Informatica

Corso di Laurea in Scienze Geologiche

Prima Parte

Ugo Dal Lago

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

informatiques mathématiques
Inria

Anno Accademico 2017-2018

Sezione 1

Introduzione al Corso

Questo Corso

- Questo è Un corso pensato per gli studenti del primo anno della **Laurea Triennale in Scienze Geologiche**.
- Il corso è diviso in due moduli:
  - Un modulo di **informatica**, (4 ECTS).
  - Un modulo di **cartografia numerica** (2 ECTS).
- Il sottoscritto si occuperà *solamente* del primo modulo, mentre il secondo sarà tenuto dal Dottor Luigi Cantelli, a partire dalla fine di Novembre.
- Le **esercitazioni** non sono formalmente previste, ma:
  - Alcune lezioni frontali saranno dedicate alla risoluzione di esercizi, della stessa difficoltà di quelli previsti per la prova scritta.
  - Durante le lezioni e le esercitazioni, è conveniente l'uso del calcolatore.
  - L'ideale sarebbe che ogni studente avesse a disposizione un notebook, soprattutto nella seconda e nella terza parte del corso.

Logistica

- **Cinque ore** di lezione a settimana.
  - Il lunedì, dalle 16.00 alle 18.00.
  - Il martedì, dalle 14.00 alle 17.00.
  - Il venerdì, dalle 11.00 alle 13.00.
- La lezione **inizia** all'orario prestabilito, per poi finire un po' prima.
- Il **ricevimento studenti** non ha un orario fissato.
  - Previo appuntamento via email (`ugo.dallago@unibo.it`).
- Se avete **dubbi** sui contenuti del corso, potete anche inviarmi una mail.
- Vi invito a fare tutte le **domande** che volete durante la lezione, ma anche offline.

Modalità d'Esame — I

- L'esame consiste in una **prova scritta**.
  - **Sei** appelli d'esame all'anno.
- Alla fine del modulo (verso l'inizio di Novembre) il docente proporrà un piccolo **progetto**.
  - Avrete due settimane di tempo per scrivere un programma `Python` per la risoluzione di un semplice problema.
  - Il progetto va svolto personalmente, e verrà discusso con il docente nel mese di dicembre.
  - Chi passa il progetto con una valutazione sufficiente, potrà limitarsi a svolgere *solo una parte* della prova scritta.
  - Il voto del progetto contribuisce poi per la metà al voto di questo modulo.
  - Chi non può o non riesce a svolgere il progetto, può comunque partecipare alla prova scritta, svolgendola *tutta*.
- Il voto che viene registrato è la media pesata del voto ottenuto in questo modulo e del voto ottenuto nel modulo di Cartografia Numerica.

Modalità d'Esame — II

- La **prova scritta** consiste in un certo numero di semplici esercizi e domande.
- Porrò la massima attenzione nel rendere le prove **diverse** le une dalle altre.
  - Si studia il **corso**, non si studia **come superare l'esame**.
- Gli esercizi riguardano l'informatica e la programmazione Python.
  - Uno studio mnemonico *non* è sufficiente.
  - Occorre scrivere programmi fin dall'inizio della seconda parte del corso.
  - Se non si svolge il progetto, basta utilizzare lo strumento *Python Tutor*, che verrà descritto più avanti nel corso.

Contenuti del Modulo

- Questo è un corso introduttivo all'**informatica** e alla **programmazione**.
- Più nello specifico, il modulo è suddivisto in tre parti:
  1. Una prima parte introduttiva e generale sull'**informatica**.
  2. Una seconda parte in cui verranno studiati i fondamenti del **linguaggio Python**.
  3. Una terza parte, in cui le conoscenze acquisite nella prima parte verranno messe a frutto nel **problem solving**.
- Non c'è nessun prerequisito.
  - Non è necessario aver precedentemente studiato l'informatica.
  - Si presuppone però che lo studente abbia una conoscenza di base dello *strumento* informatico. Ad esempio, occorre sapere usare Internet e un browser.

Libri di Testo e Materiale Didattico

- La pagina web del corso è

  `http://www.cs.unibo.it/~dallago/INFGE01617/`

  A partire da essa trovate:
  - Il syllabus del corso;
  - Alcuni riferimenti bibliografici;
- **Libro di testo**:

  John V. Guttag. Introduction to Computation and Programming Using Python (Revised and Expanded Edition). MIT Press, 2013
- Sono disponibili delle **trasparenze**, non necessariamente per tutte le parti del corso.
  - Sicuramente non per le esercitazioni.
  - Le trasparenze verranno messe a disposizione durante il corso.

Perché questo corso?

- Imparare ad utilizzare **software generico**?
  - *No*, questo non è un corso di alfabetizzazione informatica.
  - Presupponiamo che lo studente sia in grado di utilizzare gli strumenti di base (posta elettronica, web).

Perché questo corso?

- Imparare ad utilizzare **software generico**?
  - *No*, questo non è un corso di alfabetizzazione informatica.
  - Presupponiamo che lo studente sia in grado di utilizzare gli strumenti di base (posta elettronica, web).
- Imparare ad utilizzare i **GIS**?
  - *No*, i geographical information systems verranno introdotti nel secondo modulo e in altri corsi di natura "geologica".

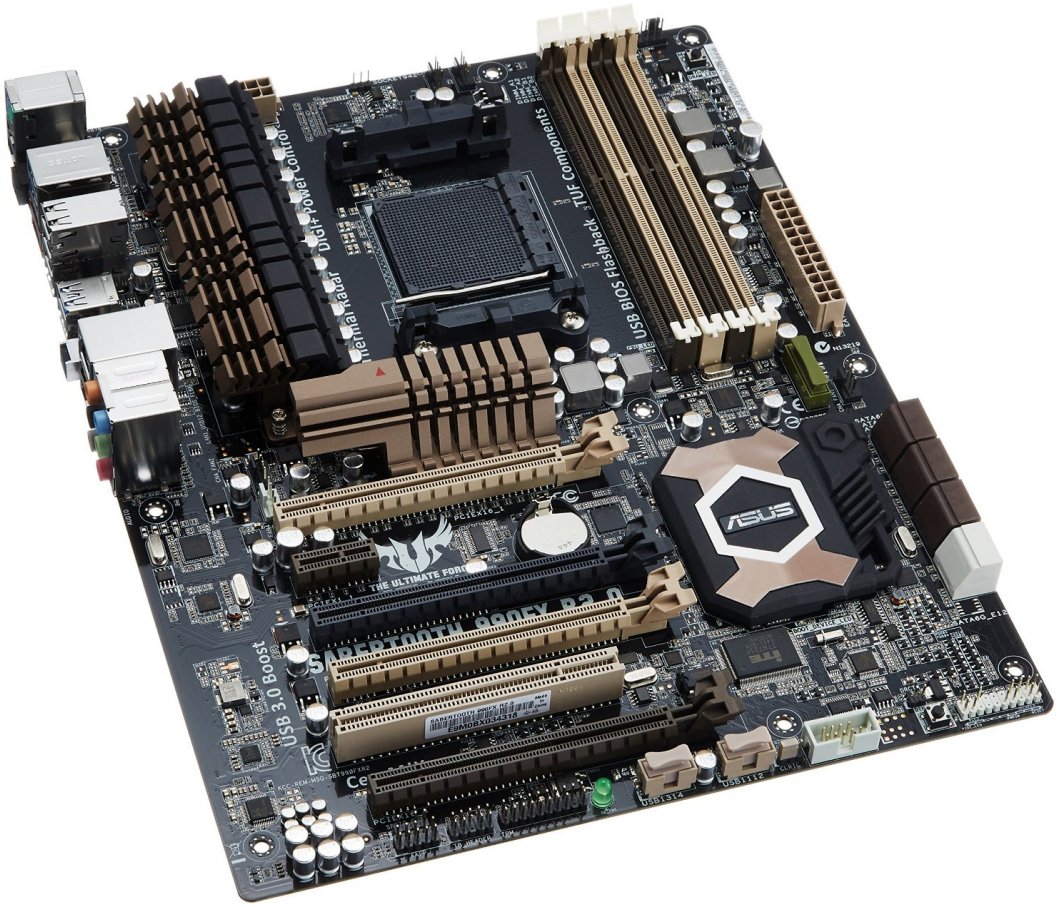
Perché questo corso?

