Architettura degli elaboratori

Docenti:

- Lezioni: Federico Fontana
  federico.fontana@uniud.it
- Arduino: Yuri De Pra
  yuri.depra@uniud.it
- Laboratorio: Yuri De Pra e Federico Fontana

Obiettivi del corso

- Spiegare come sono fatti e come funzionano fisicamente i calcolatori

Obiettivi del corso

- Spiegare come sono fatti e come funzionano fisicamente i calcolatori
- Illustrare le componenti base e le loro interazioni

Obiettivi del corso

- Spiegare come sono fatti e come funzionano fisicamente i calcolatori
- Illustrare le componenti base e le loro interazioni
- Nella tradizionale distinzione hardware–software:

  questo è un corso di hardware.

Nota:

- in blu: definizioni, termini da ricordare
- in rosso: questioni molto importanti.

Inclusione di IBM nel corso generale

Il corso è diversificato tra Informatica e Internet of Things, Big Data, Machine Learning (IBM).

- Informatica: 12 CFU = 9 CFU di lezione + 3 CFU di laboratorio.
- IBM: 6 CFU di lezione.

Motivazione:

- i due corsi di laurea hanno obiettivi differenti.

Organizzazione delle lezioni

- Alcuni argomenti solo per Informatica. Corrispondenti titoli delle slide in rosso
- Il laboratorio è svolto solo per Informatica.
- L'esame finale è differenziato per i due corsi.
- INF: 2 ore di laboratorio (lunedì) + 6 ore di lezione (martedì, giovedì e venerdì) a settimana. IBW: 4 ore di lezione a settimana (martedì e giovedì).
- Orario di ricevimento (meglio previa email): giovedì 15:30 – 17:30, o quando mi trovate in studio (il lunedì se posso lavoro a PN).

Organizzazione esame

- Solo scritto! :(pandemia permettendo):
- INF: 14 domande in 2h45m per 48 punti da riproporzionare in trentesimi + lode.
- IBM: 10 domande in 1h40m per 30 punti da riproporzionare in trentesimi + lode.
- Tipicamente: $\approx$ 30% domande di teoria, $\approx$ 70% esercizi da risolvere (!).
- La serie storica (due anni e 1/2, 5+5+2 appelli scritti) è reperibile del sito di e-learning.
- Durante il corso vedremo esercizi simili a quelli dati all'esame, ma non c'è una struttura univoca dello scritto.

Laboratorio - solo Informatica

- Quasi tutti i lunedì, solo online. 3 CFU: 24 ore.
- Docente di riferimento: Yuri De Pra.
- Ma quasi sempre ci sarò anch'io.
- Inizio: lunedì 5 ottobre (lezione di avvio: configurazione dell'ambiente software).

Contenuti

Corso in parte nozionistico - descrittivo:

- si descrivono le diverse parti del calcolatore e come interagiscono
- vengono presentati principi di funzionamento e concetti base
- spesso non sono dettagliati nè tecnologicamente all'avanguardia
- le nozioni vanno comprese in vista dell'esame, non memorizzate e NON indotte dagli esercizi:
  - capire prima i meccanismi alla base del funzionamento delle diverse componenti,
  - costruire col tempo una comprensione generale, collegare tra loro le diverse nozioni.

Contenuti

Aspetti concettuali. Es.:

Contenuti

Aspetti concettuali. Es.:

- rappresentazione dei numeri

Contenuti

Aspetti concettuali. Es.:

- rappresentazione dei numeri
- operazioni su espressioni booleane

Contenuti

Aspetti concettuali. Es.:

- rappresentazione dei numeri
- operazioni su espressioni booleane
- macchine a stati finiti (solo Informatica)

Aspetti progettuali. Es.:

Contenuti

Aspetti concettuali. Es.:

- rappresentazione dei numeri
- operazioni su espressioni booleane
- macchine a stati finiti (solo Informatica)

Aspetti progettuali. Es.:

- progettazione di circuiti logici e sequenziali
- organizzazione di processori e memorie

Contenuti

Aspetti concettuali. Es.:

- rappresentazione dei numeri
- operazioni su espressioni booleane
- macchine a stati finiti (solo Informatica)

Aspetti progettuali. Es.:

- progettazione di circuiti logici e sequenziali
- organizzazione di processori e memorie
- programmazione assembly del processore ARM (solo Informatica).

Contenuti

Aspetti concettuali. Es.:

- rappresentazione dei numeri
- operazioni su espressioni booleane
- macchine a stati finiti (solo Informatica)

Aspetti progettuali. Es.:

- progettazione di circuiti logici e sequenziali
- organizzazione di processori e memorie
- programmazione assembly del processore ARM (solo Informatica).

Alcuni argomenti progettuali vengono approfonditi in laboratorio (solo Informatica).

Non imparate a memoria gli esercizi dati agli scritti e in laboratorio!

Considerazioni generali

- L'università fornisce pochi stimoli a studiare durante l'anno (no interrogazioni, compiti).
- Quest'anno va peggio: libertà di assistere da remoto alle registrazioni della lezione.
- Siate responsabili: in ottobre-dicembre studio per capire, in gennaio per fissare nella mente.
- Tra le valutazioni a Fontana: "Fare più esercizi!" Risultato: esiti disastrosi appena invento un esercizio nuovo. Nessun beneficio apparente.
- Ancora: "Non si esprime in modo chiaro!" Segnalatemi se sto andando troppo veloce. Segnalatemi se una slide non racchiude efficacemente il concetto affrontato.

Qualche consiglio pratico

- Seguire le lezioni è il miglior modo per confrontarsi con la materia.
- Ripassare di volta in volta gli argomenti trattati a lezione: che cosa non ho capito?
- Non riesco più a seguire agevolmente le lezioni: Sto ripassando a sufficienza gli argomenti trattati?
- Da parte mia cercherò di mettere i lucidi nel web e-learning prima di ogni lezione.
- Per quanto detto, non porrò l'accento sugli esercizi.
- La lezione simultanea in presenza & da remoto è complessa da tenere anche per il docente.

Ulteriori (sempre gli stessi) consigli

- Darsi tempo per la comprensione iniziale: le due settimane precedenti l'esame servono solo a memorizzare i concetti.
- Non perdere il contatto con ciò che viene presentato a lezione.
- Per Informatica: seguire le lezioni di laboratorio.
- Per tutti: non lasciare slide incomprese (!)
- Sfruttate l'orario di ricevimento e, in generale, i servizi di tutorato. Nessuna domanda è stupida. Fate domande al docente! (anche se rispondere efficacemente dal vivo & alla chat è complicato).

