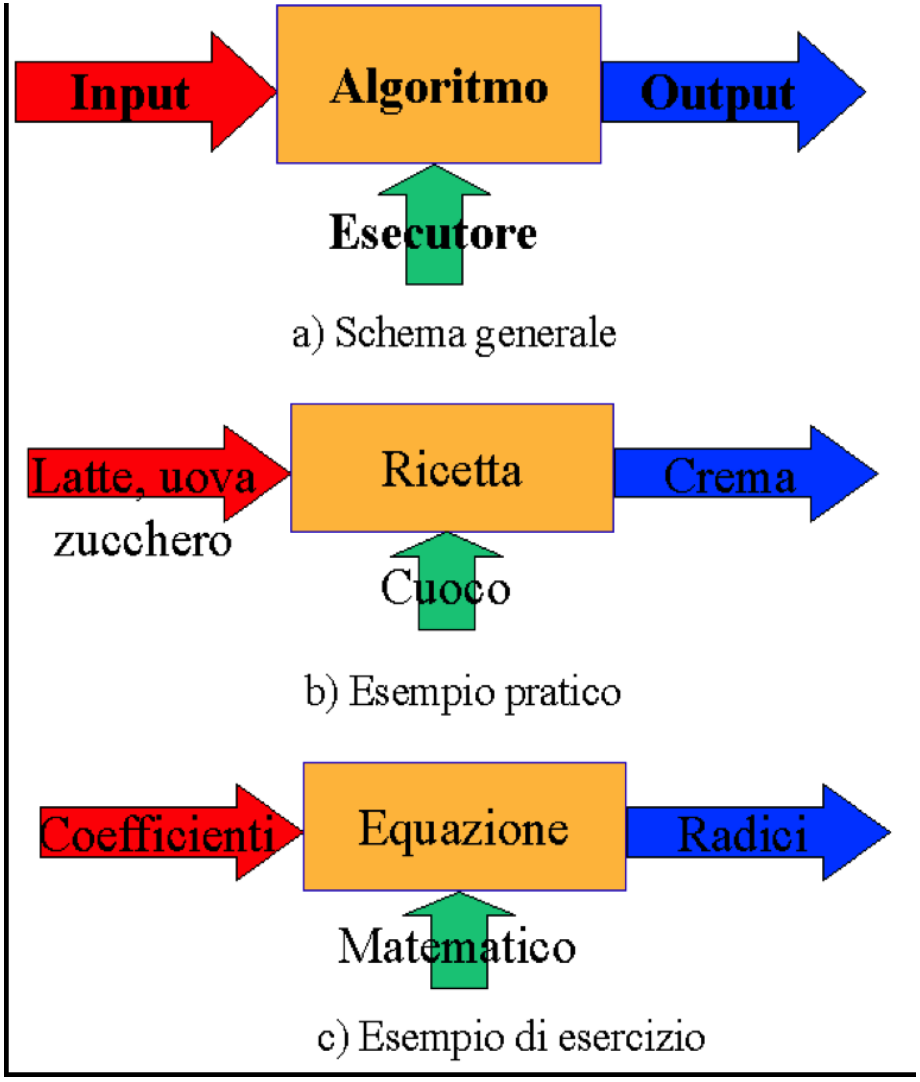
La soluzione dei Problemi: osservazioni

- La descrizione del problema non fornisce, in generale, indicazioni sul metodo risolvente; anzi in alcuni casi presenta imprecisioni e ambiguità che possono portare a soluzioni errate.
  - per alcuni problemi non esiste una soluzione;
  - alcuni problemi, invece, hanno più soluzioni possibili; e quindi bisogna studiare quale tra tutte le soluzioni ammissibili risulta quella più vantaggiosa sulla base di un insieme di parametri prefissati (costo della soluzione, tempi di attuazione, risorse necessarie alla sua realizzazione, etc.)
  - per alcuni problemi non esistono soluzioni eseguibili in tempi ragionevoli e quindi utili.

Alcuni esempi

- **Preparare una torta alla frutta**
  - non si riesce a ricavare alcuna indicazione sulla ricetta da seguire che, tra l'altro, non è facile individuare in un libro di cucina per la sua formulazione generica
- **Risolvere le equazioni di secondo grado**
  - … un noto e semplice problema di analisi matematica per il quale si conosce chiaramente il procedimento risolvente
- **Individuare il massimo tra tre numeri**
  - … un esempio di problema impreciso ed ambiguo in quanto non specifica se va cercato il valore massimo o la sua posizione all'interno della terna dei tre numeri assegnati
- **Calcolare le cifre decimali di Π**
  - …. un problema con una soluzione nota che però non arriva a terminazione in quanto le cifre da calcolare sono infinite
- **Inviare un invito ad un insieme di amici**
  - ….. si può osservare che esistono sia soluzioni tradizionali basate sulla posta ordinaria, che soluzioni più moderne quali i messaggi SMS dei telefoni cellulari o i messaggi di posta elettronica
    - Bisogna quindi scegliere la soluzione più conveniente: ad esempio quella che presenta un costo più basso
- **Individuare le tracce del passaggio di extraterrestri**
  - …. chiaro esempio di problema che non ammette soluzione: o, come si dice, non risolvibile

Schema di soluzione



Algoritmo ed Esecutore

- algoritmo
  - … un testo che prescrive un insieme di operazioni od azioni eseguendo le quali è possibile risolvere il problema assegnato.
  - Se si indica con **istruzione** la prescrizione di una **singola operazione**, allora l'algoritmo è un insieme di istruzioni da svolgere secondo un ordine prefissato;
- esecutore
  - …. l'uomo o la macchina in grado di risolvere il problema eseguendo l'algoritmo.
  - Se un algoritmo è un insieme di istruzioni da eseguire secondo un ordine prefissato, allora l'esecutore non solo deve comprendere le singole istruzioni ma deve essere anche capace di eseguirle.
    - …… una dopo l'altra secondo un ordine rigidamente **sequenziale** che impone l'inizio dell'esecuzione di una nuova istruzione solo al termine di quella precedente, oppure più istruzioni contemporaneamente svolgendole in **parallelo**;
- informazioni di ingresso (anche dette input)
  - … le informazioni che devono essere fornite affinché avvengano le trasformazioni desiderate;
- informazioni di uscita (anche dette output)
  - ... i risultati prodotti dall'esecutore del dato algoritmo.