- Imparare ad utilizzare **software generico**?
  - *No*, questo non è un corso di alfabetizzazione informatica.
  - Presupponiamo che lo studente sia in grado di utilizzare gli strumenti di base (posta elettronica, web).
- Imparare ad utilizzare i **GIS**?
  - *No*, i geographical information systems verranno introdotti nel secondo modulo e in altri corsi di natura "geologica".
- Apprendere i rudimenti del **pensiero computazionale**?
  - *Sì*, questo è esattamente ciò che faremo in questo corso.
  - Non basta saper utilizzare software esistente.
  - Occorre essere in grado affrontare problemi *sempre nuovi*.
  - E per fare ciò bisogna conoscere *i prinicipi*, anche se per sommi capi.

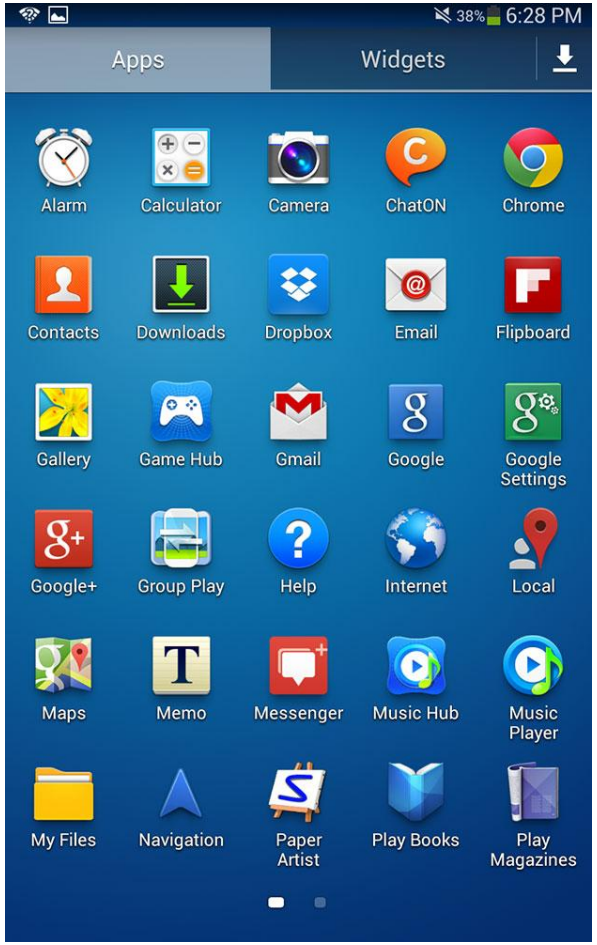
Sezione 2

Introduzione all'Informatica

Cos'è un Computer?



Cos'è un Computer?



