PUBBLICAZIONI DELLE FACOLTÀ DI SCIENZE E DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI TRIESTE
SERIE A
53

BRUNO de FINETTI

Macchine «che pensano» (e che fanno pensare)

TRIESTE
1952

PUBBLICAZIONI DELLE FACOLTÀ DI SCIENZE E DI INGEGNERIA

DELL' UNIVERSITA' DI TRIESTE

SERIE „A"

1. KRALL G., Sulle vibrazioni di uno scafo elastico galleggiante in un fluido sede di propagazioni ondose, (1946).
2. MORELLI C., La rete geofisica e geodetica in Italia nel suo stato attuale e nei suoi rapporti con la struttura geologica superficiale e profonda, (1946).
3. KRALL G., Aerodynamic Stability in bridge Structures, (1946), (esaurito).
4. DALLA PORTA N. e POIANI G., Sulla componente elettronica degli sciami per le basse energie, (1946).
5. VERCELLI F., Analisi periodale dei diagrammi, (1946).
6. DALLA PORTA N., Teoria ondulatoria dell'emissione alfa, (1946)
7. KRALL G., Le volte autoportanti, (1946).
8. MARUSSI A., Analisi statistica degli errori aleatori nelle osservazioni angolari, (1946).
9. BARGONE A., Il comportamento termochimico del cromo nel processo di fabbricazione dell'acciaio nei forni elettrici ad arco, (1947).
10. KRALL G., Mete lontane del moto dei sistemi dinamici, (1947).
11. ZANABONI O., Reticoli di travi a grande numero di maglie, (1947).
12. DE FASSI G., Trasformatori a risonanza per alte tensioni, (1947).
13. ZANABONI O., Calcolo delle incastellature a torre semplice per serbatoi pensili, (1947).
14. BARGONE A., Trattamento a bassa temperatura degli acciai da utensili, (1947).
15. CACCIAPUOTI B. N., Sulle radiazioni X e Gamma emesse dal $Rh\frac{140}{45}$ (1947).
16. KRALL G., Ponti quasi arditi in cemento armato, (1947).
17. TESSARI L., Ulteriori ricerche sui freni idrodinamici a dischi, (1947).
18. BARGONE A. e RINALDI F., Azione delle vibrazioni sonore ad alta frequenza su alcuni sistemi metallici con lacune di miscibilità, (1948).
19. RAMPONI F., Alcune considerazioni sulle oscillazioni nei sistemi a due pozzi piezametrici, (1948).
20. BARGONE A. e RINALDI F., Il meccanismo della decarburazione nel processo di affinazione dell'acciaio, (1948).
21. ZANABONI O., Lastra rettangolare appoggiata su due lati opposti e soggetta a condizioni statiche varie sugli altri due, (1948).
22. RAMPONI F., Sul calcolo delle oscillazioni di un pozzo piezometrico, (1949).
23. KRALL G., L'aerodinamica nella scienza delle costruzioni, (1949).
24. ZANABONI O., Tensioni tangenziali e scorrimenti nelle travi di parete delle struture scatolari, (1949).
25. RABBENO G., Schemi elementari degli impianti a metadinamo per navi, (1949).
26. FEA L., Considerazioni tecnico-economiche sui vari tipi di navi in relazione ai loro criteri di servizio, (1949).
27. RABBENO G., Quadrature grafiche col metodo di Cebiceff, (1949).
28. DE FASSI G., Il problema dell'adattamento al carico nel riscaldamento elettronico ad alta frequenza, (1949).
29. NORDIO U. e GUACCI A., Il problema delle abitazioni, (1949).
30. MORELLI C., La sismicità a Trieste, (1949).
31. RAMPONI P., Sulle forme di imbocco dei canali e delle opere di scarico superficiali, (1949).
32. SERVELLO A., Note sull'equazione del dislocamento nel progetto delle navi, (1949).
33. SOBRERO L., Di un particolare tipo di arpionismo, (1950).
34. CACCIAPUOTI N. B., Origine della radiazione cosmica, (1950).
35. de FINETTI B., Sulle stratificazioni convesse, (1950).
36. SERVELLO A., Evoluzione e sviluppo delle costruzioni navali militari, (1950).
37. TESSARI I., Di una formula pel proporzionamento dei freni a celle, (1950).
38. KRALL G., Ancora sui ponti quasi arditi, (1950).
39. GABRIELLI I. e POIANI G., Circuiti di demoltiplicazione, (1950).
40. TESSARI I., Classificazione e proporzionamento dei ventilatori centrifughi, (1950).
41. FAGNONI R. e NORDIO U., Il nuovo Centro universitario di Trieste, (1950).
42. GUACI A., Scale con alzate e pedate variabili, (1950).
43. POIANI G., Una grande camera di ionizzazione per lo studio della radiazione cosmica, (1950).
44. ABETTI P. A. e DE FASSI G., Moderni sviluppi del calcolo operatorio e sue applicazioni ai problemi dell'elettrotecnica, (1951).
45. SERVELLO A., L'immersione e la superficie bagnata di carena nel progetto delle navi mercantili, (1951).
46. SERVELLO A., La stabilità e la tranquillità delle navi come determinanti della larghezza e del coefficente di finezza totale di progetto, (1951).
47. GEROLINI A., présentée par M. Arnaud Denjoy. Topologie «Compactification des espaces séparés, (1951).
48. RABBENO G., Sistema di misure assolute «Perpetuo» [MKVC], (1951).
49. ABETTI P. A. e DE FASSI G., Insegnamento e applicazioni del calcolo operatorio, (1951).
50. CHENI V., Moderni trasmettitori idrodinamici e loro applicazioni, (1952).
51. TOMBESI G., Stato attuale delle prove dinamiche sui terreni da costruzione e studi relativi, (1952).
52. RABBENO G., Lo spazio e il tempo fisici secondo un epistemologo, (1952).