Algoritmi e automi

- Un algoritmo è fatto di passi in cui avviene una qualche elaborazione, che può essere vista come una funzione:

  Y=F(X)

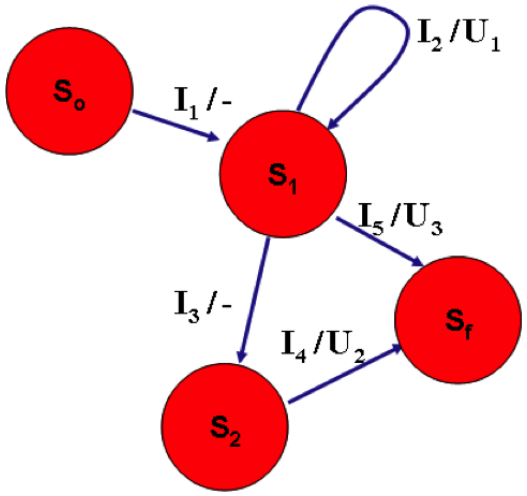
  in cui X sono i dati iniziali da elaborare, Y i dati finali o risultati e F è la regola di trasformazione.
- Una macchina che esegue algoritmi può essere rappresentata in maniera astratta con un **automa a stati finiti**
  - In ogni istante la macchina si trova in una particolare condizione di funzionamento detta **stato**
  - A seconda delle elaborazioni compiute in quello stato e a seconda degli eventuali dati in ingresso, la macchina può passare in un nuovo stato
- **L'automa è uno dei modelli fondamentali dell'informatica**
  - E' applicabile a qualsiasi sistema che evolve nel tempo per effetto di sollecitazioni esterne.
  - Ogni sistema se soggetto a sollecitazioni in ingresso risponde in funzione della sua situazione attuale eventualmente emettendo dei segnali di *uscita*, l'effetto della sollecitazione in ingresso è il mutamento dello stato del sistema stesso.
  - Il sistema ha sempre uno stato iniziale di partenza da cui inizia la sua evoluzione.
  - Può terminare in uno stato finale dopo aver attraversato una serie di stati intermedi.

Automa a Stati Finiti

- Un automa M (a stati finiti) può essere definito da una quintupla di elementi (Q,I,U,t,w) dove:
  - Q è un insieme finito di **stati** interni caratterizzanti l'evoluzione del sistema;
  - I è un insieme finito di sollecitazioni in **ingresso**;
  - U è un insieme finito di **uscite**;
  - t è la **funzione di transizione** che trasforma il prodotto cartesiano Q×I in Q (t: QxI → Q)
  - w è la **funzione di uscita** che trasforma Q×I in U (w: QxI → U).

Rappresentazione a grafo

- Grafo
  - un cerchio per rappresentare gli stati del sistema
  - archi orientati ad indicare le transizioni



$Q = (S_o, S_1, S_2, S_f)$
$I = (I_1, I_2, I_3, I_4, I_5)$
$U = (U_1, U_2, U_3)$

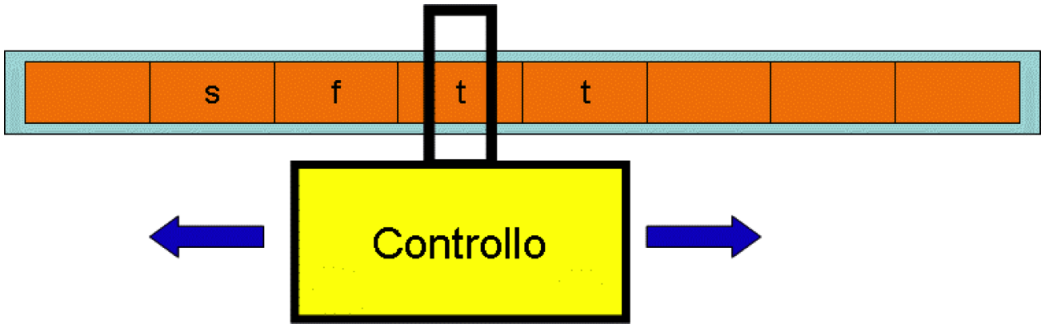
I / S	S_o	S_1	S_2	S_f
I_1	S_1 /-			
I_2		S_1 /U_1		
I_3		S_2 /-		
I_4			S_f /U_2	
I_5		S_f /U_3		

Il Modello di Macchina di Turing

- Il modello di Macchina di Turing è un particolare automa per il quale sono definiti
  - l'insieme degli ingressi e delle uscite come insiemi di simboli
  - è definito un particolare meccanismo di lettura e scrittura delle informazioni.
- È il modello fondamentale della macchina universale, cioè una macchina in grado di realizzare qualsiasi sequenza computabile.
- Il modello permette di **raggiungere risultati teorici sulla calcolabilità e sulla complessità degli algoritmi**.

Macchina di Turing

- E’ un automa con testina di scrittura/lettura su nastro bidirezionale potenzialmente illimitato.
  - Ad ogni istante la macchina si trova in uno stato appartenente ad un insieme finito e legge un simbolo sul nastro.
  - La funzione di transizione, in modo deterministico ..
    - fa scrivere un simbolo
    - fa spostare la testina in una direzione o nell'altra
    - fa cambiare lo stato.
- La macchina si compone di:
  - una memoria costituita da un nastro di dimensione infinita diviso in celle; ogni cella contiene un simbolo oppure è vuota;
  - una testina di lettura scrittura posizionabile sulle celle del nastro;
  - un dispositivo di controllo che, per ogni coppia (stato, simbolo letto) determina il cambiamento di stato ed esegue un’azione elaborativa.



