

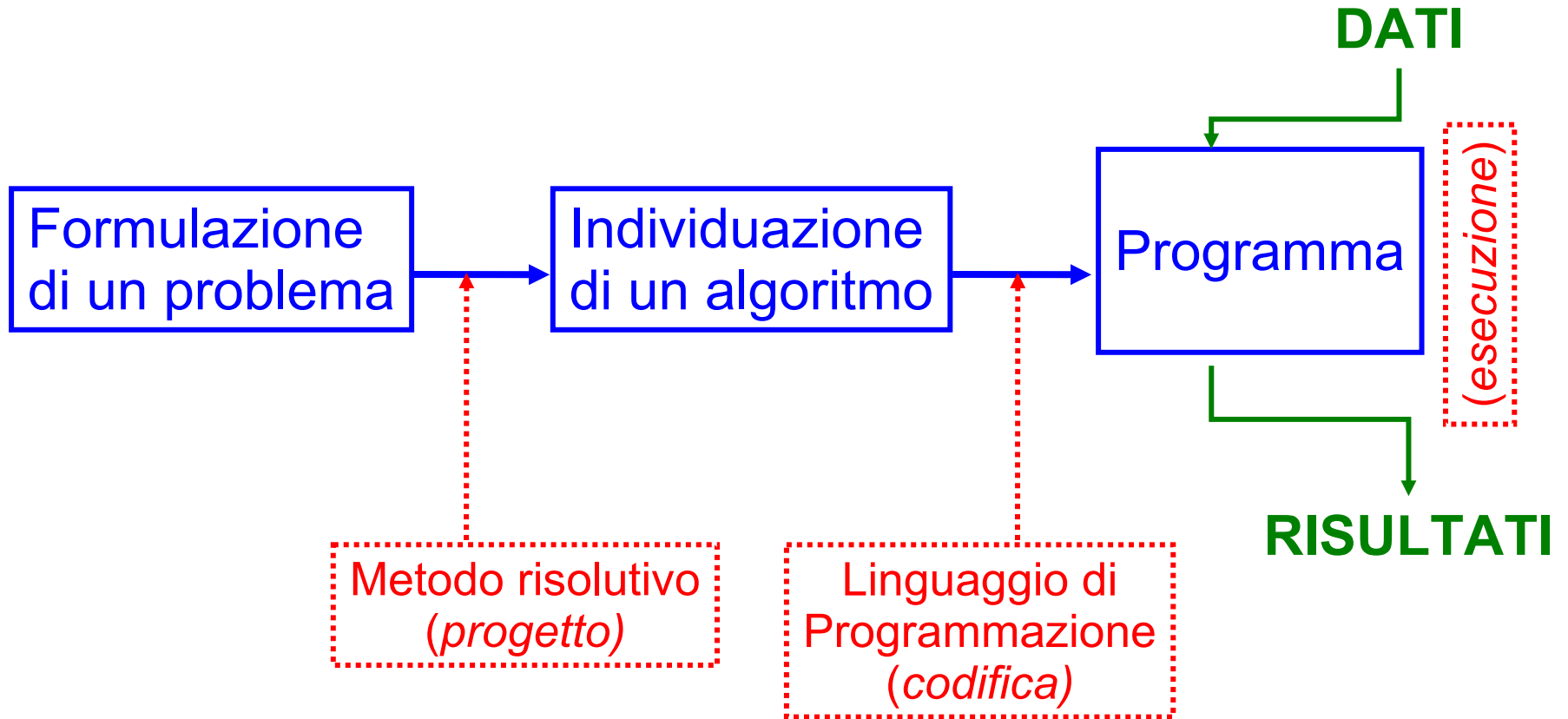
Capitolo 19

Algoritmi e programmi,
linguaggi a basso ed alto livello,
traduttori e compilatori,
ambienti di sviluppo



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

Dal problema al programma



Proprietà di un algoritmo 1/3

- **Eseguibilità:** ogni azione deve essere *eseguibile* da parte dell'esecutore dell'algoritmo in un tempo finito
- **Non-ambiguità:** ogni azione deve essere *univocamente interpretabile* dall'esecutore
- **Terminazione:** il numero totale di azioni da eseguire, per ogni insieme di dati di ingresso, deve essere finito

Proprietà di un algoritmo 2/3

- Altre proprietà o modi di esprimere quelle già viste:
 - Un algoritmo deve
 - essere *applicabile a qualsiasi insieme di dati di ingresso* appartenenti al dominio di definizione dell'algoritmo stesso
 - essere costituito da operazioni
 - appartenenti ad un determinato insieme di operazioni fondamentali
 - non ambigue, ossia interpretabili in modo univoco qualunque sia l'esecutore (persona o "macchina") che le legge

Proprietà di un algoritmo 3/3

- ALTRE PROPRIETA'
 - Efficienza (proprietà desiderabile)
 - Misurata tipicamente in numero di passi da effettuare o in occupazione di memoria
 - Determinismo
 - Esistono anche algoritmi volutamente non deterministici
 - Allo scopo di raggiungere una maggiore efficienza

Algoritmi equivalenti

- Due algoritmi si dicono equivalenti quando:
 - hanno lo stesso dominio di ingresso
 - hanno lo stesso dominio di uscita
 - in corrispondenza degli stessi valori nel dominio di ingresso producono gli *stessi valori nel dominio di uscita*
- Due algoritmi equivalenti:
 - forniscono lo stesso risultato
 - ma possono avere **diversa efficienza** (numero di passi da effettuare, quantità di memoria occupata)
 - e possono essere profondamente diversi !

Algoritmo e programma

- Ovviamente al variare del linguaggio di programmazione, lo **stesso algoritmo** sarà codificato mediante un **diverso programma**
- Consideriamo per esempio il seguente algoritmo
 - Leggi due numeri interi e stampane la somma
- Il relativo programma sarà diverso a seconda che si usi il C++ o il C

Programma in C++

```
#include <iostream>
using namespace std ;

int main()
{
    int A, B, ris;
    cout<<"Immettere due numeri: ";
    cin>>A;
    cin>>B;
    ris=A+B;
    cout<<"Somma:"<<ris<<endl;
    return 0 ;
}
```


Programma in C

```
#include <stdio.h>
```

```
int main()
```

```
{
```

```
    int A, B, ris;
```

```
    printf("Immettere due numeri: ");
```

```
    scanf("%d", &A);
```

```
    scanf("%d", &B);
```

```
    ris=A+B;
```

```
    printf("Somma: %d\n", ris);
```

```
    return 0 ;
```

```
}
```

Costo computazionale

- L'efficienza in termini di tempo di esecuzione di un algoritmo si può misurare mediante il suo **costo computazionale**, ossia dal numero di passi che deve effettuare per ottenere l'obiettivo per cui è stato definito

Problema

- Purtroppo il numero esatto di passi elementari effettuati da un algoritmo per risolvere un dato problema può variare
 - in base all'insieme di valori di ingresso
 - Magari fino ad una certa dimensione del problema (numero N di elementi su cui si lavora) c'è un certo costo, poi il costo cambia
 - Tipicamente il tempo di esecuzione di un algoritmo può diventare un problema pratico solo quando il numero di elementi su cui l'algoritmo lavora è molto grande
 - ed in funzione di come si è definito l'insieme delle azioni elementari che si possono eseguire
 - Magari per ogni elemento su cui lavora l'algoritmo si effettua concettualmente sempre un solo passo base, ma a seconda di come si realizza il passo base, cambia il numero totale di operazioni

Possibile soluzione 1/2

- Per rendere la cosa esplicita abbiamo bisogno di una notazione che ci permetta di scrivere appunto quanti passi l'algoritmo esegue per ogni elemento, indipendentemente da quante operazioni costituiscono tale passo
- Ad esempio, un algoritmo che fa un passo per ogni elemento, ossia N passi per lavorare su N elementi, ha sicuramente un costo molto conveniente all'aumentare di N !!!
 - Infatti, quasi sempre gli N elementi vanno perlomeno letti in input, quindi N passi sono il numero minimo di passi necessari già solo per leggere i valori in ingresso!