Macchine Astratte — Esempio

Guidatore
Meccanico
Ingegnere

Macchine Astratte — Esempio

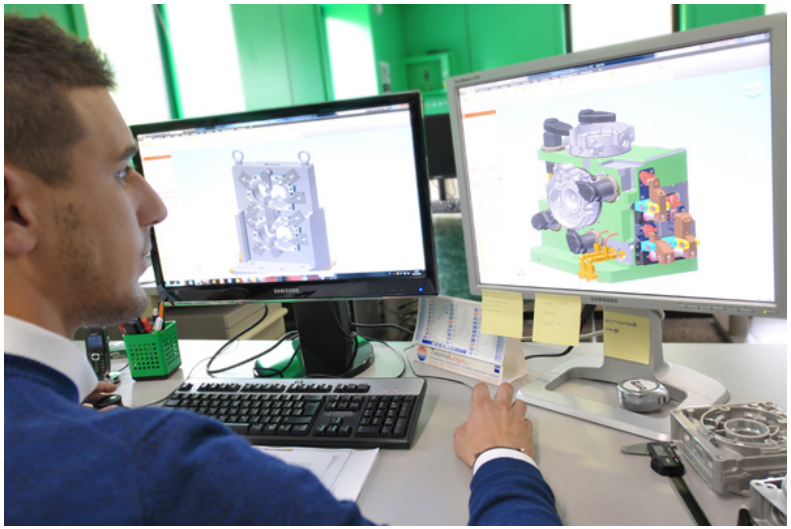
Guidatore
Meccanico
Ingegnere

Macchine Astratte — Esempio

Guidatore
Meccanico
Ingegnere

Macchine Astratte — Esempio

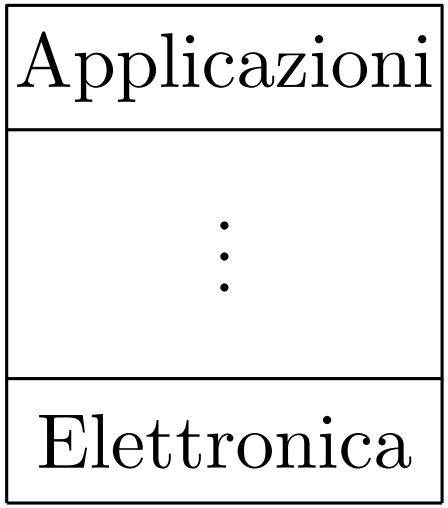
Guidatore
Meccanico
Ingegnere



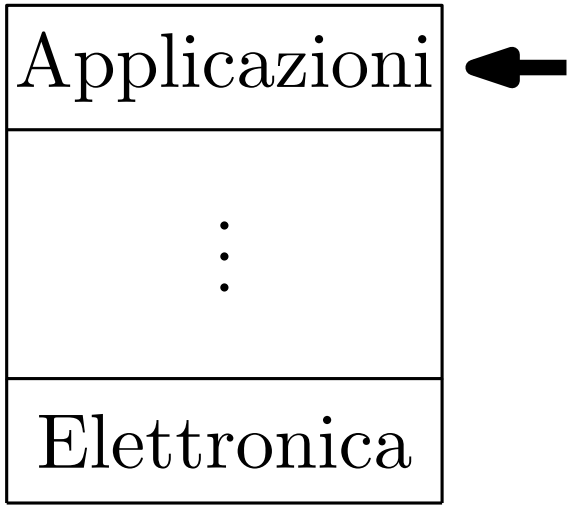
Macchine Astratte

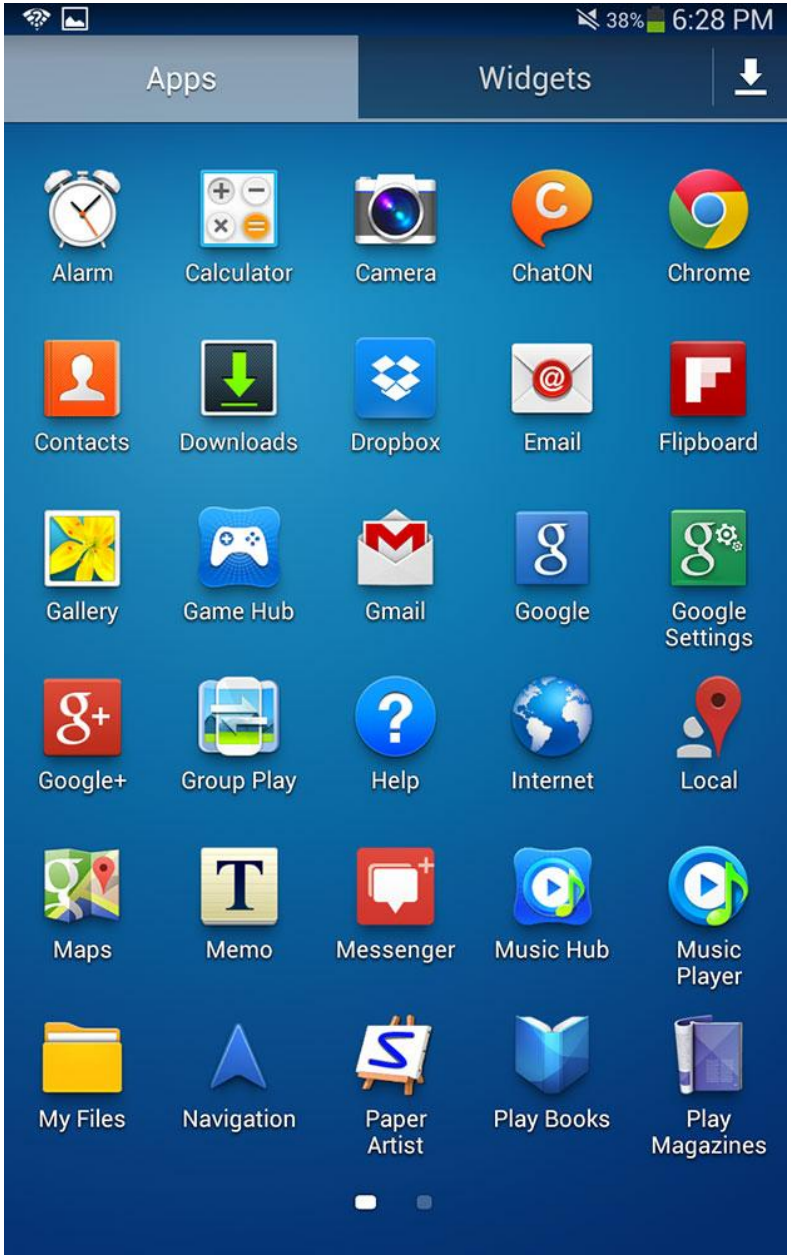
- Ogni livello **è costruito** sul livello sottostante, e ne usa le funzionalità.
- Per comprendere il funzionamento di una macchina **ad un certo livello**, non è necessario comprendere i dettagli dei livelli sottostanti.
- Certamente, i livelli più bassi impongono dei **limiti** a ciò che si può fare nei livelli più alti.

Macchine Astratte — il Computer



Macchine Astratte — il Computer





Macchine Astratte — il Computer

Applicazioni
⋮
Elettronica

Livello delle Applicazioni

- Gli oggetti con cui abbiamo a che fare sono le **applicazioni**.
- Le eseguiamo in un ambiente detto **sistema operativo**.
- Ciascuna applicazione ha un particolare, specifico, compito. Ad esempio:
  - *Editor di testi*;
  - *Browser*;
  - *Client email*;
  - *Foglio di calcolo*;
  - ....

Livello delle Applicazioni

- Gli oggetti con cui abbiamo a che fare sono le **applicazioni**.
- Le eseguiamo in un ambiente detto **sistema operativo**.
- Ciascuna applicazione ha un particolare, specifico, compito. Ad esempio:
  - *Editor di testi*;
  - *Browser*;
  - *Client email*;
  - *Foglio di calcolo*;
  - ....
- Nessuna delle applicazioni ci permette di usare **direttamente** le risorse del calcolatore.

Livello delle Applicazioni

- Gli oggetti con cui abbiamo a che fare sono le **applicazioni**.
- Le eseguiamo in un ambiente detto **sistema operativo**.
- Ciascuna applicazione ha un particolare, specifico, compito. Ad esempio:
  - *Editor di testi*;
  - *Browser*;
  - *Client email*;
  - *Foglio di calcolo*;
  - ....
- Nessuna delle applicazioni ci permette di usare **direttamente** le risorse del calcolatore.
- E se avessimo a che fare con un problema che **nessuna applicazione** permette di risolvere?

Sotto il Livello delle Applicazioni

- Talvolta occorre scendere e mettersi nel **livello dei programmi**.

Sotto il Livello delle Applicazioni

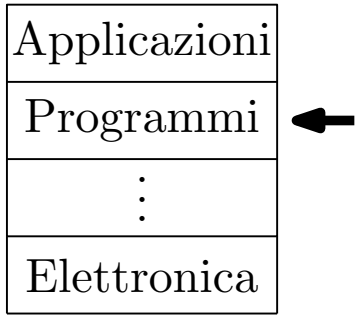
- Talvolta occorre scendere e mettersi nel **livello dei programmi**.
- In questo modo avremo più **controllo** sulle risorse di calcolo del calcolatore, e potremo disporre liberamente di esse.

Sotto il Livello delle Applicazioni

- Talvolta occorre scendere e mettersi nel **livello dei programmi**.
- In questo modo avremo più **controllo** sulle risorse di calcolo del calcolatore, e potremo disporre liberamente di esse.
- Questo corso (almeno in questo modulo) si occupa proprio di familiarizzarvi con il livello dei programmi.
- Occorre, almeno all'inizio, mettere in campo la propria **capacità di astrazione**.

Sotto il Livello delle Applicazioni

- Talvolta occorre scendere e mettersi nel **livello dei programmi**.
- In questo modo avremo più **controllo** sulle risorse di calcolo del calcolatore, e potremo disporre liberamente di esse.
- Questo corso (almeno in questo modulo) si occupa proprio di familiarizzarvi con il livello dei programmi.
- Occorre, almeno all'inizio, mettere in campo la propria **capacità di astrazione**.



Cosa Sa Fare il Calcolatore?