Macchine "che pensano" (e che fanno pensare)

a cura di Bruno de Finetti

Estratto dalla rivista "TECNICA ed ORGANIZZAZIONE" - N. 3-4 maggio-giugno - luglio-agosto 1952

Macchine "che pensano" (e che fanno pensare)

di Bruno de Finetti

L'A. acquisì una vasta esperienza dei sistemi a schede perforate nel lungo periodo in cui, essendo attuario alle Assicurazioni Generali, fu preposto ai lavori di meccanizzazione della Direzione Centrale di Trieste. Interessatosi delle calcolatrici elettroniche, approfittò dell'invito a partecipare, nel 1950, *al Symposium sulla Probabilità (Berkeley, Cal.) e al Congr. Int. Matematici (Cambridge, Mass.), per visitare le principali macchine del genere (a Los Angeles, New York, Boston, Washington, Philadelphia, Princeton), partecipare ad alcuni meetings sull'argomento (Los Angeles, inaugurazione della SWAC; Washington, Meet. Assoc. Computing Mach.; Endicott, Industrial Computation Seminar) e trattenersi per un periodo di studio al Watson Scientific Computing Laboratory (Columbia Univ., New York).*

1. Cenni introduttivi. La «Cibernetica»

Cervelli giganti, Macchine che pensano: così definiscono le calcolatrici elettroniche coloro che più rimangono colpiti o intendono colpire rilevando quanto vaste e complesse operazioni del pensiero esse possono venir comandate ad eseguire ([1]). Semplici *ausiliarie*: così ribattono altri facendo rimarcare che si tratta pur sempre di operazioni che esse *vengono comandate ad eseguire*, cosicchè la funzione creativa del pensare rimane intangibile attributo dell'uomo che le costruisce e le usa ([2]).

Concepita in questi termini, di contrapposizione di due tesi nettamente definite, la questione è mal posta: si ridurrebbe a un vano dilemma metafisico, per di più connesso con ogni possibile preconcetto di natura morale. È la stessa situazione che si incontra nel voler indagare sulla linea di demarcazione fra regno animale e vegetale, o fra mondo vivente e inerte (o, in altro campo, tra onde e corpuscoli). E tale analogia sarà utile da tenersi presente, perchè anche qui si può dire, nello stesso modo, che si tratta di indagare sul confine di ciò che va considerato come *effettivo dominio del pensiero*.

Questioni realmente significative, interessanti, istruttive, si hanno invece esaminando da vicino, con pazienza, metodo, acutezza, i dati di fatto: quei dati di fatto cui spetta non solo di rispondere ai quesiti che ci poniamo nell'ambito dei nostri schemi mentali, ma anche, di tanto in tanto, di obbligarci a rivedere schemi tradizionali e, in particolare, a render sfumate e problematiche delle distinzioni che si è abituati a considerare nette e evidenti.

