Programmazione e Architetture (Modulo B)

Lezione 5
Costruire un processore

Luca Manzoni

Cosa abbiamo

E cosa ci manca

- Abbiamo circuiti logici in grado di
  - Effettuare operazioni (somma)
  - Selezionare uno tra molteplici input (multiplexer)
  - Dirigere un input in un dato output (demultiplexer) e decodificare un valore binario (decoder)
  - Salvare l’informazione (flip-flop)
- Possiamo ora combinarli per costruire una versione (molto semplificata) di un processore

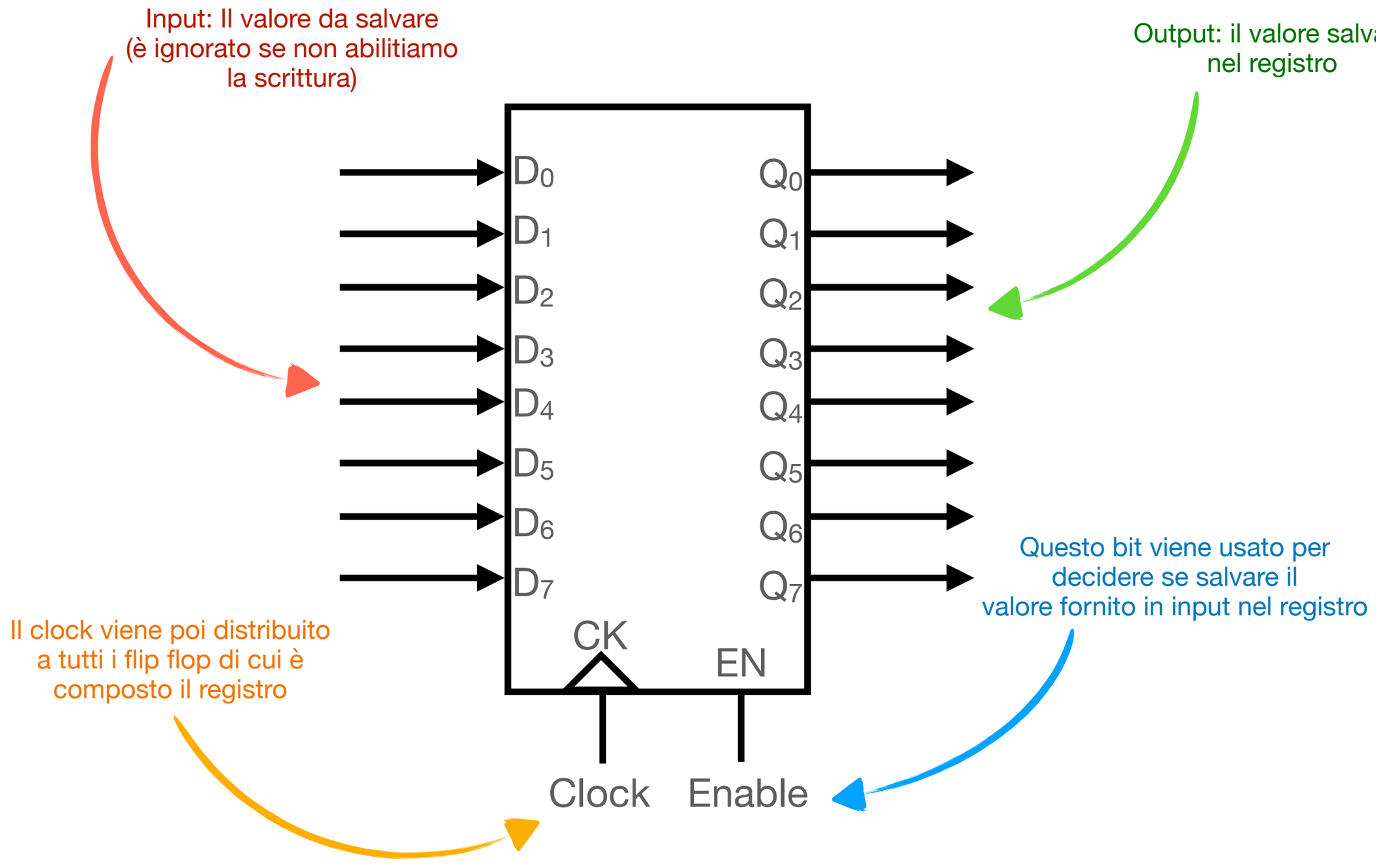
Registri

Salvare n-bit di informazione

- Possiamo combinare più flip flop per salvare non un solo bit ma un insieme di bit (e.g., 8, 16, 32, 64 bit)
- Generalmente avremo un solo input per il clock (poi diviso tra tutti i flip flop), un input per abilitare o disabilitare la scrittura del registro
- Ci servono poi tanti input e tanti output quanti sono i bit che vogliamo salvare
- Possiamo vedere il registro come un nuovo “blocco” da usare nella costruzione del nostro processore