1. **Fare Conti**.
   - I calcolatori moderni sono in grado di eseguire una *quantità enorme* di calcoli in poco tempo (circa 10^9 ogni secondo!)
   - Ciascuno dei calcoli elementari che il calcolatore esegue, però, deve essere *molto semplice*.
   - L'*accuratezza* dei calcoli è molto alta: la probabilità che i calcoli risultino in un errore è veramente minima.
2. **Memorizzare Dati**.
   - Un'altra cosa che i calcolatori sanno fare molto bene è *tener traccia* dei dati.
   - Anche qui, la *quantità* di dati che un calcolatore può immagazinare al suo interno, e l'*accuratezza* con cui lo può fare, sono molto alte. Un *gigabyte* corrisponde a 2^{30} informazioni elementari.
3. **Comunicare con Dispositivi Esterni**.
   - I calcolatori moderni possono interagire con periferiche sempre più *complessi* (schermi, tastiere, sensori, apparecchiature biomediche, etc.).
   - Per la maggior parte, le periferiche sono entità *passive*.

Cosa Non Sa Fare il Calcolatore?

1. **Ragionare per Analogia**;
2. **Riconoscere l'Ironia**;
3. **Essere Creativo**;
4. **Risolvere l'Ambiguità**;
5. ...

Conoscenza Dichiarativa

- È composta da **enunciati** che descrivono in modo preciso un certo oggetto o un certo fenomeno.
- Possiamo ampliare la nostra conoscenza dichiarativa semplicemente applicando le regole della *logica*.
- Tipico esempio sono le definizioni matematiche tradizionalmente concepite.
- **Esempio**:
  - La *radice quadrata* di un numero reale positivo x è un numero y tale che $y \cdot y = x$.
  - Da questa definizione possiamo dedurre che il modulo di qualunque radice quadrata di un numero x, è unico. Infatti, se $y \cdot y = x$ e $z \cdot z = x$

$$\begin{aligned} y \cdot y = z \cdot z &\Rightarrow y \cdot y - z \cdot z = 0 \\ &\Rightarrow (y + z)(y - z) = 0 \\ &\Rightarrow (y = -z) \text{ oppure } (y = z). \end{aligned}$$

Conoscenza Imperativa — I

- La conoscenza dichiarativa relativa ad un certo oggetto o concetto, in molte contesti è *sufficiente* a descrivere completamente l'entità in gioco.
- C'è però una cosa che la conoscenza dichiarativa non riesce, per sua natura, a catturare, ossia l'aspetto **operativo** e **di calcolo**.
  - *Come* calcolo un certo valore?
  - *In che modo* devo procedere, operativamente, se voglio fare uso dell'oggetto?

Conoscenza Imperativa — I

- La conoscenza dichiarativa relativa ad un certo oggetto o concetto, in molte contesti è *sufficiente* a descrivere completamente l'entità in gioco.
- C'è però una cosa che la conoscenza dichiarativa non riesce, per sua natura, a catturare, ossia l'aspetto **operativo** e **di calcolo**.
  - *Come* calcolo un certo valore?
  - *In che modo* devo procedere, operativamente, se voglio fare uso dell'oggetto?
- Abbiamo quindi bisogno della **conoscenza imperativa**!

Conoscenza Imperativa — I

- La conoscenza dichiarativa relativa ad un certo oggetto o concetto, in molte contesti è *sufficiente* a descrivere completamente l'entità in gioco.
- C'è però una cosa che la conoscenza dichiarativa non riesce, per sua natura, a catturare, ossia l'aspetto **operativo** e **di calcolo**.
  - *Come* calcolo un certo valore?
  - *In che modo* devo procedere, operativamente, se voglio fare uso dell'oggetto?
- Abbiamo quindi bisogno della **conoscenza imperativa**!
- Ad **esempio**, dato x posso calcolare la sua radice quadrata come segue:
  1. Faccio un tentativo g;
  2. Se $g \cdot g$ è abbastanza vicino a g, allora g è una buona approssimazione della radice di x;
  3. Altrimenti, calcoliamo un nuovo g come media tra g e $\frac{x}{g}$, ovvero $(g + x/g)/2$.
  4. Torniamo al punto 2.

Conoscenza Imperativa — II

- Vediamo se la la procedura di calcolo descritta funziona quando $x = 25$:

$$x = 25 \qquad\qquad g = 3$$

Conoscenza Imperativa — II

- Vediamo se la la procedura di calcolo descritta funziona quando $x = 25$:

$$\begin{array}{ll} x = 25 & g = 3 \\ x = 25 & g = 5.67 \end{array}$$

Conoscenza Imperativa — II

- Vediamo se la la procedura di calcolo descritta funziona quando $x = 25$:

$$\begin{array}{ll} x = 25 & g = 3 \\ x = 25 & g = 5.67 \\ x = 25 & g = 5.04 \end{array}$$

- Osserviamo come la procedura che abbiamo appena descritto consti di alcuni semplici passi *elementari*, ciascuno dei quali prevede solo semplici operazioni aritmetiche.
- Abbiamo dato, in altre parole, un esempio di *algoritmo*.

Algoritmi

- Un **algoritmo** è:
  - Una sequenza di semplici *passi*;
  - Assieme ad un insieme di regole che prescrivano *quando* ciascun passo debba essere eseguito;
  - Che permettono in un tempo *finito*;
  - Di risolvere una *classe* di problemi
- Le *proprietà* più importanti che un algoritmo deve soddisfare sono:
  - **Finitezza**: il numero dei passi che l'algoritmo richiede deve essere finito;
  - **Non ambiguità**: ogni passo di cui si compone l'algoritmo deve essere univocamente interpretabile;
  - **Effettività**: ogni operazione presente nell'algoritmo deve essere sufficientemente semplice.
- L'algoritmo è forse il concetto più importante in informatica:
  - I calcolatori eseguono *algoritmi*;
  - Si rende quindi necessaria una conoscenza *imperativa* del problema se si vuole essere in grado di far risolvere un problema da un calcolatore.