Possibile soluzione 2/2

- Quindi, se avessimo una notazione che ci permetta di scrivere esplicitamente che l'algoritmo fa solo N passi, questo ci permetterebbe di distinguerlo bene, per esempio
 - da un algoritmo che invece deve effettuare N^2 passi in totale
 - Anche se il singolo passo necessario a questo secondo algoritmo fosse costituito da meno operazioni, al crescere di N il primo finirebbe comunque molto probabilmente per rivelarsi più efficiente
 - Capiamo meglio questo fatto con un esempio pratico

Esempio 1/2

- Supponiamo che, dato un certo problema di dimensione N , ossia in cui si deve lavorare su N elementi
 - Un algoritmo lo risolve in N passi, con ogni passo costituito da 20 operazioni elementari
 - Un altro algoritmo lo risolve in N^2 passi, ma con ogni passo costituito solo da 2 operazioni elementari
- Quale algoritmo è più veloce se N è molto grande?
 - Ossia nei casi in cui la velocità di esecuzione diventa una questione importante
- Per rispondere, consideriamo valori crescenti di N

Esempio 2/2

N	Numero operazioni algoritmo A	Numero operazioni algoritmo B
2	$2 * 20 = 40$	$4 * 2 = 8$
5	$5 * 20 = 100$	$25 * 2 = 50$
10	$10 * 20 = 200$	$100 * 2 = 200$
20	$20 * 20 = 400$	$400 * 2 = 800$
100	$100 * 20 = 2000$	$10000 * 2 = 20000$
...		

Domanda

- Perché dopo un po' il costo del secondo algoritmo supera quello del primo?
 - Nonostante ciascun passo del secondo algoritmo costi di meno
 - Ossia nonostante le costanti in gioco nel secondo algoritmo siano più basse?

Pendenza

- Perché la **pendenza** del secondo algoritmo cresce, con N , più di quella del primo
 - E diventa via via sempre più grande di quella del primo
- Abbiamo proprio bisogno di una notazione che permetta di mettere in evidenza questo fatto
 - Che è il motivo fondamentale che rende il secondo algoritmo peggiore del primo al crescere di N
- Ossia una notazione che ci permetta di concentrarci sulla pendenza, indipendentemente dalle costanti in gioco

Ordine di costo 1/3

- Il concetto che ci serve è quello di ordine di costo
- Ne vediamo una definizione piuttosto informale ed incompleta
 - Perché più semplice
- Vedrete la definizione completa nel corso di [Algoritmi e Strutture Dati](#)

Ordine di costo 2/3

- Per semplificarne ulteriormente la comprensione, vediamo la definizione prima per un caso particolare
 - Dato il numero di elementi N su cui un algoritmo lavora (dimensione del problema), si dice che l'algoritmo ha costo di **ordine $O(N)$** se
 - esiste una costante c tale che
 - il numero di operazioni elementari effettuate dall'algoritmo cresce con una pendenza non maggiore di $c * N$

Ordine di costo 3/3

- La nostra definizione generale (semplificata) dell'ordine di costo di un algoritmo è la seguente:
 - Dato il numero di elementi N su cui un algoritmo lavora (dimensione del problema), si dice che l'algoritmo ha costo di **ordine $O(f(N))$** se
 - esiste una costante c tale che
 - il numero di operazioni elementari effettuate dall'algoritmo cresce con una pendenza non maggiore di $c * f(N)$

Ordini di costo notevoli 1/2

- Ordini di costo polinomiali
 - $O(N)$: l'algoritmo effettua un numero di passi proporzionale al numero di elementi su cui lavora
 - $O(N^2)$: l'algoritmo effettua un numero di passi pari al quadrato del numero di elementi su cui lavora
 - $O(N^i)$: forma generale per l'ordine di costo polinomiale, su problemi di grosse dimensioni ogni volta che i aumenta il tempo di esecuzione diviene enormemente più lungo

Ordini di costo notevoli 2/2

- Ordine di costo esponenziale
 - $O(a^N)$: al crescere di N il tempo di esecuzione dell'algoritmo diviene rapidamente così lungo da renderne impossibile il completamento in tempi ragionevoli
- All'estremo opposto abbiamo:
 - Ordine di costo costante
 - $O(1)$: il numero di passi effettuati dall'algoritmo è **indipendente** dal numero di elementi su cui lavora

Confronto costo algoritmi 1/2

- Ora disponiamo di una misura molto efficace per confrontare il costo computazionale, e quindi l'efficienza degli algoritmi
 - L'ordine di costo permette di astrarre da dettagli che possono nascondere il vero stato delle cose
 - Se un algoritmo A ha un ordine di costo con una pendenza che cresce di più di quella dell'ordine di costo di un altro algoritmo B
 - Allora siamo sicuri che, al crescere di N , l'algoritmo A diventerà più costoso dell'algoritmo B

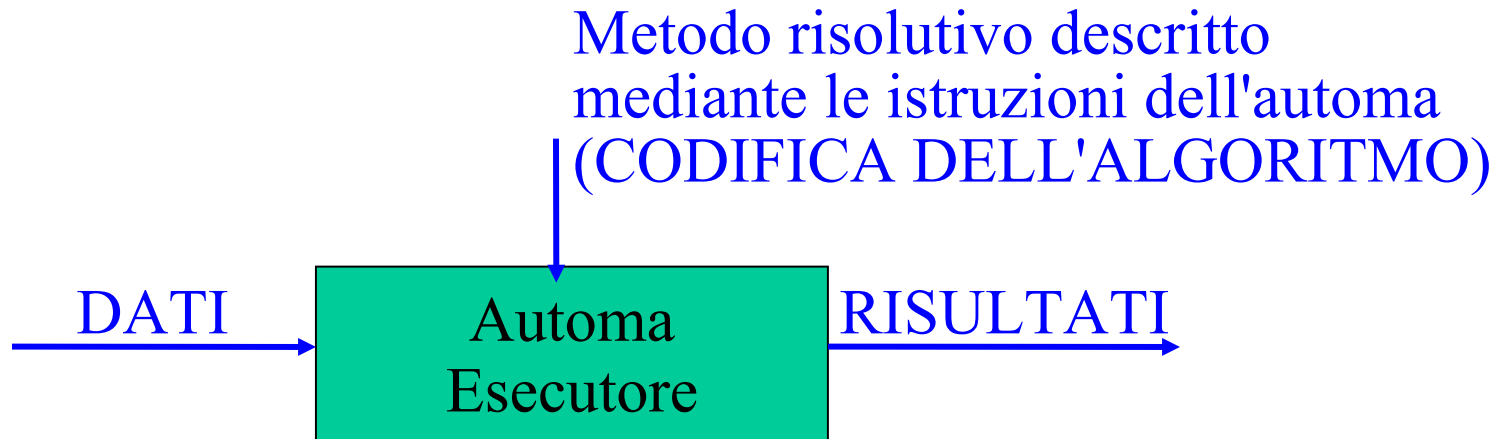
Confronto costo algoritmi 2/2

- Ma bisogna stare attenti
 - Se la dimensione N del problema da risolvere è sufficientemente piccola, allora un algoritmo A di ordine di costo computazionale maggiore di un altro algoritmo B, può comunque avere un tempo di esecuzione minore dell'algoritmo B
 - Ad esempio, considerate di nuovo l'esempio pratico precedentemente visto tra due algoritmi di costo $O(N)$ ed $O(N^2)$ rispettivamente

Esecutore ed istruzioni

- Un algoritmo è di una qualche utilità se esiste un esecutore in grado di eseguirlo
- Un esecutore, spesso chiamato **automa esecutore**, può essere istruito in modo molto efficace per eseguire un algoritmo se
 - 1) Può essere programmato mediante un insieme di istruzioni (che è in grado di eseguire)
 - 2) Tale insieme di istruzioni ha le seguenti caratteristiche:
 - Le istruzioni sono sufficienti per eseguire i passi dell'algoritmo che si vuol fare eseguire a tale esecutore
 - La sintassi e la semantica delle istruzioni sono complete e non ambigue

Automa esecutore 1/2



- Come realizzare l'automa?
 - mediante congegni meccanici
 - macchina aritmetica (1649) di Blaise Pascal
 - macchina analitica di Charles Babbage (1792-1871)
- Mediante un modello matematico (automa astratto)
 - funzionale (Hilbert, (1842-1943), Church, Kleene)
 - operativa (Turing, 1912-1954)
 - sistemi di riscrittura (Post, Markov,...)