Definizione Formale

- è definita dalla quintupla:

$$(A, S, f_m , f_s, f_d)$$

  - A è l'insieme finito dei simboli di ingresso e uscita;
  - S è l'insieme finito degli stati (di cui uno è quello di terminazione);
  - f_m è la funzione di macchina definita come $A \times S \rightarrow A$;
  - f_s è la funzione di stato $A \times S \rightarrow S$;
  - f_d è la funzione di direzione $A \times S \rightarrow D = \{Sinistra, Destra, Nessuna\}$
- La macchina è capace di:
  - leggere un simbolo dal nastro;
  - scrivere sul nastro il simbolo specificato dalla funzione di macchina;
  - transitare in un nuovo stato interno specificato dalla funzione di stato;
  - spostarsi sul nastro di una posizione nella direzione indicata dalla funzione di direzione.
- **La macchina si ferma quando raggiunge lo stato di terminazione**

Esempio di MdT

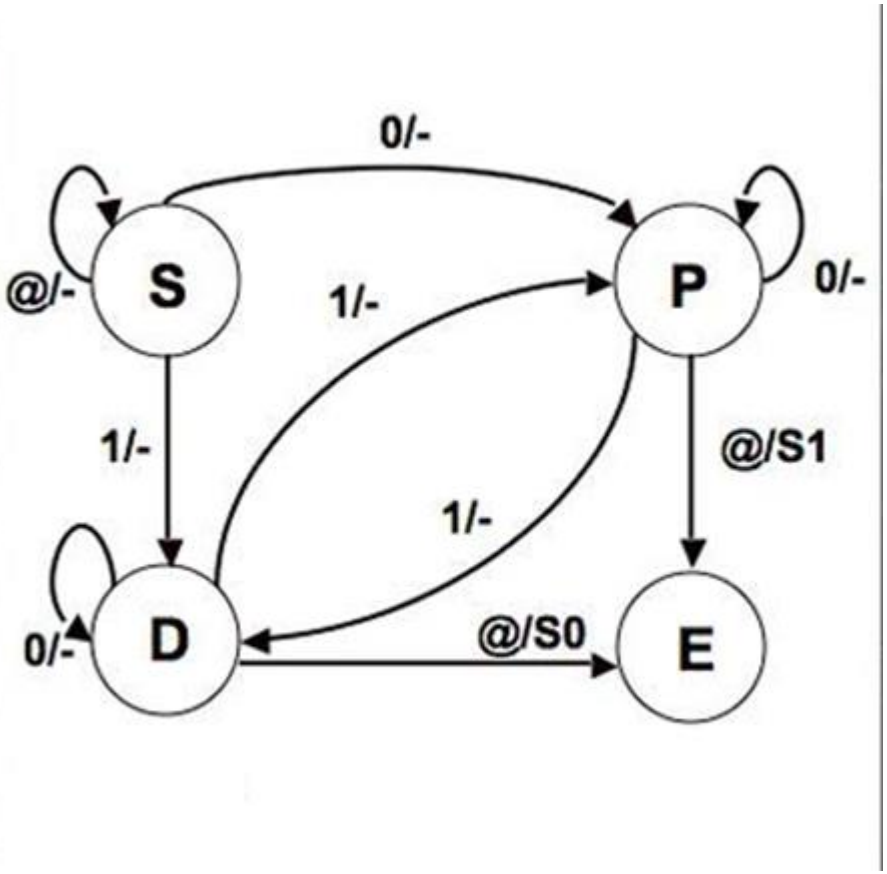
- Costruiamo una macchina che valuti se il numero di occorrenze del simbolo 1 in una sequenza di 0 e 1 è pari.
  - Consideriamo in aggiunta che la sequenza debba iniziare e terminare con un simbolo speciale, ad esempio **@.**
  - **Rappresentazione della sequenza: @0101110@**
  - **Rappresentazione del risultato:**
    - **Numero di 1 pari, la macchina scrive 1 nella prima casella a destra della stringa di ingresso**
    - **Numero di 1 dispari, la macchina scrive 0 nella prima casella a destra della stringa di ingresso**

Progetto del Controllo

- Il dispositivo di Controllo è un automa:
  - **Stati:**
    - **Stato S: stato iniziale in cui la macchina resta fino a quando non individua la stringa di ingresso sul nastro.**
    - **Stato P: il numero di 1 esaminato è pari.**
    - **Stato D: il numero di 1 esaminato è dispari.**
    - **Stato E: la macchina ha eseguito l'algoritmo e si ferma.**
    - **Ingressi1, 0, @**
    - **Uscite**
      - **Spostamento a destra (>), spostamento a sinistra (<), resta fermo (f), scrivi 1 (S1), scrivi 0 (S0)**

Unità di controllo

Quintuple				
$S_{iniziale}$	Leggo	Scrivo	Azione	S_{finale}
S	@	-	>	S
S	1	-	>	D
S	0	-	>	P
P	@	1	f	E
P	1	-	>	D
P	0	-	>	P
D	@	0	f	E
D	0	-	>	D
D	1	-	>	P
E	-	-	f	E



Macchina di Turing e Algoritmi

- Una macchina di Turing che
  - si arresti
  - trasformi un nastro t in uno t'

  rappresenta l'algoritmo per l'elaborazione Y=F(X), ove X e Y sono codificati rispettivamente in t e t'.

- Una macchina di Turing la cui parte di controllo è capace di leggere da un nastro anche **la descrizione dell'algoritmo** è **una macchina universale** capace di simulare il lavoro compiuto da un'altra macchina qualsiasi.
  - … leggere dal nastro la descrizione dell'algoritmo richiede di saper interpretare il linguaggio con il quale esso è stato descritto.

- La **Macchina di Turing Universale** è l'**interprete** di un linguaggio e si può definire per qualunque linguaggio

Tesi di Church e Turing

- **Tesi di Church e Turing**: ***Non esiste alcun formalismo, per modellare una determinata computazione meccanica, che sia più potente della Macchina di Turing e dei formalismi ad essi equivalenti***.
  - Ogni algoritmo può essere codificato in termini di Macchina di Turing ed è quindi ciò che può essere eseguito da una macchina di Turing.
  - Un problema è non risolubile algoritmicamente se nessuna Macchina di Turing è in grado di fornire la soluzione al problema in tempo finito.
  - Se dunque esistono problemi che la macchina di Turing non può risolvere, si conclude che esistono algoritmi che non possono essere **calcolati**.
- Sono problemi **decidibili** quei problemi che possono essere meccanicamente risolvibili da una macchina di Turing; sono indecidibili tutti gli altri.