Risulta infatti istruttivo e significativo uno studio analogico comparato di determinate funzioni fisiologiche o psichiche nell'animale e quelle corrispondenti nelle grandi calcolatrici e in altre macchine con caratteristiche — sotto questo aspetto — analoghe. E risulta istruttivo in entrambi i sensi: per aiutare, cioè, sia a impostare e analizzare problemi concernenti l'ideazione di dispositivi appropriati basandosi sulla conoscenza degli analoghi organi nell'animale, sia inversamente ad elaborare ipotesi o teorie concernenti tali organi e le loro funzioni e disfunzioni basandosi sulla più piena conoscenza dei dispositivi artificiali. Ne risulta un vantaggio bilaterale, e, inoltre, una superiore sintesi in cui vengono posti in piena luce un complesso di concetti e problemi la cui posizione di particolare attualità nel presente momento della scienza è stata ampiamente illustrata da Norbert Wiener.

La prima esposizione della dottrina così concepita, per la quale ha creato il nome di *Cibernetica*, fu data da tale Autore nel 1948 nel volume di ugual titolo, e dal sottotitolo *Controllo e comunicazione nell'animale e nella macchina*. Un'idea del contenuto può esser data riportando l'indice dei capitoli: I. Tempo newtoniano e bergsoniano; II. Gruppi e meccanica statistica; III. Serie temporali, informazione e comunicazioni; IV. *Feed back* e oscillazioni; V. Macchine calcolatrici e sistema nervoso; VI. *Gestalt* e universali; VII. Cibernetica e psicopatologia; VIII. Informazione, Linguaggio, Società.

Diversi tra questi argomenti sono stati ripresi dallo stesso Autore e da altri ([3]).

Tale elencazione può lasciare perplessi nella scelta tra l'opinione degli entusiasti tratti a vedere nella ci-

([1]) *Giant Brains, or Machines that think* è il titolo di un volume di Edmund C. Berkeley Viley and S., N. York, 1949.

([2]) È la tesi chiarita dalla maggior parte degli AA., e che ripete quanto avrebbe detto a proposito della macchina di Babbage, cent'anni or sono, la contessa di Lovelace (matematica, figlia di Byron, spesso citata a tale proposito): « Questa macchina non ha la pretesa di creare alcunchè. Essa non può realizzare se non ciò che noi sappiamo metterla in grado di eseguire ».

([3]) Norbert Wiener: *Cybernetics*, « Act. Sci. Ind. », n. 1053, Hermann, Paris, 1948. Oltre ai lavori citati nel seguito a proposito di argomenti particolari, vanno menzionate altre due opere di N. Wiener: *Extrapolation, interpolation and smoothing of stationary time series*, Wiley, N. Y., 1949; *Human use of Human beings*, Houghton, 1950.

bernetica la chiave per la soluzione di tutti i problemi, e quella degli scettici che nella coniazione di un neologismo più o meno ermetico vedono nient'altro che una trovata pubblicitaria per valorizzare contributi frammentari su alcuni argomenti in sè non nuovi. Mi sembra che dalla lettura del libro (e, forse, anche dai soli cenni su qualche problema che troveranno incidentalmente posto nel seguito) risulti chiara l'esistenza di un'idea centrale suscettibile di rivelarsi — più probabilmente sì che no — la bussola per esplorare la regione infida al confine tra il campo dei fenomeni fisici e di quelli vitali.

Le calcolatrici elettroniche costituiscono l'oggetto e lo scopo principale della presente esposizione, e forniranno ben più ampiamente motivi per toccare diverse questioni attinenti alla cibernetica. Ma, ancor prima di giungere a parlarne, altri esempi più semplici basteranno a tratteggiare con riferimento a qualcosa di concreto le idee accennate fin qui in forma del tutto astratta e generica.

Si pensi a un dispositivo per tiro antiaereo comandato automaticamente dal radar: esso provvede ad avvistare l'aereo, individuarne la traiettoria, prevederne la continuazione secondo le istruzioni apparse più efficienti, puntare il pezzo, e sparare. D'accordo: meraviglioso, ma non ha intelligenza; non fa che eseguire automaticamente operazioni conformi a istruzioni prefissate. Però diciamo *intelligente* un servente che sappia anche meno esattamente attenersi ad analoghe istruzioni. Il meccanismo dell'avvistamento è inconscio e automatico anche nell'uomo: la visione di qualcosa che abbaglia o si muove ai margini del campo visivo (ossia sulle regioni periferiche della retina) provoca il movimento e l'accomodamento degli occhi (ed eventualmente della testa e del corpo) atti a fissare l'oggetto nella posizione più favorevole (anche in base a comparabilità con immagini immagazzinate nella memoria: p. es. un volto ecc. in posizione eretta piuttosto che capovolta od obliqua). Il meccanismo del puntamento, basato sulla percezione ad ogni istante del divario tra la direzione desiderata e quella effettiva e sulla tendenza a diminuirla, è il medesimo; anche le disfunzioni derivanti a un servomeccanismo da difetto o eccesso di tale tendenza adeguatrice ([4]) sono gli stessi con cui si manifestano nell'uomo certe malattie nervose (insufficienza nel rispondere allo stimolo, o esuberanza che per tendere alla mèta la fa oltrepassare, e poi fa troppo retrocedere, dando così luogo a oscillazioni).