Automa esecutore 2/2

- Oppure, come sappiamo, con un dispositivo elettronico digitale
 - PC
 - Smartphone
 - Workstation
 - ...

Linguaggio di programmazione

- Un insieme di istruzioni con le precedenti caratteristiche costituisce come sappiamo un linguaggio di programmazione
- In definitiva, quando programmiamo per esempio in linguaggio C/C++, presumiamo la presenza di un esecutore in grado di eseguire appunto le istruzioni di un programma in linguaggio C/C++

Macchina virtuale

- Concentrandoci ora sull'esecuzione di un programma in C/C++, in effetti noi assumiamo che esista un automa esecutore in grado di
 - eseguire le istruzioni (definizioni, dichiarazioni, istruzioni condizionali e cicliche, ...) del linguaggio C/C++
 - supportare il concetto di variabile, costante con nome, tipo di dato, funzione
- Chiamiamo **macchina virtuale** tale automa esecutore
 - Definiamo virtuale tale macchina perché, come stiamo per vedere, non esiste praticamente nessuna macchina reale (fisica) che abbia tali caratteristiche

Macchina reale: elaboratore

- Dal punto di vista reale invece, abbiamo eseguito i nostri programmi su degli elaboratori elettronici
- Ma dalla seconda lezione abbiamo già imparato che il processore presente in un elaboratore può eseguire solo azioni elementari, individuate mediante l'insieme di istruzioni macchina del processore stesso
 - Tale insieme è noto come linguaggio macchina del processore
 - Un programma in linguaggio macchina è una sequenza di numeri
- In linguaggio macchina non esistono i concetti di variabile, tipo di dato, programmazione strutturata e così via

Linguaggio assembly

- Per poter rappresentare in modo leggibile per un essere umano un programma in linguaggio macchina si utilizza tipicamente un linguaggio chiamato *assembly*
- Dato un linguaggio assembly corrispondente ad un dato linguaggio macchina
 - Per ogni istruzione del linguaggio macchina esiste una corrispondente istruzione nel linguaggio *assembly*
 - In *assembly* tale istruzione non è più individuata da un numero, ma da una stringa
 - tipicamente un nome abbreviato che ricorda lo scopo dell'istruzione stessa

Registri

- Prima di vedere un semplicissimo frammento di codice assembly, ci occorre sapere cosa sono i **registri** di cui è tipicamente dotato un processore
 - Un registro è una speciale cella di memoria (tipicamente di dimensioni maggiori di un byte) interna al processore
- Uno degli scopi di tali registri è contenere gli operandi delle istruzioni aritmetiche
 - Infatti tali istruzioni tipicamente non possono utilizzare direttamente le celle della memoria principale dell'elaboratore come operandi
 - E' quindi spesso necessario copiare prima gli operandi all'interno dei registri

Esempio

- Il seguente frammento di codice scritto in un ipotetico linguaggio assembly semplificato (per un ipotetico processore) realizza le operazioni necessarie per calcolare il risultato dell'espressione aritmetica $2+3$ e memorizzarlo in un registro del processore stesso

```
LDA 3      # memorizza il valore 3
           # nel registro AX
ADD 2      # somma 2 al valore memorizzato nel
           # registro AX
```

Why do Assembly programmers need to know how to swim?

Because they work below C level.

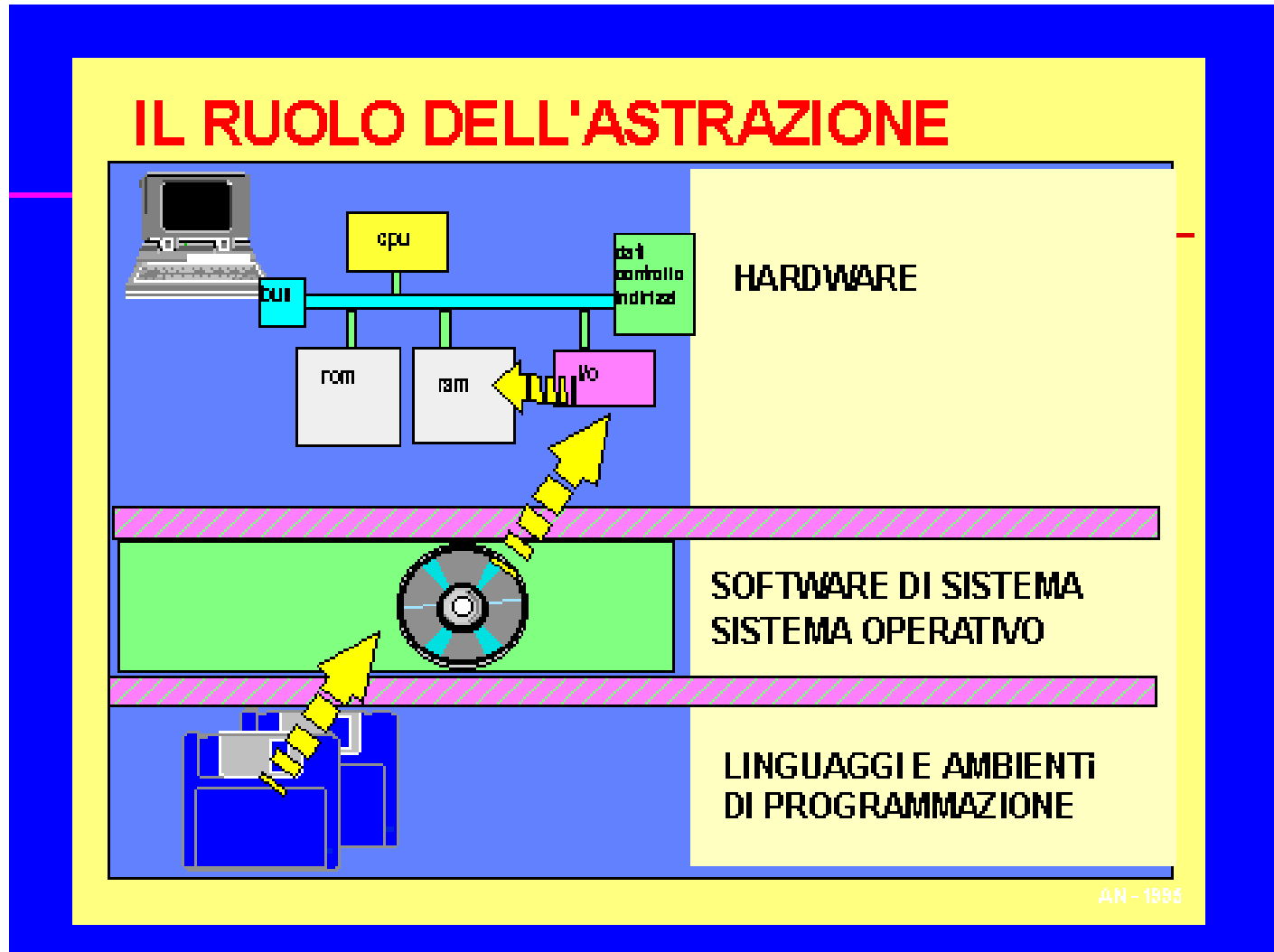
Eseguibilità e portabilità

- Il linguaggio macchina è **il** linguaggio di **un** processore
- Il linguaggio macchina di un dato processore è direttamente eseguibile da un elaboratore basato su quel processore, senza alcuna intermediazione
- Processori differenti hanno linguaggi macchina differenti
- Pertanto, un programma scritto nel linguaggio macchina di un processore non è eseguibile su di un altro processore caratterizzato da un diverso linguaggio macchina!
 - Si dice che non è portabile (ossia non può essere eseguito su piattaforme diverse)

