

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-65/51

A. Turrin :
I CALCOLATORI ELETTRONICI NUMERICI AL SERVIZIO DEL
CALCOLO SCIENTIFICO - I.

Estratto da : Giornale di Fisica 6 (1965)171

05/51

**I calcolatori elettronici numerici
al servizio del calcolo scientifico. - I.**

A. TURRIN

Laboratori Nazionali del CNEN - Frascati

Premessa.

Una chiara descrizione di cosa sia un calcolatore elettronico numerico si trova già in un articolo di questo Giornale ⁽¹⁾. In esso l'argomento è trattato partendo da un punto di vista molto generale: prima di esporre sulla costituzione e il funzionamento dei calcolatori l'Autore dà un breve quadro storico degli sviluppi di questa tecnica, accenna poi alle speranze future della cibernetica (macchine che pensano e macchine che si riproducono), e chiarisce infine — sulla base di dati di fatto — l'estrema importanza dei calcolatori elettronici in ogni aspetto della vita civile, sociale, economica, scientifica, tecnica.

L'intento perseguito nelle Parti prima e seconda del presente articolo è quello di integrare le nozioni sul funzionamento illustrate nell'articolo citato ⁽¹⁾.

Nella Parte prima, dopo una sommaria descrizione delle unità che costituiscono un calcolatore, viene messa in risalto la possibilità di decisione logica (si o no) che un calcolatore può prendere senza alcun diretto intervento dal-

l'esterno; si accenna infine alla possibilità di disporre di un calcolatore che simultaneamente legge dati, emette risultati ed esegue elaborazioni.

Nella Parte seconda vengono descritti per sommi capi i linguaggi simbolici e si fa intravedere che con l'ausilio di questi linguaggi un calcolatore può essere istruito per mezzo di un linguaggio umano.

Si fornisce un esempio esplicativo di applicazione di questa vantaggiosa tecnica illustrando dettagliatamente un semplice programma scritto in linguaggio FORTRAN per il calcolo numerico di un integrale.

1. - Informazioni generali sulle prestazioni offerte oggi da un calcolatore.

1.1. *Cenni sulla struttura fisica di un calcolatore.* - I componenti elementari, che, in numero grandissimo, concorrono a formare in ogni istante lo « stato » di un calcolatore elettronico, sono oggetti fisici capaci di assumere solo due stati possibili.

Questi elementi bistabili sono depositari di una informazione elementare (si o no; + o -; aperto o chiuso; nord o sud, ecc.) chiamata bit.

⁽¹⁾ M. CONVERSI: *Giornale di Fisica*, 3, 49 (1960).

Un simile componente può essere realizzato da un tubo a vuoto (o da un transistor) che *conduce* o *non conduce*; da un relay *aperto* o *chiuso*; da un anello di materiale ferromagnetico (nucleo magnetico) magnetizzato in un verso o l'altro, come in fig. 1.



Fig. 1.

Un nucleo magnetizzato conserva la sua polarità per un tempo praticamente infinito. Si vede subito che è possibile cambiare lo stato del nucleo magnetico facendo passare un impulso di corrente di appropriato segno attraverso l'anello.

1.2. *La memoria veloce.* - I moderni calcolatori hanno nuclei di ferrite quali componenti elementari della loro memoria veloce, perché il tempo necessario per invertirne la polarità può essere dell'ordine del microsecondo e perché il diametro di questi anelli è dell'ordine del millimetro. Il numero di nuclei che concorrono a formare una memoria può essere dell'ordine del milione.

In fig. 2 è rappresentata una piccola porzione di un cosiddetto piano di memoria, costituito da $N \times M$ nuclei ($N \approx M \approx$ centinaia).

Ogni nucleo di coordinate i, j è attraversato da due conduttori tra loro perpendicolari (conduttore i e conduttore j). Per magnetizzare un nucleo di date coordinate i, j è sufficiente inviare contemporaneamente nei conduttori i e j la metà della corrente necessaria a ciò. In tal modo rimane immutata la

polarità di tutti gli altri nuclei di questo piano di memoria.

Una memoria veloce è costituita da alcuni (p. es. sette) piani di memoria sovrapposti l'un l'altro nella direzione Z (normale al piano di fig. 2), a distanze ΔZ l'uno dall'altro. Esisteranno cioè

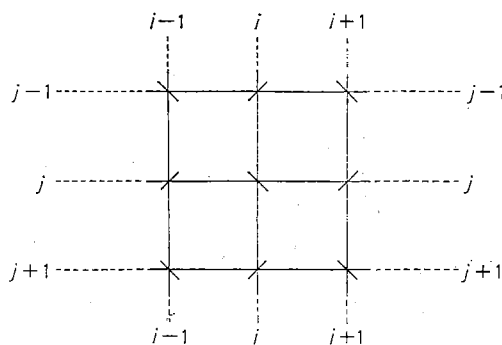


Fig. 2.

lungo la direzione Z sette nuclei aventi le stesse coordinate i, j .