Libro di testo

A. S. Tanenbaum, T. Austin *Architettura dei calcolatori - Un approccio strutturale*. Pearson, 6 Ed.

È possibile utilizzare anche le edizioni precedenti del libro di testo, solo poche parti sono state aggiornate nella nuova edizione.

- L'autore è un autorità nella didattica dell'informatica e nel campo dei sistemi operativi. Insegnante di Linus Torvalds e autore di MINIX, un precursore di Linux.
- Il corso segue abbastanza da vicino il libro di testo.
- Non così aggiornato sulle tecnologie hardware in uso oggi (non è uno scopo del corso).

Libro di testo

- Molto discorsivo. Gli argomenti tecnici e quantitativi vengono “aggirati”.
- Ordine di presentazione degli argomenti un po’ controintuitivo:
  - capitolo 2: descrizione superficiale del calcolatore, riassunto di tutti gli argomenti;
  - capitoli successivi: descrizione dettagliata, spesso di aspetti che non approfondiremo (es.: dettagli sulla tecnologia dei chip Intel).

Slide del corso

Slide:

- presentazione delle lezioni
- generalmente più succinte del libro
- alcuni dettagli non sono presenti sul testo
- esercizi svolti
- testi d'esame
- comunicazioni.

É molto utile, sostanzialmente sufficiente seguire la presentazione delle slide a lezione, integrando se necessario con appunti.

Occorre iscriversi all'insegnamento specifico nel portale dell'e-learning!

Azzeramento dei concetti

Architettura di calcolo: macchina capace di eseguire una sequenza di istruzioni semplici (istruzioni macchina).

Programma: nel nostro corso, sequenza di istruzioni macchina eseguibili anche più volte.

I programmi, e i dati su cui il programma lavora risiedono nella memoria principale del calcolatore.

La memoria principale tipicamente si svuota quando l'architettura è spenta per inattività. In tal caso i programmi e i dati sono memorizzati in strutture chiamate *file*, custoditi nella memoria di massa.

Processore

Il cuore dell'achitettura è il processore o central processing unit (CPU), la componente che fisicamente esegue le istruzioni contenendo le risorse per eseguire calcoli e controllarne la corretta esecuzione.

Processore e memoria principale vengono realizzati adoperando particolari circuiti chiamati circuiti integrati, fisicamente contenuti in uno o più chip. Un chip ha la dimensione di pochi centimetri e può contenere miliardi di *transistor*, alla base della realizzazione del circuito. Un solo chip è sufficiente per realizzare un processore o una memoria.

Memoria

La memoria del calcolatore è, abbiamo visto, di due tipi:

- principale (memoria RAM, parte integrante dell'architettura): contiene i dati durante la loro elaborazione da parte del programma. É tipicamente realizzata in un chip
- di massa (memoria ROM, disco rigido): contiene i dati non in elaborazione, in modo permanente. I *file* sono etichettati in modo da permettere un accesso strutturato, non ambiguo ai dati. Non è necessariamente integrata in un chip a bordo dell'architettura.

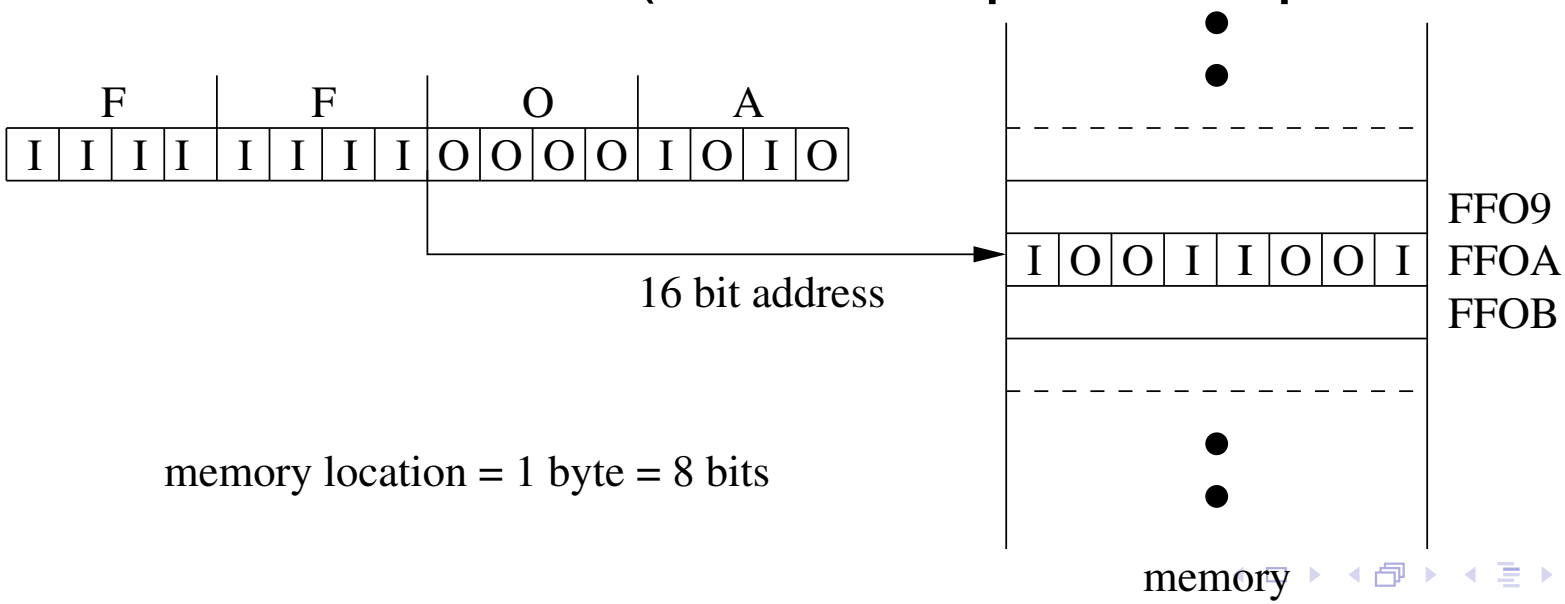
Capacità di memoria

La memoria si realizza in modo economico giustapponendo elementi di un bit, ciascuno in grado di assumere 2 configurazioni stabili.
Il byte è una giustapposizione di 8 bit. Il byte quindi può assumere $2^8 = 256$ configurazioni distinte. Es.: memorizzare un numero naturale tra 0 e 255, oppure 256 codifiche di carattere (a, b, c, ...), eccetera.
La capacità della memoria si misura in byte, o nei suoi multipli:

- KB (kilobyte $= 2^{10} = 1024 \sim 1.000 = 10^3$ byte)
- MB (megabyte $= 2^{20} \sim 1.000.000 = 10^6$ byte)
- GB (gigabyte $= 2^{30} \sim 1.000.000.000 = 10^9$ byte)
- ....