MdT e Von Neumann

- La macchina di Turing e la macchina di von Neumann sono due modelli di calcolo fondamentali per caratterizzare la modalità di descrizione e di esecuzione degli algoritmi.
- La macchina di Von Neumann (1945) fu modellata dalla Macchina di Turing Universale (1936) per ciò che attiene alle sue modalità di computazione.
  - La sua memoria è però **limitata** a differenza del nastro di Turing che ha lunghezza infinita.
  - La macchina di Von Neumann, come modello di riferimento per sistemi non solo teorici, prevede anche la dimensione dell'interazione attraverso i suoi dispositivi di input ed output.

Calcolabilità e Trattabilità

- calcolabilità
  - consente di dimostrare *l'esistenza di un algoritmo* risolvente un problema assegnato ed indipendente da qualsiasi automa
- trattabilità
  - studia la eseguibilità di un algoritmo da parte di un sistema informatico.
- Esistono problemi classificati come risolvibili ma praticamente intrattabili non solo dagli attuali elaboratori ma anche da quelli, sicuramente più potenti, del futuro.
- Sono noti problemi che
  - …. pur presentando un algoritmo di soluzione, non consentono di produrre risultati in tempi ragionevoli neppure se eseguiti dal calcolatore più veloce.
  - ammettono soluzione di per sé lenta e quindi inaccettabile.

Trattabilità e Complessità

- Il concetto di trattabilità è legato a quello di ***complessità computazionale***
  - .. studia i costi intrinseci alla soluzione dei problemi, con l'obiettivo di comprendere le prestazioni massime raggiungibili da un algoritmo applicato a un problema.
- La complessità consente di individuare i problemi risolvibili che siano trattabili da un elaboratore con costi di risoluzione che crescano in modo ragionevole al crescere della dimensione del problema.
- Tali problemi vengono detti trattabili

Spazio e Tempo

- La complessità di un algoritmo corrisponde a una misura delle risorse di calcolo consumate durante la computazione ed è tanto più elevata quanto maggiori sono le risorse consumate.
- Complessità spaziale
  - …. quantità di memoria necessaria alla rappresentazione dei dati necessari all'algoritmo per risolvere il problema;
- Complessità temporale
  - …. il tempo richiesto per produrre la soluzione.

- Le misure di complessità possono essere:
  - statiche
    - se sono basate sulle caratteristiche strutturali (ad esempio il numero di istruzioni) dell'algoritmo e prescindono dai dati di input su cui esso opera.
  - dinamiche
    - se tengono conto sia delle caratteristiche strutturali dell'algoritmo che dei dati di input su cui esso opera

Complessità e dati di input

- Un primo fattore che incide sul tempo impiegato dall'algoritmo è la quantità di dati su cui l'algoritmo deve lavorare
  - il tempo di esecuzione è solitamente espresso come una funzione f(n) della dimensione n dei dati di input.
    - Si dirà, ad esempio, che un algoritmo ha un tempo di esecuzione n^2 se il tempo impiegato è pari al quadrato della dimensione dell'input.
- Da sola la dimensione dei dati di input non basta.
- Il tempo di esecuzione dipende anche dalla configurazione dei dati in input oltre che dalla loro dimensione

Tempo di Esecuzione e configurazione dei dati in ingresso

- analisi del caso migliore
  - … per calcolare il tempo di esecuzione quando la configurazione dei dati presenta difficoltà minime di trattamento.
- analisi del caso peggiore
  - …. per calcolare il tempo di esecuzione quando la configurazione dei dati presenta difficoltà massime di trattamento.
    - Si tratta di un'analisi molto utile, perché fornisce delle garanzie sul tempo massimo che l'algoritmo può impiegare
- analisi del caso medio
  - per calcolare il tempo di esecuzione quando la configurazione presenta difficoltà medie di trattamento

Complessità Asintotica

- Interessa sapere come l'ordine di grandezza del tempo di esecuzione cresce al limite, ossia per dimensioni dell'input sufficientemente grandi quando la funzione *f(n)* tende ai suoi asintoti.
  - Lo studio della condizione asintotica della complessità di un algoritmo permette ulteriormente di trascurare in un algoritmo operazioni non significative concentrando l'attenzione solo su quelle predominanti.
  - dati due algoritmi diversi che risolvono lo stesso problema e presentano due diverse complessità f(n) e g(n), se f(n) è asintoticamente inferiore a g(n) allora esiste una dimensione dell'input oltre la quale l'ordine di grandezza del tempo di esecuzione del primo algoritmo è inferiore all'ordine di grandezza del tempo di esecuzione del secondo.
- La complessità asintotica dipende solo dall'algoritmo, mentre la complessità esatta dipende da tanti fattori legati alla esecuzione dell'algoritmo

Tipi di Complessità

- A seconda della funzione f(n) asintotica, si possono individuare:
- complessità di tipo polinomiale
  - n (lineare)
  - n^2, n^3, $n^{5,}$ ….
- Complessità di tipo esponenziale (o, in generale, Non Polinomiale, NP)
  - 2^n, 3^n , ….

	10	20	30	40	50
n	0,00001 sec	0,00002 sec	0,00003 sec	0,00004 sec	0,00005 sec
n^2	0,0001 sec	0,0004 sec	0,0009 sec	0,0016 sec	0,0025 sec
n^3	0,001 sec	0,008 sec	0,027 sec	0,064 sec	0,125 sec
n^5	0,1 sec	3,2 sec	24,3 sec	1,7 min	5,2 min
2^n	0,001 sec	1,0 sec	17,9 min	12,7 giorni	35,7 anni
3^n	0,059 sec	58 min	6,5 anni	3,855 secoli	200.000.000 secoli

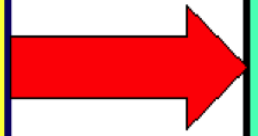
*.. Per un elaboratore capace di eseguire un milione istruzioni al secondo (1 MIPS).

La descrizione degli algoritmi

- Dato un problema …
  - … capire preliminarmente se il problema ammette soluzioni
  - … nel caso ne ammetta, individuare un metodo risolutivo (algoritmo)
  - …. esprimere tale metodo in un linguaggio comprensibile all'esecutore a cui è rivolto

Un esempio: scrivere un algoritmo che corregge gli errori lessicali in un testo

La comne osservazione dela evoluzione del mondo degli elaboratori eletronici non deve trarre in ingano. Difati a dispeto del'evoluzione tecnologicha, l'attivita di programmazione di propone come un'arte che è ben vero che muta, ma che non può non contenere i trati antropomorfi di chi genera i programmi e di chi li utilizza.