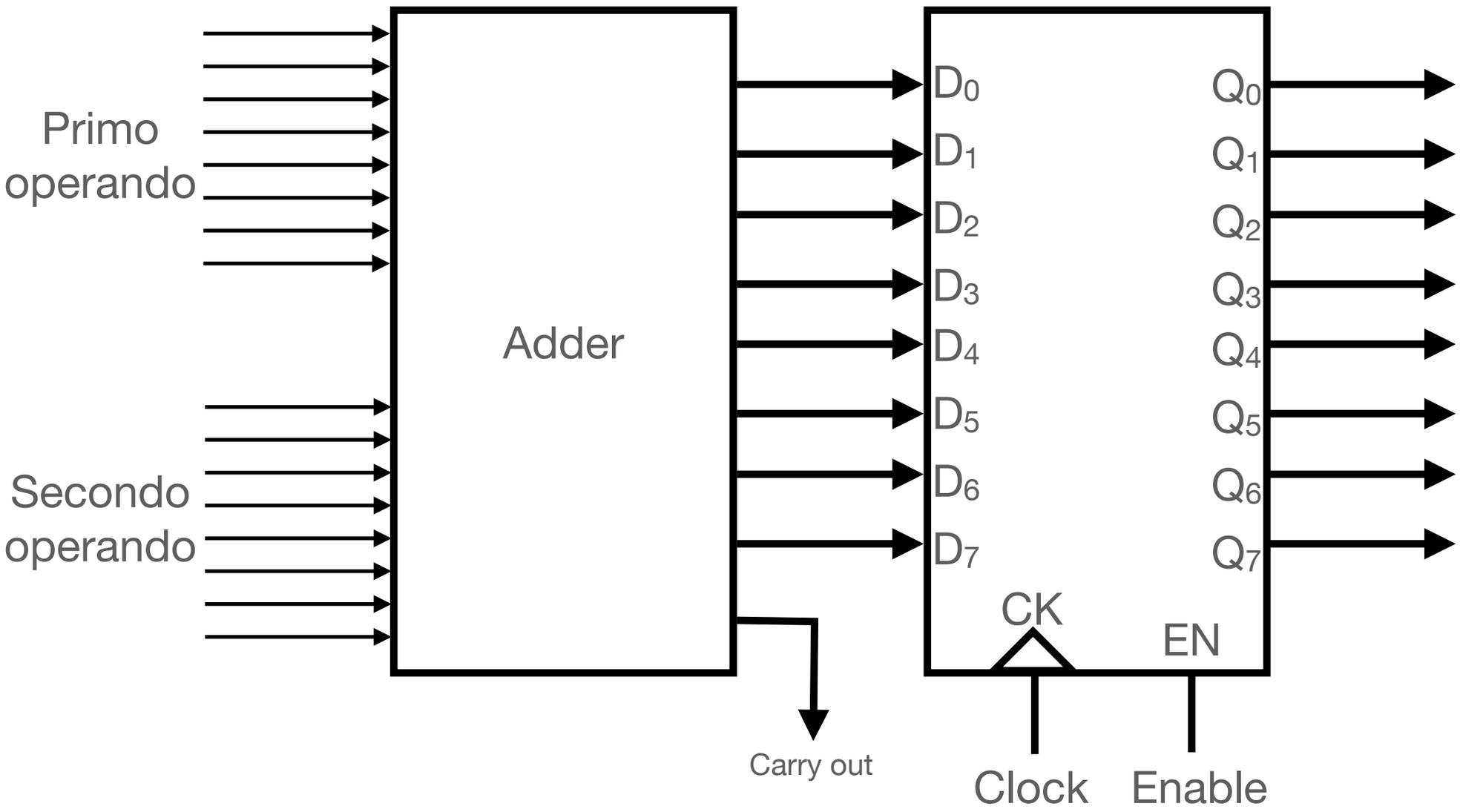
Un registro

Rappresentazione grafica



Registro: come possiamo usarlo?

Salvare il risultato della somma



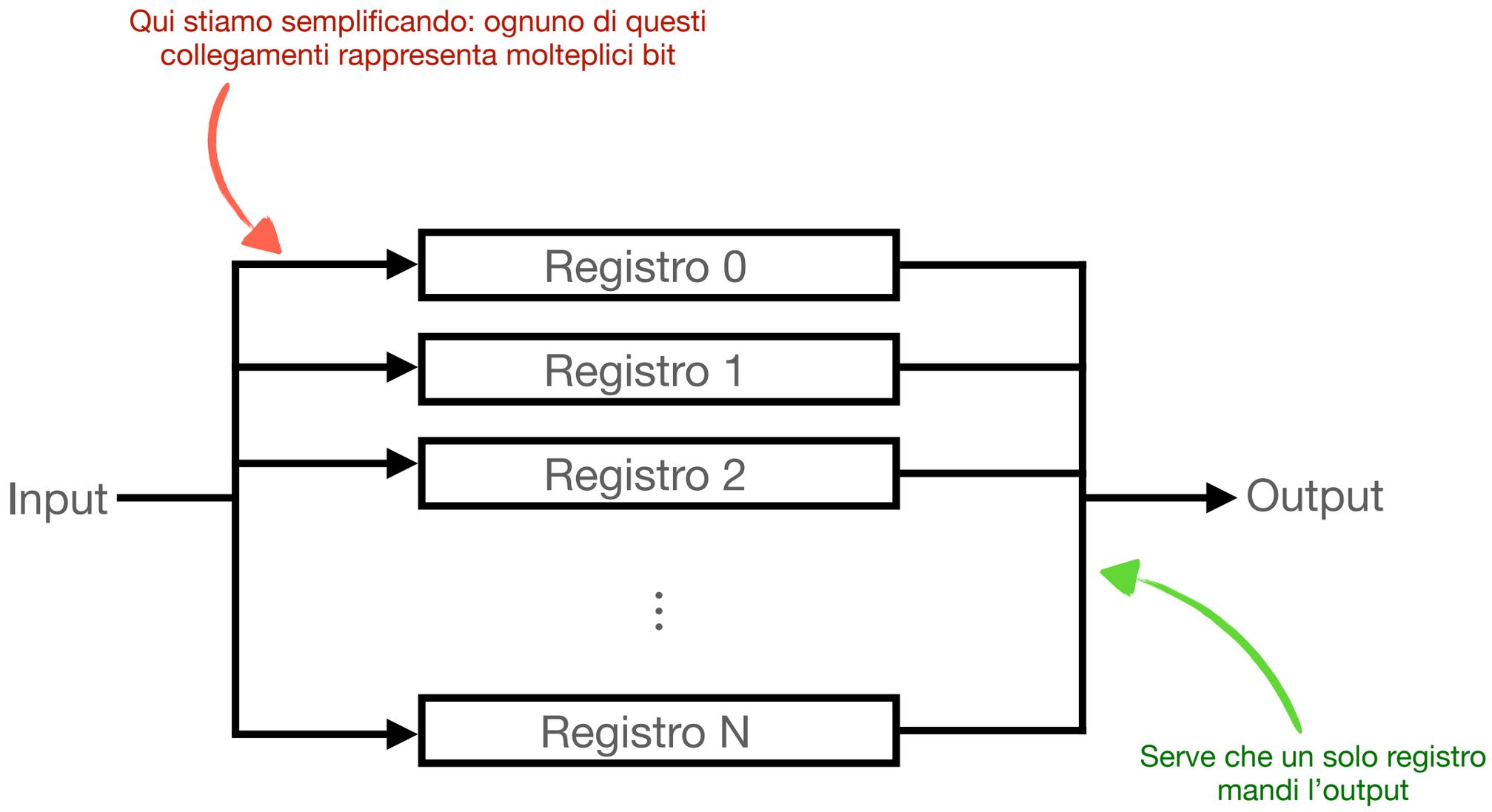
Registri multipli

E scegliere dove salvare

- Nello schema precedente salviamo sempre in un solo registro
- Potrebbe essere utile salvare il risultato in uno tra più registri
- Serve un modo per scegliere:
  - In che registro salvare
  - Da che registro leggere