Certamente, l'uomo può discutere le istruzioni ricevute, avvertire se sono errate; ma anche una macchina potrebbe venir predisposta sulla base di *istruzioni generali* in modo da rifiutare *istruzioni particolari* non conformi a certi canoni e segnalarne l'erroneità ([5]); ed anche il processo dell'esperienza, dell'ammaestramento, dell'istruzione, con cui la mente dell'uomo viene predisposta a tale funzione trova la sua più naturale interpretazione in forma perfettamente analoga a quella della predisposizione di una istruzione *generale* in una macchina.

E allora? ogni differenza scompare?

Non dico questo. *Sentiamo* che no. Eppure diviene difficile indicare dove questa differenza cominci, senza tema di dover ripiegare su posizioni più arretrate, in base a riflessioni del tipo incontrato poc'anzi. E s'insinua il dubbio che la differenza, più che di sostanza, sia forse di prospettiva: pensando a una macchina noi ci collochiamo sul piano dell'uomo che l'ha costruita, sappiamo che egli ne conosce il trucco, e a lui facciamo risalire quanto essa fa; pensando a un uomo o a un animale noi ci collochiamo sul suo medesimo piano senza ricorrere all'ipotesi di un costruttore cui far risalire la spiegazione del suo comportamento. Ma, questo sarebbe allora il problema, quale criterio di distinzione potremmo applicare se ci trovassimo di fronte ad un essere di cui si possa soltanto osservare il comportamento (behavior) senza comprendere dalle fattezze esteriori se si tratti di una macchina costruita dall'uomo oppure di un animale?

2. Calcolatrici elettroniche. Cenni informativi preliminari

Parlando di calcolatrici elettroniche, bisogna anzitutto fare una distinzione fra due specie che poco o nulla hanno in comune tranne il fatto di servire a risolvere problemi di analisi e quello di raggiungere altissime velocità grazie allo stesso mezzo dell'uso di dispositivi elettronici.

Il primo tipo di calcolatrici è quello delle macchine *analogiche* (Analogical Machines). Esse costituiscono l'estremo perfezionamento di strumenti quali gli integrafi, che tracciano il diagramma di una funzione cercata in base a proprietà differenziali, meccanico-geometriche, senza eseguire calcoli numerici, così come (per accennare a un esempio di tanto ancor più banale) il compasso traccia circonferenze e l'ellissografo ellissi. La più celebre macchina di tale tipo è il Differential Analyzer elettronico del Massachusetts Institute of Technology, a Boston. Macchine analogiche sono anche quelle che forniscono dei risultati sotto forma di grandezze, p. es., intensità di corrente, e di cui può considerarsi come prototipo il regolo calcolatore ove i numeri sono rappresentati mediante lunghezze.

Il secondo tipo, e quello su cui ci soffermeremo espressamente, è quello della macchine *numeriche* (Digital Computers), che, come dice la denominazione, eseguiscono calcoli numerici come tutte le usuali macchine calcolatrici, salvo la velocità enormemente maggiore e — quel che più conta — la possibilità di predisporre in modo completamente automatico tutta una successione complessa di calcoli. Sono queste le macchine di cui quotidiani e riviste danno di tanto in tanto notizie strabilianti, e che si susseguono con vertiginoso crescendo di velocità e di possibilità. La ENIAC, costruita durante la guerra negli U.S.A., fu la prima

([4]) La tendenza a regolarsi in base alla segnalazione o percezione del risultato raggiunto è quella che, nell'indice riportato e altrove, designerò col termine originale di « feed-back », che non saprei come tradurre adeguatamente.