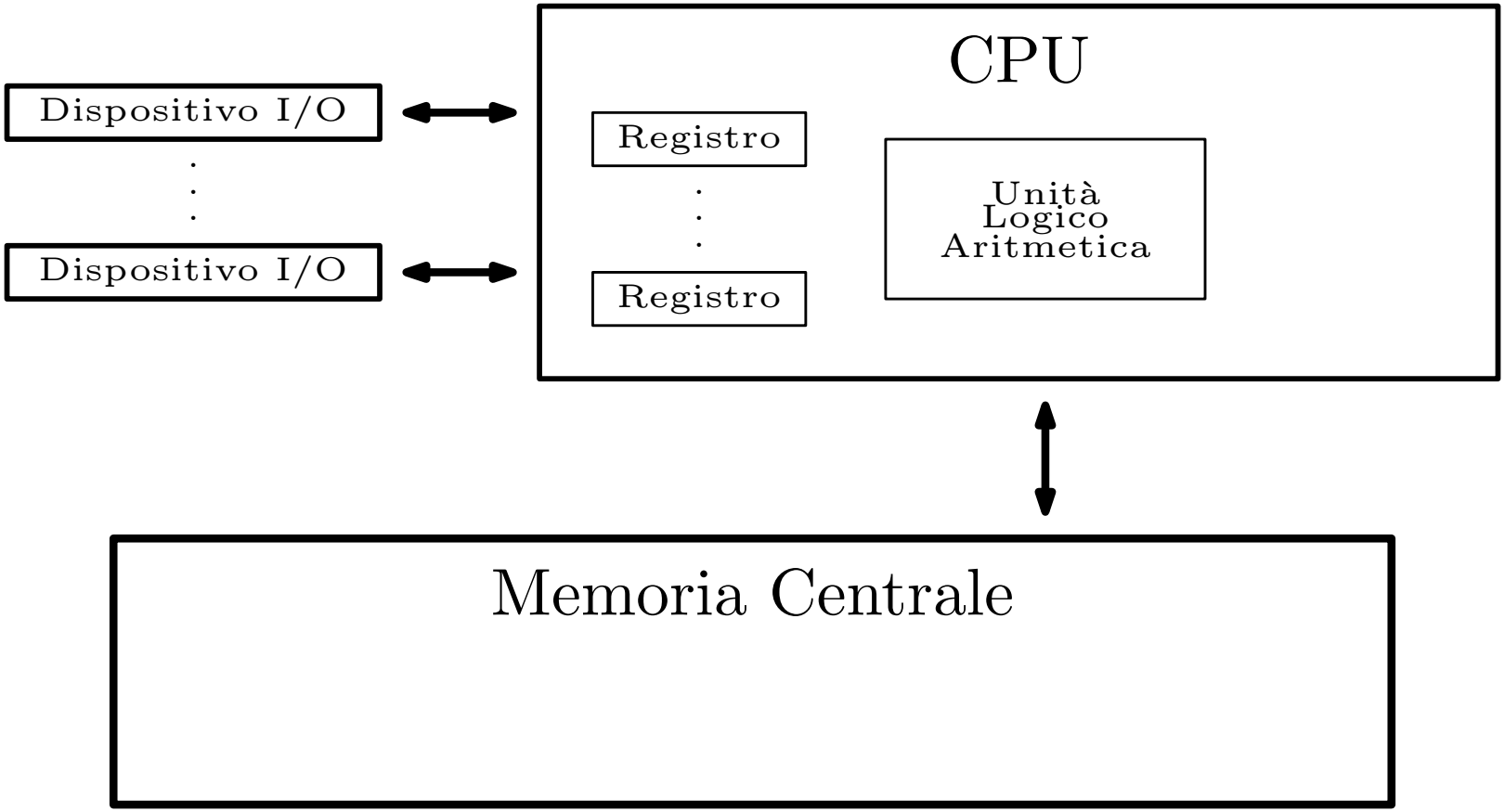
L'Architettura di von Neumann — I

- Ma *in che senso* i calcolatori eseguono algoritmi?

L'Architettura di von Neumann — I

- Ma *in che senso* i calcolatori eseguono algoritmi?
- Un buon modello dell'architettura interna di un calcolatore è dovuto al matematico von Neumann.
- Un calcolatore si compone di:
  1. **Unità Centrale di Elaborazione** (o CPU).
     - E' la componente del calcolatore che si occupa di svolgere i calcoli elementari.
     - Dispone di una sottocomponente che esegue materialmente i calcoli (l'*unità logico-aritmetica*) e di un limitato numero di *registri* in cui memorizzare i risultati intermedi.
  2. **Memoria Centrale**.
     - E' un grande deposito in cui tutti i dati necessari alla risoluzione del problema possono essere *memorizzati*.
     - Tali dati possono essere letti o scritti con facilità dalla CPU, la quale può trasferirli nei registri.
     - Possiamo sovrascrivere lo stesso spazio di memorizzazione più volte, ossia possiamo *riutilizzarlo*.
  3. **Dispositivi di Input/Output**
     - Ad esempio mouse, tastiera, monitor, stampante, etc.
     - La CPU può inviare i dati ai dispositivi di output o ricevere i dati dai dispositivi di input.