Register file

Scegliere tra più registri

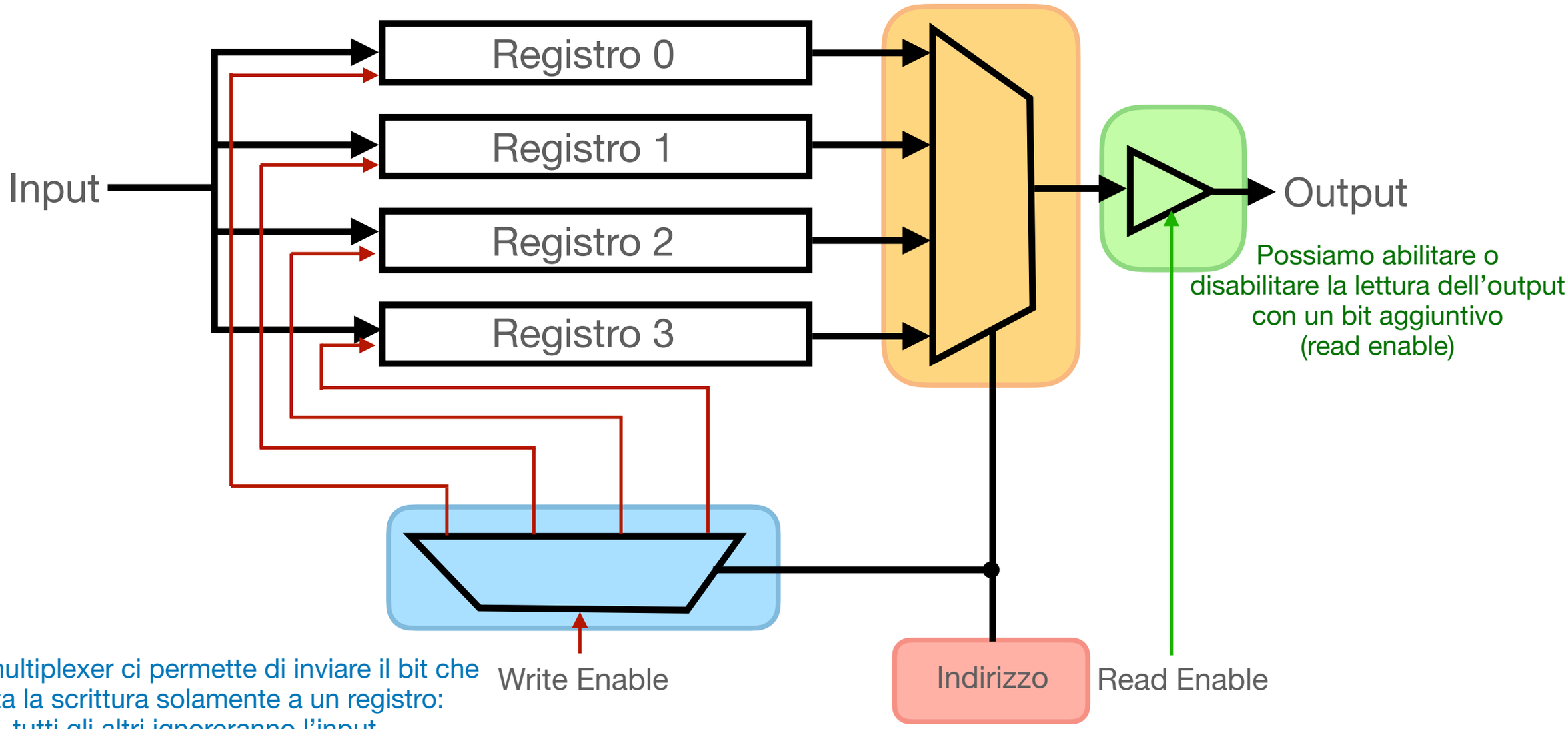


Idea: assegnamo un indirizzo (numero) a ciascun registro
e quando vogliamo scrivere/leggere dobbiamo specificare
anche in quale registro scrivere/leggere

Register file

Scegliere tra più registri

Un multiplexer ci permette di selezionare quale valore leggere tra quelli contenuti nei registri



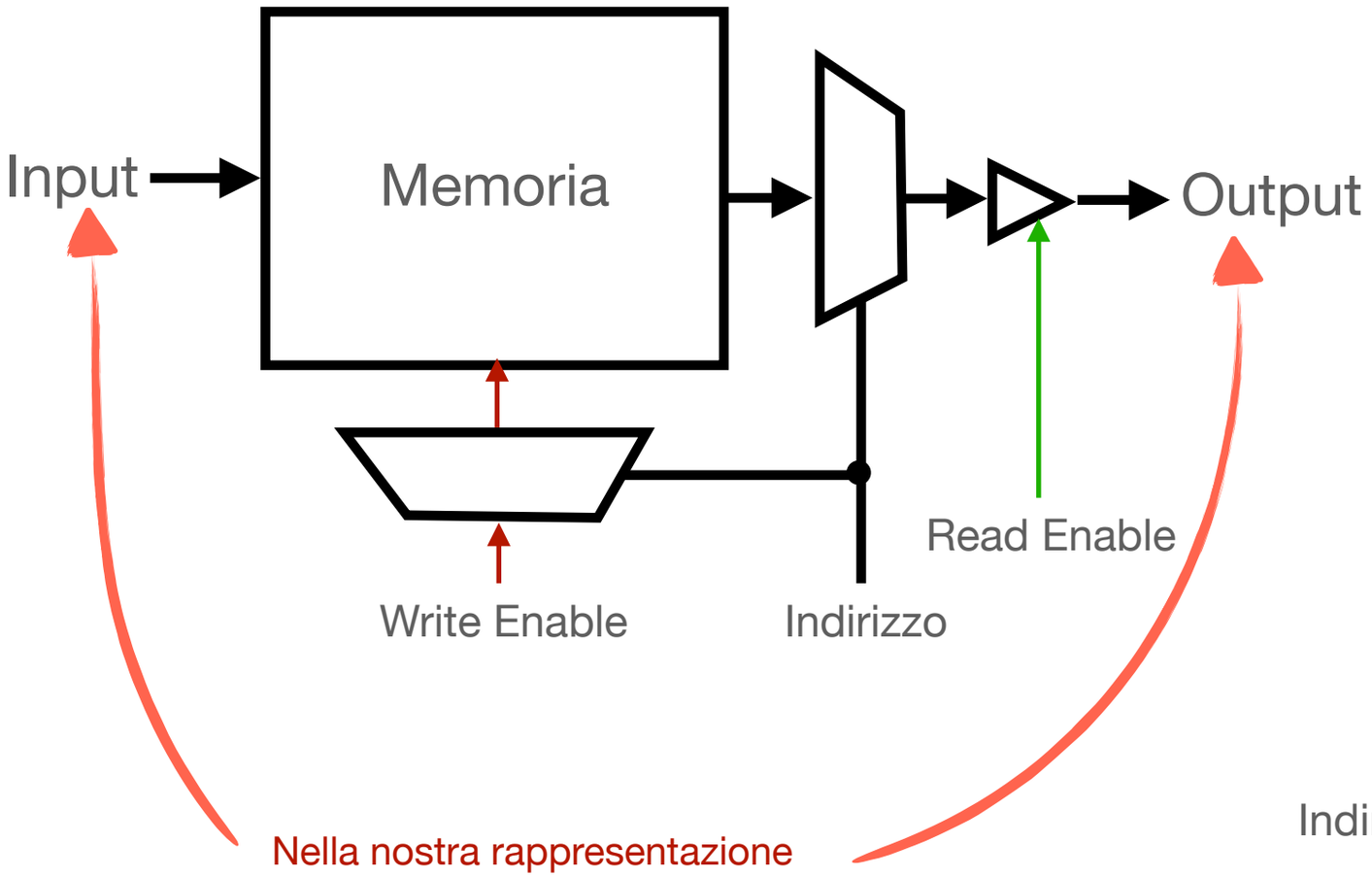
Un demultiplexer ci permette di inviare il bit che abilita la scrittura solamente a un registro: tutti gli altri ignoreranno l'input