L'insieme delle sette informazioni di bit (si o no) contenute in questi nuclei allineati lungo la direzione Z è sufficiente a farci identificare un numero decimale (dallo zero al nove) col suo segno, o un carattere dell'alfabeto, o un carattere speciale $\%(/, +) * = .$, secondo una convenzione prefissata.

Appare chiaro da quanto detto che l'indirizzo di ogni posizione di memoria, in cui è contenuto il singolo carattere o numero decimale, rimane inequivocabilmente identificato.

Il numero di posizioni di memoria in una memoria veloce può andare da $\sim 10\,000$ a $\sim 300\,000$.

Se l'insieme di conduttori i e j perpendicolari tra loro è sufficiente a « scrivere » su qualunque nucleo del reticolo (cioè a fargli cambiare polarità), la « lettura » dello stato di un nucleo di

coordinate i e j esige invece l'intervento di almeno un altro conduttore. Per ogni piano di memoria esiste un terzo conduttore (diagonale) che attraversa tutti i nuclei (fig. 3).

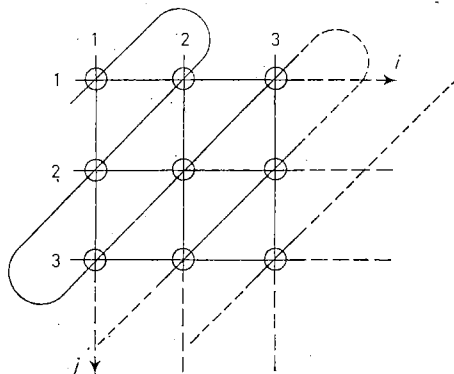


Fig. 3.

Per leggere lo stato di un nucleo (i, j) del piano si manda un impulso di corrente nei corrispondenti conduttori i, j , che lo attraversano. Se lo stato del nucleo era 1 questo impulso lo mette nello stato 0; la variazione di flusso provocata dalla commutazione della polarità del nucleo genera un impulso di corrente indotta nel conduttore diagonale.

A questo modo si ha la seguente informazione:

lo stato era 1: nel conduttore diagonale si ha l'impulso di corrente;

lo stato era 0: nel conduttore diagonale non si genera l'impulso di corrente.

Nel secondo caso la lettura è stata eseguita in modo semplice e completo, senza conseguenze, ma nel primo caso le conseguenze sono state distruttive: il nucleo « letto » ha cambiato polarità; ma non solo, tutti i nuclei del piano di memoria che erano nello stato 1 sono

stati messi nello stato 0 a causa dell'impulso di corrente indotta nel conduttore diagonale. Questo stato si può però ripristinare, perché « si sa » quali nuclei hanno cambiato la loro polarità originale. « Si sa » in quanto all'atto della transizione sono state indotte correnti in tutti i conduttori i, j attraversanti i nuclei che hanno subito la transizione, e si è in grado di ripristinare lo stato primitivo rinviando un nuovo impulso di corrente negli stessi conduttori i, j .

1.3. *Informazioni significative sui tempi di elaborazione.* - Oggigiorno un potente calcolatore esegue in un secondo ~ un milione di addizioni tra numeri di 8 cifre decimali.

Una elaborazione portata a termine in ~ 5 secondi da un moderno calcolatore elettronico è eseguita in ~ 2 minuti da un calcolatore di modello sorpassato (a tubi), o in ~ 80 settimane da una persona munita di una calcolatrice elettrica da tavolo. Disponendo di sola carta e matita ci vorrebbero ~ 15 anni.

1.4. *Parole. Dati. Istruzioni.* - Si è visto che un insieme (p. es. sette) di bit può formare un numero decimale col suo segno, o una lettera dell'alfabeto o un carattere speciale. Ogni posizione di memoria in cui è contenuto il carattere ha il suo indirizzo.

Nello stesso modo, un insieme di caratteri aventi indirizzi consecutivi (p. es. sei) costituisce una parola. Così anche la posizione in cui comincia (o finisce) la parola ha il suo indirizzo.