([5]) E infatti la UNIVAC (macchina di cui vedi menzione al n. 2 e descrizione nell'appendice) è predisposta in modo che, se per svista si inserisce un nastro magnetico con dati non riguardanti il problema per cui è preparata, una macchina da scrivere automatica cui è collegata avverte in tutte lettere « *Wrong Tape* »! (analogamente avverte ad es. « *Exponent over limit. Stop.* » per spiegare l'arresto se il risultato cui arriva eccede la capacità del contatore). Che si vuole di più? (Notizie da G. M. Hopper, *Electronic Actuary*, « Systems », July, 1950).

grande macchina del genere; la più grande è la SSEC inaugurata dalla IBM nel 1948 ([6]); fra le più moderne vanno menzionate le due del National Bureau of Standards (SEAC a Washington e SWAC a Los Angeles), la UNIVAC costruita l'anno scorso (1951) per il Bureau of Census (Ufficio del censimento), e la macchina tuttora in costruzione a Princeton all'Istituto di von Neumann. Alcune macchine del genere esistono in Inghilterra, e la più nota è la EDSAC; nell'Europa continentale vi sono delle macchine (in parte a relé anzichè propriamente elettroniche) ad Amsterdam, Parigi, Zurigo (7).

Quelle menzionate sono tutte grandi macchine con possibilità di applicazione molto estese (General Purpose Machines). Vi sono anche dei tipi meno complessi in quanto costruiti esclusivamente per un tipo di calcoli, p. es., per la soluzione di sistemi d'equazioni lineari (così come, per fare un paragone banale nel campo delle usuali macchine calcolatrici, esistono le addizionatrici per fare solo addizioni) (cfr. n. 15). Esistono anche macchine di proporzioni ridotte aventi capacità ridotta, ma non vincolata ad applicazioni speciali, e fra esse addirittura delle macchine standard già sul mercato: le calcolatrici 604 e CPC della IBM. Si potrebbe anche menzionare la macchina statistica elettronica della stessa ditta: non è propriamente una calcolatrice, ma sarà la prima a venire impiegata in Italia, essendone prevista l'applicazione per lo spoglio dei dati del censimento 1951 ([8]).

Il lettore desideroso di dati informativi e di dettagli tecnici può attingere a una vasta letteratura in argomento; in italiano c'è una chiara esposizione riassuntiva di M. Mandò ([9]), corredata di copiose indicazioni bibliografiche, mentre una fonte completa di notizie e di riferimenti è la rivista specializzata *Mathematical Tables and other Aids to Computation* ([10]).

Bisogna però avvertire che il rapido progresso nel campo delle calcolatrici elettroniche fa sì che la più moderna delle macchine in uso appaia concettualmente superata da quelle in allestimento, e queste da quelle in progetto; in tale evoluzione ciò che più cambia sono proprio i dispositivi tecnici, per cui una conoscenza approfondita di essi ha valore effimero e quindi interesse relativo per chi desideri soprattutto una visione d'insieme dei problemi concettuali che si pongono nella concezione e nell'applicazione di tali macchine, indipendentemente dalle particolarità costruttive.

Essendo questo lo scopo della presente esposizione, i cenni su dispositivi tecnici non avranno che carattere esemplificativo, e saranno mantenuti entro i limiti opportuni per servire a chiarimento concreto di questioni d'interesse concettuale.

3. Cenni descrittivi

Nel caso delle calcolatrici numeriche, va detto subito che, quanto ad operazioni matematiche, esse non fanno null'altro che le quattro operazioni dell'aritmetica elementare. Il fatto che esse possano, ad es., integrare un'equazione differenziale, significa soltanto che esse eseguiscono dei calcoli numerici nei quali il problema può venire trodotto prima di comandare la macchina ad eseguirli: ad es., calcolando i coefficienti di un opportuno sviluppo in serie, o le successive ordinate con un procedimento d'integrazione numerica, o con procedimenti numerici di approssimazioni successive.

Il primo problema, nell'ordine espositivo, sta adunque nel costruire un organo aritmetico, analogo ai dispositivi meccanici (ordinariamente basati su movimenti di ruote dentate) delle comuni macchine calcolatrici, ma estremamente più veloce. È questo però il problema relativamente più semplice a risolversi ricorrendo alla tecnica elettronica. Si pensi all'operazione elementare da cui in fondo derivano tutte le altre: l'addizione di un'unità. In un usuale contatore la si realizzerà spostando di un decimo di giro (p. es., dalla posizione « 7 » alla posizione « 8 ») la ruota delle unità (ed effettuando inoltre in modo analogo il « riporto delle decine » se si passa da « 9 » a « 10 »); in un contatore elettronico in cui la « ruota delle unità » con le sue dieci posizioni fosse sostituita da un gruppo di 10 tubi elettronici, di cui uno acceso corrispondentemente alla cifra da indicare, l'operazione consisterebbe nell'accendere il tubo successivo (nell'esempio: spegnere il tubo « 7 » e accendere il tubo « 8 »). Tale operazione è rapidissima, bastando a provocarla un brevissimo impulso che può ripetersi centinaia di migliaia o milioni di volte al secondo (vedi app. figg. 4-6). Tutto è reso di ancor più semplice funzionamento con l'adozione del sistema di numerazione binario anzichè decimale, circostanza su cui ritorneremo.