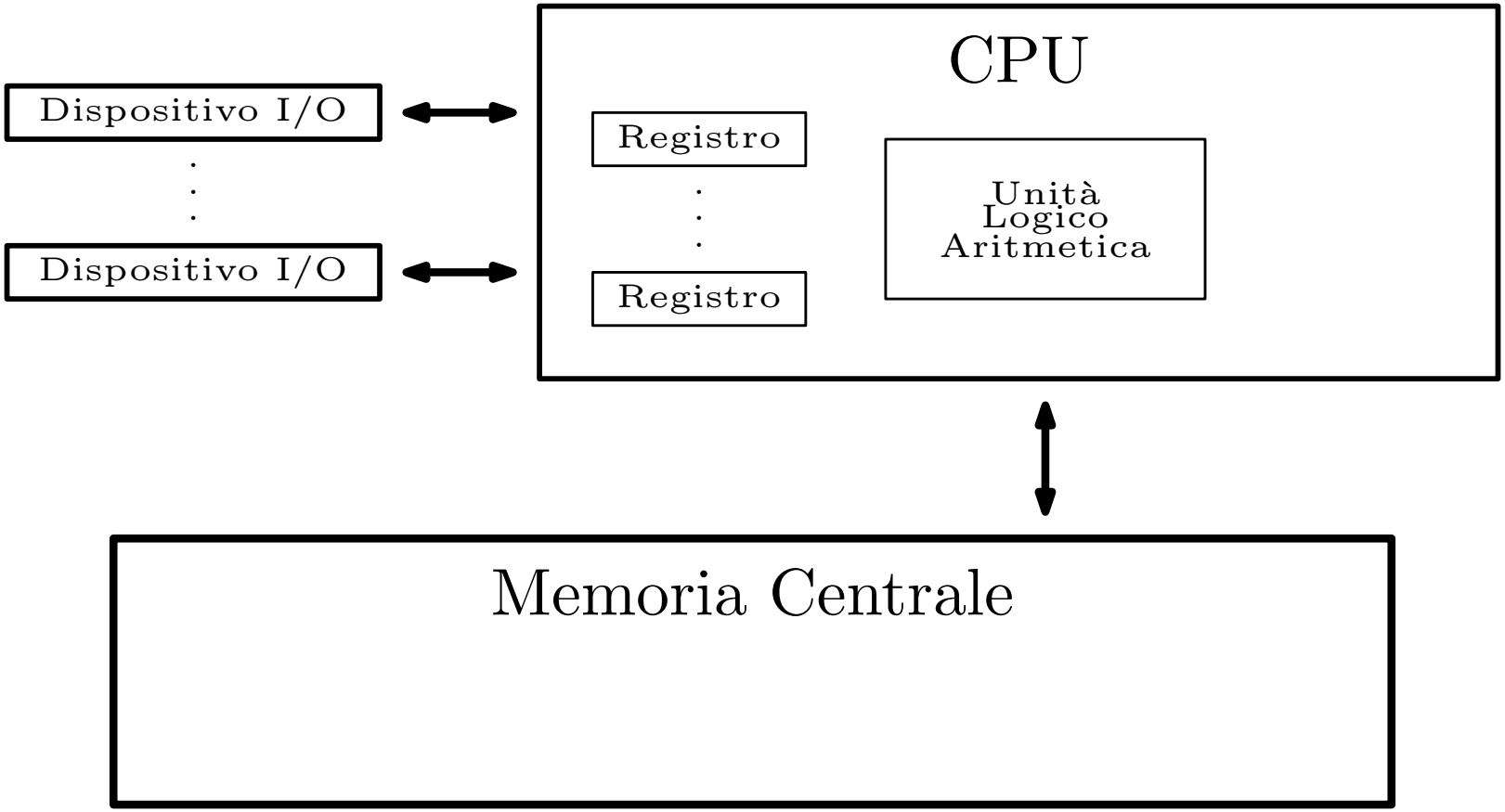
L'Architettura di von Neumann — II



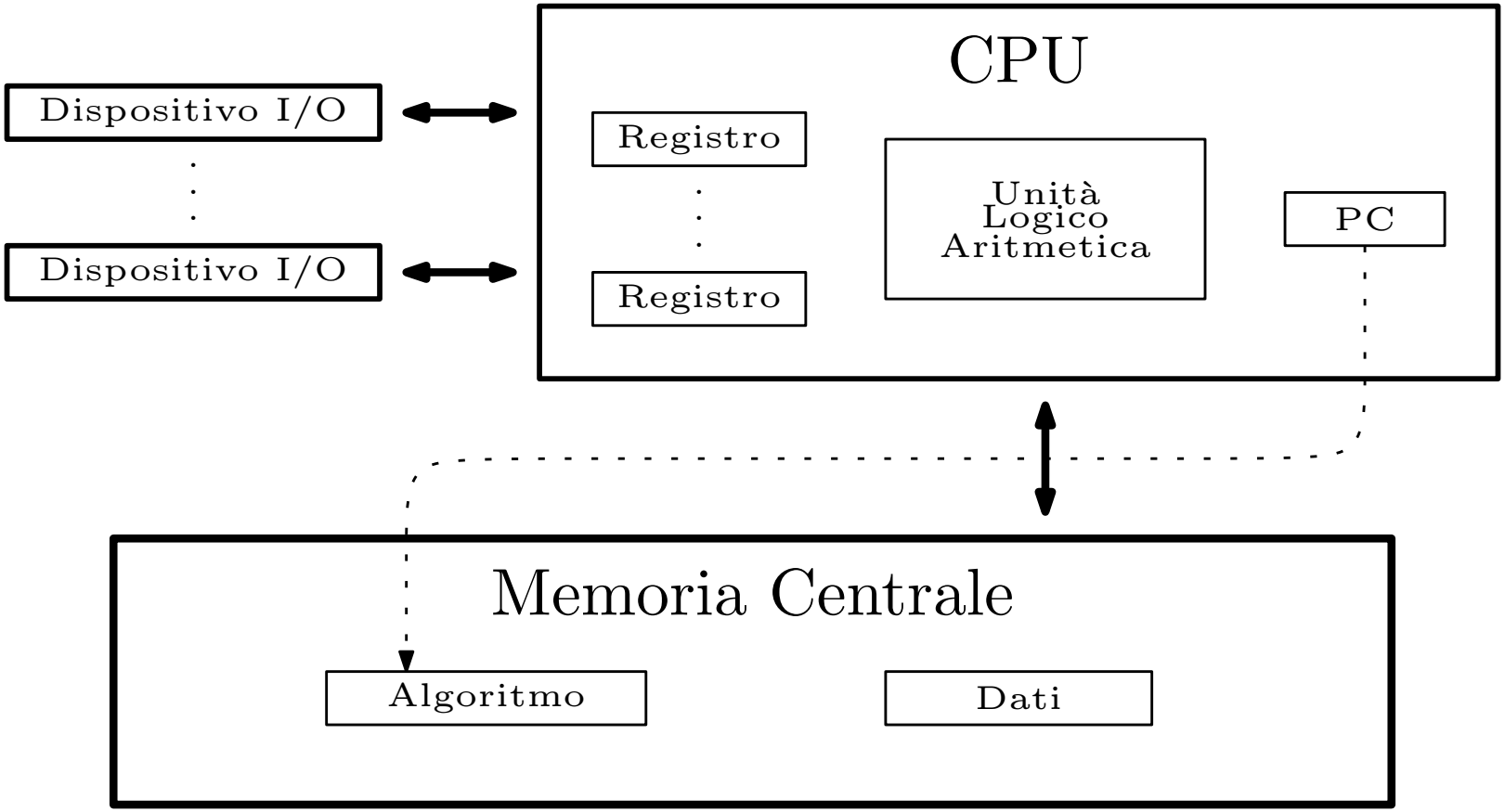
Dove sono i Dati? E l'Algoritmo?

- I *dati* di cui l'algoritmo ha bisogno possono risiedere in memoria centrale, ed alcui di essi possono essere memorizzati nei registri.
- Per quanto riguarda l'*algoritmo*, abbiamo essenzialmente due possibilità:
  1. L'algoritmo risiede nella *CPU*.
     - Di conseguenza, il calcolatore può eseguire *uno e un solo* algoritmo.
     - Parliamo in tal caso di **fixed-program computer**.
     - E' chiaro che in questo caso ciò che possiamo fare con il nostro calcolatore è limitato.
  2. L'algoritmo risiede in *memoria centrale*.
     - L'algoritmo è trattato alla stregua dei dati.
     - Può essere eseguito *qualsiasi* algoritmo.
     - Un particolare registro, detto *program counter*, identificherà la prossima istruzione da eseguire.
     - La CPU non farà altro che leggere la prossima istruzione, eseguirla, e passare alla successiva.
     - Parliamo in questo caso di **stored-program computer**.