Scelta linguaggio macchina

- Dato l'elaboratore su cui si intende eseguire un certo algoritmo, è una buona idea codificare direttamente nel linguaggio macchina del suo processore tale algoritmo?
 - **SI**, se
 - l'algoritmo è tale da poter essere implementato in tale linguaggio con sufficiente semplicità ed in modo molto efficiente, ed il problema necessita di tale elevata efficienza
 - la portabilità è un obiettivo secondario
 - **NO**, se non ci si trova nella precedente situazione
- Nel secondo caso è molto più efficace lavorare ad un più alto *livello di ASTRAZIONE*

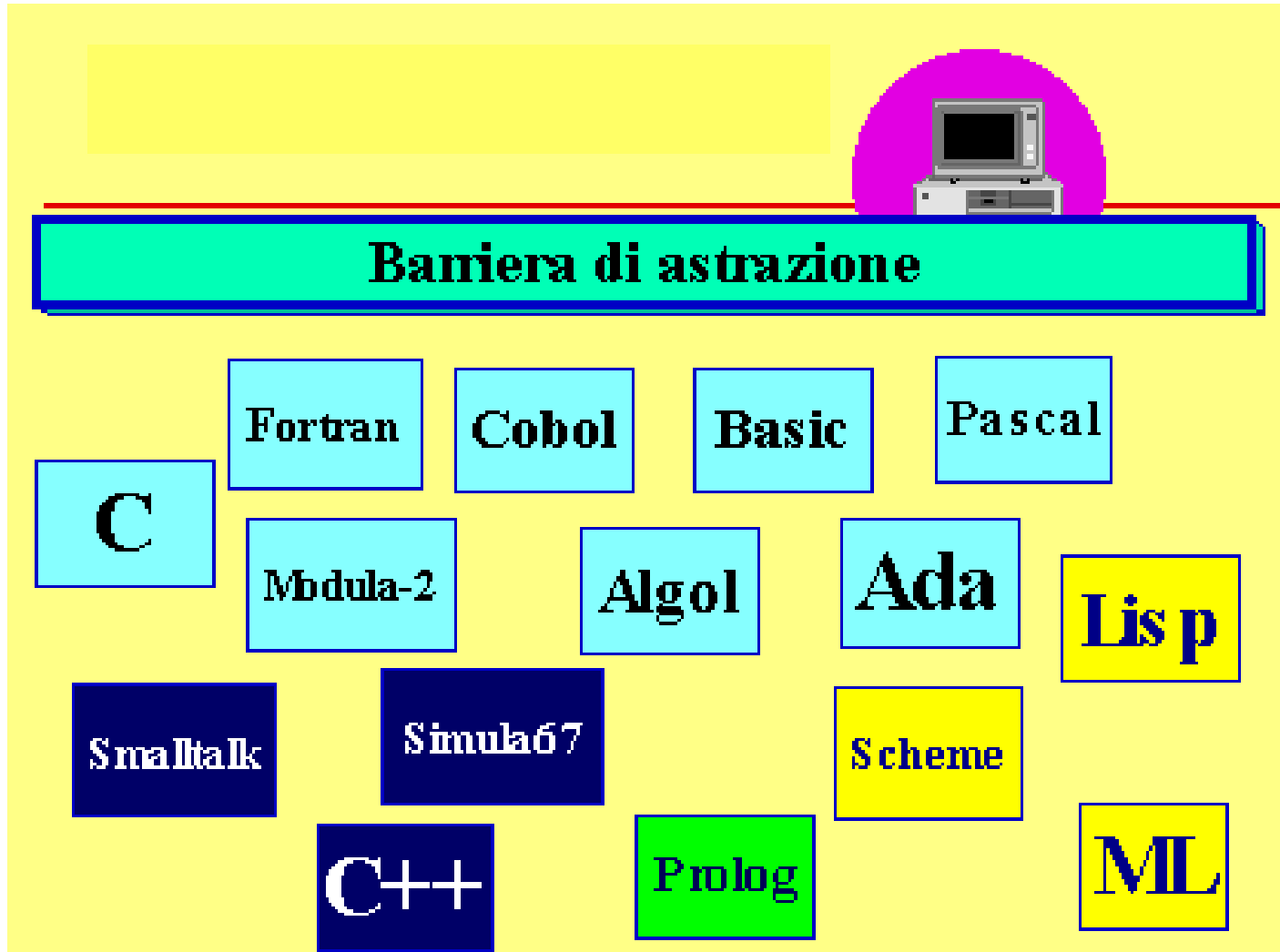
Astrazione di un elaboratore



Linguaggi di alto livello 1/2

- Si basano su un ipotetico elaboratore dotato di un processore le cui istruzioni non sono quelle di un tipico processore reale, ma quelle del linguaggio stesso
 - Ciò che abbiamo chiamato *macchina virtuale*
- Supportano concetti ed astrazioni
Esempio: variabili, tipo di dato, funzioni
- Promuovono metodologie per agevolare lo sviluppo del software da parte del programmatore
Esempio: programmazione strutturata e/o ad oggetti
- Hanno capacità espressive molto superiori rispetto a quelle del linguaggio macchina
Esempio: costrutti iterativi complessi
- Esistono centinaia di linguaggi di programmazione di alto livello di astrazione! (anche se pochi sono ampiamente utilizzati)