Poiché il calcolatore va istruito sulle operazioni da compiere attingendo da certi dati numerici, la memoria va « ca-

ricata » di istruzioni e dati. In generale in una parola può entrare o un'istruzione o un dato.

1.5. *Supporti di entrata e uscita delle informazioni e memorie ausiliarie.* - Per eseguire una elaborazione è necessario « caricare » la memoria del calcolatore di una serie di istruzioni e dati. Alla fine (e spesso anche durante) dell'elaborazione il calcolatore deve fornire all'utente i risultati del calcolo.

Le funzioni di immissione nella ed estrazione dalla memoria veloce delle informazioni vengono assolate da diversi tipi di dispositivi legati direttamente al calcolatore. Qui ne daremo una sommaria descrizione.

a) *I nastri magnetici.* - Il nastro magnetico è il principale mezzo di immissione e estrazione delle informazioni. La natura di questo mezzo permette di registrare su di esso lunghe serie di informazioni.

La capacità di una bobina di nastro magnetico è di $\sim 10^7$ caratteri, cioè molto maggiore dei ~ 300 mila caratteri di cui è capace la memoria veloce di un grande calcolatore.

Le velocità di lettura o scrittura possono raggiungere valori di $\sim 10^5$ caratteri/s.

Il nastro magnetico è costituito da una fettuccia (lunghezza di una bobina \sim un kilometro) di materiale plastico (larghezza ~ 1.3 cm) avente una delle due facce rivestita da uno strato di ossido di ferro. Se, p. es., sette sono i bit che formano un carattere nella memoria veloce di un certo calcolatore, sette sono allora le piste in cui è suddivisa nella sua larghezza la fettuccia del nastro magnetico.

I (sette) bit su nastro magnetico si ottengono creando (sette) areole magnetizzate (nord o sud), cioè una per ogni pista.

Il dispositivo di scrittura/lettura su nastro magnetico è riportato in fig. 4.

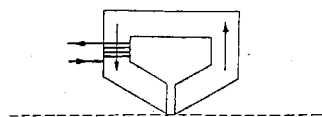


Fig. 4.

Quando passa una corrente elettrica attraverso gli avvolgimenti, le particelle di ossido di ferro si orientano in una determinata direzione; quando la corrente cambia segno l'orientamento delle particelle si inverte. Si può creare così un bit su una pista del nastro. Pertanto, se il nastro scorre con una velocità costante e gli avvolgimenti ricevono impulsi con frequenza costante mediante correnti positive o negative si ottiene la registrazione sul nastro dei bit.

La lettura è il fenomeno opposto a quello descritto: lo scorrimento del nastro crea impulsi di correnti indotte (+ o -) negli avvolgimenti.

I (sette) bit che costituiscono un carattere sono creati da (sette) testine di lettura/scrittura allineate perpendicolarmente al piano di fig. 4.

La densità di registrazione può arrivare a ~ 300 caratteri/cm e la velocità di scorrimento del nastro a ~ 3 metri/s.

Sugli stessi principi fisici funzionano i dischi magnetici ed i tamburi magnetici, come vedremo subito.

Un calcolatore adibito ad usi scientifici può essere dotato di un numero molto grande (~ 20) di unità a nastro magnetico.

b) *I dischi magnetici.* - La registrazione sequenziale delle informazioni sui nastri magnetici ha lo svantaggio che non si ha l'accesso immediato a qualunque blocco di informazioni registrate: è necessario talvolta svolgere una larga porzione di nastro per accedere al blocco da leggere.

Questo svantaggio è eliminato con l'uso dei dischi magnetici.

Un disco magnetico è costituito da un sottile disco metallico di raggio ~ 30 cm avente adagiata su ambedue le faccie una pellicola di materiale ferromagnetico. Circa 50 dischi possono essere fissati solidalmente ad un perno verticale ad una certa distanza (\sim cm) l'uno dall'altro. La velocità di rotazione è di $\sim 10^3$ giri/min.

Le informazioni sono registrate in «solchi» concentrici su ambedue le faccie dei dischi. Ogni solco è direttamente indirizzabile. Le 2 facciate dei dischi vengono esplorate da testine di lettura/registrazione (fig. 5).

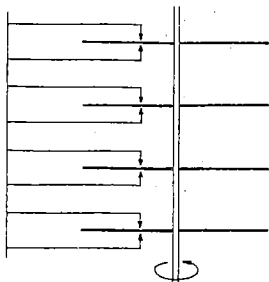


Fig. 5.

Le braccia d'accesso di cui alla fig. 5 si possono muovere in senso radiale sotto il controllo del calcolatore per intervenire su un qualunque solco di un qualunque disco.