Più difficile della costruzione di un tale organo aritmetico ultrarapido, è la realizzazione di quelli che potremmo considerare a prima vista come dei dispositivi accessori per renderne sfruttabile l'efficienza. È ovvio infatti che a nulla gioverebbe ridurre il tempo in cui viene eseguita l'operazione se l'impostazione dei dati e la trascrizione dei risultati dovesse eseguirsi a mano, o comunque con mezzi comparativamente troppo lenti, così come rimarrebbe inutilizzabile la potenzialità di traffico di un'autostrada se le pratiche all'ingresso e all'uscita limitassero la frequenza degli utenti. Occorre quindi rendere automatica e rapida anche la fase di introduzione (o lettura) dei dati (input), e quella della resa (o scrittura) dei risultati (output). Ma l'utilità delle calcolatrici elettroniche presuppone che l'elaborazione

([6]) Una breve descrizione in italiano (con illustrazione) se ne può vedere in « Sapere », n. 339-340, febbr. 1949 (B. de Finetti: *Come funzionano le calcolatrici elettroniche*).

([7]) Descrizioni succinte ed illustrate di alcune delle macchine americane nominate costituiscono l'appendice al presente articolo; v. ivi anche riferimenti bibliografici per maggiori notizie. Per informazioni sulle macchine inglesi, cfr. ad es. W. S. Elliot, *The Present Position of Computing-Machine Development in England*, « Second Symposium on Large-Scale Digital Calculating Machinery », Havard 1949 (pubbl. 1951); v. ivi anche notizie sulla macchina francese in L. Couffignal, *Trait caractéristiques de la Calculatrice de la Machine à calculer universelle de l'Institut Blaise Pascal*. Sulla EDSAC v. un art. di E. Aparo e D. Dainelli, « Ricerca scient. », 1952.

([8]) Un'illustrazione delle possibilità di tale macchina si trova in B. de Finetti: *Le possibilità di una nuova macchina statistica elettronica*, « Riv. Ital. Demogr. e Statistica », III, 1-2, 1949.

([9]) M. Mandò: *Le grandi calcolatrici moderne a successioni automatiche*, « Periodico di Matematiche », Parte I, II, III risp. in Vol. XXVII, n. 3 e Vol. XXVIII, nn. 1 e 2 (1949, 1950). V. anche H. Bückner, *Le grandi macchine calcolatrici*, « Ricerca scient. », 1951. Fra le opere più vaste, v. spec. *High Speed Computing Devices*, McGraw-Hill, N. Y., 1950.

([10]) Rivista trimestrale del National Research Council, Washington, iniziata nel 1943. Segnaliamo anche l'esistenza di una « Association for Computing Machinery » (Segreteria: E. C. Berkeley, 36W 11-th St., N. York 11) che promuove periodici convegni sull'argomento.

dei dati di partenza sia complessa, e richieda quindi una lunga serie di operazioni, dove in genere risultati intermedi (di cui per lo più non occorre prender nota) vengono utilizzati per conteggi successivi. Di qui scaturisce la necessità di due altri organi: una *memoria* (storage o memory), dove tali risultati intermedi possano venir tenuti in evidenza fino al momento dell'utilizzazione, e un *controllore della sequenza delle operazioni* (sequence control) che comandi il susseguirsi dei calcoli in conformità alle istruzioni ricevute.

Basterà certo l'aver menzionato i compiti di questi dispositivi, e il lettore si sarà accorto che considerarli accessori era del tutto fuori luogo. Mentre l'organo aritmetico sostituisce l'ordinaria macchina calcolatrice, questi altri sostituiscono l'attività dell'uomo che la manovra, nell'impostare i dati, tener nota dei risultati intermedi, svolgere i calcoli secondo gli ordini ricevuti, e registrare i risultati definitivi. Naturalmente non viene sostituita l'opera del capo ufficio che imposta il problema e ne preordina la programmazione dei calcoli: questa rimane, va adattata alle diverse caratteristiche della macchina, e comunicata ad essa (anzichè a parole come nel dare ordini ad un impiegato) nella forma equivalente delle codificazioni ad essa comprensibili. Sono, dunque, proprio le funzioni ora considerate quelle che giustificano i dibattiti accennati al principio dell'articolo sull'appellativo di *cervelli giganti, macchine che pensano.*

Pochi cenni sui sistemi in uso per i detti dispositivi.