La dimensione (numero di bit) dell'indirizzo dipenderà dal numero di registri che abbiamo a disposizione. In generale il logaritmo in base 2 del numero di registri

Breve digressione sulla memoria

Memoria: un solo input e output

Data Bus

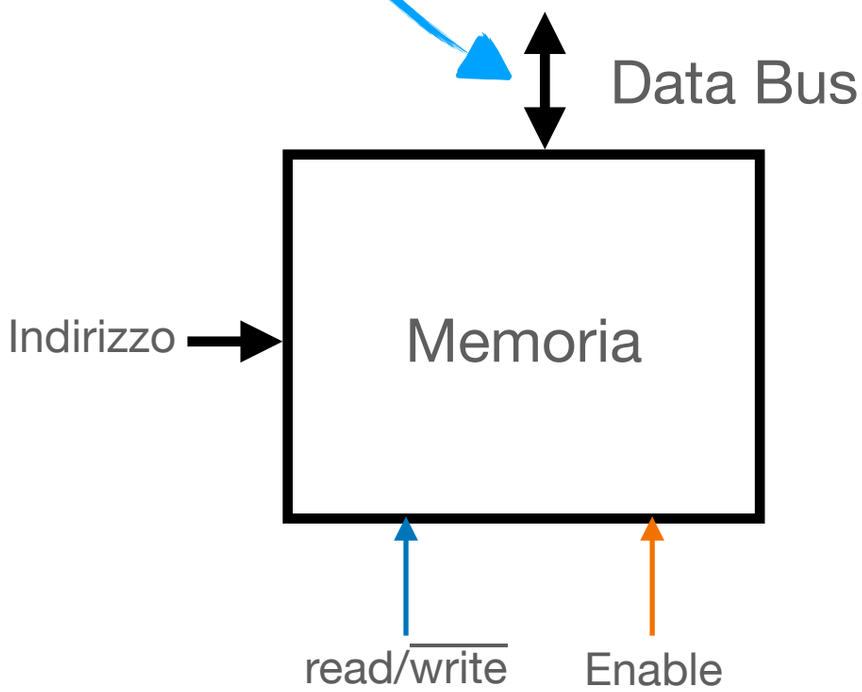


Nella nostra rappresentazione astratta non ci stiamo preoccupando di quanti “fili” servono…

Ma a chi costruisce il processore questo interessa!

Possiamo usare un solo set di “fili” alternativamente per l’input e per l’output

Lo stesso bus (o “insieme di fili”) viene usato come input o output a seconda del valore del bit **read/$\overline{\text{write}}$**



Random Access Memory

SRAM e DRAM

- La memoria visto fino a ora è ad accesso casuale, ovvero possiamo accedere alle locazioni di memoria in ogni ordine (ci basta fornire l'indirizzo)
- In termini di hardware (i.e., quando questa viene effettivamente realizzata) abbiamo due principali categorie:
  - Static RAM (SRAM). Estremamente veloce, ma richiede sei transistor per ogni bit (quindi più costosa e meno densa)
  - Dynamic RAM (DRAM). Più lenta, utilizza un transistor e un condensatore per ogni bit. Permette una densità maggiore e richiede un circuito di refresh per mantenere memorizzata l'informazione