La comune osservazione della evoluzione del mondo degli elaboratori elettronici non deve trarre in inganno. Difatti a dispetto dell'evoluzione tecnologica, l'attività di programmazione di propone come un'arte che è ben vero che muta, ma che non può non contenere i tratti antropomorfi di chi genera i programmi e di chi li utilizza.

Soluzione …

```
1       leggi un rigo del testo;
2       per ogni parola del rigo
        fai:
3               se conosci la parola,
                allora controlla come è scritta
                altrimenti fai  una ricerca nel vocabolario
4               se la parola non è riportata in modo corretto
                allora correggila,
5               riscrivi la parola nel testo corretto;
6       ripeti le azioni da 1) a 5)
        fino alla terminazione dei righi del testo.
```

Istruzioni sequenziali e strutture di controllo

- Si usano naturalmente *costrutti* che fissano l'ordine in cui le diverse azioni devono essere svolte.
  - Il più semplice tra essi è quello che stabilisce che le azioni devono essere svolte una dopo l'altra. (**sequenza**)
  - un altro costrutto stabilisce che alcune azioni devono essere svolte solo se si verificano determinate condizioni (**selezione**)
    - la frase "se la parola è sbagliata, allora correggi, altrimenti non fare niente" prescrive la correzione soltanto in presenza di un errore.
  - un ultimo costrutto dice che alcune azioni devono essere ripetute un numero di volte prestabilito
    - ("per ogni parola del rigo fai")

    o determinato dal verificarsi di certe condizioni (**iterazione**)
    - ("ripeti le azioni da 1) a 4) fino alla terminazione del testo")
- In tutti gli algoritmi si possono individuare quindi due classi fondamentali di frasi:
  - quelle che prescrivono la esecuzione di determinate operazioni (istruzioni);
  - e quelle che indicano all'esecutore l'ordine in cui tali operazioni devono essere eseguite (strutture di controllo).

Istruzioni elementari e non

- *Istruzioni:*
  - *elementari* quelle istruzioni che l'esecutore è in grado di comprendere ed eseguire;
  - *non elementari* quelle non note all'esecutore.
- Perché un'istruzione non elementare possa essere eseguita dall'esecutore a cui è rivolta, deve essere specificata in termini più semplici.
- Il procedimento che trasforma una istruzione non elementare in un insieme di istruzioni elementari, prende il nome di *raffinamento o specificazione dell'istruzione non elementare*.
  - Il processo di raffinamento è molto importante. Senza di esso si dovrebbero esprimere gli algoritmi direttamente nel linguaggio di programmazione disponibile

Caratteristiche delle operazioni di un algoritmo

- finitezza:
  - Le operazioni devono avere termine entro un intervallo di tempo finito dall'inizio della loro esecuzione;
- descrivibilità:
  - Le operazioni devono produrre, se eseguite, degli effetti descrivibili, per esempio fotografando lo stato degli oggetti coinvolti sia prima che dopo l'esecuzione dell'operazione;
- riproducibilità:
  - Le operazioni devono produrre lo stesso effetto ogni volta che vengono eseguite nelle stesse condizioni iniziali;
- comprensibilità:
  - Le operazioni devono essere espresse in una forma comprensibile all'esecutore che deve eseguirle.

Sequenza Dinamica

- L'esecuzione di un algoritmo da parte di un esecutore si traduce in una successione di azioni che vengono effettuate nel tempo.
  - Si dice che l'esecuzione di un algoritmo evoca un processo sequenziale, cioè una serie di eventi che occorrono uno dopo l'altro, ciascuno con un inizio e una fine identificabili.
  - Si definisce *sequenza di esecuzione* la descrizione del processo sequenziale. La sequenza di esecuzione è l'elenco di tutte le istruzioni eseguite, nell'ordine di esecuzione, e per questo motivo viene anche detta sequenza dinamica.

Dipendenza della sequenza dall'input

Calcolo $d = \sqrt{b^2 - 4ac}$

Calcolo la prima radice come $x_1 = \dfrac{-b + d}{2a}$

Calcolo la seconda radice come $x_2 = \dfrac{-b - d}{2a}$

Calcolo $\Delta = b^2 - 4ac$

Se $\Delta \geq 0$ allora

    Calcolo $d = \sqrt{\Delta}$

    Calcolo la prima radice come $x_1 = \dfrac{-b + d}{2a}$

    Calcolo la seconda radice come $x_2 = \dfrac{-b - d}{2a}$

Altrimenti

    Calcola radici complesse

Esistenza di più sequenze di esecuzione

… 2 sequenze

Calcolo $\Delta = b^2 - 4ac$

Verifico che $\Delta \geq 0$ *è risultata vera*

Calcolo $d = \sqrt{\Delta}$

Calcolo la prima radice come $x_1 = \dfrac{-b + d}{2a}$

Calcolo la seconda radice come $x_2 = \dfrac{-b - d}{2a}$

Calcolo $\Delta = b^2 - 4ac$

Verifico che $\Delta \geq 0$ *è risultata non vera*

Calcolo radici complesse

Il solitario del carcerato: esempio

Fintantoché (il mazzo ha ancora carte) ripeti:
    Mischia le carte
    Prendi 4 carte dal mazzo e disponile sul tavolo di gioco
    Se (le 4 carte hanno la stessa figura) allora levale dal tavolo di gioco

Mischiate le carte
Prese le 4 carte dal mazzo e messe sul tavolo di gioco
Verificato che (le 4 carte hanno la stessa figura) è risultata vera
Tolte le 4 carte dal tavolo di gioco

Esempio del caso migliore

Mischiate le carte
Prese le 4 carte dal mazzo e messe sul tavolo di gioco
Verificato che (le 4 carte hanno la stessa figura) *è risultata falsa*
Mischiate le carte
Prese le 4 carte dal mazzo e messe sul tavolo di gioco
Verificato che (le 4 carte hanno la stessa figura) *è risultata vera*
Tolte le 4 carte dal tavolo di gioco

Vero al secondo tentativo

… solitario … sequenze

Vero all'n-esimo tentativo

```
ripetuto n-1 volte
        Mischiate le carte
        Prese le 4 carte dal mazzo e messe sul tavolo di gioco
        Verificato che (le 4 carte hanno la stessa figura) è risultata falsa
Mischiate le carte
Prese le 4 carte dal mazzo e messe sul tavolo di gioco
Verificato che (le 4 carte hanno la stessa figura) è risultata vera
Tolte le 4 carte dal tavolo di gioco
```

```
ripetuto infinite volte
        Mischiate le carte
        Prese le 4 carte dal mazzo e messe sul tavolo di gioco
        Verificato che (le 4 carte hanno la stessa figura) è risultata falsa
```

Non si verifica mai

- Un algoritmo può prescrivere più di una sequenza di esecuzione.
- Se poi l'algoritmo prescrive un processo ciclico, può accadere che il numero di sequenze sia infinito. In questo caso l'algoritmo prescrive un processo che non ha mai termine.