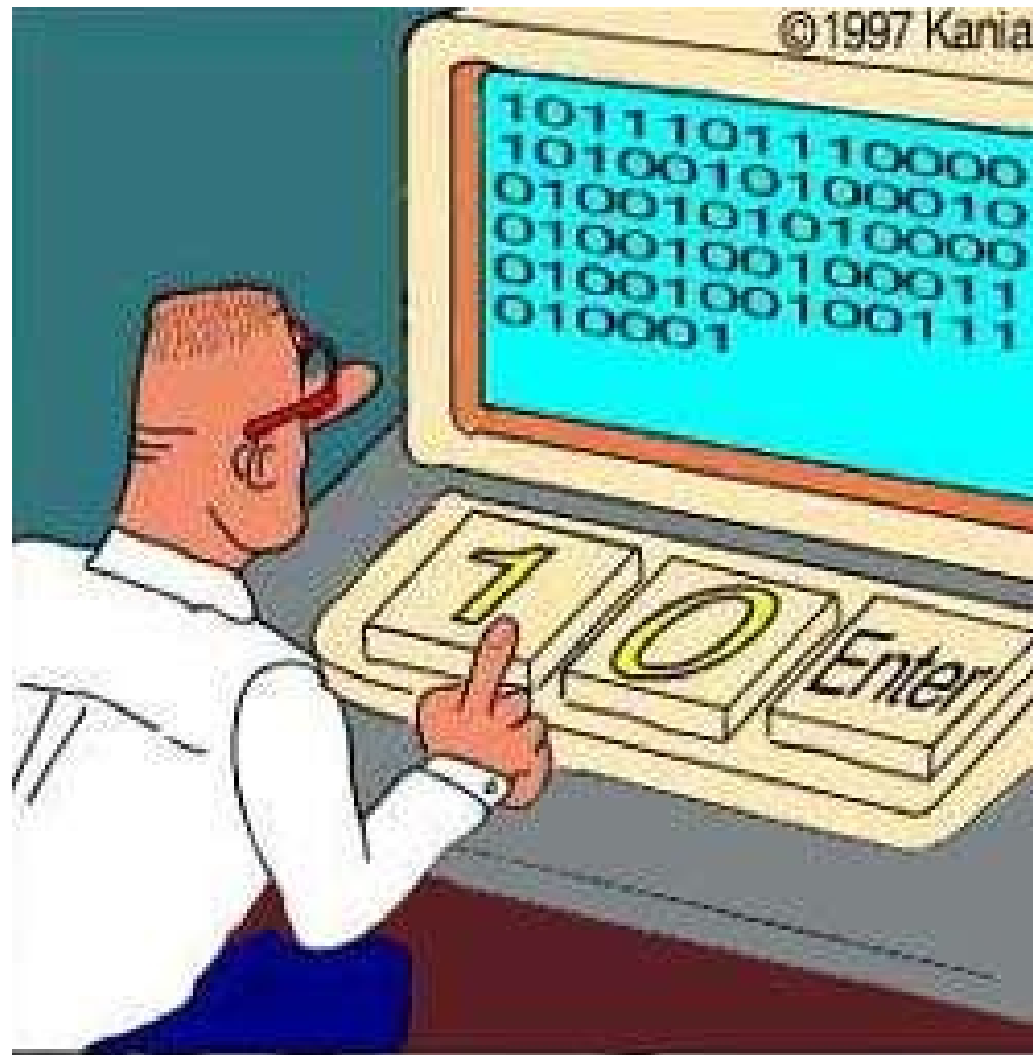
Linguaggi di alto livello 2/2



Nota conclusiva

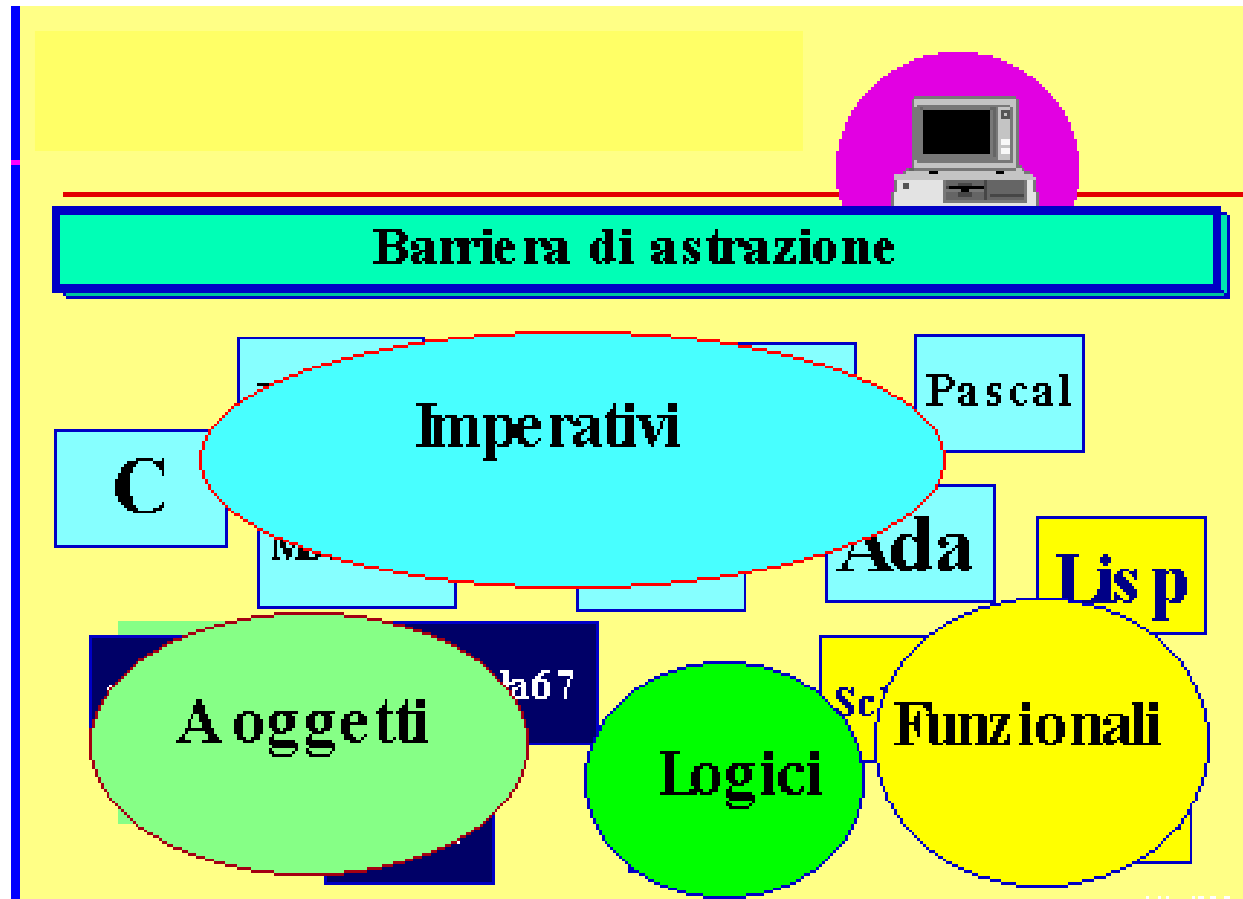
- Quindi, in generale un linguaggio di alto livello permette di codificare un algoritmo
 - con dei costrutti e delle strutture dati più vicine al dominio del problema
 - senza curarsi di quasi nessuno dei dettagli di basso livello del calcolatore su cui verrà eseguito il programma
 - ottenendo maggiore portabilità del linguaggio *assembly*
- Quindi il linguaggio *assembly* rimane la scelta migliore solo nei casi riportati precedentemente
- Ovviamente poi la scelta è obbligata se non si resiste al richiamo della seguente verità ...