Unità aritmetico-logica

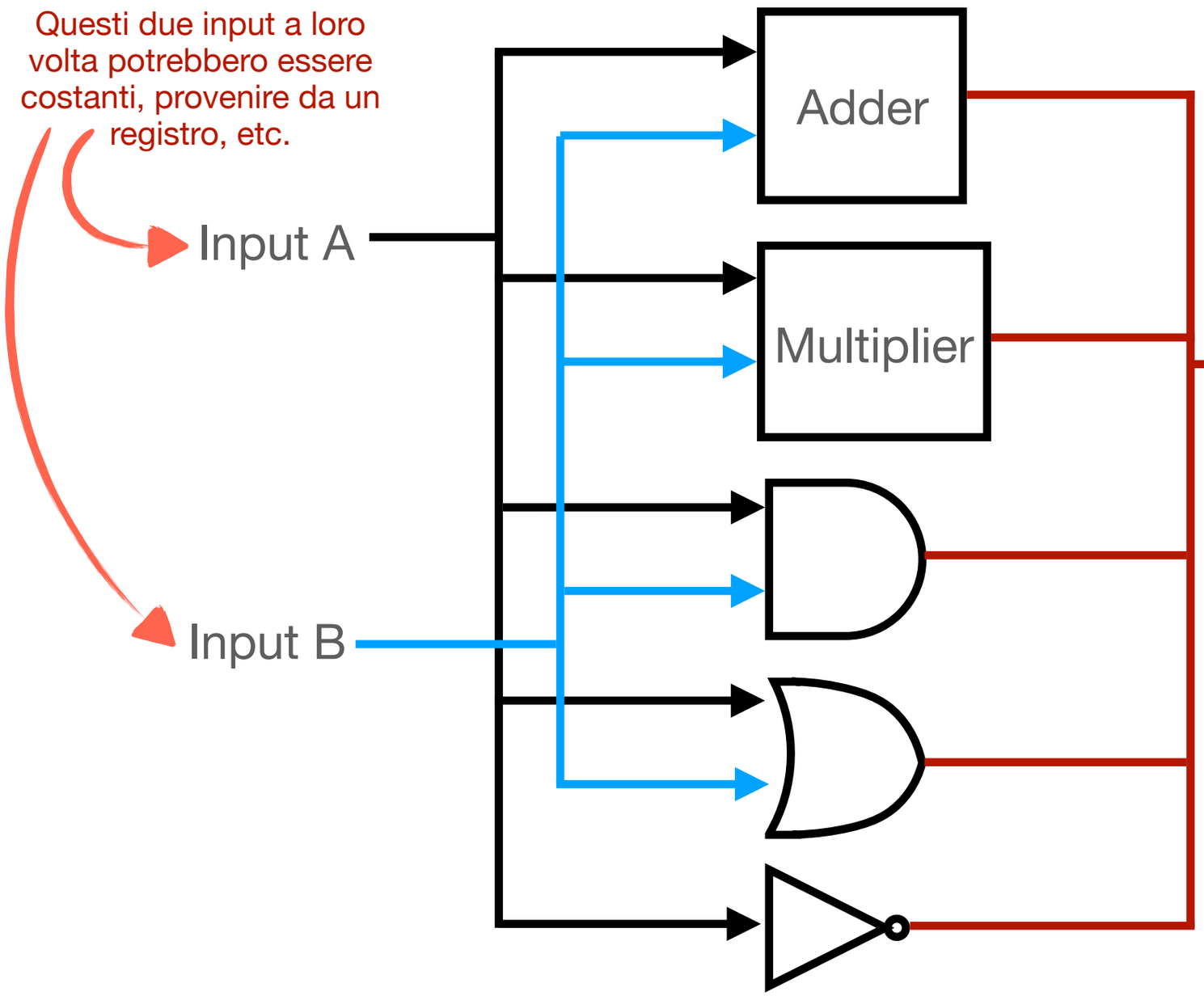
Una ALU

Non solo Adder

- Abbiamo visto come costruire un adder
- Possiamo costruire circuiti per molte altre operazioni
  - Semplici operazioni: negare tutti i bit in input, and/or bit a bit di due input, etc.
  - Operazioni più complesse: moltiplicazione, divisione, resto, etc.
- Dobbiamo però poter scegliere quale operazione svolgere
- Hint: abbiamo risolto un problema simile prima

Costruire una ALU

Selezionare tra più operazioni



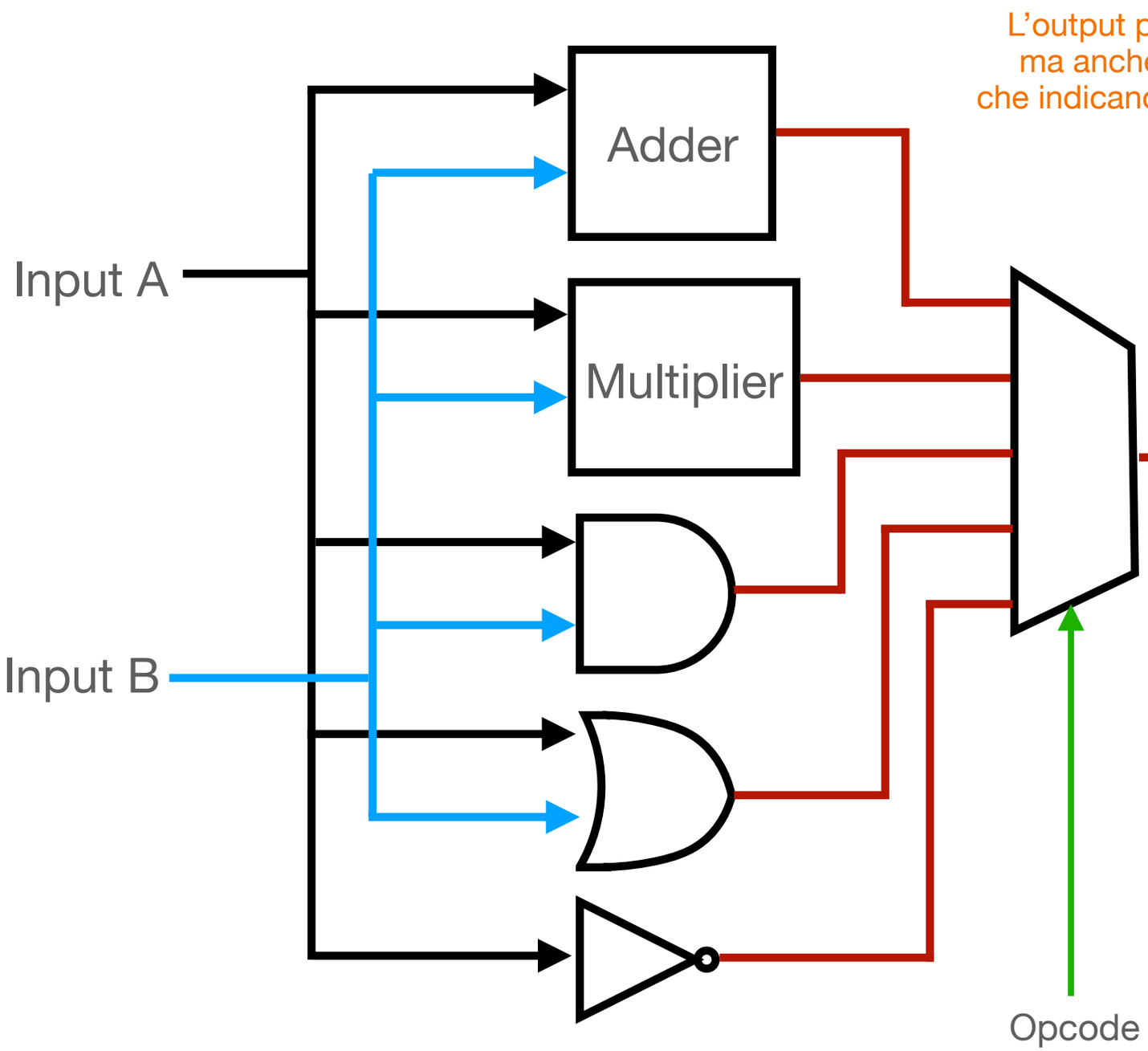
Come possiamo fare a selezionare che operazione far effettuare?

Assegnamo ad ogni operazione un numero (**opcode**)…

…e usiamo un multiplexer per selezionare quale output prendere

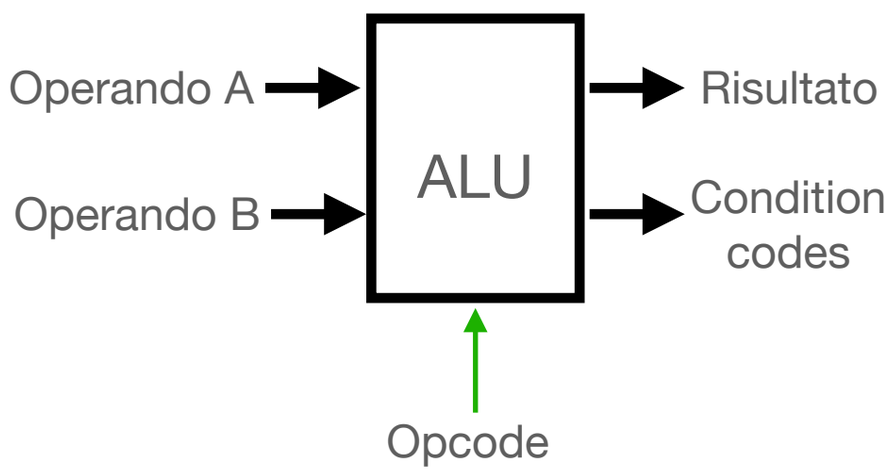
Costruire una ALU

Selezionare tra più operazioni



L'output potrebbe essere non solo il risultato dell'operazione ma anche bit aggiuntivi (chiamati anche "condition codes") che indicano condizioni particolari (e.g., overflow, risultato di una comparazione tra due numeri, etc)

