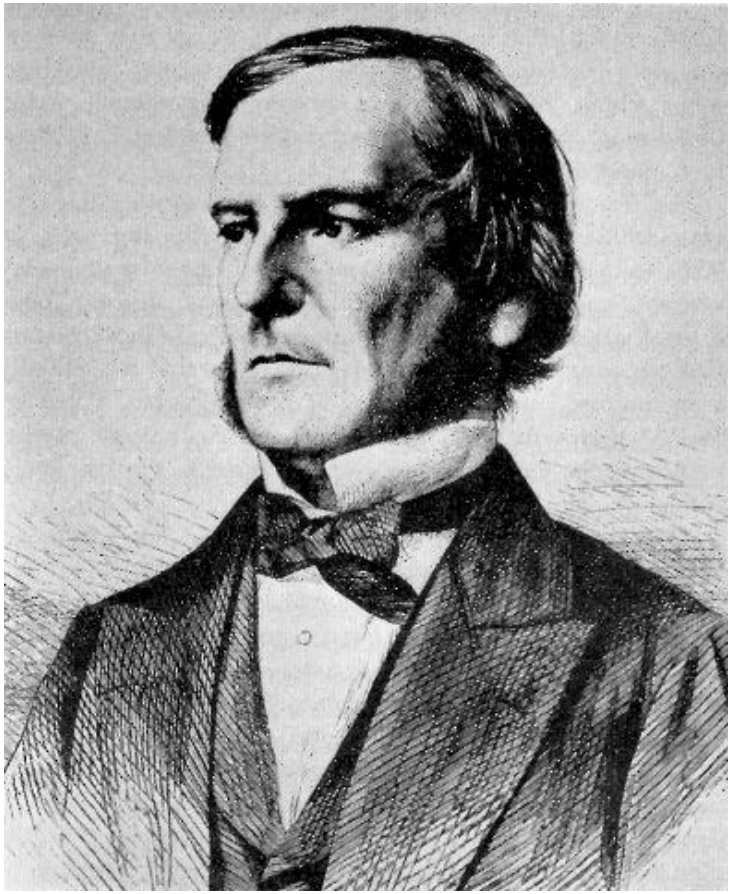
Algebra di Boole ed elementi di Logica
Fine introduzione all'informatica

Credits to A. Fuggetta, A. Campi e P. Pinoli

Cenni all'algebra di Boole

- L'*algebra di Boole* (inventata da G. Boole, britannico, seconda metà '800), o *algebra della logica*, si basa su *operazioni logiche*
- Le operazioni logiche sono applicabili a *operandi logici*, cioè a operandi in grado di assumere solo i valori ***vero*** *e* ***falso***
- Si può rappresentare *vero* con il bit **1** e *falso* con il bit **0** (convenzione di *logica positiva*)



Fonte: Wikipedia

Operazioni logiche fondamentali

- Operatori logici binari (con 2 operandi logici)
  - Operatore **or**, o *somma logica*
  - Operatore **and**, o *prodotto logico*
- Operatore logico unario (con 1 operando)
  - Operatore **not**, o *negazione*, o *inversione*

- Poiché gli operandi logici ammettono due soli valori, si può definire compiutamente ogni operatore logico tramite una ***tabella*** di associazione operandi-risultato

Operatori logici di base e loro tabelle di verità

A	B	A or B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(somma logica)

A	B	A and B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(prodotto logico)

A	not A
0	1
1	0

(negazione)

Le tabelle elencano tutte le possibili combinazioni in ingresso e il risultato associato a ciascuna combinazione

Espressioni logiche (o booleane)

- Come le espressioni algebriche, costruite con:
  - Variabili logiche (letterali): p. es. A, B, C = 0 oppure 1
  - Operatori logici: and, or, not
- Esempi:

  A or (B and C)

  (A and (not B)) or (B and C)
- **Precedenza**: l'operatore "not" precede l'operatore "and", che a sua volta precede l'operatore "or"

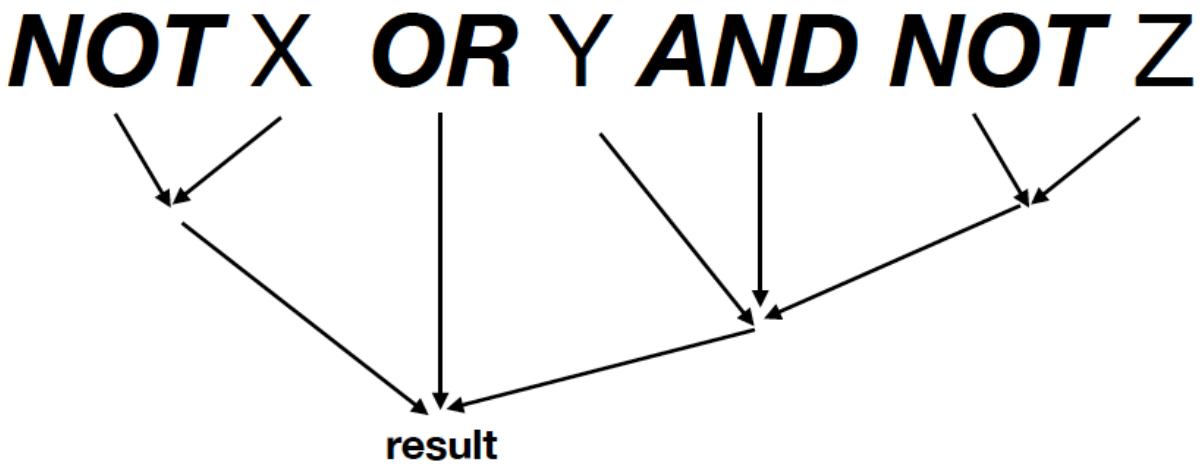
  A and not B or B and C = (A and (not B)) or (B and C)

  (occhio alle parentesi!)
- Per ricordarlo, si pensi OR come "+" (più), AND come "×" (per) e NOT come "–" (cambia segno)

Regole di precedenza

Operator precedence:

NOT precedes **AND** precedes **OR**



Regole di precedenza: occhio alle parentesi!