Lettura dei dati. Essa avveniva già automaticamente nelle macchine a schede perforate, il cui uso nella contabilità e statistica è ormai molto diffuso anche in Italia. Parecchie calcolatrici elettroniche usano questo sistema di lettura da schede perforate, o da striscie perforate in modo analogo, oppure da nastri con piccole perforazioni tipo telescriventi; sistemi più rapidi sono quelli in cui le perforazioni sono sostituite da segnali su nastro o filo magnetico.

Scrittura dei risultati. Può venir comandata direttamente la stampa di risultati con dispositivi quali nelle usuali tabulatrici a schede perforate, oppure la registrazione dei dati può avvenire mediante perforazione di schede o striscie o nastri o mediante impressione di nastro o filo magnetico per la successiva traduzione in scrittura a mezzo di macchine separate (tipo tabulatrice o tipo macchina da scrivere), di modo che, funzionando indipendentemente, la loro lentezza non blocchi la calcolatrice durante il lavoro.

Memoria. Vi sono in genere diverse specie di memoria nella stessa macchina, per lo stesso motivo per cui in un ufficio le carte più urgenti si trovano a portata di mano del direttore sulla sua scrivania, quelle di frequente consultazione in un classificatore facilmente accessibile, quelle meno attuali in un archivio più lontano. I risultati intermedi che rientrano subito nella serie dei calcoli devono potersi immagazzinare in una memoria ultrarapida al pari dell'organo aritmetico donde devono esser presi e cui devono venir restituiti senza rallentarlo; può essere realizzata con tubi elettronici, con linee di ritardo ultrasonore a mercurio, con valvole tipo televisione, ecc.; causa il costo e l'ingombro non può usarsi che per relativamente pochi dati. Una memoria più vasta ma meno rapida può essere costituita da gruppi di relé, da registrazioni su fili o nastri o tamburi magnetici leggibili ad istanti successivi, e simili. Un'ulteriore memoria praticamente illimitata può aversi sotto forma di striscia perforata con successive stazioni di lettura, oppure comunque dalla raccolta dei dati definitivi su schede, filo, ecc., suscettibili di venir reimmessi nel dispositivo di lettura.

Controllore della sequenza. Le istruzioni sul programma delle operazioni possono venir lette man mano che esse progrediscono, o (meglio, se v'è capienza, per guadagno di velocità) venir immagazzinate nella memoria. Comunque sia, il programma è costituito da una collezione numerata di istruzioni elementari, ciascuna delle quali consta sostanzialmente delle seguenti indicazioni ([11]):

— numero d'ordine;

— posto donde prendere un primo numero, A (p. es., una certa posizione del dispositivo di lettura dei dati, o della memoria);

— posto donde prendere un altro numero, B (id. come sopra);

— operazione f da eseguire su A e B (p. es., $A+B$, $A—B$, $A \times B$, A/B, ecc.);

— posto dove trasmettere il risultato $C=f(A, B)$ (p. es., a una certa posizione della memoria, o di un dispositivo di scrittura);

— indicazione della successiva istruzione (suo numero d'ordine, se certa — e allora di norma numero successivo —; oppure modo di determinarla secondo eventualità, ad es., a seconda che il risultato è positivo o negativo, a seconda che l'approssimazione raggiunta risulti sufficiente o no e un processo d'iterazione vada troncato o continuato, ecc.).

Le indicazioni qui date relative ai diversi organi, sono certo assai sommarie; tuttavia dovrebbero bastare per la comprensione del seguito. Dovrebbe anzi esser meglio, per il lettore comune, aver chiare queste sole nozioni essenziali in forma semplice, piuttosto che turbare il quadro nell'intenzione di arricchirlo di dettagli e complicazioni della cui conoscenza non ha bisogno.