Una pila di ~ 50 dischi può contenere ~ 60 milioni di caratteri. La velo-

cità di lettura è di $\sim 10^5$ caratteri/s; ~ 250 dischi possono essere collegati a calcolatori di prestazioni notevoli. Il tempo d'accesso medio ad una pista è di $\sim \frac{1}{4}$ s.

c) *I tamburi magnetici.* - I tamburi magnetici costituiscono una memoria ausiliaria.

Un tamburo magnetico è costituito da un cilindro di metallo, rivestito da una pellicola di materiale ferromagnetico, che ruota attorno al suo asse con una velocità di $\sim 5 \times 10^3$ giri/min.

Il vantaggio principale offerto dal tamburo magnetico è la possibilità di leggere o modificare in modo selettivo le informazioni registrate su di esso, senza dover leggere o riscrivere l'intero contenuto del tamburo; ciò non si può realizzare mediante i nastri magnetici.

La superficie cilindrica è divisa in un numero di piste uguali al numero di bit richiesti per formare una parola. In corrispondenza ad ogni pista esiste, ovviamente, una testina di lettura/registrazione.

La capacità di un tamburo è di $\sim 10^4$ parole. Ogni parola è indirizzabile. I tempi di lettura e di registrazione sono di \sim microsecondo. I tempi medi di accesso ad una generica parola sono $\sim 10^{-2}$ /s (mezzo giro del tamburo). Più tamburi magnetici possono essere collegati ad un calcolatore.

d) *Le schede perforate.* - Tutte le istruzioni e i dati registrati sui nastri magnetici e i dischi magnetici di un calcolatore sono informazioni di cui contiamo far uso in qualunque istante ci aggradi (oggi, domani, fra un mese,

fra un anno, ecc.). Si dispone, cioè, di una « biblioteca » consultabile quando si vuole e nel reparto che si vuole.

Per far entrare un nuovo « libro » in questa biblioteca, o per aggiornarla apportandovi delle modifiche o innovazioni, o anche per ripetere una elaborazione con nuovi dati, il mezzo più conveniente è costituito dalle schede per-

Queste informazioni, rappresentate dalla presenza o assenza di fori in certe posizioni della scheda possono essere lette dal calcolatore mediante il dispositivo di lettura di schede ad esso collegato. Non solo, si può richiedere al calcolatore di fornire informazioni sotto forma di schede perforate: il dispositivo di perforazione delle schede colle-

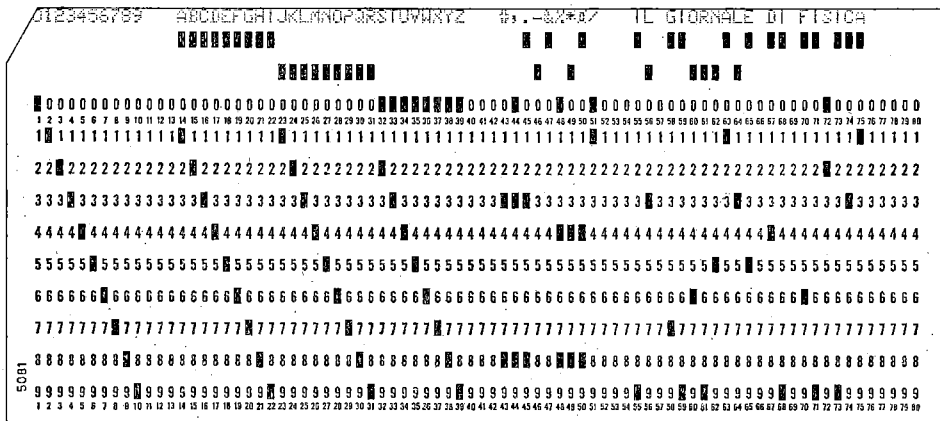


Fig. 6. - Scheda dati (in scala ridotta).

forate (fig. 6), perché è facile perforarle (con dispositivi al di fuori del calcolatore); è facile individuare ad occhio se contengono errori di perforazione da parte dell'operatore che le perfora; è facile sostituire le schede contenenti errori mediante schede corrette.

Si può dire, in altre parole, che la comunicazione tra l'uomo e il calcolatore avviene mediante le schede perforate.

Le informazioni sono registrate mediante piccoli fori rettangolari o circolari in posizioni opportune su rettangoli di carta del tipo di cui a fig. 6, mediante una certa convenzione.

Esistono altre convenzioni oltre a quella illustrata in fig. 6.

gato al calcolatore esegue questo lavoro.