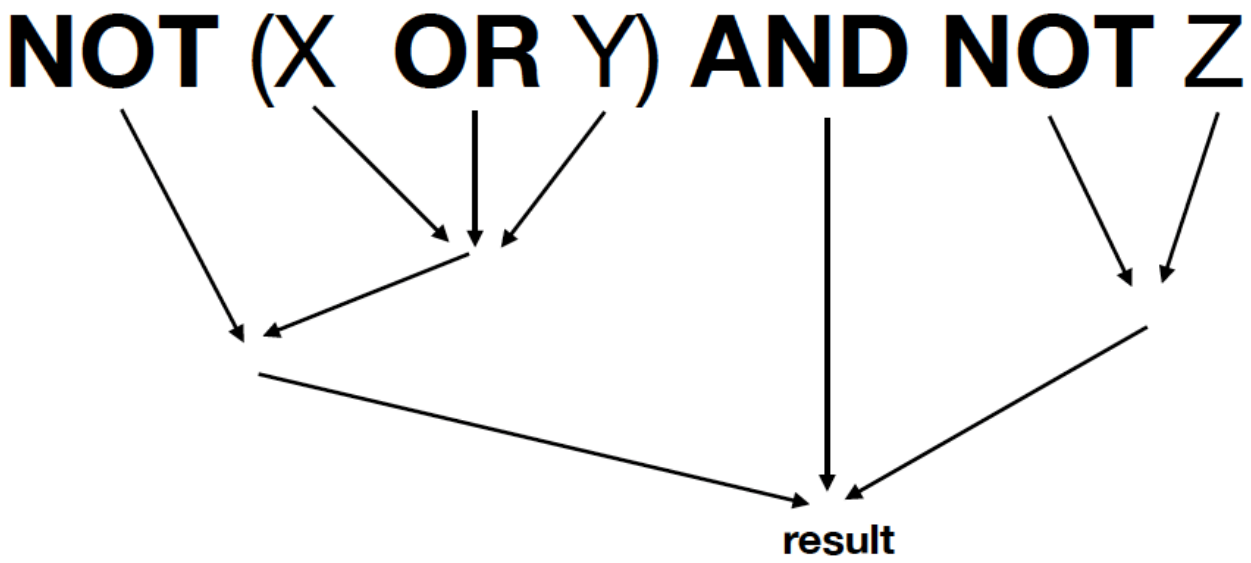


Tabelle di verità delle espressioni logiche

A	B	not ((A or B) and (not A))
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	1

Specificano i valori di verità
per tutti i possibili valori
delle variabili

Esempio di tabella di verità

A and B or not C

A B C	**X** = A and B	**Y** = not C	**X** or **Y**	
0 0 0	0 and 0 = 0	not 0 = 1	0 or 1	**= 1**
0 0 1	0 and 0 = 0	not 1 = 0	0 or 0	**= 0**
0 1 0	0 and 1 = 0	not 0 = 1	0 or 1	**= 1**
0 1 1	0 and 1 = 0	not 1 = 0	0 or 0	**= 0**
1 0 0	1 and 0 = 0	not 0 = 1	0 or 1	**= 1**
1 0 1	1 and 0 = 0	not 1 = 0	0 or 0	**= 0**
1 1 0	1 and 1 = 1	not 0 = 1	1 or 1	**= 1**
1 1 1	1 and 1 = 1	not 1 = 0	1 or 0	**= 1**

Esercizio

- Risolvere le seguenti espressioni con tabella di verità:

1. not A or B and not A
2. B or not C and A or not C

A che cosa servono le espressioni logiche?

- A *modellare* alcune (non tutte) forme di *ragionamento*
  - A = è vero che 1 è maggiore di 2 ? (sì o no, qui è no) = 0
  - B = è vero che 2 più 2 fa 4 ? (sì o no, qui è sì) = 1
  - A and B = è vero che 1 sia maggiore di 2 e che 2 più 2 faccia 4 ?
    Si ha che A and B = 0 and 1 = 0, dunque no
  - A or B = è vero che 1 sia maggiore di 2 o che 2 più 2 faccia 4 ?
    Si ha che A or B = 0 or 1 = 1, dunque sì
- OR, AND e NOT vengono anche chiamati *connettivi logici,* perché funzionano come le congiunzioni coordinanti "o" ed "e", e come la negazione "non", del linguaggio naturale
- Si modellano ragionamenti (o *deduzioni*) basati solo sull'uso di "o", "e" e "non" (non è molto, ma è utile)

Che cosa non si può modellare tramite espressioni logiche?

- Le espressioni logiche (booleane) *non modellano*:
  - Domande *esistenziali*: "***c'è almeno*** un numero reale x tale che il suo quadrato valga –1 ?" (si sa bene che *non c'è*)
    $\exists x \mid x^2 = -1$ è falso
  - Domande *universali*: "***ogni*** numero naturale è la somma di quattro quadrati di numeri naturali ?" (si è dimostrato *di sì*)
    $\forall x \mid x = a^2+b^2+c^2+d^2$ è vero ("teorema dei 4 quadrati")

    Più esattamente andrebbe scritto: $\forall x \; \exists a,b,c,d \mid x = a^2+b^2+c^2+d^2$
- $\exists$ e $\forall$ sono chiamati "operatori di quantificazione", e sono ben diversi da *or*, *and* e *not*
- La parte della logica che tratta solo degli operatori *or*, *and* e *not* si chiama ***calcolo proposizionale***
- Aggiungendo gli operatori di quantificazione, si ha il ***calcolo dei predicati*** (che è molto più complesso)

Tautologie e Contraddizioni

- *Tautologia*
  - Una espressione logica che è sempre **vera**, per qualunque combinazione di valori delle variabili
    - Esempio: principio del "terzo escluso": **A or not A** (*tertium non datur*, non si dà un terzo caso tra l'evento A e la sua negazione)
- *Contraddizione*
  - Una espressione logica che è sempre **falsa**, per qualunque combinazione di valori delle variabili
    - Esempio: principio di "non contraddizione": **A and not A** (l'evento A e la sua negazione non possono essere entrambi veri)

Equivalenza tra espressioni

- Due espressioni logiche si dicono ***equivalenti*** (e si indica con ⇔) **se hanno la medesima tabella di verità**. La verifica è *algoritmica*. Per esempio:

A B	not A and not B	⇔	not (A or B)
0 0	1 and 1 = 1		not 0 = 1
0 1	1 and 0 = 0		not 1 = 0
1 0	0 and 1 = 0		not 1 = 0
1 1	0 and 0 = 0		not 1 = 0

- Espressioni logiche equivalenti modellano gli stessi *stati di verità* a fronte delle medesime variabili

Proprietà dell'algebra di Boole

- L'algebra di Boole gode di svariate *proprietà*, formulabili sotto specie di *identità*
  - (cioè formulabili come equivalenze tra espressioni logiche, valide per qualunque combinazione di valori delle variabili)
- Esempio celebre: le **Leggi di De Morgan**

  not (A **and** B) = not A **or** not B (1ª legge)

  not (A **or** B) = not A **and** not B (2ª legge)

Altre proprietà

- Alcune proprietà somigliano a quelle dell'algebra numerica tradizionale:
  - Proprietà *associativa*: A or (B or C) = (A or B) or C (idem per AND)
  - Proprietà *commutativa*: A or B = B or A (idem per AND)
  - Proprietà *distributiva* di AND rispetto a OR:
    A and (B or C) = A and B or A and C
  - … e altre ancora
- Ma parecchie altre sono alquanto insolite…
  - Proprietà *distributiva* di OR rispetto a AND:
    A or B and C = (A or B) and (A or C)
  - Proprietà di *assorbimento* (A assorbe B):
    A or A and B = A
  - *Legge dell'elemento* 1: not A or A = 1
  - … e altre ancora

Uso delle proprietà

- *Trasformare* un'espressione logica in un'altra, differente per aspetto ma equivalente:

not A and B or A =	(assorbimento)
= not A and B or (A or A and B) =	(togli le parentesi)
= not A and B or A or A and B =	(commutativa)
= not A and B or A and B or A =	(distributiva)
= (not A or A) and B or A =	(legge dell'elemento 1)
= ***true*** and B or A =	(vero and B = B)
= B or A	è più semplice dell'espressione originale !