Etichettatura di locazioni di memoria

Perchè è importante definire KB, MB, GB ancora come potenze di 2? L'accesso ottimale alla memoria si ottiene ancora oggi indirizzando ogni singolo byte. In un'architettura a bit quindi l'indirizzamento più efficiente è quello che adopera n bit per indirizzare 2^n byte. Es.: indirizzamento a 16 bit della locazione di indirizzo FFOA (vedremo perchè questa sigla)



Periferiche. Bus. Computer

Oltre che con la memoria, il processore riceve e trasmette dati da e verso periferiche, interfacce per la comunicazione non indispensabili all'architettura ma che permettono di trarne vantaggio concreto: schermo, tastiera, stampante, scheda di rete, scanner, lettore CD, scheda audio, . . .

Processore, memoria e periferiche sono collegati tra loro attraverso dei bus. L'insieme di tutte queste componenti forma il moderno computer.

Sistema operativo e applicazioni

Il sistema operativo è un particolare programma, il quale permette un razionale utilizzo complessivo del processore, della memoria e delle periferiche. Il sistema operativo è permanentemente in esecuzione e distribuisce le risorse del computer a tutti gli altri programmi.

Tutti i programmi applicativi sono sotto il controllo del sistema operativo durante la loro esecuzione, di modo che non utilizzino le risorse in maniera globalmente inefficiente. Es.: un web browser e un word processor sono eseguibili in contemporanea in un computer grazie alla supervisione della loro esecuzione da parte del sistema operativo.

Complessità delle attuali architetture

- Il computer è diventato troppo complesso per poterlo conoscere completamente.
- Un sistema di calcolo (computer + programmi + dati) è strutturato in maniera tale da permettere di interagire con parti di esso conoscendo solo alcune funzionalità, ignorando come queste sono realizzate e come sfruttano il sistema.
- Lo studio e la progettazione di sistemi di calcolo oggi sono affrontati a una molteplicità di livelli.

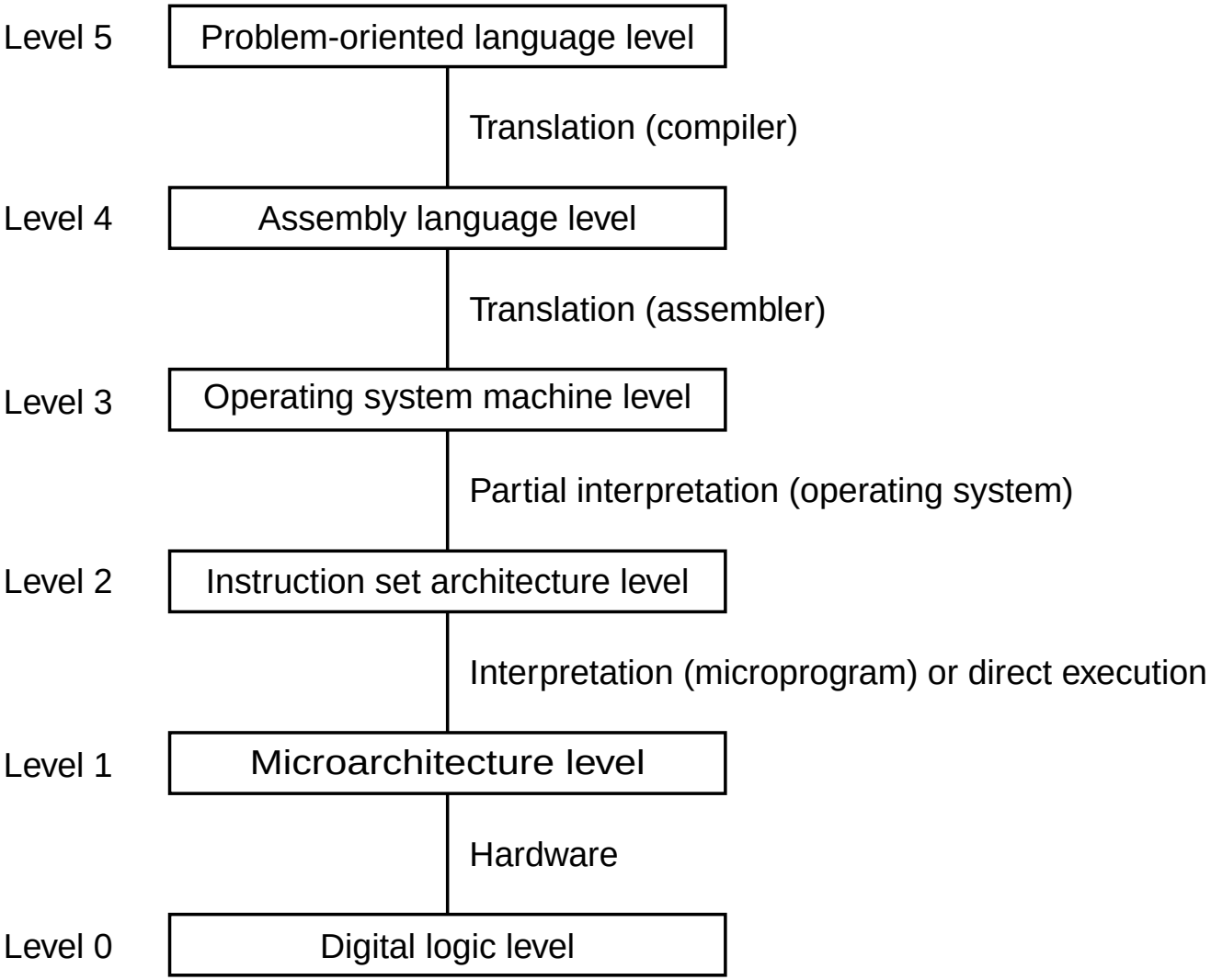
Macchine virtuali

Concetto fondamentale nell'informatica moderna, necessario per gestire l'enorme complessità di un sistema di calcolo.

Il computer viene visto come una stratificazione di livelli. Ciascuno strato fornisce delle funzionalità di calcolo e quindi, virtualmente, definisce una particolare macchina.

Questo paradigma permette di progettare programmi che, appoggiandosi a una macchina virtuale sottostante ben specificata, forniscono una serie di funzionalità ulteriori. In tal modo essi formano un livello superiore, a sua volta utilizzabile per strutturare nuove funzionalità.