Nell'esempio della fig. 6 la scheda porta 80 colonne verticali (i numeri progressivi in orizzontale nella parte bassa della scheda sono appunto i numeri d'ordine delle colonne), con dodici posizioni di perforazione per ogni colonna. Esistono calcolatori che leggono schede aventi più di 80 colonne.

Le schede da far leggere al calcolatore vengono lette in movimento, una dopo l'altra, dal lettore di schede ad esso collegato. La traslazione della scheda avviene secondo la direzione individuata dalle colonne.

Due sono i sistemi di lettura usati: il sistema elettrico e il sistema fotoelettrico.

Nel primo caso ogni scheda, trascinata da appositi rulli, passa tra un cilindro metallico rotante e un insieme di 80 spazzolini metallici (uno per ogni colonna della scheda), che toccano il cilindro. Quando il bordo della scheda arriva sotto gli spazzolini il cilindro riceve degli impulsi elettrici. Poiché la scheda è costituita da materiale isolante, questi impulsi non arrivano agli spazzolini. Ma quando una perforazione passa sotto uno spazzolino questo va a toccare il cilindro e di conseguenza riceve un impulso di corrente.

Il sistema fotoelettrico funziona in modo analogo: al posto degli spazzolini ci sono 80 cellule fotoelettriche attivate. Le velocità di lettura delle schede possono arrivare fino a valori di $\sim 10^3$ schede/minuto. L'emissione di dati dal calcolatore mediante perforazione di schede può arrivare a velocità di ~ 250 schede/minuto.

e) *Il nastro di carta.* - È usato principalmente per comunicazioni a distanza fra calcolatori. Le informazioni registrate su nastro di carta vengono inviate su cavo telefonico o telegrafico alla stazione ricevente, dove gli impulsi in arrivo determinano la perforazione di un nastro identico a quello « partito ».

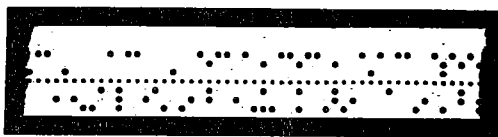


Fig. 7.

Le informazioni vengono registrate mediante fori circolari (fig. 7) lungo la striscia di nastro.

La disposizione seriale dei caratteri è perfettamente analoga a quella già vista per i nastri magnetici.

Nel caso della fig. 7 i canali (analogo delle piste dei nastri magnetici) sono otto.

La serie regolare e uniforme di fori di diametro minore che si nota in fig. 7 serve unicamente per il trascinamento a cremagliera del nastro.

Le velocità di lettura massime sono di $\sim 10^3$ caratteri/s; le velocità di scrittura massime sono di ~ 300 caratteri/s.

f) *Le stampatrici veloci.* - I risultati numerici richiesti al calcolatore possono uscire stampati. Le velocità delle stampatrici veloci possono arrivare a ~ 2000 caratteri/s.

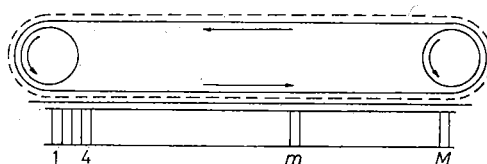


Fig. 8.

Una delle soluzioni per la realizzazione di dispositivi così efficienti consiste (fig. 8) in una catena in movimento sulla quale sono allineati più (~ 4) blocchi di caratteri di stampa. Ogni blocco contiene allineati tutti gli N (~ 50) caratteri di stampa. Il foglio di carta su cui stampare (per righe di M caratteri ciascuna) è interposto tra la catena ed M (~ 100) martelletti allineati.

Il generico martelletto, che sta nella posizione m , preme il foglio di carta contro la catena quando gli si presenta davanti il carattere da stampare in quella posizione m -esima.

La figura 8 rappresenta schematicamente il dispositivo visto in pianta, cioè

l'avanzamento per righe del foglio di carta avviene normalmente al piano della figura. Si possono raggiungere velocità di ~ 600 righe/minuto. Questa, peraltro, non è la soluzione più veloce oggi giorno.

g) *Il tubo a raggi catodici.* - Un tubo a raggi catodici, se collegato al calcolatore, permette di vedere direttamente sotto forma di grafici i risultati di una elaborazione.

L'insieme dei numeri che descrivono il risultato di un calcolo viene convertito successivamente nel tempo in altrettante differenze di potenziale che servono per determinare la posizione e controllare la direzione del pennello di raggi catodici onde fargli « disegnare » sullo schermo fluorescente il risultato in forma di grafico.