- Si *verifichi* l'equivalenza con le tabelle di verità!
- Occorre conoscere un'ampia lista di proprietà e si deve riuscire a "vederle" nell'espressione (qui è il difficile)

Valutazione cortocircuitata

- La valutazione cortocircuitata delle espressioni è una tecnica utilizzata in programmazione elettronica e informatica per migliorare l'efficienza nell'elaborazione di espressioni booleane
- **Valutazione cortocircuitata dell'AND:** se il primo termine risulta falso, l'espressione risulta falsa senza che gli altri termini vengano controllati
- **Valutazione cortocircuitata dell'OR:** se il primo termine risulta vero, l'espressione è vera indipendentemente dagli altri valori

Dalla tabella di verità alle espressioni

- Esistono principalmente due algoritmi:
  1. Somma di prodotti (**SOP**)
  2. Prodotto di somme (**POS**)
- Il risultato che producono è *equivalente*
- (Non li vedremo in questo corso)

Quiz

Tool online

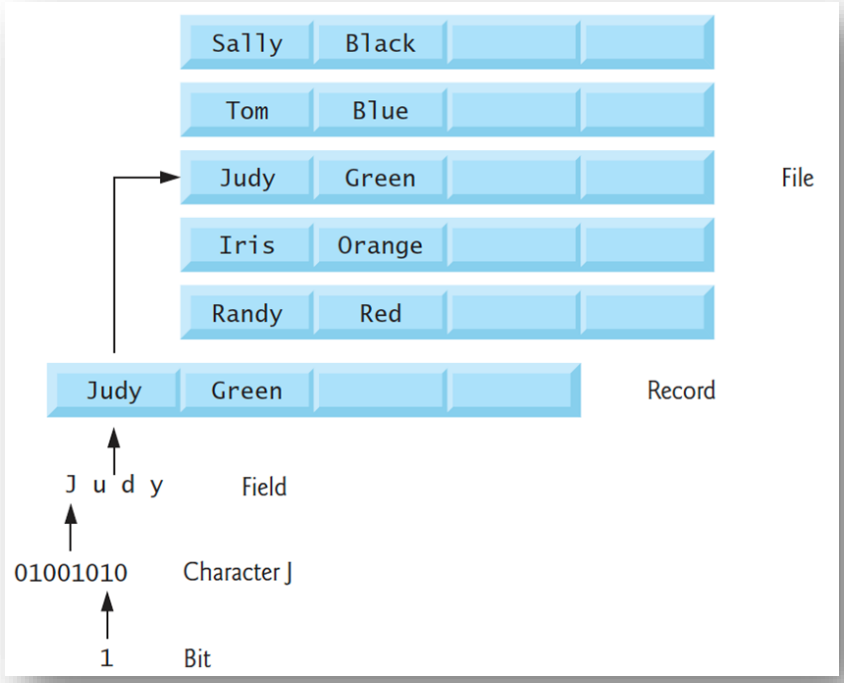
- https://www.emathhelp.net/en/calculators/discrete-mathematics/boolean-algebra-calculator/
- https://www.boolean-algebra.com

Intervallo

Fonte: PlaygroundAI

Gerarchia dei dati

- I dati elaborati dai computer formano una gerarchia che cresce in **grandezza** e **complessità**, partendo dai **bit** fino ad arrivare ai **caratteri** e **i campi**
- Ogni livello ha più significato e contesto, permettendo la rappresentazione di informazioni sempre più complesse
- Questa struttura gerarchica è essenziale per comprendere come i dati vengono organizzati e gestiti nei sistemi informatici



Fonte: Deitel & Deitel

Caratteri

- Lavorare con i dati nella forma a basso livello dei bit è difficile
- Invece, le persone preferiscono lavorare con cifre decimali (0–9), lettere (A–Z e a–z) e simboli speciali come:

$ @ % & * ( ) – + " : ; , ? /

- Le cifre, le lettere e i simboli speciali sono noti come **caratteri**
- Il set di caratteri del computer contiene i caratteri usati per scrivere programmi e rappresentare elementi di dati
- C utilizza per impostazione predefinita il set di caratteri ASCII (American Standard Code for Information Interchange)
- C supporta anche i caratteri Unicode®, composti da uno, due, tre o quattro byte (rispettivamente 8, 16, 24 o 32 bit)

Campi

- Così come i caratteri sono composti da bit, i campi sono composti da caratteri o byte
- Un campo è un gruppo di caratteri o byte che trasmette un significato
- Un campo composto da lettere maiuscole e minuscole potrebbe rappresentare il nome di una persona
- Un campo composto da cifre decimali potrebbe rappresentare l'età di una persona in anni

Record

- Diversi campi correlati possono essere utilizzati per comporre un **record**
- Un record di un dipendente potrebbe essere composto da:
  - Numero di identificazione del dipendente (un numero intero)
  - Nome (un gruppo di caratteri)
  - Indirizzo (un gruppo di caratteri)
  - Tariffa oraria (un numero con un punto decimale)
  - Guadagni accumulati nell'anno (un numero con un punto decimale)
  - Importo delle tasse trattenute (un numero con un punto decimale)
- Un record è quindi un gruppo di campi correlati

Files

- Un **file** è un gruppo di record correlati
- Un file contiene dati arbitrari in formati arbitrari
- Alcuni sistemi operativi considerano un file semplicemente come una sequenza di byte;
  - qualsiasi organizzazione dei byte in un file è una struttura creata dal programmatore del software