Esempio di schema a livelli



Livello hardware

- I livelli 0 e (talvolta) 1 formano il livello hardware, cioè il livello fisico dell'architettura di calcolo.
- La virtualizzazione non crea risorse più potenti di quelle messe a disposizione dall'hardware, limitandosi a facilitarne l'uso (es.: processori virtuali, memoria virtuale, . . .).
- Conoscere il livello hardware è quindi necessario per comprendere le risorse di cui un programma (il software) in ultima analisi dispone. La comprensione è necessaria per
  - valutare, scegliere o gestire l'hardware,
  - conoscere i fattori che determinano le prestazioni e i limiti invalicabili di un determinato computer,
  - gestire i malfunzionamenti.

Programma del corso

- aritmetica booleana

Programma del corso

- aritmetica booleana
- porte logiche, circuiti logici

Programma del corso

- aritmetica booleana
- porte logiche, circuiti logici
- memoria, circuiti sequenziali, macchine a stati

Programma del corso

- aritmetica booleana
- porte logiche, circuiti logici
- memoria, circuiti sequenziali, macchine a stati
- processore, unità logico-aritmetica, controllo

Programma del corso

- aritmetica booleana
- porte logiche, circuiti logici
- memoria, circuiti sequenziali, macchine a stati
- processore, unità logico-aritmetica, controllo
- programmazione assembly

Programma del corso

- aritmetica booleana
- porte logiche, circuiti logici
- memoria, circuiti sequenziali, macchine a stati
- processore, unità logico-aritmetica, controllo
- programmazione assembly
- periferiche e interruzione della CPU

Programma del corso

- aritmetica booleana
- porte logiche, circuiti logici
- memoria, circuiti sequenziali, macchine a stati
- processore, unità logico-aritmetica, controllo
- programmazione assembly
- periferiche e interruzione della CPU
- bus, comunicazione con la CPU

Programma del corso

- aritmetica booleana
- porte logiche, circuiti logici
- memoria, circuiti sequenziali, macchine a stati
- processore, unità logico-aritmetica, controllo
- programmazione assembly
- periferiche e interruzione della CPU
- bus, comunicazione con la CPU
- organizzazione della memoria

Programma del corso

- aritmetica booleana
- porte logiche, circuiti logici
- memoria, circuiti sequenziali, macchine a stati
- processore, unità logico-aritmetica, controllo
- programmazione assembly
- periferiche e interruzione della CPU
- bus, comunicazione con la CPU
- organizzazione della memoria
- sistemi multiprocessore, calcolatori paralleli.