I veri programmatori

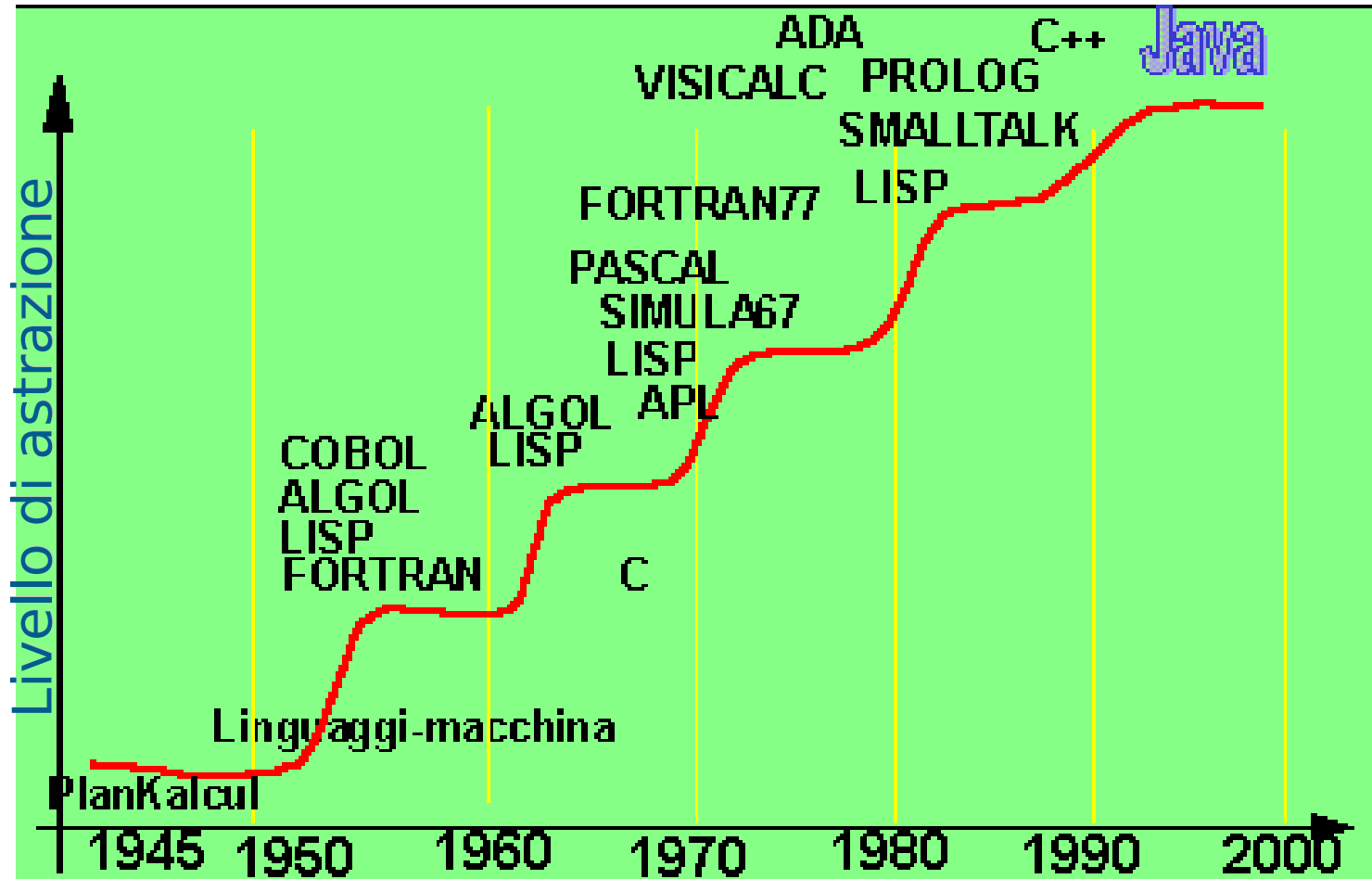


Real programmers code in binary.

Categorie



Evoluzione dei linguaggi



Perché esistono tanti linguaggi

- Uno dei motivi fondamentali è che tendono ad esistere diversi insiemi di linguaggi per ogni contesto applicativo, ad esempio:
 - Scientifico: Fortran
 - Gestionale: Cobol
 - Sistemi Operativi: C
 - Applicazioni (non di rete): C++, Java
 - Applicazioni di rete: Java

Problema

- Come abbiamo visto, praticamente non esistono processori il cui linguaggio macchina raggiunga un livello di astrazione confrontabile con quello di un linguaggio di programmazione di alto livello
- Pertanto, non esistono processori in grado di eseguire più o meno direttamente programmi scritti in linguaggi ad alto livello

Traduzione

- Affinché un programma scritto in un qualsiasi linguaggio di programmazione ad alto livello sia eseguibile su un dato elaboratore,
 - occorre **tradurlo** dal linguaggio di programmazione originario al linguaggio macchina del processore montato su tale elaboratore
- Questa operazione viene normalmente svolta da speciali programmi, detti **traduttori**

Processo di traduzione

Programma originario

```
main()  
{ int A;  
  ...  
  A=A+1;  
  if ...
```

Programma tradotto

```
00100101  
  ...  
11001..  
1011100 ...
```

- I traduttori convertono il testo dei programmi scritti in un particolare linguaggio di programmazione, **programmi sorgenti**, nella corrispondente rappresentazione in linguaggio macchina, **programmi eseguibili**

Tipi di traduttori 1/2

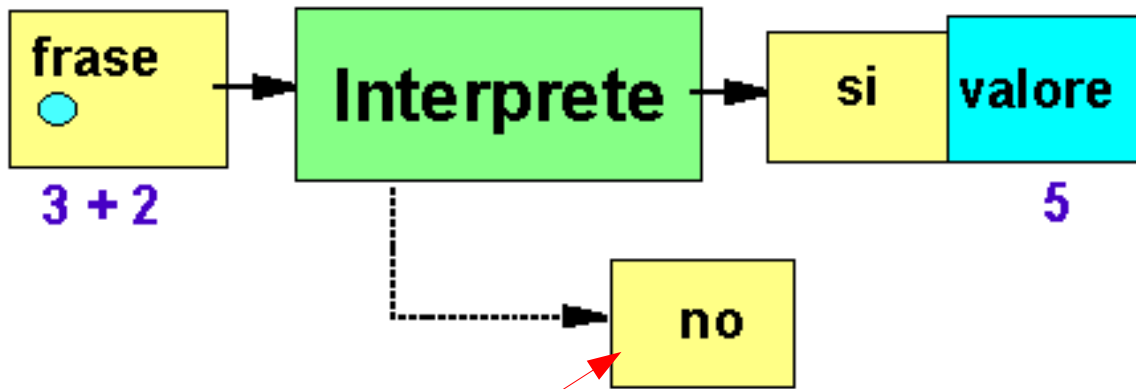
- Due categorie di traduttori:
 - **Compileri:** traducono l'intero programma, **senza eseguirlo!**, e producono in uscita il programma convertito in linguaggio macchina
 - Cosiddetto file eseguibile
 - **Interpreti:** traducono ed **eseguono immediatamente** ogni istruzione del programma sorgente, l'una dopo l'altra (tipicamente non viene prodotto alcun file)

Tipi di traduttori 2/2

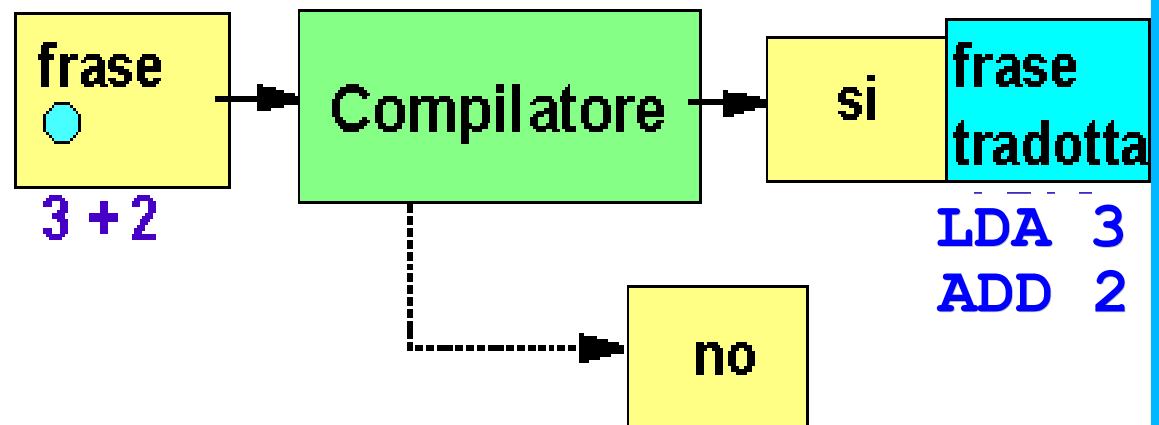
- Quindi
 - **Nel caso del compilatore**, lo schema traduzione-esecuzione viene percorso una volta sola prima dell'esecuzione, e porta alla creazione del file eseguibile che sarà poi eseguito senza altri interventi
 - **Nel caso dell'interprete**, lo schema traduzione-esecuzione viene ripetuto tante volte quante sono le istruzioni del programma che saranno eseguite
 - Ad ogni attivazione dell'interprete su di una particolare istruzione segue l'esecuzione dell'istruzione stessa