Sequenza Statica e Dinamica

- In un programma
  - … descrizione dell'algoritmo in un linguaggio di programmazione

  la sequenza lessicografica (anche chiamata *sequenza statica*) delle istruzioni
  - …. descrizione delle azioni da svolgere nel linguaggio di programmazione

  descrive una *pluralità di sequenze dinamiche* differenti.
- Il numero di sequenze dinamiche non è noto a priori e dipende dai dati da elaborare.
- La valutazione sia del tipo che del numero delle sequenze dinamiche è di fondamentale importanza per valutare soluzioni diverse dello stesso problema in modo
  - da poter dire quale di esse presenta un tempo di esecuzione migliore
  - da poter affermare se una soluzione ha terminazione o meno.

Linguaggio di Programmazione

- Il linguaggio di programmazione è una **notazione formale** per descrivere algoritmi e, come ogni linguaggio, è dotato di un **alfabeto, un lessico, una sintassi ed una semantica.**
- L'aspetto formale del linguaggio si manifesta soprattutto nella presenza di **regole rigide** per la composizione di programmi a partire dai semplici caratteri dell'alfabeto.
  - L'insieme di queste regole costituisce la **grammatica del linguaggio**.
- Un limitato insieme di regole definisce la **struttura lessicale** del programma
  - .. o unità elementari, cioè le parole del linguaggio.
  - Il lessico, quindi, permette di strutturare l'insieme limitato dei caratteri dell'alfabeto nel vocabolario.
- L'organizzazione delle parole in frasi è invece guidata da regole che compongono la **sintassi del linguaggio**.
- Infine l'attribuzione di un significato alle frasi è oggetto delle **regole semantiche**.

Programmazione Strutturata

- Il ruolo degli algoritmi è fondamentale se si pensa che **essi sono indipendenti sia dal linguaggio** in cui sono espressi sia dal **computer che li esegue**.
- Si pensi ad una ricetta per una torta alla frutta:
  - il procedimento è lo stesso indipendentemente dall'idioma usato;
  - la torta prodotta (dovrebbe ☺ …) è la stessa indipendentemente dal cuoco.

La progettazione degli algoritmi

- Il progetto degli algoritmi è una onerosa attività intellettuale
  - …. molto più onerosa di quella di esprimere l'algoritmo con un linguaggio di programmazione

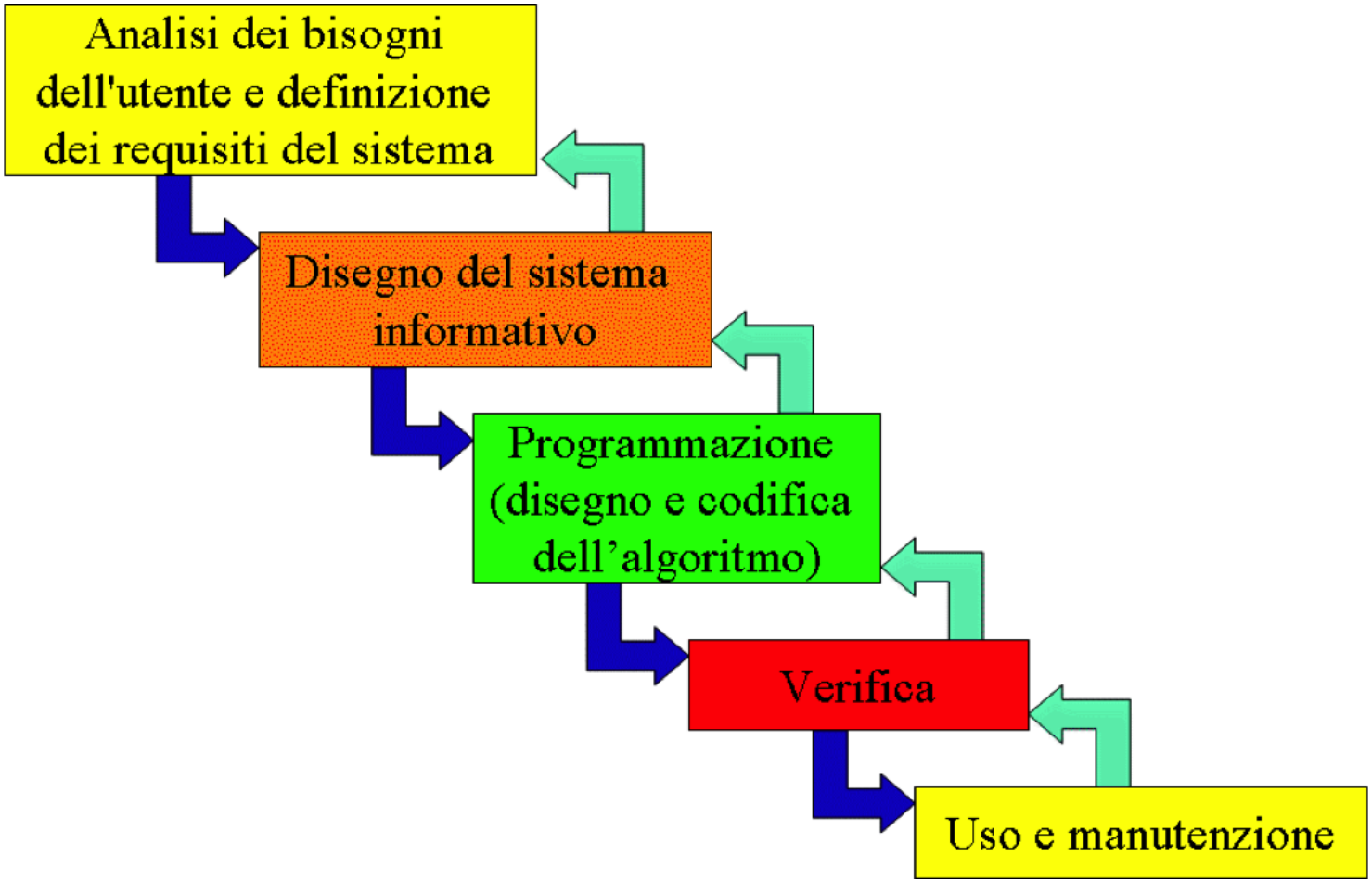
  che richiede **creatività ed intuito**.
- Non esiste un algoritmo per il progetto degli algoritmi!
- Valutazione della complessità della soluzione individuata:
  - se ci sono algoritmi diversi per descrivere lo stesso processo:
    - la *complessità* ci dice quale di essi è migliore, ossia quale viene eseguito nel minor tempo con la minima occupazione di memoria, più in generale con il miglior utilizzo di tutte le risorse disponibili.
    - lo studio della *correttezza* ci consente di valutare l'aderenza della soluzione alle specifiche del problema.
      - Essere sicuri della correttezza è un'attività tanto più complessa quanto più complesso risulta il progetto dell'algoritmo.