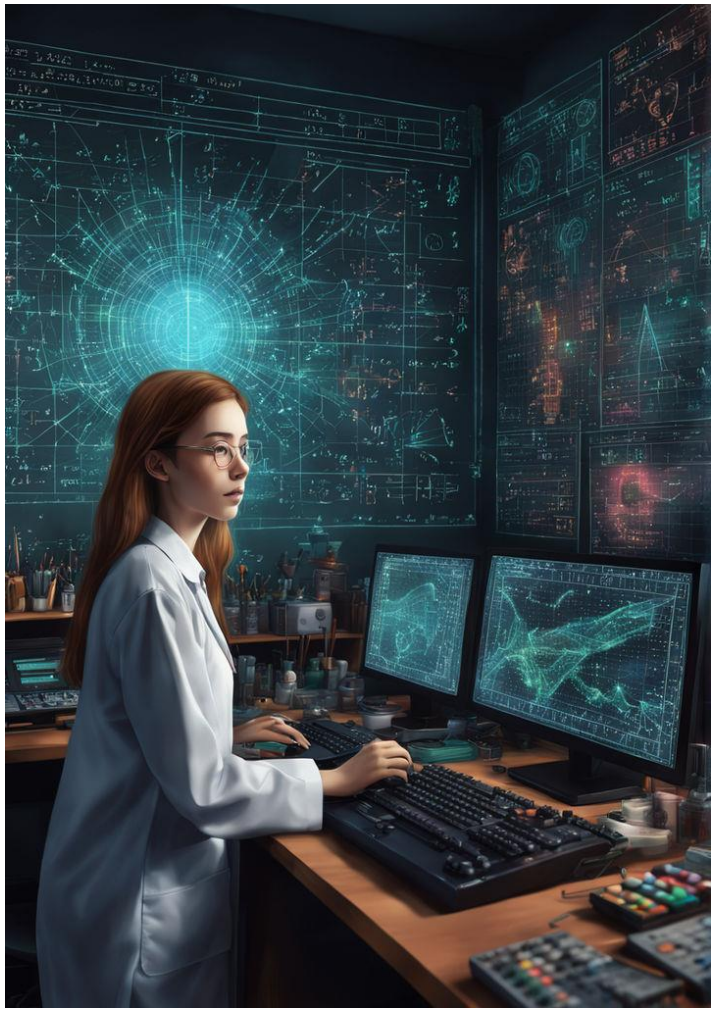
Fonte: PlaygroundAI

Databases

- Un **database** è una raccolta di dati organizzata per un facile accesso e manipolazione
- Il modello più popolare è il database relazionale, in cui i dati sono memorizzati in tabelle semplici
- Una **tabella** include record e campi
- Una tabella di studenti potrebbe includere:
  - Nome, cognome, corso di laurea, anno, numero di matricola e media voti.
- I dati di ciascuno studente costituiscono un **record**, e le singole informazioni all'interno di ogni record sono i **campi**

Big Data

- La quantità di dati prodotta a livello mondiale è **enorme**, e la sua crescita è in accelerazione
- Le applicazioni di Big Data gestiscono quantità massicce di dati
- Questo settore è in rapida **crescita**, creando molte opportunità per gli sviluppatori software
- Milioni di posti di lavoro nel campo della tecnologia dell'informazione (IT) a livello globale già supportano le **applicazioni di Big Data**

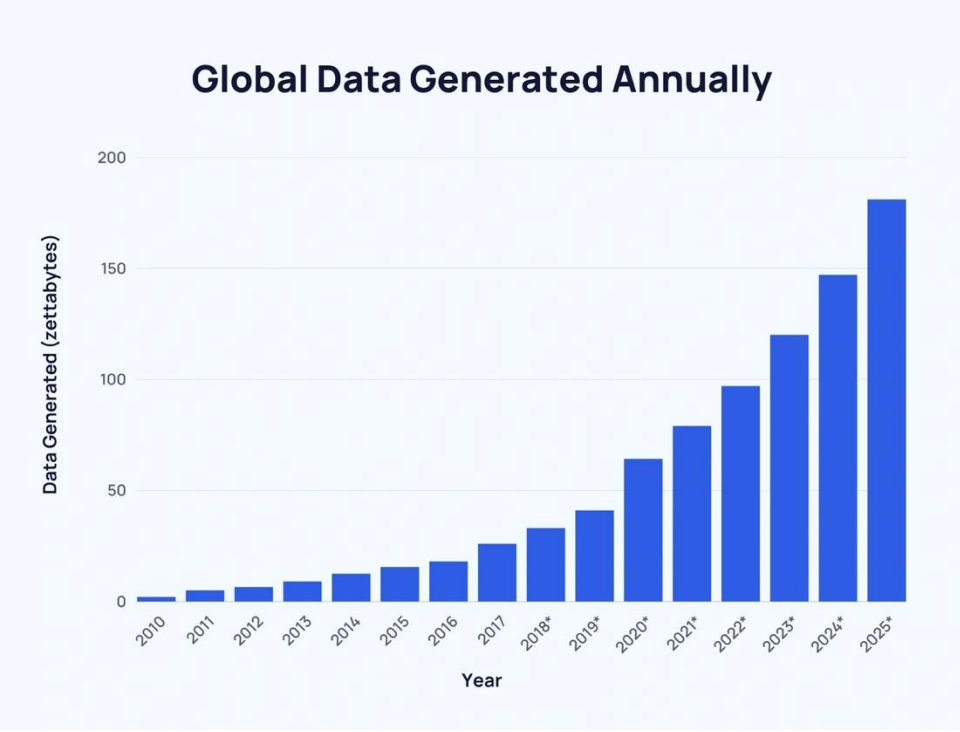


Fonte: PlaygroundAI

Zettabyte era

Category	Proportion of Internet Data Traffic
Video	53.72%
Social	12.69%
Gaming	9.86%
Web browsing	5.67%
Messaging	5.35%
Marketplace	4.54%
File sharing	3.74%
Cloud	2.73%

Fonte: Exploding Topics



- 1 Zettabyte = 10^{21} bytes

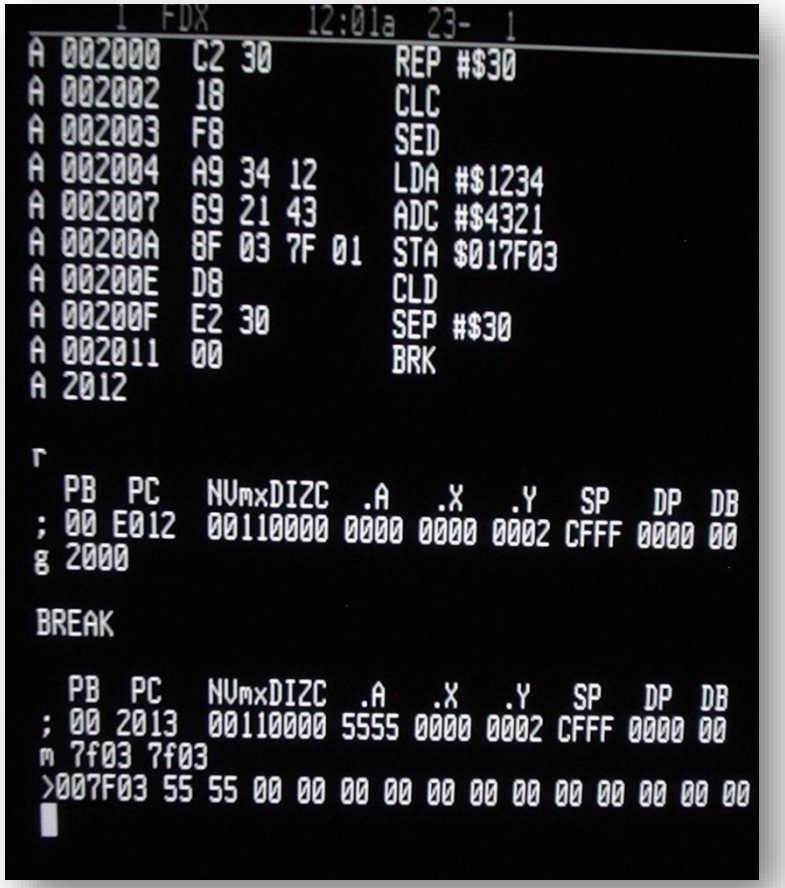
Linguaggi di programmazione

- I programmatori scrivono istruzioni in vari linguaggi di programmazione, alcuni **direttamente** comprensibili dai computer e altri che richiedono passaggi intermedi di **traduzione**
- Oggi sono in uso centinaia di tali linguaggi, che possono essere suddivisi in tre tipi generali:
  - Linguaggio macchina
  - Linguaggio assembly
  - Linguaggio di alto livello