Storia dei sistemi di calcolo

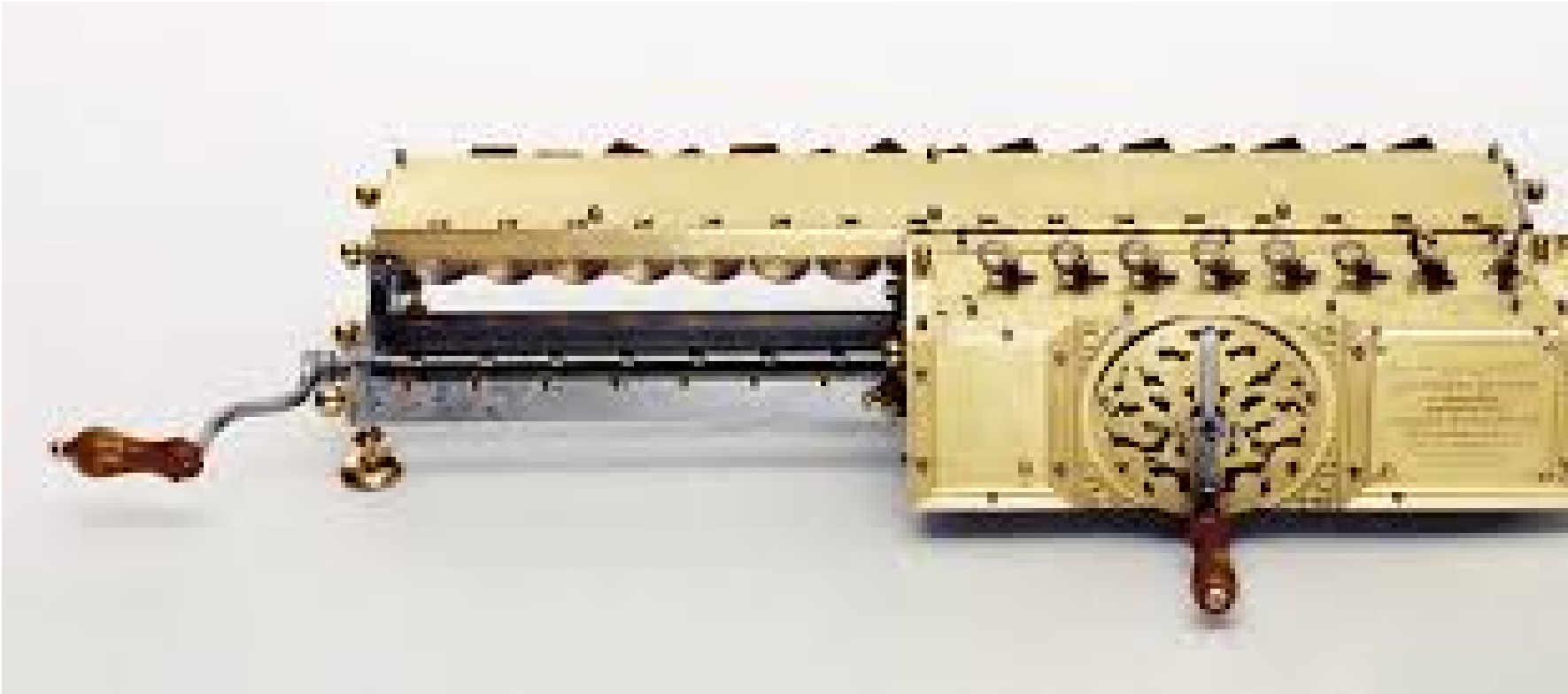
- 100 a.C.? Meccanismo di Anticitera

Storia dei sistemi di calcolo

- 1642 Pascal
  Calcolatrice meccanica per somma e sottrazione

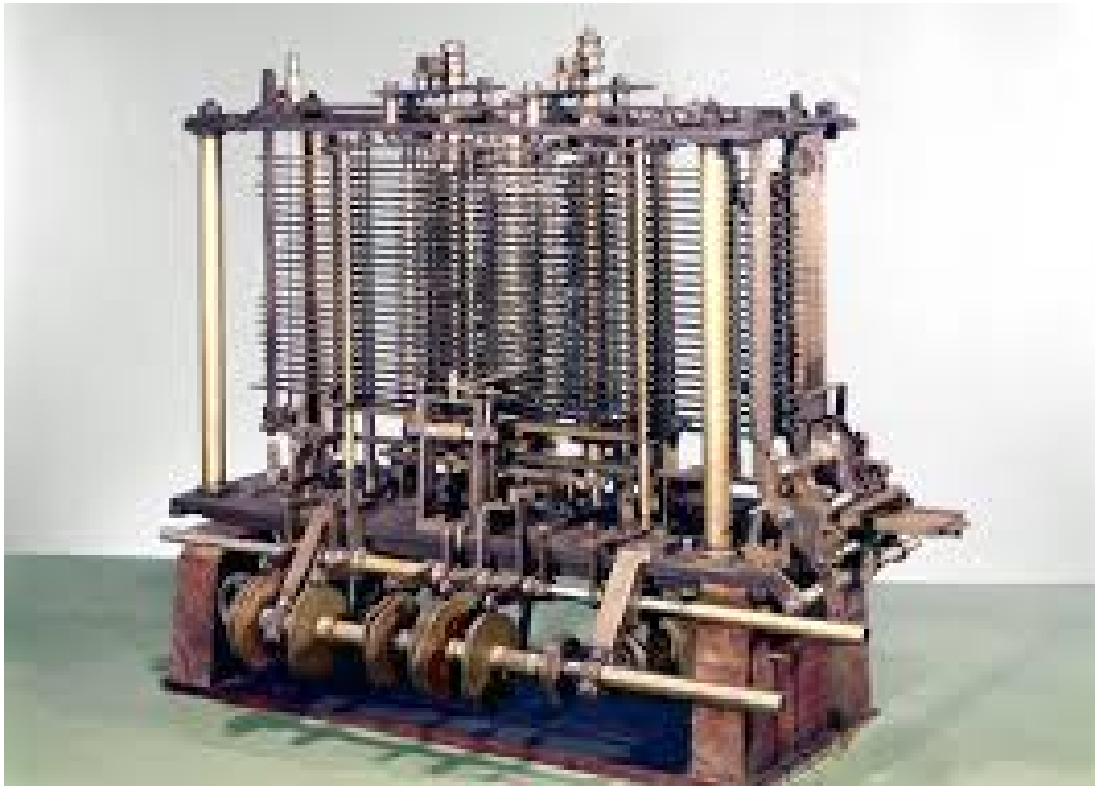
Storia dei sistemi di calcolo

- 1670 Leibniz