Lo Stored-Program Computer



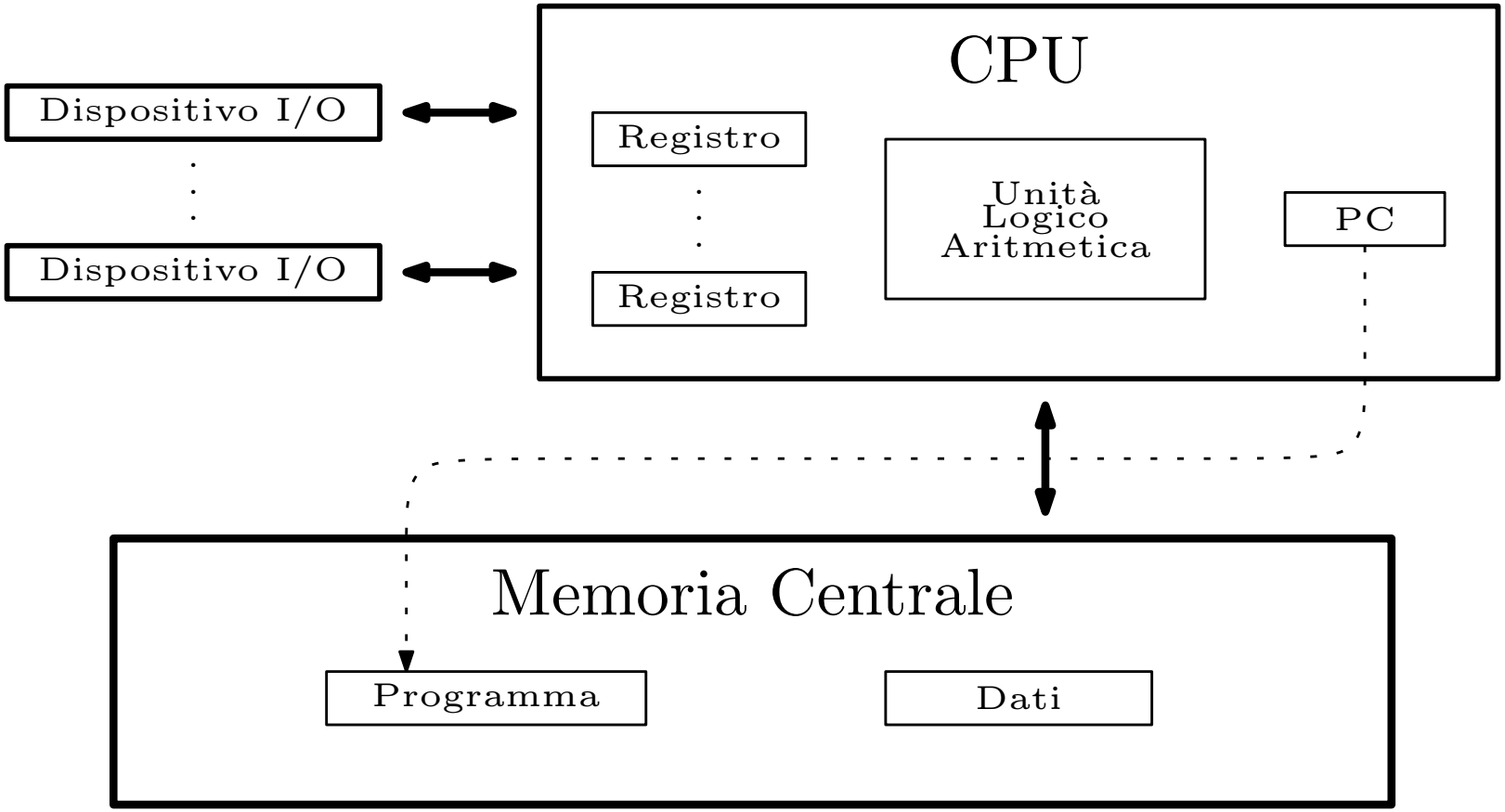
Lo Stored-Program Computer



Linguaggi di Programmazione — I

- Gli algoritmi vengono spesso scritti usando il **linguaggio naturale**.
- In questo modo, però, risulta difficile per il calcolatore (per la CPU) *eseguire* l'algoritmo.
  - Il linguaggio naturale è per sua stessa natura fortemente *ambiguo*.
  - E il calcolatore non è fatto, lo sappiamo, per risolvere l'ambiguità.
- Occorre quindi passare ad un **linguaggio di programmazione**.
  - Un linguaggio *artificiale*, pensato per essere comprensibile al calcolatore.
  - Le frasi di questo linguaggio vengono dette *programmi*, e ciascuna di esse corrisponde ad un algoritmo o ad un suo frammento.
  - Le regole che prescrivono quali siano i programmi e come essi vengono eseguiti dal calcolatore *devono essere rigide*.

Linguaggi di Programmazione — II



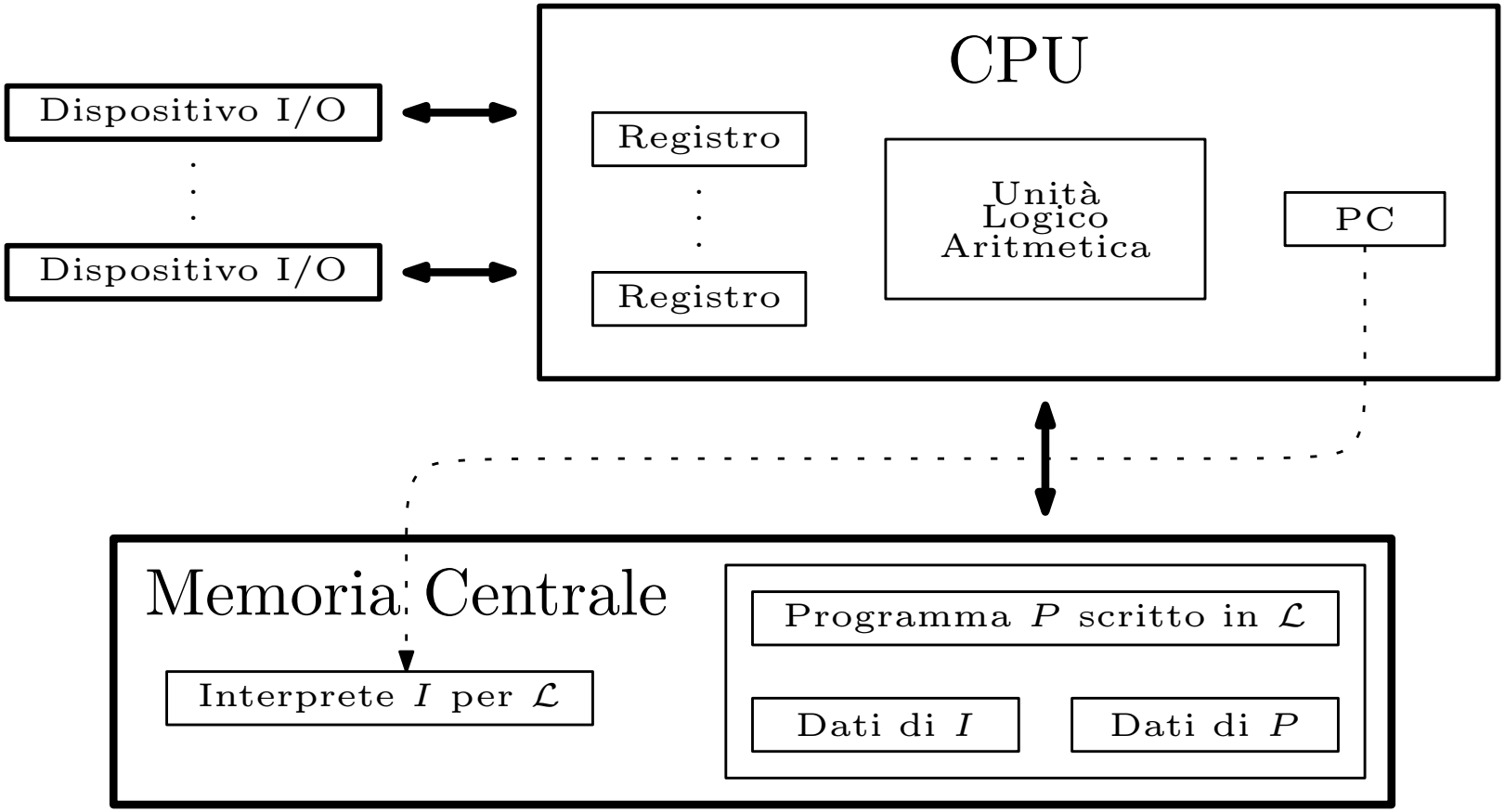
Linguaggi di Programmazione — III

- Esistono migliaia di linguaggi di programmazione.
  - In questo corso ci concentreremo su uno di essi, ovvero `Python`.
- Ogni calcolatore lavora con uno e un solo linguaggio?