Fonte: PlaygroundAI

Linguaggio macchina

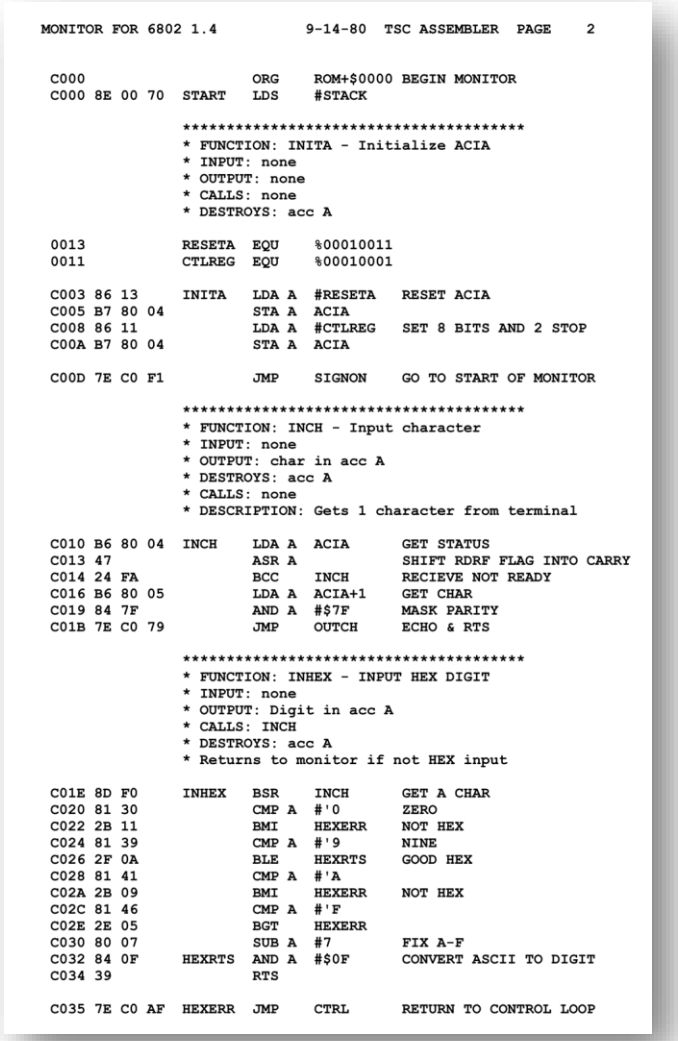
- Ogni computer può comprendere **direttamente** il proprio linguaggio macchina, definito dal suo design hardware
- Il linguaggio macchina generalmente consiste di una **stringa di numeri** (0 e 1) che istruiscono il computer su come eseguire le operazioni elementari una alla volta
- I linguaggi macchina sono **machine-dependent** – ognuno può essere utilizzato su un solo tipo di macchina
- Molto difficili da comprendere per gli esseri umani!



Fonte: Wikipedia

Linguaggio Assembly e Assembler

- Programmare in linguaggio macchina era troppo **lento** e tedioso per la maggior parte dei programmatori
- Invece di utilizzare stringhe di numeri comprensibili direttamente dai computer, i programmatori iniziarono a usare **abbreviazioni simili all'inglese** per rappresentare operazioni elementari
- Queste abbreviazioni formarono la base dei linguaggi **assembly**
- Furono sviluppati programmi traduttori chiamati **assembler** per convertire i programmi in linguaggio assembly in linguaggio macchina alla velocità del computer

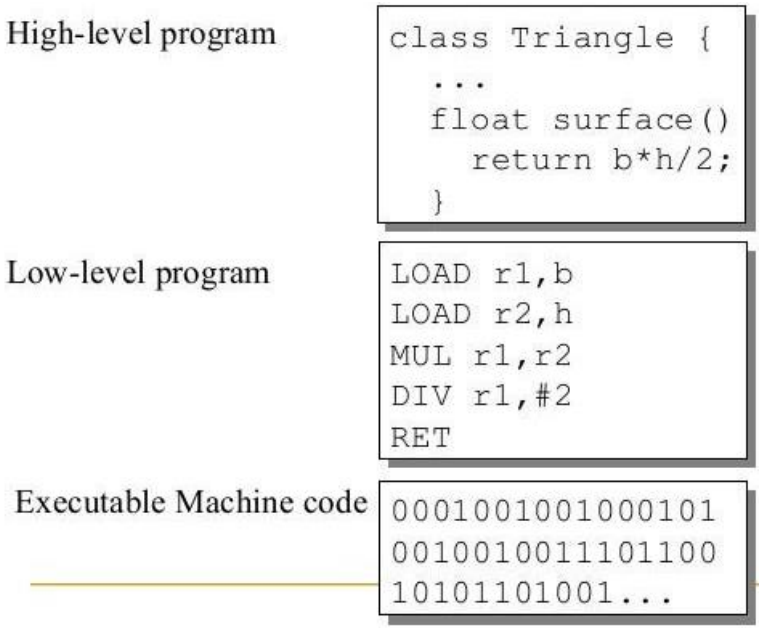


```
MONITOR FOR 6802 1.4          9-14-80  TSC ASSEMBLER  PAGE    2


C000                    ORG    ROM+$0000 BEGIN MONITOR
C000 8E 00 70  START    LDS    #STACK

                ***************************************
                * FUNCTION: INITA - Initialize ACIA
                * INPUT: none
                * OUTPUT: none
                * CALLS: none
                * DESTROYS: acc A

0013            RESETA  EQU    %00010011
0011            CTLREG  EQU    %00010001

C003 86 13      INITA   LDA A  #RESETA   RESET ACIA
C005 B7 80 04           STA A  ACIA
C008 86 11              LDA A  #CTLREG   SET 8 BITS AND 2 STOP
C00A B7 80 04           STA A  ACIA

C00D 7E C0 F1           JMP    SIGNON    GO TO START OF MONITOR

                ***************************************
                * FUNCTION: INCH - Input character
                * INPUT: none
                * OUTPUT: char in acc A
                * DESTROYS: acc A
                * CALLS: none
                * DESCRIPTION: Gets 1 character from terminal

C010 B6 80 04   INCH    LDA A  ACIA      GET STATUS
C013 47                 ASR A            SHIFT RDRF FLAG INTO CARRY
C014 24 FA              BCC    INCH      RECIEVE NOT READY
C016 B6 80 05           LDA A  ACIA+1    GET CHAR
C019 84 7F              AND A  #$7F      MASK PARITY
C01B 7E C0 79           JMP    OUTCH     ECHO & RTS

                ***************************************
                * FUNCTION: INHEX - INPUT HEX DIGIT
                * INPUT: none
                * OUTPUT: Digit in acc A
                * CALLS: INCH
                * DESTROYS: acc A
                * Returns to monitor if not HEX input

C01E 8D F0      INHEX   BSR    INCH      GET A CHAR
C020 81 30              CMP A  #'0       ZERO
C022 2B 11              BMI    HEXERR    NOT HEX
C024 81 39              CMP A  #'9       NINE
C026 2F 0A              BLE    HEXRTS    GOOD HEX
C028 81 41              CMP A  #'A
C02A 2B 09              BMI    HEXERR    NOT HEX
C02C 81 46              CMP A  #'F
C02E 2E 05              BGT    HEXERR
C030 80 07              SUB A  #7        FIX A-F
C032 84 0F      HEXRTS  AND A  #$0F      CONVERT ASCII TO DIGIT
C034 39                 RTS

C035 7E C0 AF   HEXERR  JMP    CTRL      RETURN TO CONTROL LOOP
```