L’Ingegneria del Software

- Ai fini di una produzione industriale di qualità è necessario evitare di produrre software in base alle esperienze e/o alle iniziative del programmatore:
  - il processo di produzione del software non può essere un processo di tipo artigianale
    - Ad esempio, negli anni '60 il programmatore usava mille trucchi per risparmiare memoria!

    deve invece servirsi di **metodologie e tecniche sistematiche** di progettazione e programmazione con fissati parametri di qualità e in maniera standard.
- La "***software engineering***" (ingegneria del software) è la branca dell'Ingegneria Informatica che raccoglie il patrimonio di metodi e tecniche per la produzione del software.

Il ciclo di vita del software



Dal Linguaggio Macchina …

- Il linguaggio *più semplice* è quello che è direttamente compreso dalla CPU.
  - E' detto ***linguaggio macchina*** per evidenziare il suo stretto legame con l'hardware.
- E' difficile programmare in linguaggio macchina
  - …. gran numero di comandi per singole istruzioni
  - …. istruzioni espresse sotto forma di sequenze di 0 e 1

- I **linguaggi assemblativi**
  - … pur mantenendo uno stretto legame con le potenzialità offerte dal linguaggio macchina,

    sostituiscono alle sequenze di bit dei codici mnemonici più facili da interpretare e ricordare.
- I linguaggi macchina e assemblativi sono anche comunemente detti linguaggi di basso livello, in quanto si pongono al livello della macchina

… ai linguaggi di alto livello

- **Linguaggi di Alto Livello**
  - linguaggi di programmazione che, con istruzioni più sintetiche
    - *ossia con istruzioni più vicine al tradizionale modo di esprimere i procedimenti di calcolo da parte di un essere umano*,
  - rendono l'attività di programmazione più semplice;
  - Fanno uso di uno *pseudo-linguaggio umano*, utilizzando per il loro scopo *parole-chiave* o *codici operativi* ispirati quasi esclusivamente alla lingua inglese.