Compilatore ed interprete 1/3

■ Riconoscimento (e valutazione)



■ Riconoscimento (e traduzione)



Frase non
corretta

Compilatore ed interprete 2/3

- Sebbene in linea di principio un qualsiasi linguaggio possa essere tradotto sia mediante compilatori sia mediante interpreti, nella pratica si tende verso una differenziazione già a livello di linguaggio:
 - Tipici linguaggi interpretati: Basic, Javascript, Perl, ...
 - Tipici linguaggi compilati: C/C++, Fortran, Pascal, ADA, ...
 - Java costituisce un caso particolare: si effettua prima una pre-compilazione per ottenere un codice intermedio tra l'alto livello ed il linguaggio macchina, poi l'interprete esegue tale codice intermedio

Compilatore ed interprete 3/3

- L'esecuzione di un programma compilato è tipicamente più veloce dell'esecuzione di un programma interpretato
 - Siccome la traduzione è effettuata una sola volta prima dell'esecuzione, di fatto poi si va ad eseguire direttamente il programma in linguaggio macchina
 - Grazie ai nuovi compilatori-interpreti i programmi Java sono eseguibili praticamente alla velocità di un programma compilato
- Un programma sorgente da interpretare è tipicamente più portabile di un programma da compilare

Header e file pre-compilati

- Gli header file contengono spesso solo delle dichiarazioni
- Come sappiamo, le dichiarazioni ci permettono di utilizzare degli oggetti
- Occorre però che poi questi oggetti siano definiti da qualche parte!
- In effetti le funzioni e gli oggetti di una libreria sono definiti in ancora altri file
 - Tali file sono tipicamente pre-compilati nel caso di linguaggi compilati
- In pratica, per fornire una certa libreria vengono forniti tanto gli header file, quanto dei file pre-compilati contenenti il codice macchina delle funzioni e degli oggetti messi a disposizione dalla libreria

Collegamento delle librerie 1/2

- Quindi, se in un programma includiamo correttamente gli header file di una certa libreria e ne usiamo le funzioni o gli oggetti, il tutto funziona se
 - Il compilatore **collega** il nostro programma ai file pre-compilati contenenti il codice macchina necessario
- E' per esempio quello che è accaduto automaticamente per la libreria di ingresso/uscita
 - Trattandosi di una libreria utilizzata molto spesso, i compilatori sono tipicamente pre-configurati per collegare il programma ai file pre-compilati di tale libreria

Collegamento delle librerie 2/2

- A volte però il compilatore può non essere già predisposto a collegare il nostro programma ai file pre-compilati di determinate librerie non utilizzate spesso
- In quel caso dobbiamo istruirlo noi, passando ad esempio opzioni aggiuntive
 - Lo abbiamo fatto quando abbiamo aggiunto l'opzione `-lm` per far collegare il nostro programma ai file pre-compilati della libreria matematica

Fasi della compilazione 1/3

- Tipicamente un compilatore ottiene un programma eseguibile da un programma sorgente attraverso varie fasi di compilazione

1) Preprocessing: il testo del programma sorgente viene modificato in base a delle semplici direttive.

Ne abbiamo già visto esempi in C/C++ con le direttive **#include** e **#define**

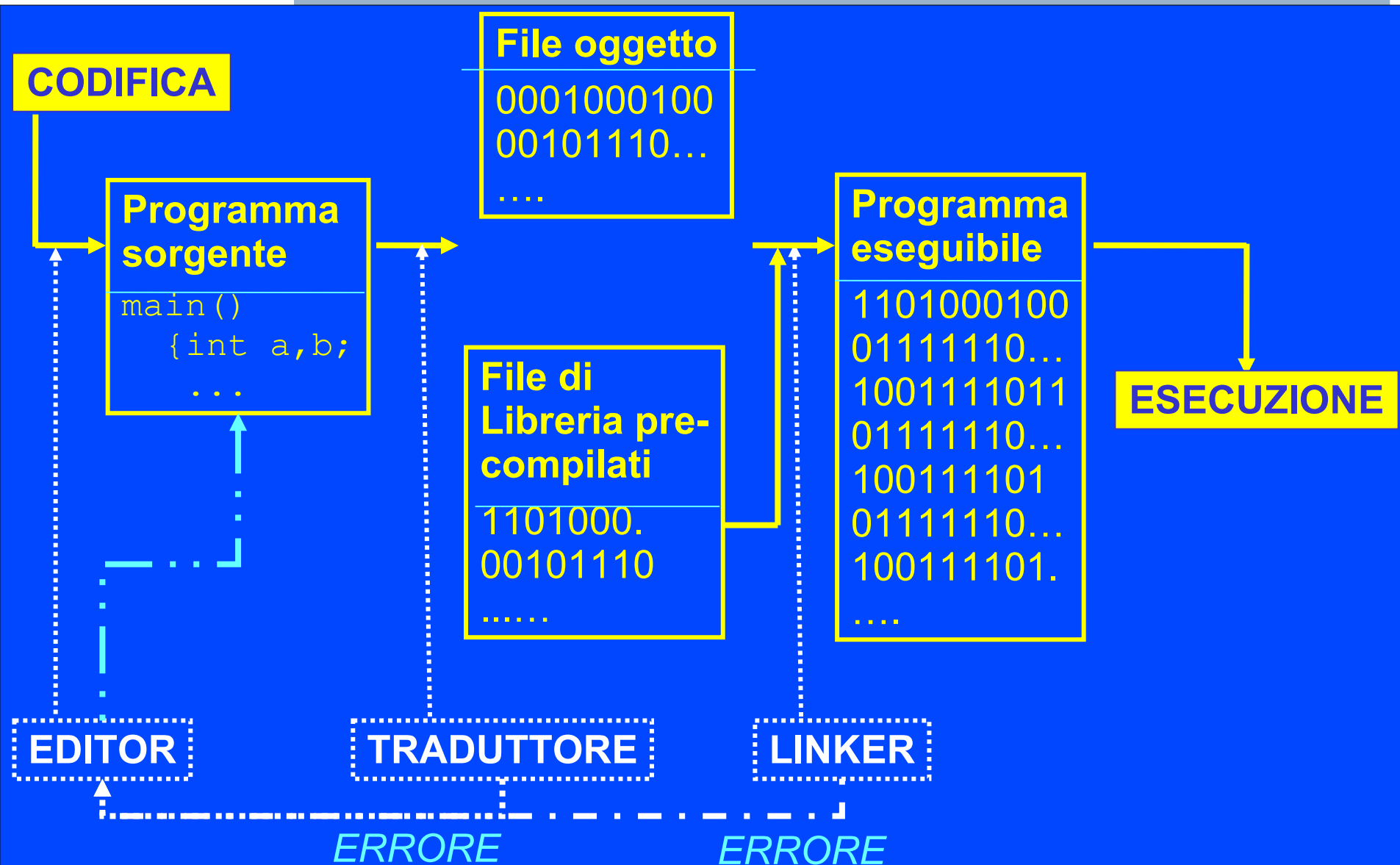
Fasi della compilazione 2/3

- 2) Traduzione** (spesso chiamata compilazione, come vedete c'è spesso confusione con i termini): genera un programma in linguaggio macchina a partire dal programma in linguaggio sorgente
- Il componente di un compilatore che realizza questa fase è tipicamente chiamato traduttore
 - Il programma generato nella fase di traduzione non è però tipicamente eseguibile, perché manca fondamentalmente il codice delle funzioni e degli oggetti non definiti nel programma stesso
 - Un programma in linguaggio macchina di questo tipo è tipicamente chiamato **file oggetto**