Fonte: Wikipedia

Linguaggi di alto livello e Compilatori

- Per accelerare il processo di programmazione, sono stati sviluppati i **linguaggi di alto livello**, in cui singole istruzioni possono realizzare compiti sostanziali
- Un tipico programma in linguaggio di alto livello contiene molte istruzioni, conosciute come **codice sorgente** del programma
- I programmi traduttori chiamati **compilatori** convertono il codice sorgente in linguaggio di alto livello in linguaggio macchina
- I linguaggi di alto livello permettono di scrivere istruzioni che sembrano quasi come l'inglese quotidiano e contengono notazioni matematiche comuni



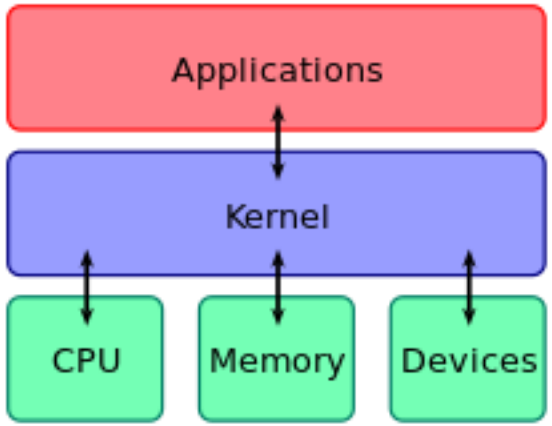
Fonte: Charles Dahab @Medium

Interpreter

- Compilare un ampio programma in linguaggio di alto livello in linguaggio macchina può richiedere un considerevole tempo di elaborazione
- Gli **interpreter** eseguono i programmi in linguaggio di alto livello direttamente
- Gli interpreter evitano i ritardi della compilazione, ma il codice viene eseguito più **lentamente** rispetto ai programmi compilati
- Alcuni linguaggi di programmazione, come Java e Python, utilizzano una combinazione intelligente di compilazione e interpretazione per eseguire i programmi

Sistemi operativi

- I sistemi operativi sono **software** che rendono l'uso dei computer più comodo per utenti, sviluppatori di software e amministratori di sistema
- Forniscono servizi che permettono alle applicazioni di eseguire in modo sicuro, efficiente e simultaneo
- Il software che contiene i componenti principali del sistema operativo è chiamato **kernel**
- **Linux, Windows e macOS** sono sistemi operativi desktop popolari
- Ognuno di essi è *parzialmente scritto* in C
- I sistemi operativi mobili più popolari per smartphone e tablet sono **Android** di Google e **iOS** di Apple



Fonte: Wikipedia

Fonte: AlmaBetter

Windows e Linux

- **Windows:** Sviluppato da Microsoft, sistema operativo proprietario.
- **Linux:** Sviluppato dalla comunità open source
- **Compatibilità e Utilizzo:**
  - **Windows:** Ampio supporto per hardware e software commerciale, comune su desktop e laptop, adatto anche per giochi.
  - **Linux:** Ampio supporto per hardware e software open source, prevalente su server e sistemi embedded, meno supporto per software commerciale.
- **Sicurezza:**
  - **Windows:** Aggiornamenti regolari e integrazione con Microsoft Defender, ma storicamente più vulnerabile a malware.
  - **Linux:** Considerato altamente sicuro, grazie alla sua struttura e alla comunità di sviluppo attiva che contribuisce alla rapida risoluzione di vulnerabilità.
- **Costo:**
  - **Windows:** Licenza a pagamento, con costi associati per aggiornamenti e supporto.
  - **Linux:** Gratuito, con possibilità di supporto a pagamento in alcune distribuzioni commerciali.

Paradigma Open-source

- **Accesso al codice**: Chiunque può visualizzare, modificare e distribuire il codice sorgente, favorendo trasparenza e innovazione
- **Collaborazione**: Sviluppato da una comunità globale, permette contributi rapidi e risoluzione di problemi
- **Libertà d'uso**: Gli utenti possono personalizzare il software senza le restrizioni delle licenze proprietarie
- **Indipendenza**: Riduce la dipendenza dai fornitori e promuove sostenibilità con modelli di business alternativi
- **Sicurezza**: La trasparenza del codice facilita la rapida identificazione e correzione delle vulnerabilità