Linguaggi di Programmazione — III

- Esistono migliaia di linguaggi di programmazione.
  - In questo corso ci concentreremo su uno di essi, ovvero `Python`.
- Ogni calcolatore lavora con uno e un solo linguaggio?
- In un certo senso sì!
  - Il linguaggio in cui sono scritti i programmi che un certo calcolatore riesce ad eseguire *direttamente* si chiama **linguaggio macchina**.
- E' possibile però fare in modo che un calcolatore esegua programmi scritti in un qualunque linguaggio di programmazione:
  1. **Compilazione**
     - Programmi scritti in un qualunque linguaggio $\mathcal{L}$ vengono tradotti in programmi equivalenti nel linguaggio macchina.
     - Il programma che esegue la traduzione si chiama *compilatore* per $\mathcal{L}$.
  2. **Interpretazione**
     - Programmi scritti in un linguaggio $\mathcal{L}$ vengono visti come dati ed eseguiti da un programma apposito, che si chiama *interprete* per $\mathcal{L}$.

Linguaggi di Programmazione — IV



Sintassi — I

- I programmi in un qualunque linguaggio di programmazione $\mathcal{L}$ sono nient'altro che *frasi* (o *stringhe*) in un certo alfabeto Σ.
  - Tipicamente, Σ include:
    - I *caratteri* `a`, `A`, `b`, `B`, ...
    - Le *cifre* `1`, `2`, `3`, ...
    - Alcuni simboli di punteggatura (ad esempio `;`, `:`, `<`, `>`, ...).
- Non tutte le frasi in Σ *hanno senso* nel linguaggio $\mathcal{L}$.
- La sintassi di un linguaggio di programmazione è un insieme di regole che definiscono quali frasi in Σ possano dirsi almeno **ben formate**.
- Ciò richiede la definizione di certe **categorie** sintattiche, e di un insieme di regole che descrivano precisamente come generare le parole ben formate.
- **Esempio**: in `Python` la sequenza di caratteri `2.3 * 5.3` è ben formata, mentre la sequenza `2.3 5.3` non lo è.

Sintassi — II

- La sintassi di un linguaggio si può definire in maniera precisa attraverso una **grammatica**.
- Un **esempio** di regole grammaticali `Python` potrebbero essere le seguenti:

$$
\begin{aligned}
\langle \textit{espressione} \rangle &\rightarrow \langle \textit{letterale} \rangle \langle \textit{operatore} \rangle \langle \textit{letterale} \rangle \\
\langle \textit{letterale} \rangle &\rightarrow \langle \textit{numero} \rangle \\
\langle \textit{numero} \rangle &\rightarrow \texttt{2.3} \\
\langle \textit{numero} \rangle &\rightarrow \texttt{5.3} \\
\langle \textit{numero} \rangle &\rightarrow \ldots \\
\langle \textit{operatore} \rangle &\rightarrow \texttt{*} \\
\langle \textit{operatore} \rangle &\rightarrow \ldots
\end{aligned}
$$

Sintassi — II

- La sintassi di un linguaggio si può definire in maniera precisa attraverso una **grammatica**.
- Un **esempio** di regole grammaticali `Python` potrebbero essere le seguenti:

$$
\begin{aligned}
\langle \textit{espressione} \rangle &\rightarrow \langle \textit{letterale} \rangle \langle \textit{operatore} \rangle \langle \textit{letterale} \rangle \\
\langle \textit{letterale} \rangle &\rightarrow \langle \textit{numero} \rangle \\
\langle \textit{numero} \rangle &\rightarrow \texttt{2.3} \\
\langle \textit{numero} \rangle &\rightarrow \texttt{5.3} \\
\langle \textit{numero} \rangle &\rightarrow \ldots \\
\langle \textit{operatore} \rangle &\rightarrow \texttt{*} \\
\langle \textit{operatore} \rangle &\rightarrow \ldots
\end{aligned}
$$

- Un **esempio** di regola grammaticale della lingua italiana è invece la seguente:

$$\langle \textit{periodo} \rangle \rightarrow \langle \textit{soggetto} \rangle \langle \textit{verbo} \rangle \langle \textit{oggetto} \rangle$$

Sintassi — III

- Solo le espressioni che possiamo dimostrare essere in una categoria sintattica tramite una derivazione finita sono ben formate.
- In tutti gli altri casi, parliamo di **errore sintattico**
- L'interprete e/o il compilatore sono sempre in grado di segnalare la presenza di un errore sintattico in un programma.
  - In tal caso il programma non viene neanche eseguito!

Semantica Statica — I

- Non tutte le sequenze di stringhe ben formate **hanno effettivamente un senso** in un linguaggio di programmazione.
- **Esempio**:
  - Sempre in `Python`, abbiamo anche le regole

$$\langle \textit{letterale} \rangle \rightarrow \langle \textit{stringa} \rangle$$
$$\langle \textit{numero} \rangle \rightarrow \texttt{'hello'}$$
$$\langle \textit{numero} \rangle \rightarrow \ldots$$

  - La sequenza di caratteri ben formata, quindi, è anche `2.3 * 'hello'`. Infatti:
  - Ovviamente, però, a tale sequenza non è possibile *dare un senso*.
- **Esempio**:
  - Nella lingua italiana, la frase `Io mangiamo una pizza` è ben formata, ma certamente non ha senso!

Semantica Statica — II

- La **semantica statica** è lo strumento che abbiamo a disposizione per identificare tra le frasi ben formate, quelle che *hanno un senso*.
- Spesso, e in `Python` in particolare, la semantica statica è formulata tramite il concetto di **tipo**.
  - Ad ogni frase ben formata è attribuito un tipo.
  - I tipi verranno poi usati per evitare di costruire frasi senza significato.
  - Ad esempio, in

    $$\langle \textit{espressione} \rangle \rightarrow \langle \textit{letterale} \rangle \langle \textit{operatore} \rangle \langle \textit{letterale} \rangle$$

    l'espressione ha tipo intero se l'operatore è `*` e se entrambi i letterali hanno tipo intero.
- A differenza degli errori sintattici, gli errori di semantica statica sono in genere catturati dall'interprete `Python`, ma quando il programma è già in esecuzione
  - Tecnicamente, si dice che `Python` *non ha* tipi statici.
  - In altri linguaggi di programmazione vale il viceversa.

Semantica Dinamica

- La semantica dinamica definisce **il senso**, **il significato** di una qualunque frase in un linguaggio di programmazione.
- La semantica dinamica può essere specificata in modo formale, attraverso il linguaggio matematico.
- In questo corso, per ovvie ragioni, non ci sarà modo di formalizzare la semantica dinamica di `Python` in modo preciso.
- Useremo però una rappresentazione diagrammatica, informale ma certamente sufficiente ai nostri scopi.
- In *tutti* i linguaggi di programmazione, gli errori di semantica statica non sono rilevabili.
  - Come è possibile, per l'elaboratore, accorgersi che il programma che avete scritto non fa quello che dovrebbe fare?