Fasi della compilazione 3/3

- 3) Collegamento:** si unisce il file oggetto con i file pre-compilati delle librerie (ed eventualmente con altri file oggetto nel caso di programmi sviluppati su più file sorgente)
- Il risultato è il programma (file) eseguibile
 - Il componente di un compilatore che realizza questa fase è tipicamente chiamato collegatore o linker

Schema riassuntivo (parziale)



Fasi dello sviluppo

- Lo sviluppo di un programma passa attraverso varie *fasi*:
 - Progettazione
 - Scrittura (codifica)
 - Compilazione (per i linguaggi compilati)
 - Esecuzione
 - Collaudo (testing)
 - Ricerca ed eliminazione degli errori (debugging)
 - ...
- Si chiama tipicamente **ambiente di programmazione** (o di sviluppo) per un dato linguaggio o insieme di linguaggi, l'insieme degli strumenti (*tool*) di supporto alle varie fasi di sviluppo dei programmi scritti con tali linguaggi

Ambiente di sviluppo

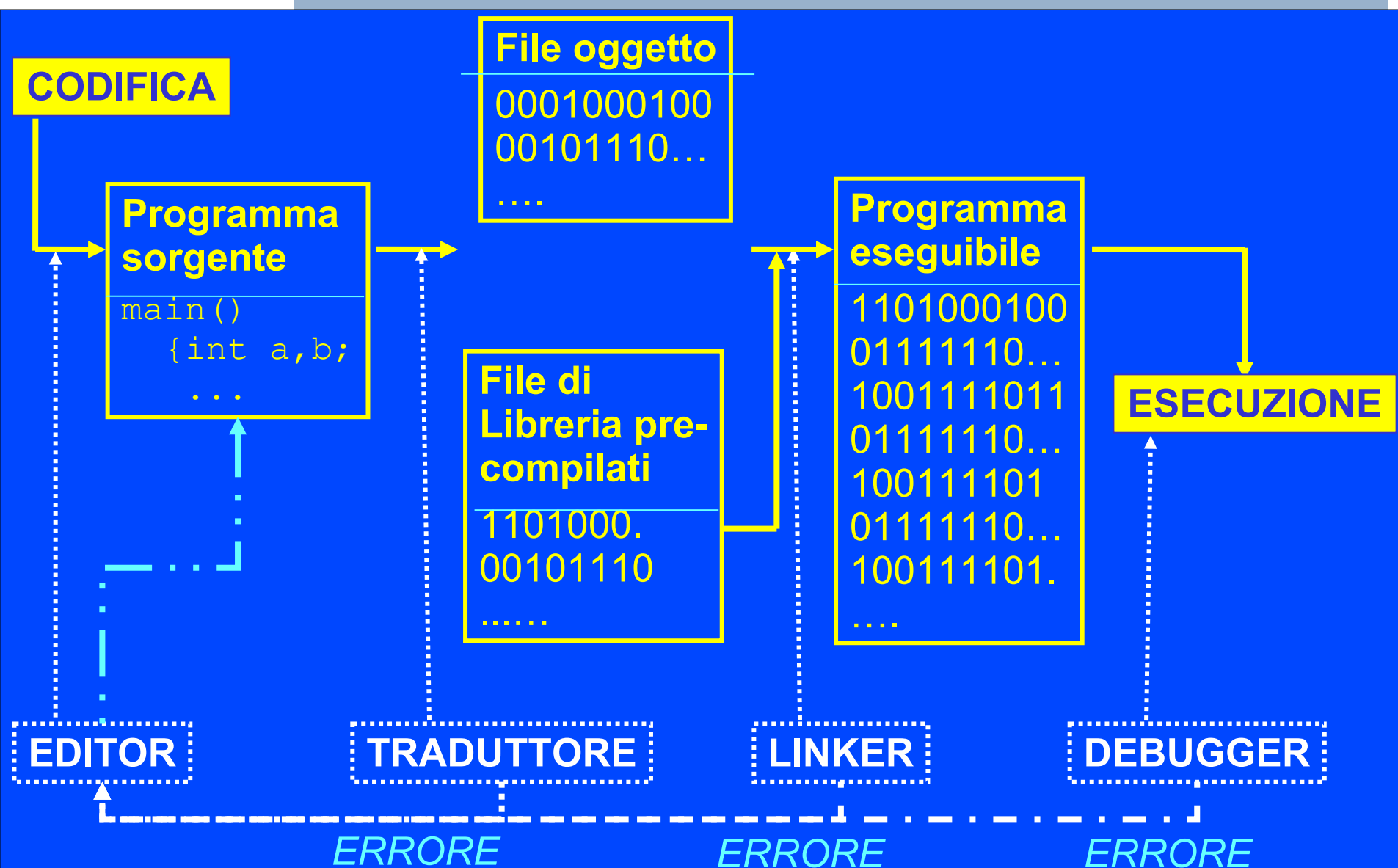
Quindi, per scrivere programmi in un dato linguaggio

- Bisogna conoscere almeno un **ambiente di programmazione** per tale linguaggio
- I componenti principali di un tale ambiente sono elencati nella prossima slide

Ambiente di programmazione

- **Editor**: serve per creare file di testo. In particolare, l'editor consente di scrivere il programma sorgente.
- **Traduttore** (spesso chiamato anche compilatore): opera la traduzione di un programma sorgente scritto in un linguaggio ad alto livello in un programma oggetto.
- **Linker** ("collegatore"): nel caso in cui la costruzione del programma eseguibile richieda l'unione di più moduli (compilati separatamente), provvede a collegarli per formare un unico file eseguibile.
 - Spesso traduttore e linker (e pre-processore) sono componenti di uno stesso compilatore
- **Interprete**: traduce ed esegue direttamente ciascuna istruzione del programma sorgente, istruzione per istruzione. È alternativo al compilatore.
- **Debugger**: consente di eseguire passo-passo un programma, controllando via via quel che succede, al fine di scoprire ed eliminare errori.

Schema riassuntivo



Tipi di ambienti di sviluppo 1/2

- Si possono considerare fundamentalmente due tipologie di ambienti di sviluppo
 - 1) Ambienti dati dalla somma di componenti più o meno indipendenti
 - Un programma per l'editing, un programma per la compilazione, un programma per il debugging, ...
 - I sistemi operativi UNIX costituiscono spesso dei veri e propri ambienti di sviluppo di questo genere
 - sono dei sistemi in cui è possibile avere molta scelta per i singoli strumenti di sviluppo

Tipi di ambienti di sviluppo 2/2

2) Ambienti di sviluppo integrati

(Integrated Development Environment, IDE)

- Ambienti in cui i singoli strumenti sono integrati gli uni con gli altri e si dispone di un'unica interfaccia per gestire tutte le fasi (editing, compilazione, esecuzione, debugging, ...)

Confronto tra i tipi di ambiente

- Il vantaggio principale degli IDE è probabilmente la praticità e semplicità d'uso
 - Uso di una interfaccia comune (tipicamente grafica)
 - Possibilità di salvare, compilare ed eseguire premendo un solo bottone
 - Posizionamento automatico nei punti del programma in cui si trovano gli errori
- Vantaggi dei sistemi non IDE
 - Si distinguono perfettamente le varie fasi dello sviluppo (utilità fondamentale didattica)
 - Si ha maggiore indipendenza da ogni specifico strumento (si può usare/cambiare lo strumento preferito per ciascuna fase dello sviluppo)