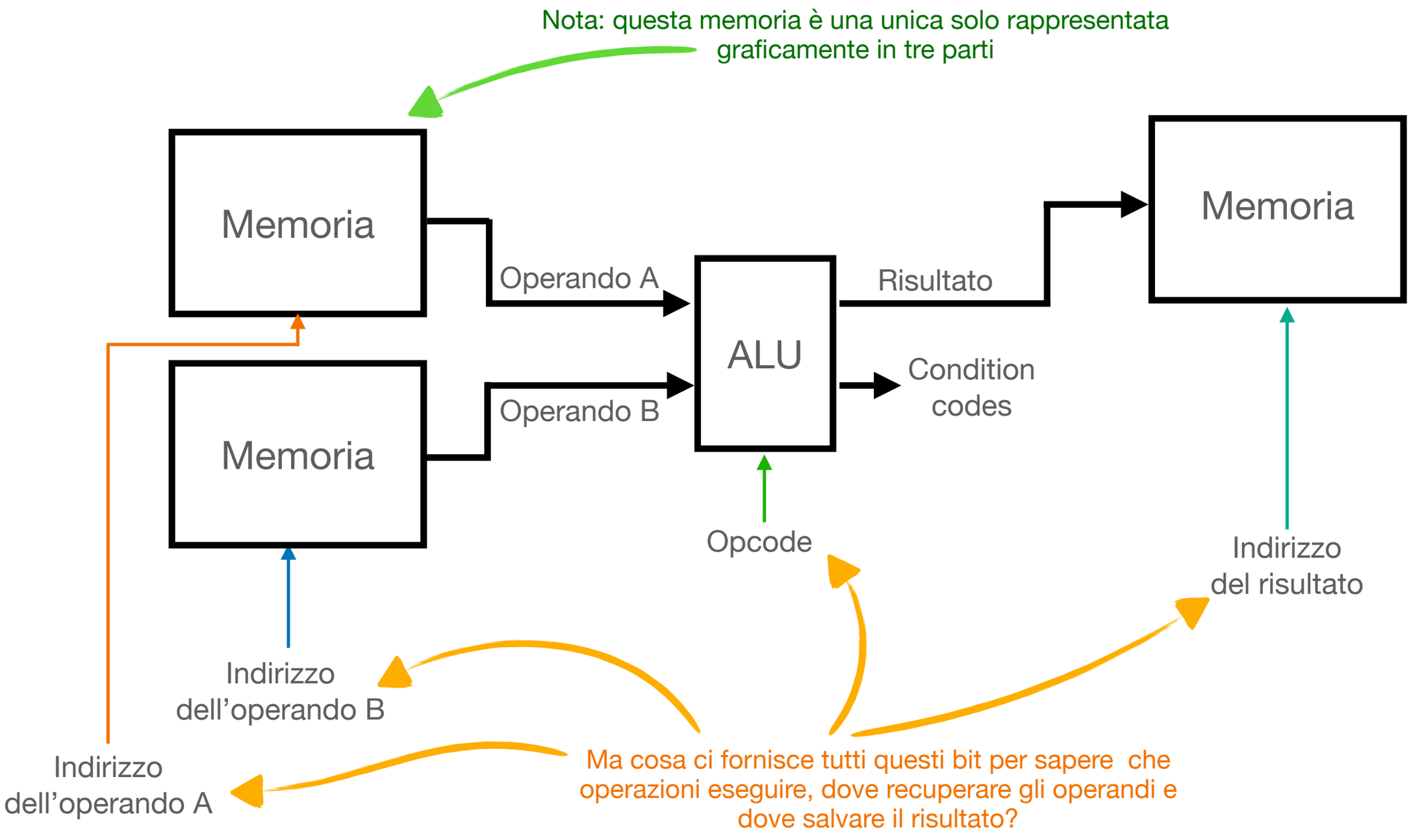
In modo compatto possiamo rappresentare una ALU nel seguente modo:



Istruzioni e Program counter

Proviamo a mettere assieme

Memoria e ALU



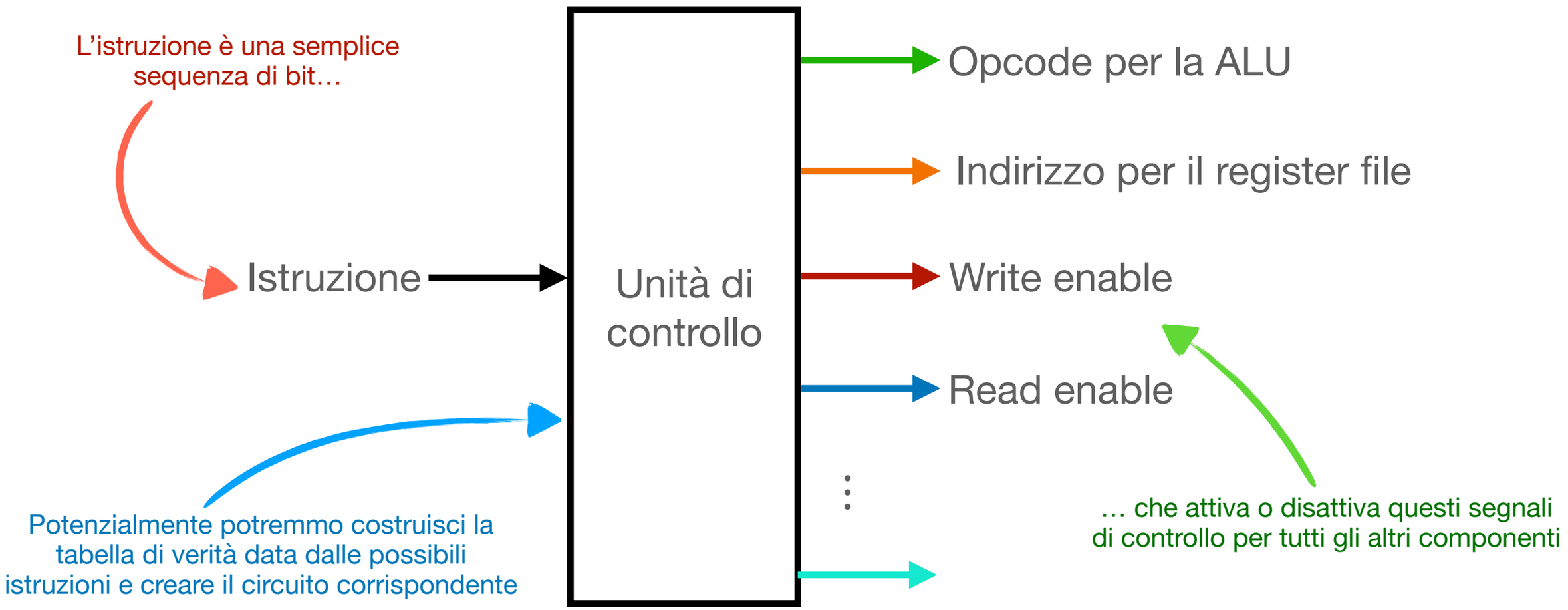
Istruzioni

E dare comandi al processore

- Abbiamo visto che più componenti hanno degli input aggiuntivi che dicono cosa fare:
  - Nel register file in che registro scrivere o leggere
  - Nella ALU che operazioni eseguire
- Questi sono input essenziali perché dicono ai vari componenti cosa fare
- Come vengono impostati questi input aggiuntivi?
- Una unità di controllo imposta questi bit a partire da una istruzione (a sua volta una sequenza di bit)