2. - Possibilità di decisione logica. Organizzazione delle unità che costituiscono un calcolatore.

2.1. *La macchina sa decidere da sé.* - Si è accennato nella prima Sezione che, per ottenere in modo completamente automatico il risultato di un lavoro numerico, è necessario dare ad un calcolatore elettronico una serie di informazioni consistenti in un insieme ordinato di istruzioni (programma) e di dati numerici.

Abbiamo anche precisato che (in generale) una parola (insieme di più caratteri) può contenere una istruzione o un dato e che ogni parola ha un ben preciso indirizzo (individuato da un numero) nella memoria della macchina. Le istruzioni che si possono dare alla macchina sono di tipo assolutamente elementare: dal punto di vista del cal-

colo, la macchina sa soltanto eseguire somme, sottrazioni, moltiplicazioni, divisioni, ma anche (ed è ciò che ci permette di esigere « qualunque cosa » da essa) sa decidere da sé, in base ai risultati che ottiene nel corso della elaborazione.

In altre parole, messa di fronte ad un bivio, ad una alternativa, sa quale strada scegliere, se noi l'abbiamo preventivamente informata sui criteri da adottare per compiere la scelta.

Per esempio, supponiamo di possedere una lunga serie di dati numerici riportati su schede, e tra essi vogliamo trovare quel dato che ha valore numerico massimo.

L'insieme di istruzioni (programma) da dare alla macchina sono — espresse in linguaggio umano — essenzialmente le seguenti:

A) Prendi con la mano sinistra il primo dato.

B) Prendi con la destra il successivo dato.

C) Se il dato nella mano destra è maggiore del dato nella mano sinistra butta via il dato della mano sinistra e trasferisci alla mano sinistra il dato che hai nella mano destra e rivolgiti alla istruzione B) precedente. Se ciò non è rivolto alla istruzione D) seguente.

D) Butta via il dato che hai nella mano destra e rivolgiti alla istruzione B).

Nella istruzione C) abbiamo informato la macchina su quello che deve fare a seconda del verificarsi o no di una circostanza ed il bivio (da C) si può andare a B) o D)) è evidente.

Si può per ora concludere che il calcolatore esegue normalmente, una dopo

l'altra, la serie di istruzioni impartitegli (istruzioni memorizzate in successive parole di indirizzo crescente), ma si può « saltare » ad un'altra istruzione fuori della sequenza (e continuare da quella l'esecuzione nel modo sequenziale detto); se noi lo informiamo « quando » deve saltare e quando no.

Inoltre una delle istruzioni che gli possiamo dare è quella di saltare incondizionatamente ad un'altra istruzione.

2.2. L'unità centrale. - Tutte le unità che costituiscono il calcolatore sono sotto il controllo costante dell'unità centrale.

In fig. 9 è rappresentato questo fatto.

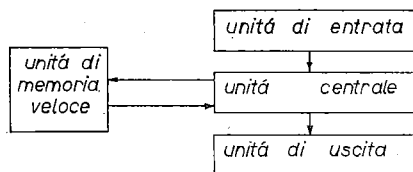


Fig. 9.

L'unità centrale dirige e controlla tutto il sistema, coordinando le operazioni relative alle istruzioni fornite dal programma (il programma è ovviamente conservato nella memoria veloce), e cioè:

A) Comanda le unità di entrata ed uscita, preleva da o immette in memoria le informazioni, interpreta via via ogni singola istruzione e ne porta a termine l'esecuzione.

B1) Esegue i calcoli aritmetici,

esegue il confronto fra due dati numerici.

B2) Esegue le operazioni che determinano (o no) la decisione di interrompere la esecuzione sequenziale delle istruzioni e di saltare alla istruzione indicata dal programma.

Le funzioni descritte in A) sono assolte da quella parte dell'unità centrale che prende il nome di organo di controllo o governo; quelle descritte in B) sono assolte da quella parte che si chiama unità aritmetica (B1) e logica (B2).

L'unità aritmetica è essenzialmente una piccola memoria veloce sulla quale vengono portati gli operandi, vi si eseguono le operazioni aritmetiche, e dalla quale vengono prelevati i risultati da inviare (ai vari indirizzi) alla memoria veloce. Poiché un dato numerico contenuto in una parola è espresso da una serie di bit 0 e 1 le operazioni aritmetiche sono eseguite con le regole dell'aritmetica binaria.