  Calcolatrice meccanica per prodotto e divisione



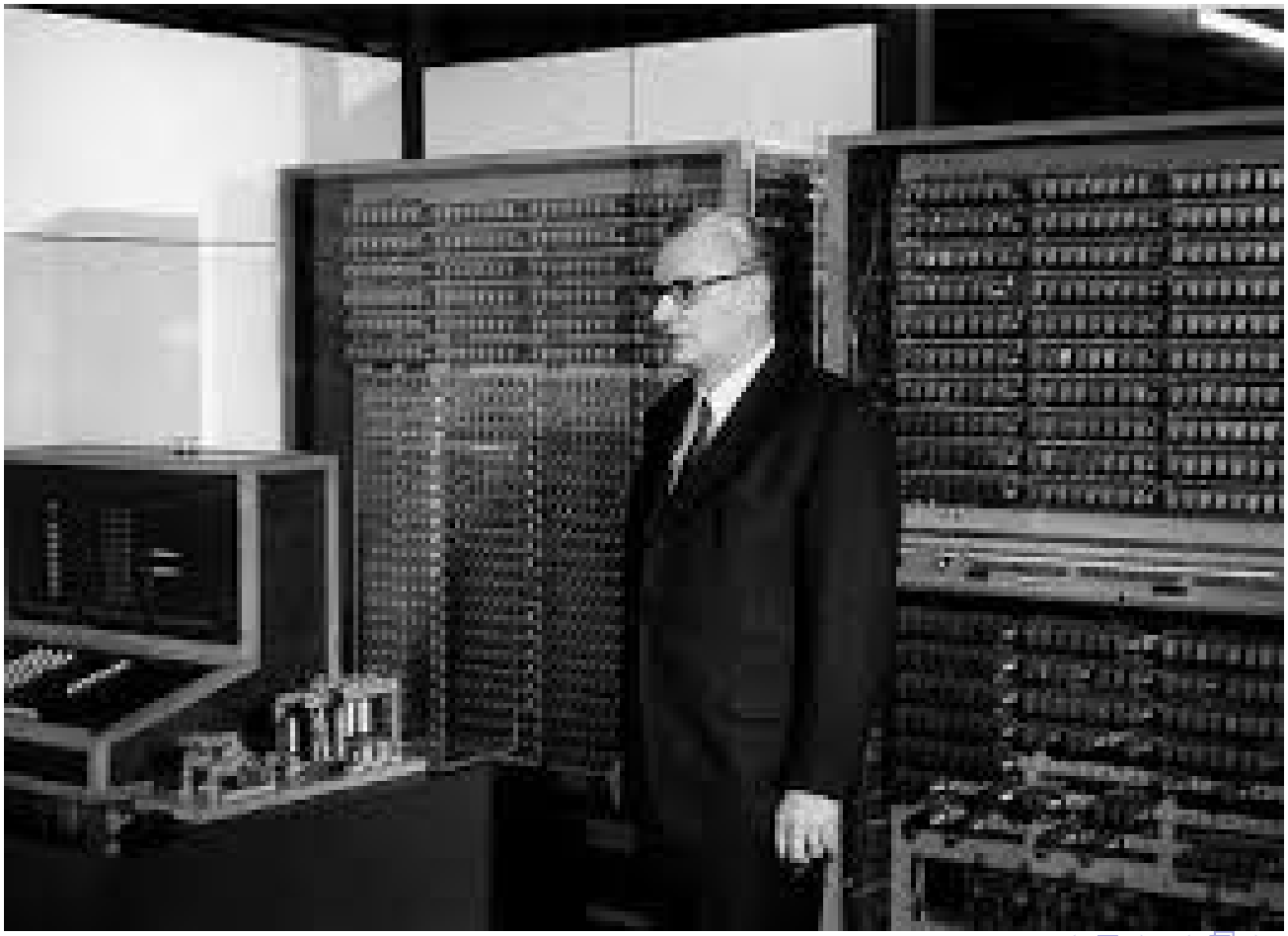
Storia dei sistemi di calcolo

- 1834 Babbage
  Calcolatrice meccanica programmabile



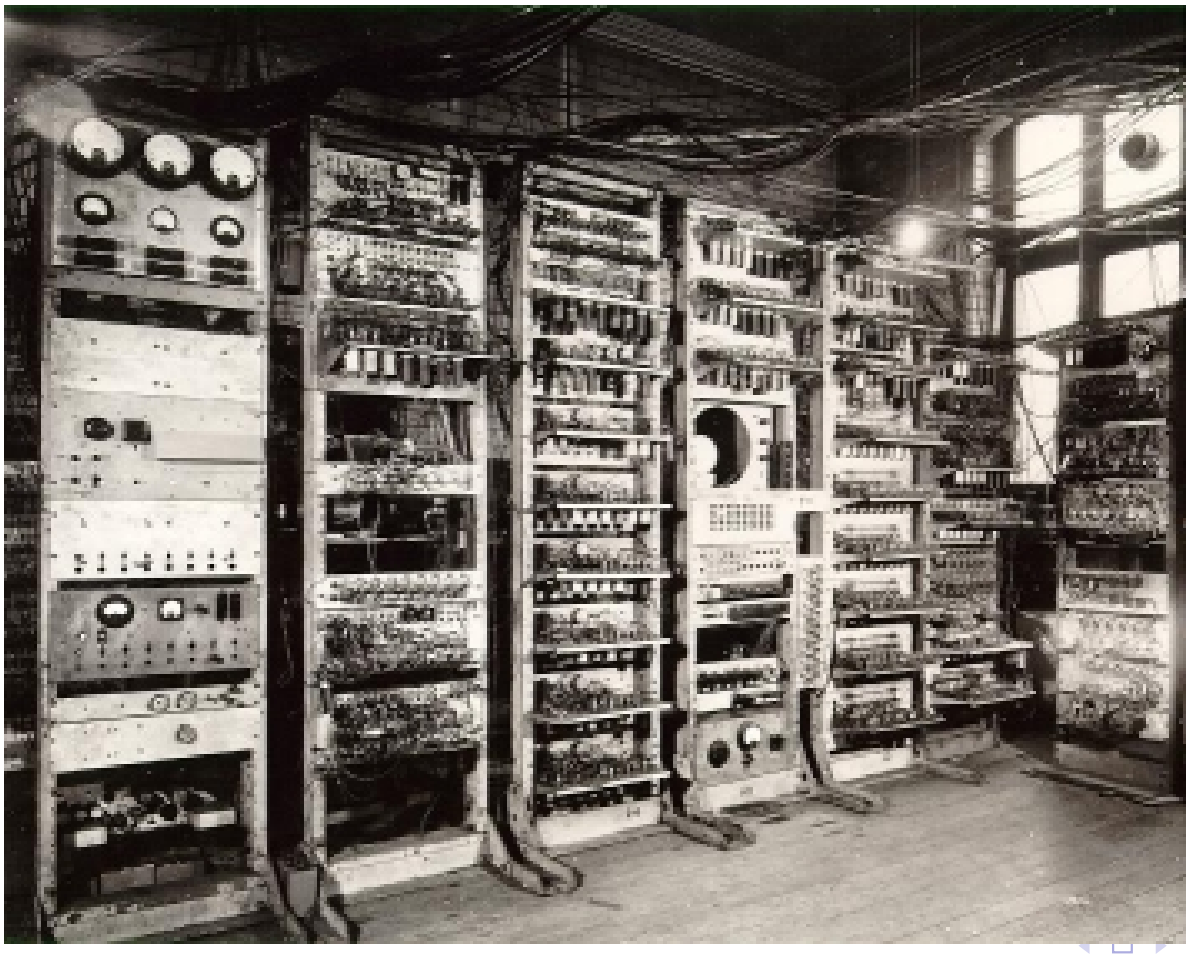
Storia dei sistemi di calcolo

- 1930 Zuse
  Macchina calcolatrice a relè