Unità di controllo

Versione semplificata



Cosa è il program counter

E a cosa serve

- Il program counter mantiene **l'indirizzo** in memoria dell'istruzione da eseguire

- Esso è quindi un registro con due funzionalità particolari:

  - Se non viene modificato passiamo all'istruzione successiva nella sequenza (i.e., il valore del program counter viene incrementato)

  - Se viene modificato cambierà la prossima istruzione che verrà eseguita. Questa operazione permette di implementare costrutti di selezione (come *if*) e costrutti iterativi (come *for* e *while*)

Un semplice processore

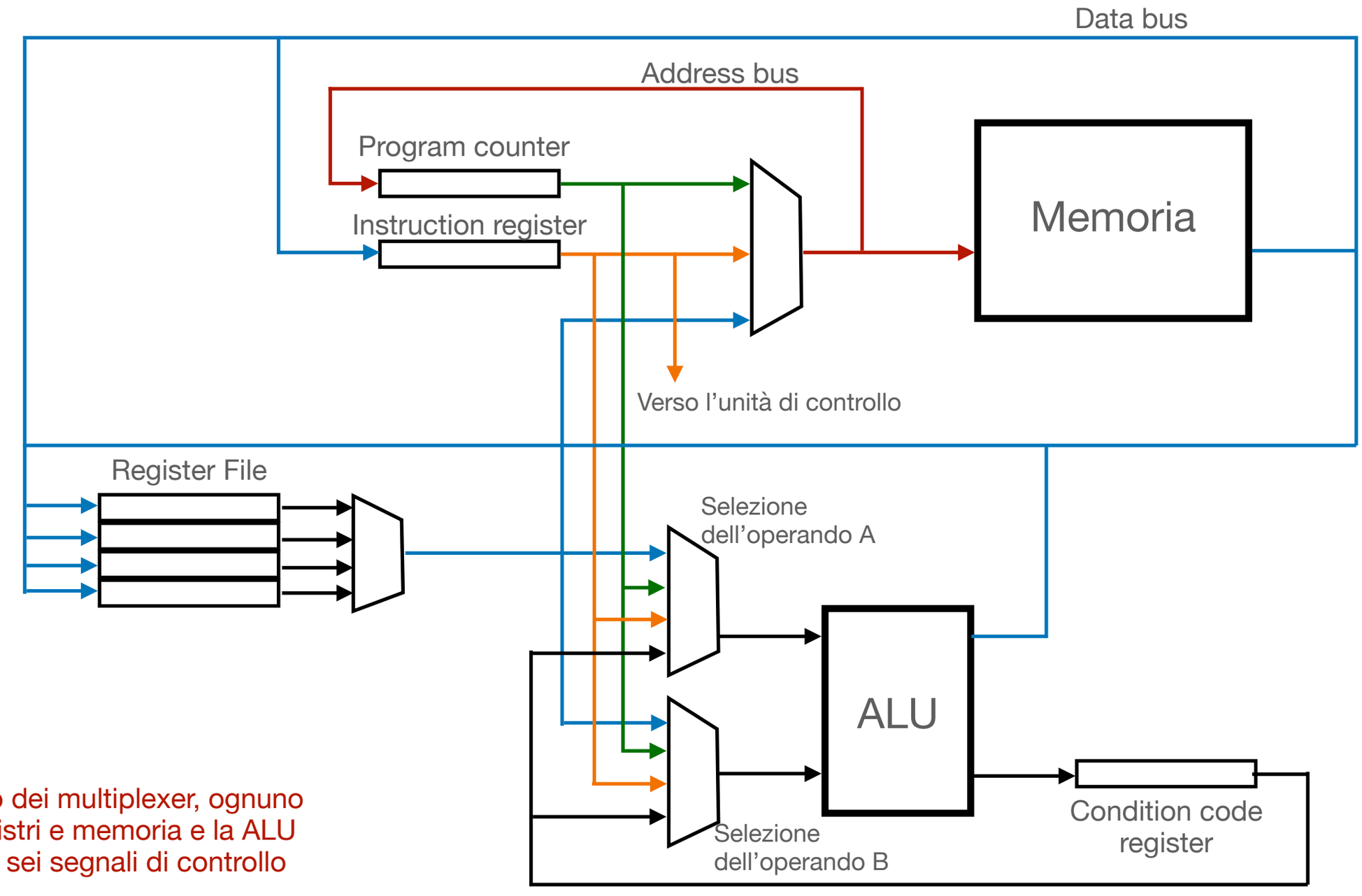
Un semplice processore

Ingredienti

- Servirà una ALU
    - Dobbiamo scegliere per ogni operando da dove deve essere preso l’input
- Un register file, con la possibilità di leggere e scrivere su ogni registro
- Una memoria (da cui dovremo reperire sia dati che istruzioni)
- Un program counter
- Un instruction register per salvarsi l’istruzioni da eseguire dopo averla letta dalla memoria

Struttura di un processore

Versione semplificata



Ognuno dei multiplexer, ognuno dei registri e memoria e la ALU hanno sei segnali di controllo

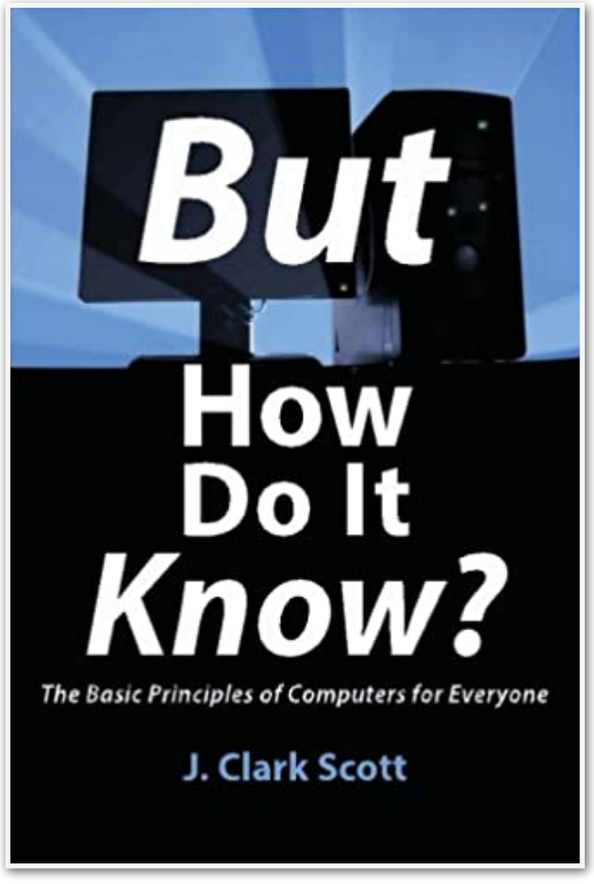
Quanto stiamo semplificando?