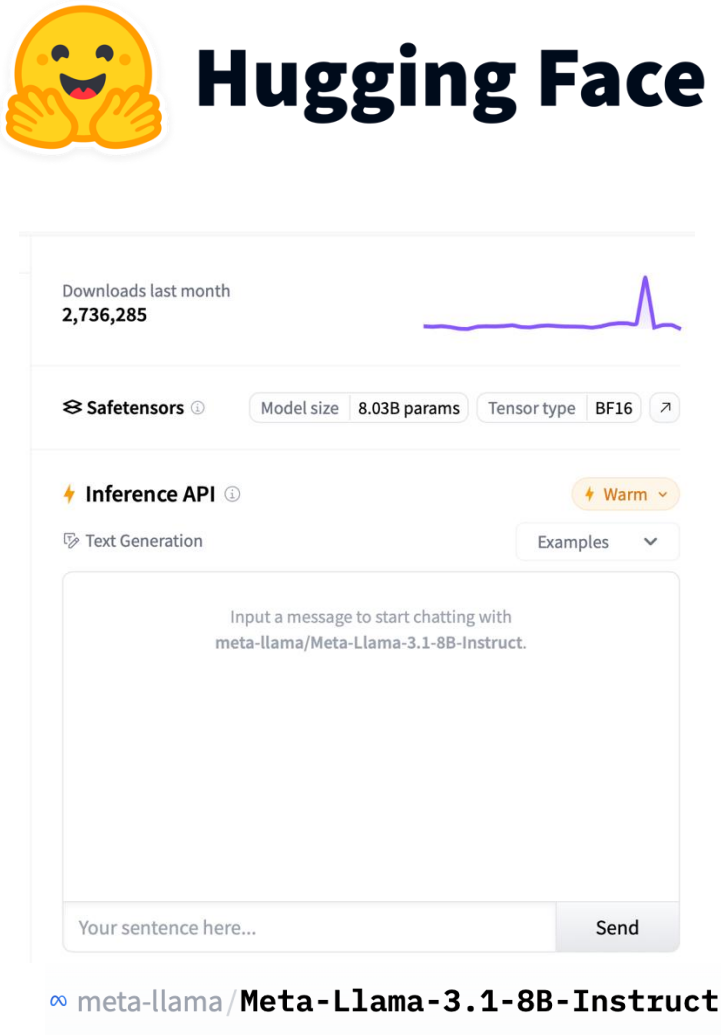
Fonte: Wikipedia

Organizzazioni Open-Source

- **GitHub:** Fornisce strumenti per la gestione di progetti open-source, con milioni di progetti in fase di sviluppo
- **The Apache Software Foundation:** Originariamente creatori del server web Apache, ora supervisiona oltre 350 progetti open-source, inclusi molte tecnologie per l'infrastruttura dei Big Data
- **The Eclipse Foundation:** Supporta l'Eclipse Integrated Development Environment (IDE), che aiuta i programmatori nello sviluppo del software
- **The Mozilla Foundation:** Creatori del browser web Firefox e promotori di software open-source per la navigazione e altre applicazioni
- **OpenML:** Si concentra su strumenti e dati open-source per il machine learning, facilitando la collaborazione e l'innovazione nel campo dell'apprendimento automatico
- **Python Software Foundation:** Responsabile del linguaggio di programmazione Python, sostenendo la crescita e lo sviluppo della sua comunità e delle sue librerie

Open-Source A.I.

- **Piattaforma collaborativa**: Hugging Face facilita la condivisione e l'esplorazione di progetti open-source nel machine learning
- **Empowerment e condivisione**: Supporta ingegneri e scienziati nell'apprendimento e nella collaborazione per un'AI aperta ed etica
- **Cuore dell'AI**: Leader nello sviluppo e nella condivisione di modelli di linguaggio di grandi dimensioni (**LLMs**)



Fonte: Hugging Face

Quiz

Il linguaggio C

- Evoluzione di due linguaggi del passato: BCPL (1967) e B (1970)
- Pensato per sistemi operativi e compilatori, inventato nel 1972 nei Bell Laboratories da Dennis Ritchie
- Linguaggio di sviluppo di UNIX, ora implementato in molti sistemi operativi moderni
- **Hardware-independent**: I programmi scritti in C possono essere lanciate sulla maggior parte dei computer con poche modifiche
- Per ottimizzare performance:
  - Sistemi operativi
  - Sistemi embedded
  - Sistemi di comunicazione

Libreria standard C

- I programmi in C sono costituiti da elementi chiamati **funzioni**
- È possibile programmare tutte le funzioni necessarie per formare un programma in C
- Tuttavia, la maggior parte dei programmatori C sfrutta la ricca collezione di funzioni esistenti nella **libreria standard** del C
- Ci sono due aspetti principali dell'apprendimento della programmazione in C:
  - Apprendere il linguaggio C stesso
  - Apprendere come utilizzare le funzioni nella libreria standard del C

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

int main()
{
    printf("Hello World");