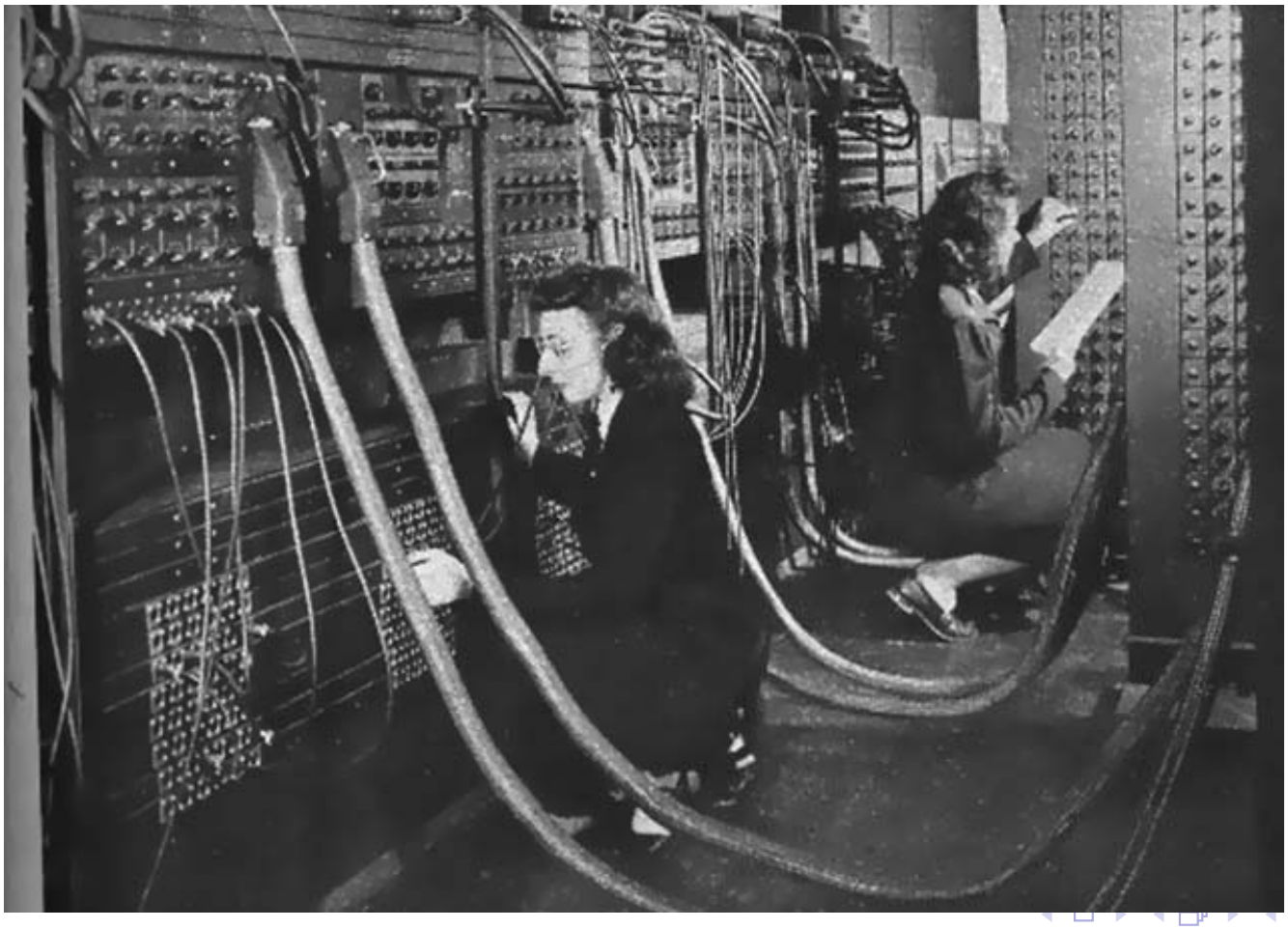
Storia dei sistemi di calcolo

- 1944 Aiken: Mark I
  Macchina programmabile a relè



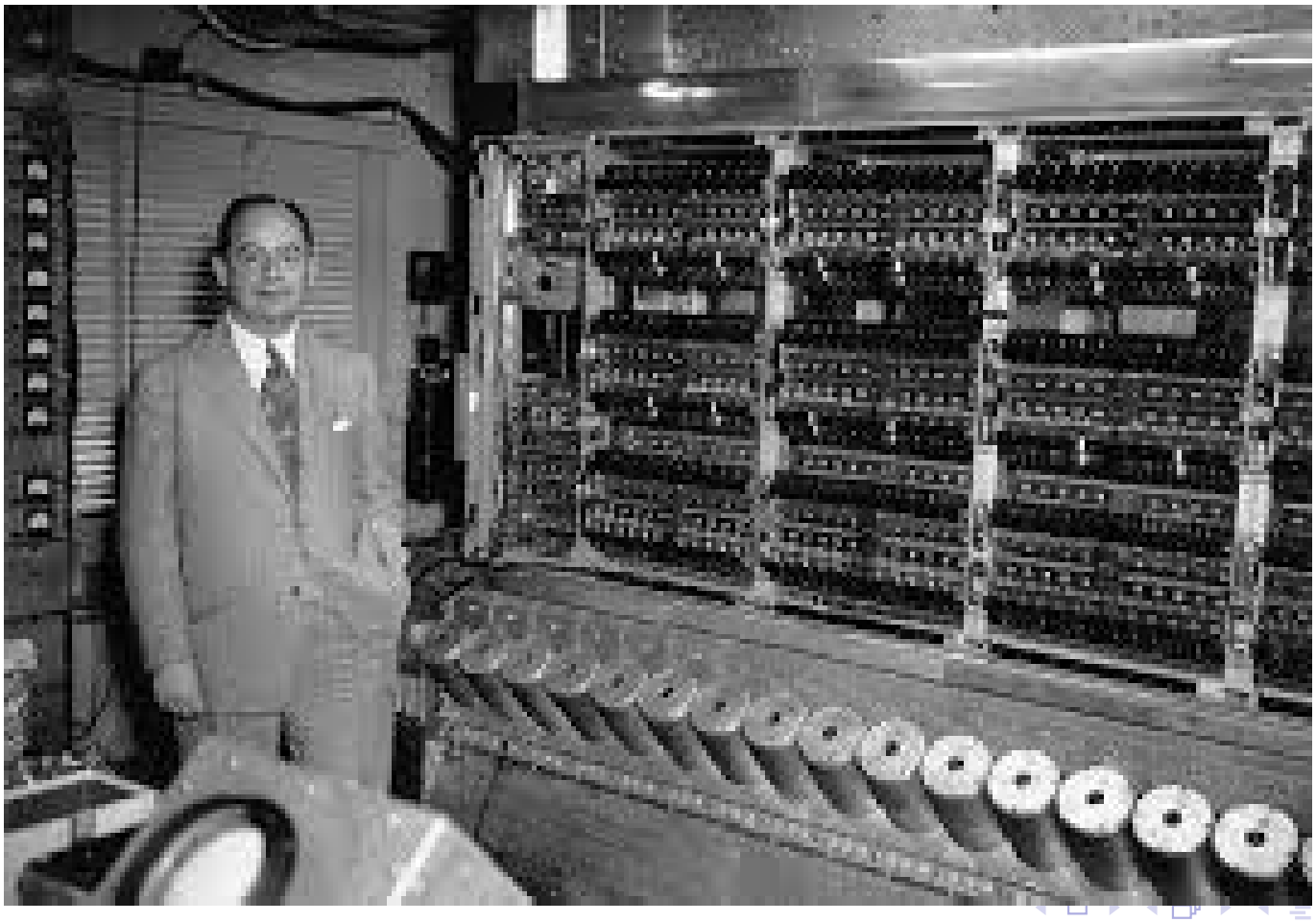
Storia dei sistemi di calcolo

- 1946 Eckert & Mauchly: ENIAC
  Primo calcolatore a triodi (valvole)