Hint: moltissimo

- Nelle architetture moderne i registri (decine) sono di 64 bit…
- …ma c’è hardware speciale per eseguire operazioni su gruppi di bit più grandi, quindi anche registri appositi per operazioni su 256 o 512 bit alla volta
- Abbiamo ignorato tutta la gestione dei numeri floating point
- Funzionalità aggiuntive possono essere integrate nella CPU (e.g., per la crittografia)
- Possono esserci più unità (adder, multiplier, etc) per eseguire più operazioni in contemporanea
- …

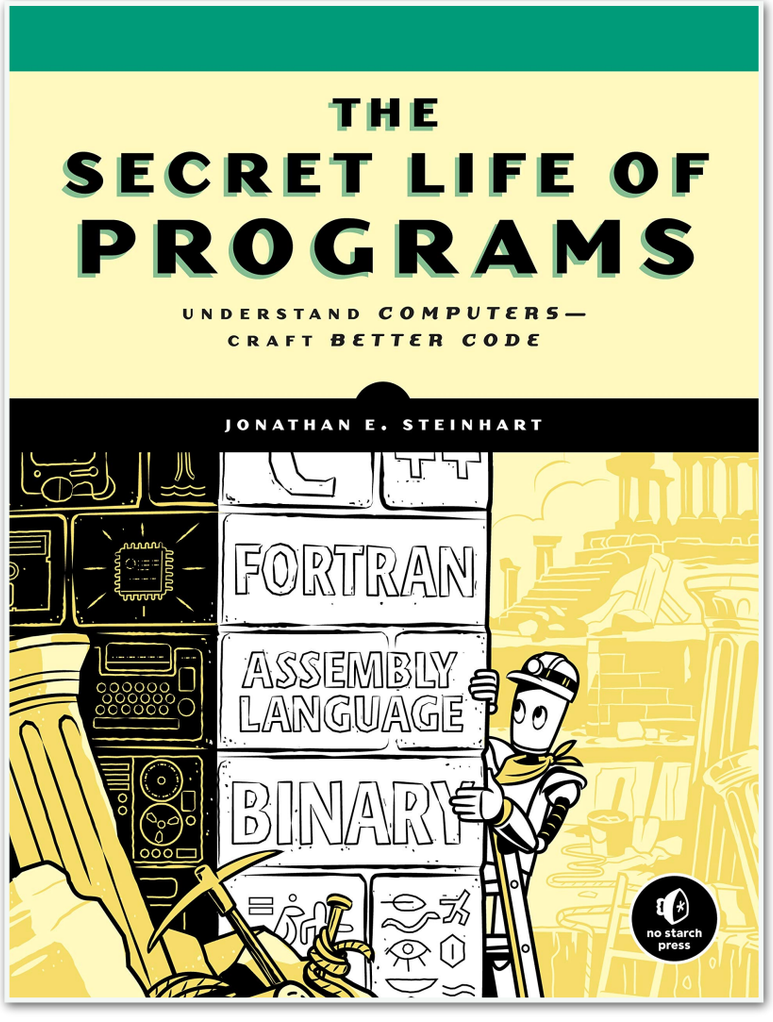
Materiale di lettura

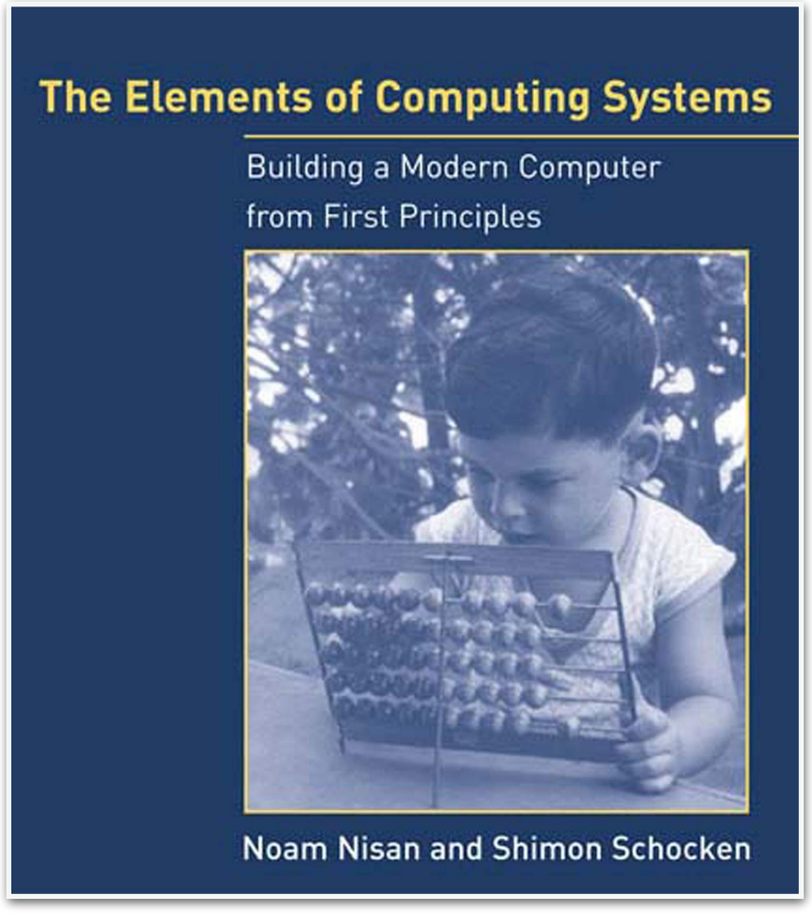
Approfondimento e studio per interesse personale



Mostra come costruire un (semplice) computer a partire da zero.

Prova a rispondere alla domanda di cosa succeda realmente quando eseguiamo un programma. A partire dal processore per poi passare alla parte software





Libro di testo del famoso corso denominato “Nand2Tetris”, il cui scopo è la costruzione di un intero computer, il corrispondente compilatore fino ad arrivare a programmi applicativi