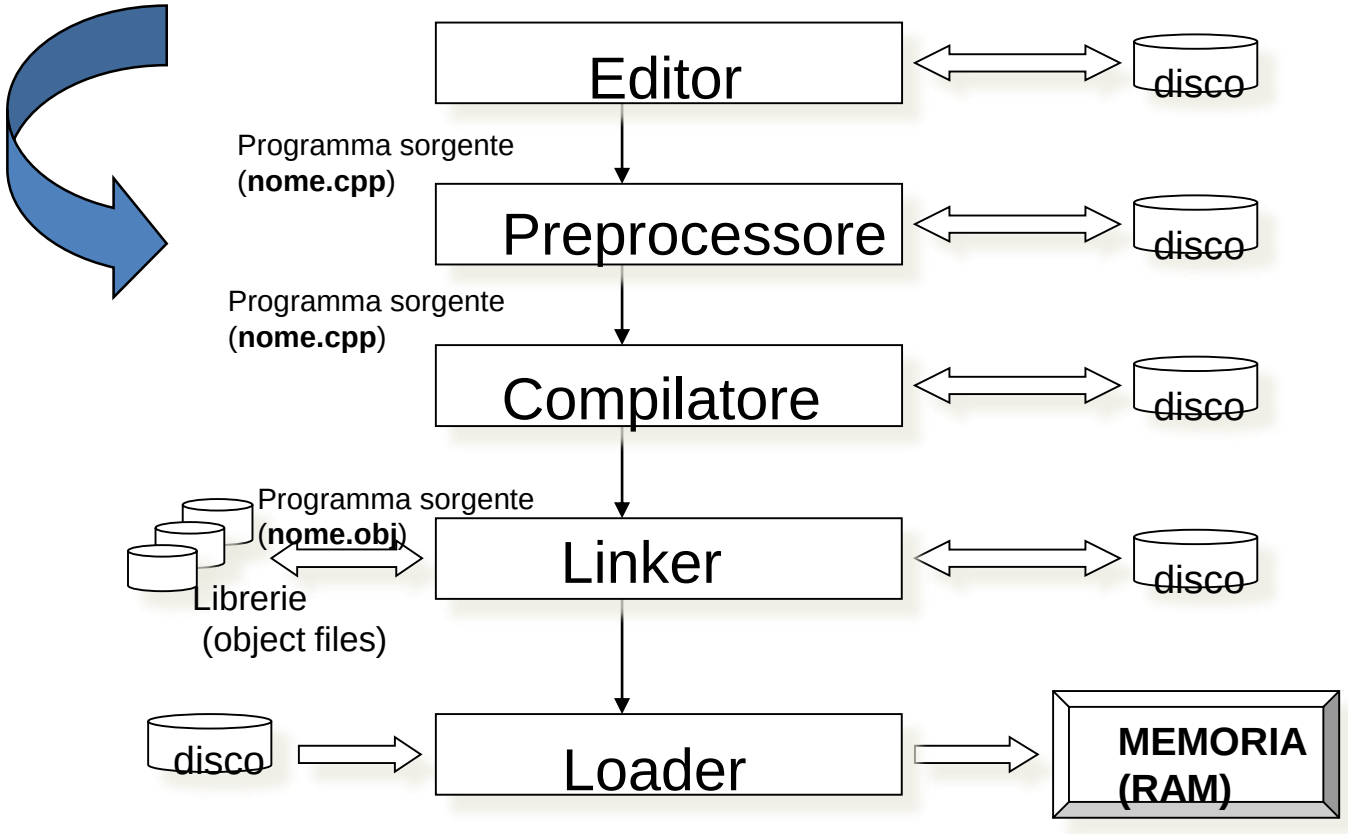
Assemblatori e Compilatori

- Un *programma assemblatore* (o assembler) è un programma che effettua la traduzione dalla rappresentazione simbolica in linguaggio assembler alla rappresentazione binaria in linguaggio macchina
- Il principio usato nella formulazione degli assemblatori è stato seguito per definire i *compilatori di alto livello*
  - La compilazione può prevedere una traduzione diretta verso il linguaggio macchina oppure richiedere un passo intermedio di generazione di codice assembly

Il linker e il loader

- Dopo il processo di traduzione ad opera del compilatore/assemblatore, che trasforma il programma sorgente in *programma oggetto*, il *linker* effettua i collegamenti tra il modulo oggetto prodotto ed eventuali altri moduli e sottoprogrammi di libreria e genera un *programma eseguibile* (EXE)
- Il programma eseguibile viene caricato in memoria da un programma *loader* (che fa parte del sistema operativo) e passato in esecuzione

Ciclo di Sviluppo di un programma in C++



preparazione del testo origine

… il testo origine viene digitato mediante un editor e viene memorizzato in un file con estensione ***cpp***

precompilazione

… il testo origine (sorgente) contenuto nel file “ .***cpp***” viene elaborato da un programma detto preprocessore (o precompilatore) che sostanzialmente esegue l’espansione del codice (inclusioni, macro, etc.)

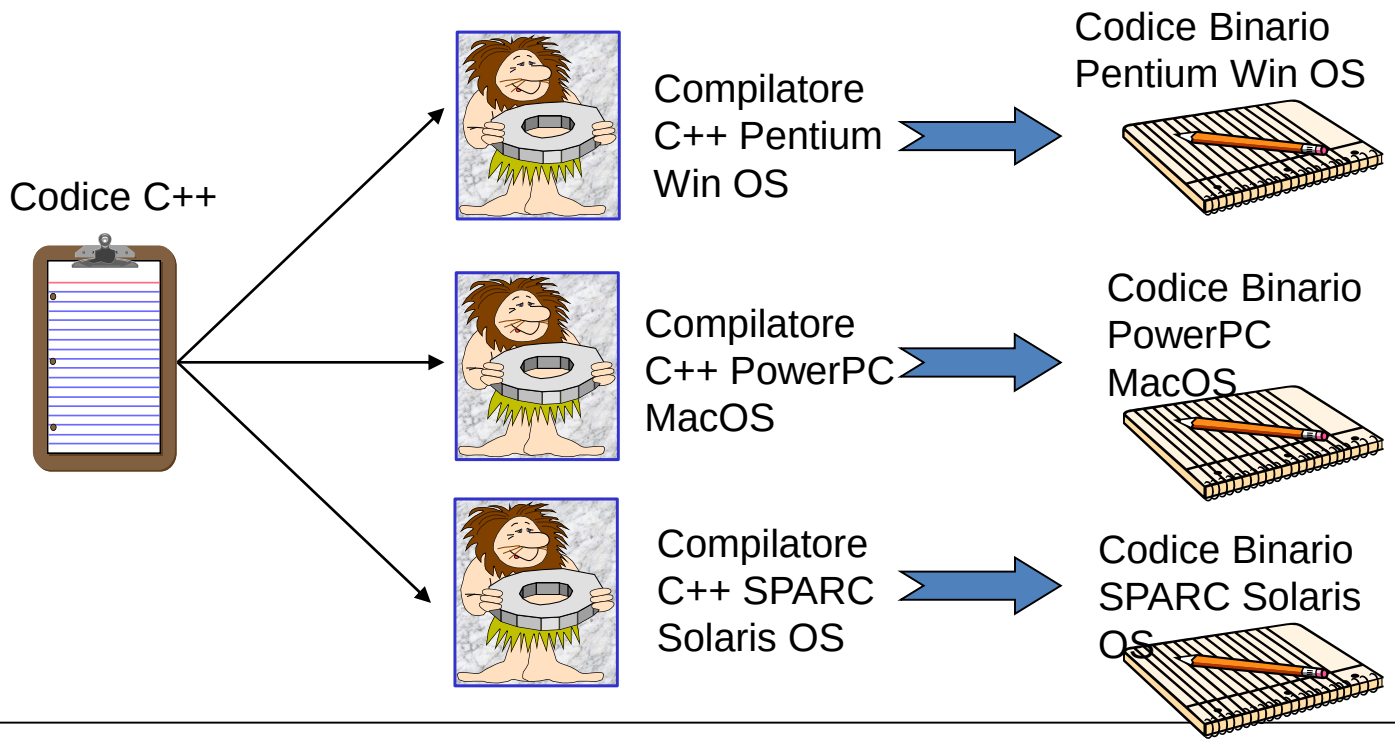
compilazione delle unità

… le unità del programma vengono compilate mediante l'attivazione del compilatore; il testo origine verrà trasformato in testo **oggetto** e memorizzato in un file con estensione ***.obj***

collegamento (linkage)

… i diversi moduli oggetto costituenti il programma eseguibile vengono collazionati fra loro (*p1.obj,…, pn.obj*) e con il **supporto al tempo di esecuzione** mediante un modulo collegatore (***linker***). Il tutto viene memorizzato in un file che costituisce il programma eseguibile (*p.exe*)

Ciclo di sviluppo di un programma in C++



@@@ I programmi C++ (compilati) funzionano su tutti i sistemi di una determinata architettura