Il sistema aritmetico decimale fa uso di dieci simboli diversi per la numerazione. Essi sono, nell'ordine crescente, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Così il numero 013 significa che contribuiscono *tre* unità (10^0), *una* decina (10^1), *zero* centinaia (10^2) a formare il numero tredici.

Il sistema aritmetico binario fa uso di due simboli diversi per la numerazione. Essi sono, nell'ordine crescente 0, 1. Così il numero 01101 significa che *c'è* contributo dell'unità (2^0), *non c'è* contributo del paio (2^1), *c'è* contributo della quaderna (2^2), *c'è* contributo del Pottetto (2^3) a formare il numero tredici.

Qui sotto riportiamo una tabellina dei primi 20 numeri interi espressi nei sistemi decimale e binario.

| Decimale | | Binario | | | | |
|----------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 6 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 7 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 4 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 8 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 9 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 10^1 | 10^0 | 2^4 | 2^3 | 2^2 | 2^1 | 2^0 |

Nel sistema binario le tavole di addizione e moltiplicazione sono estremamente semplici:

Tavola di addizione

| | 0 | 1 |
|---|---|----|
| 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 10 |

Tavola di moltiplicazione

| | 0 | 1 |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |

Tutte le operazioni elementari assolate una dopo l'altra dal sistema sotto la supervisione dell'organo di controllo o governo si compiono entro intervalli di tempo ben precisi. Questi intervalli di tempo sono scanditi da impulsi regolari provenienti da un orologio elettronico (frequenza di \sim un milione di impulsi/s). Questa frequenza è determinata

dal tempo base della macchina o ciclo di macchina, che generalmente è il tempo necessario per agire su un bit. Il tempo di esecuzione di ogni istruzione è un multiplo intero di cicli di macchina.

Una forma molto semplificata di istruzione (che è contenuta in una parola e pertanto è indirizzabile) è la seguente: i primi n bit individuano il tipo di operazione da eseguire ed i rimanenti individuano l'indirizzo del dato su cui operare.

L'organo di controllo prima interpreta l'istruzione e successivamente ne cura l'esecuzione.

2.3. Sovrapposizione delle operazioni di entrata, uscita e di elaborazione dei dati. Le memorie di transito. - I tempi occorrenti per leggere/scrivere un dato mediante le unità di entrata/uscita sono molto maggiori ($\sim 10^3$ volte maggiori) di quelli occorrenti per eseguire un'operazione elementare su un dato una volta che questo è entrato nella memoria veloce. Ciò a causa del fatto che gli organi di entrata/uscita delle informazioni sono di natura meccanica.

Supponiamo che un calcolatore esegua la seguente elaborazione di tipo iterativo:

a) legge un insieme di dati A , li elabora, ed emette un insieme A' ;

b) legge un altro insieme di dati B (di formato uguale ad A), ne esegue la stessa elaborazione eseguita in a) ed emette un altro insieme B' (di formato uguale ad A');

c) eccetera;

d) eccetera.

Il quadro dei tempi di questo lavoro, quando si ha a che fare con un calcolatore di modeste prestazioni è rappresentato in fig. 10:

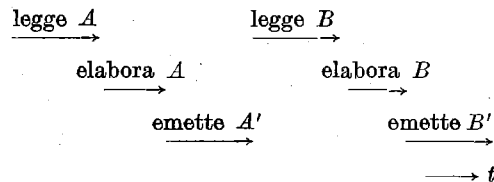


Fig. 10.

Qui l'unità centrale, tanto veloce nell'elaborare i dati, è costretta ad interrompere il suo lavoro per attendere che i dati entrino (p. es. dal lettore di schede) nella memoria veloce e ne escano (p. es. sulla stampatrice veloce).

I calcolatori più efficienti dispongono per ogni unità di entrata/uscita di dispositivi che fungono da « magazzini », da « riserve » intermedie di informazioni di entrata e uscita chiamate memorie di transito (in inglese buffer). I dati in lettura entrano con la lentezza detta nelle memorie di transito, ma l'unità centrale può prelevarli da esse ed immerteli nella memoria veloce in tempi ~ 100 volte minori. Parimenti l'unità centrale può portare molto rapidamente dalla memoria veloce alle memorie di transito i risultati da far stampare.

In questo caso la supervisione e

controllo della lettura/stampa vengono demandati alle unità di entrata/uscita: l'unità centrale delega l'unità di entrata a caricare il buffer; mentre i dati entrano lentamente nel buffer l'unità centrale è libera di assolvere altri compiti, come, ad esempio, una elaborazione.