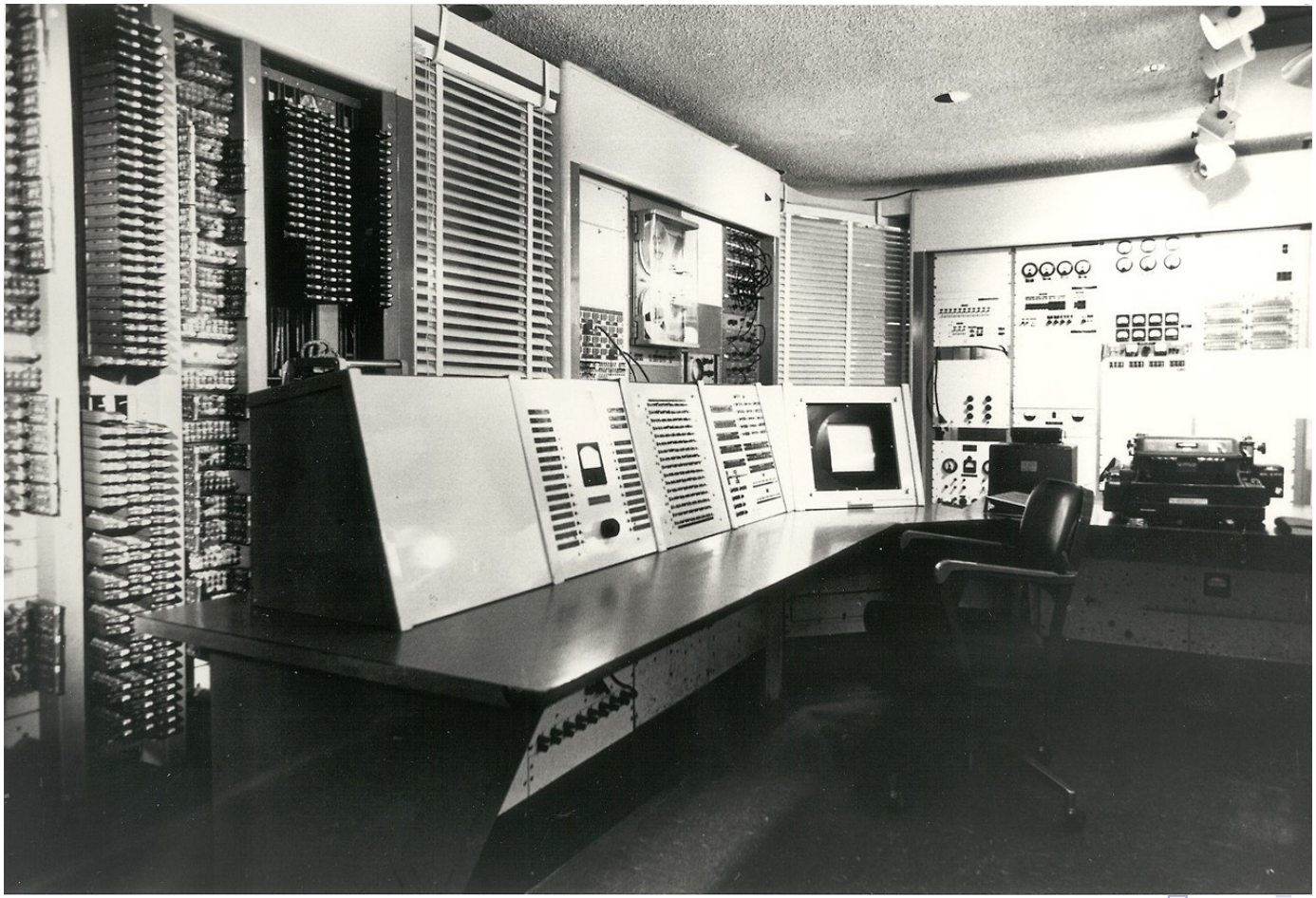
Storia dei sistemi di calcolo

- 1951 Von Neumann: IAS
  Con architettura simile agli attuali computer



Storia dei sistemi di calcolo

- 1956 TX-0
  Primo calcolatore interamente a transistor

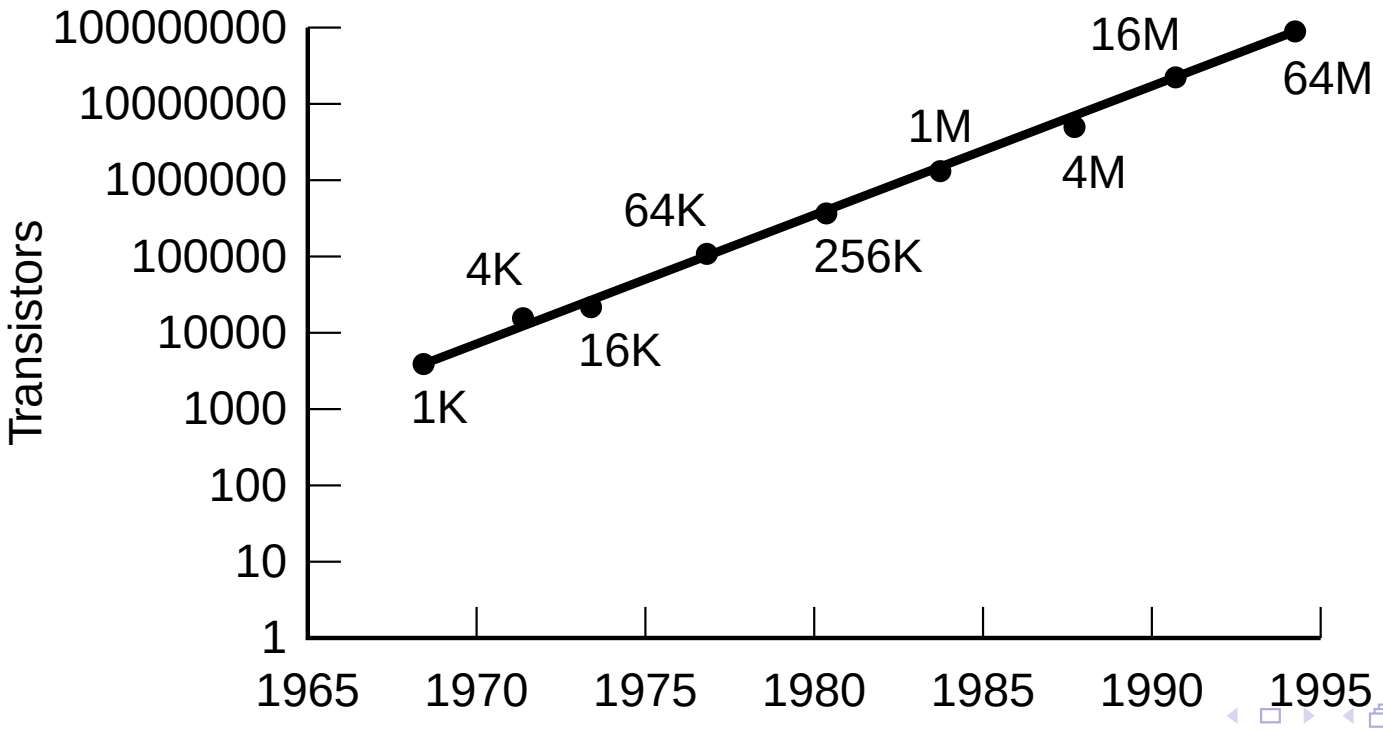


Storia dei sistemi di calcolo

- 1954 IBM — Primi calcolatori a transistor
- 1958 — Calcolatori a circuiti integrati.

Progressi dell'integrazione

Legge di Moore (Gordon Moore, 1965): il numero dei transistor all'interno di un chip (circuito integrato) di memoria quadruplica ogni tre anni.
Dopo 18 mesi? Raddoppia, non perchè $2 + 2 = 4$, bensì perchè $2 \cdot 2 = 4$!



Numero di transistor per processore