    return 0;
}
```

Programmare in C

- Quando programmiamo in C, utilizziamo tipicamente i seguenti elementi costitutivi:
  - Funzioni della libreria standard del C
  - Funzioni della libreria C open-source
  - Funzioni che creiamo
- Funzioni create da altre persone e messe a disposizione
- Ci concentriamo sull'utilizzo della libreria standard del C esistente per ottimizzare gli sforzi nello sviluppo del programma e evitare di "reinventare la ruota".
- Questo è chiamato **riutilizzo del software**

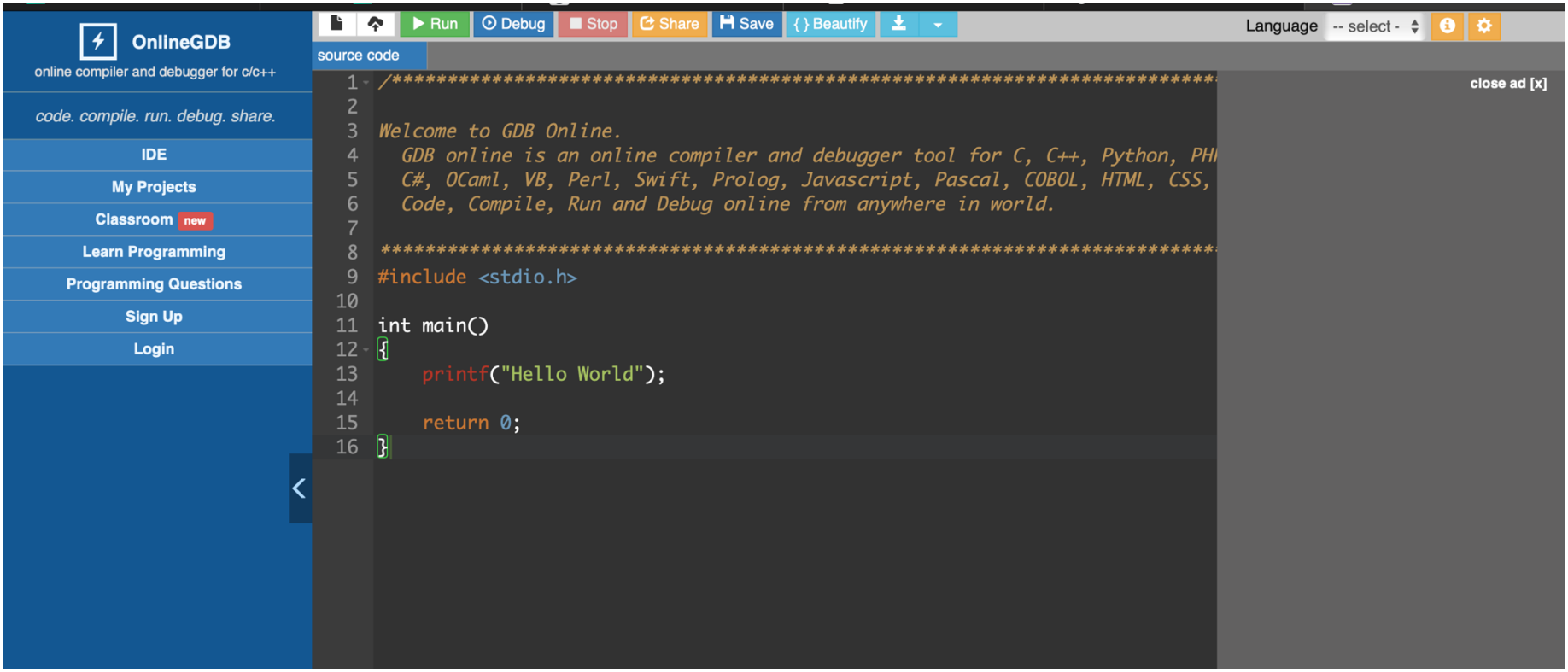
Sviluppo di un programma C

- I sistemi C generalmente consistono di diverse parti:
  - Un ambiente di sviluppo del programma
  - Il linguaggio
  - La libreria standard del C
- I programmi C tipicamente passano attraverso sei fasi per essere eseguiti:

1. **Modifica (Edit):** Scrittura del codice sorgente
2. **Preprocesso (Preprocess):** Elaborazione del codice sorgente per includere file e gestire macro
3. **Compilazione (Compile):** Traduzione del codice sorgente in codice oggetto
4. **Collegamento (Link):** Unione del codice oggetto con le librerie per creare l'eseguibile
5. **Caricamento (Load):** Trasferimento dell'eseguibile in memoria
6. **Esecuzione (Execute):** Esecuzione del programma

Fase 1: Creare il programma

- Consiste nell'utilizzare un software di editor per scrivere il programma



Fonte: OnlineGDB.com

Fase 2 e 3: Preprocessing e Compilazione del programma C

- Viene lanciato il comando per compilare il programma
- Il **compilatore** traduce il codice in linguaggio macchina
- Il comando di compilazione invoca prima un **preprocessore**
- Il preprocessore esegue manipolazioni testuali sui file sorgente del programma, come:
  - Inserimento del contenuto di altri file
  - Sostituzioni di testo

Fase 2 e 3: Preprocessing e Compilazione del programma C

- Un **errore di sintass**i si verifica quando il compilatore non riesce a riconoscere una dichiarazione perché viola le regole del linguaggio
- Il compilatore emette un messaggio di errore per aiutare a individuare e correggere la dichiarazione errata
- Lo standard del C non specifica la formulazione dei messaggi di errore
- Gli errori di sintassi sono anche chiamati **errori di compilazione** o **errori di tempo di compilazione**
- Un **errore logico** si verifica quando il programma compila ed esegue senza errori, ma produce risultati sbagliati a causa di una logica errata nel codice. Questi errori sono più difficili da rilevare e correggere rispetto agli errori di sintassi.

Fase 4: Linking

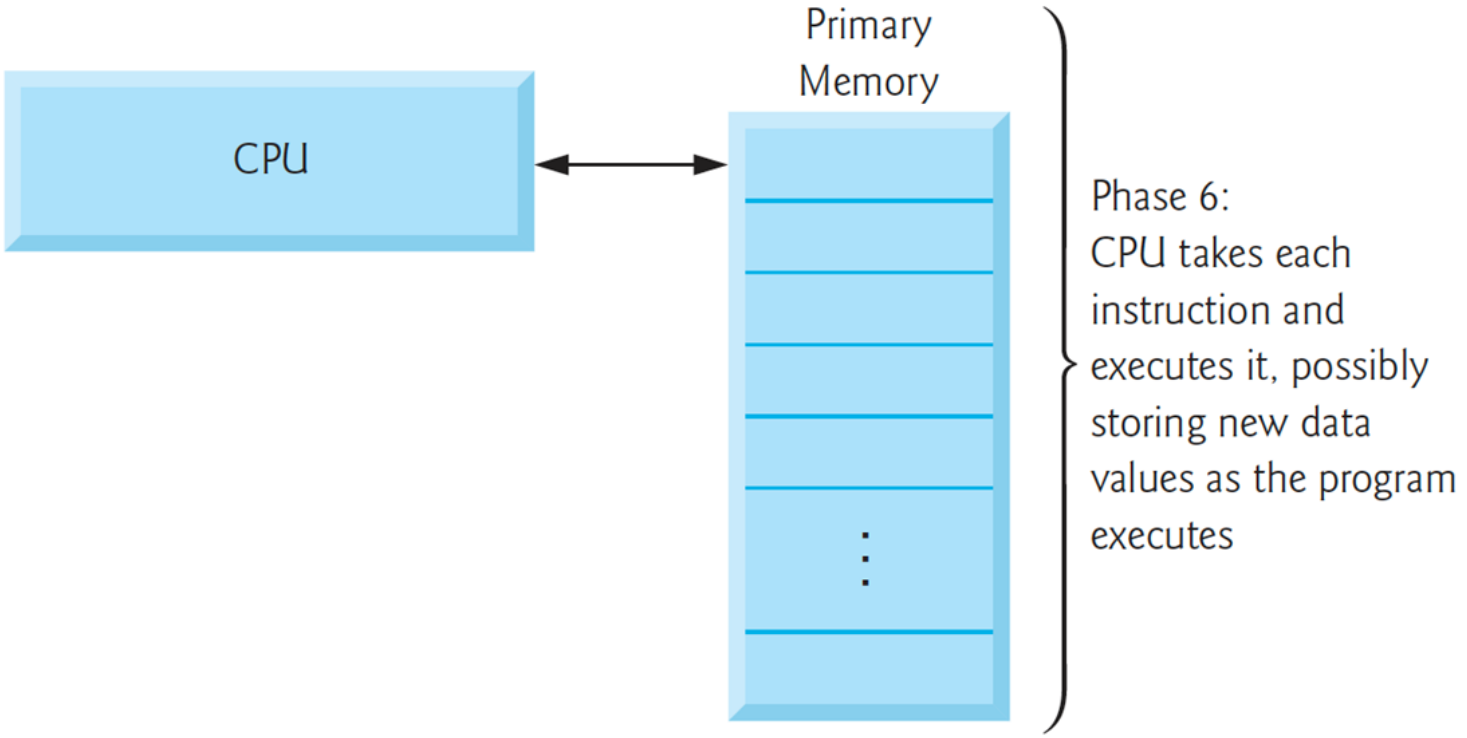
- I programmi in C utilizzano funzioni definite altrove:
  - Librerie standard
  - Librerie open-source
  - Librerie private di un progetto specifico
- Il codice oggetto prodotto dal compilatore C contiene tipicamente "buchi"
- Il linker collega il codice oggetto del programma con il codice delle funzioni mancanti per produrre **un'immagine eseguibile** (senza pezzi mancanti)

Fase 5: Loading

- Prima che un programma possa essere eseguito, il sistema operativo deve caricarlo in memoria
- Il loader trasferisce l'immagine eseguibile dal disco alla memoria
- Anche i componenti aggiuntivi delle librerie condivise che supportano il programma vengono caricati

Fase 6: Execution

- Infine il computer, sotto il controllo della CPU, esegue il programma un'istruzione alla volta



Fonte: Deitel & Deitel

Problemi durante l'esecuzione

- Gli errori che si verificano durante l'esecuzione dei programmi sono chiamati **errori di runtime** (o errori di tempo di esecuzione)
- Gli **errori fatali** causano l'interruzione immediata del programma senza che questo completi il suo compito con successo
- Gli **errori non fatali** permettono ai programmi di completare l'esecuzione, ma spesso producono risultati errati

Standard Input, Standard Output e Standard Error

- La maggior parte dei programmi C gestisce input e/o output di dati
- Alcune funzioni C ricevono input da **`stdin`** (il flusso di input standard), che è normalmente la tastiera
- I dati vengono spesso inviati a **`stdout`** (il flusso di output standard), che è normalmente lo schermo del computer
- I dati possono anche essere inviati a dispositivi come dischi e stampanti
- Esiste anche un flusso di errore standard chiamato **`stderr`**, che è normalmente collegato allo schermo e viene utilizzato per visualizzare i messaggi di errore

Recap

- Algebra di Boole, operatori logici di base e tabelle di verità
  - Proprietà dell'algebra di Boole
  - Leggi di De Morgan
  - Equivalenze tra espressioni
- Gerarchia dei dati in un computer
- Linguaggi di programmazione e sistemi operativi
- Introduzione al linguaggio C e fasi di sviluppo di un programma