Parimenti, dopo che l'unità centrale ha caricato il buffer dell'unità di uscita, delega questa unità a stampare il contenuto del buffer; mentre è in corso la stampa, l'unità centrale è libera di assolvere altri compiti, come, ad esempio, una elaborazione.

Ne segue che il quadro dei tempi in questo caso diviene quello di fig. 11.

Il programma è scritto in modo che, prima di elaborare il gruppo n -esimo di dati, c'è l'istruzione di iniziare la stampa dal buffer dei risultati relativi al gruppo $(n-1)$ -esimo, nonché l'istruzione di iniziare il caricamento del buffer mediante i dati d'entrata del gruppo $(n+1)$ -esimo. In questo quadro dei tempi i compiti *legge* ed *emette* sono a cura esclusiva delle unità di entrata e uscita e si può utilizzare in modo optimum la potenza di elaborazione dell'unità centrale.

2.4. *Sovrapposizione di più operazioni di entrata e uscita. I canali di entrata e uscita delle informazioni.* - I grandi calcolatori sono dotati di più (fino a ~ 10)

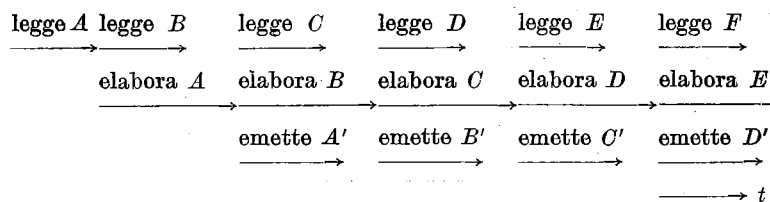


Fig. 11.

canali separati ed indipendenti per l'entrata ed uscita delle informazioni. Più canali possono venir impegnati contemporaneamente per la lettura, per esempio da unità a nastro magnetico, mentre altri canali stanno scrivendo su altre unità a nastro magnetico, ed è in corso la lettura da schede, la stampa di risultati e l'elaborazione.

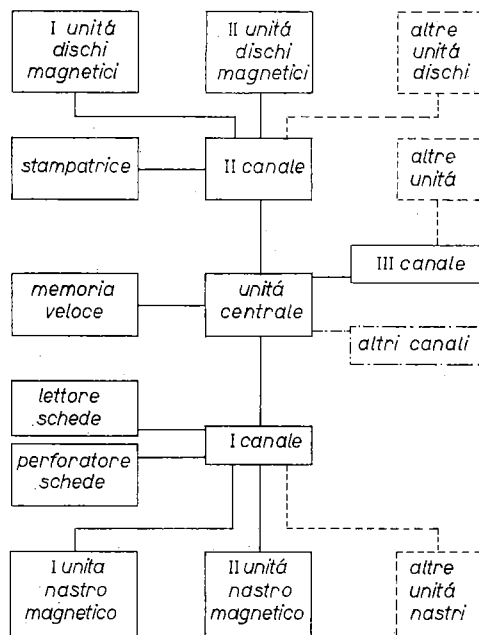


Fig. 12.

La figura schematica 9 va ora rimpiazzata dalla fig. 12.

Ogni canale può essere dotato di un lettore e perforatore di schede, di una stampatrice e di molte (~ 10) unità a

nastro magnetico o a dischi magnetici. Qualunque n -esima unità di ogni m -esimo canale può essere chiamata per operazioni di entrata/uscita. Si può dire che un canale è un piccolo calcolatore responsabile del controllo del flusso dei dati dalla/alla unità centrale alla/dalla singola unità di entrata/uscita selezionata dal programma. Questo piccolo calcolatore è anche capace di eseguire limitate operazioni di conteggio e verifica attinenti alla trasmissione dei dati.

La sovrapposizione nel tempo di più operazioni di lettura/scrittura, mentre l'unità centrale sta calcolando, si ottiene a prezzo di notevoli complicazioni nella stesura del programma. Un programma di questo tipo è costituito da due programmi distinti coesistenti nella memoria veloce, che lavorano in stretta concorrenza: uno è il programma di vera e propria elaborazione e l'altro è il programma che cura esclusivamente la entrata/uscita sui canali.

L'unità centrale, così, esegue normalmente le istruzioni del programma di elaborazione. Quando uno dei canali avverte l'unità centrale che è pronto a comunicarle una serie di dati (o è pronto a ricevere da essa una serie di dati), l'unità centrale interrompe l'esecuzione del programma di elaborazione, soddisfa la richiesta di quel canale (ricevendone i dati o comunicandoglieli) quindi continua l'esecuzione del programma di elaborazione ripartendo dal punto di interruzione.