4. Sistema binario e suoi vantaggi

Parlando dell'organo aritmetico, si era accennato alla grande semplificazione conseguibile con l'adozione di un sistema di numerazione diverso dall'abituale sistema decimale: il sistema binario, che usa anzichè la base « dieci » la base « due ». Spieghiamo brevemente in cosa consista. Anzichè dieci cifre (0, 1, 2, ..., 9) se ne usano due sole, lo 0 e l'1 (coll'immutato significato di zero e uno). Scrivere uno zero a destra significa (anzichè moltiplicare per dieci) moltiplicare per due; per evitare circonlocuzioni o ambiguità scriveremo in corsivo i numeri in forma binaria, e potremo quindi dire che *10* significa 2, *100* significa 4, *1000* significa 8, e così *10000*=16, *100000*=32, *1000000*=64, ecc. Ogni numero si scrive con una successione di *uni* e *zeri*, dove ogni *1*

([11]) Esistono delle varianti e si presentano problemi e sviluppi ulteriori connessi alle questioni relative alla programmazione di cui faremo cenno nel n. 7; un'esposizione ampia e chiara in italiano si italiano si trova in H. BÜCKNER: *op. cit.* (9).

ha il valore che gli compete per la sua posizione. Così ad esempio:

$$1001011 = 64 + 8 + 2 + 1 = 75,$$
$$111010 = 32 + 16 + 8 + 2 = 58, \text{ ecc. } (^{12}).$$

Estremamente semplice risulta la somma, perchè la somma di due cifre non può essere che *0* + *0* = *0*, *0* + *1* = *1*, *1* + *0* = *1*, o infine *1* + *1* = due cioè = *10* cioè = « *0, porto 1* ». Applicando la regola alla somma dei due numeri sopra scritti come esempio si ha

$$\begin{array}{rcl} & 75 = & 1001011 \\ & 58 = & 111010 \\ \hline \text{somma} & = & 10000101 = 128 + 4 + 1 = 133 \end{array}$$

che è effettivamente 75 + 58. Maggiore ancora la semplificazione per il prodotto, che si riduce a una somma con semplice spostamento (esattamente come nel sistema usuale, quando il moltiplicatore non ha altre cifre che zeri ed uni). Così ad es., il prodotto

$$58 \times 133, \text{ ossia } 111010 \times 10000101,$$

si eseguisce sommando

$$\begin{array}{rl} 111010 & (\text{ossia } 59 \times \ 1) \\ 111010.. & (\ \text{»} \ \ 58 \times \ 4) \\ 111010....... & (\ \text{»} \ \ 58 \times 128), \text{ il che dà} \\ \hline 1111000100010 & (\text{che vale proprio:} \end{array}$$

$$58 \times 133 = 7714 = 4096 + 2048 + 1024 + 512 + 32 + 2).$$

È facile immaginare quanto più adatto risulti tale sistema per venire tradotto in ordini del tipo *accendere o spegnere questo tubo elettronico* quando ogni cifra sia rappresentata da un tubo che acceso indichi *uno* e spento indichi zero ([13]).

Un difetto che il lettore avrà notato sta nella *lunghezza* che i numeri assumono in tale sistema, lunghezza più che tripla che in quello usuale ([14]); è facile ovviarvi, ad es., riducendola a un quarto, come praticato per la lettura dei dati e la scrittura dei risultati nelle menzionate SEAC e SWAC. Basta introdurre 16 segni o *cifre* per indicare i numeri da 0 a 15, e quindi sostituire ogni gruppo di 4 cifre binarie con uno di tali segni *in base 16*. Nella SWAC i segni sono le cifre usuali fino al 9 e poi u, v, w, x, y, z per indicare 10, 11, ..., 15; per evitare confusioni indicheremo in grassetto le cifre in base 16 ed avremo quindi:

0 = *0000* = **0**	4 = *0100* = **4**	8 = *1000* = **8**	12 = *1100* = **w**
1 = *0001* = **1**	5 = *0101* = **5**	9 = *1001* = **9**	13 = *1101* = **x**
2 = *0010* = **2**	6 = *0110* = **6**	10 = *1010* = **u**	14 = *1110* = **y**
3 = *0011* = **3**	7 = *0111* = **7**	11 = *1011* = **v**	15 = *1111* = **z**

e, riprendendo gli esempi precedenti

75 = *1001011* = (*0100*) (*1011*) = **4y**
58 = *111010* = (*0011*) (*1010*) = **3u**
133 = (*1000*) (*0101*) = **85**
7714 = (*0001*) (*1110*) (*0010*) (*0010*) = **1y22**

(dove, si badi, le parentesi servono solo a staccare i successivi gruppi di quattro cifre binarie; naturalmente, i caratteri tondo, corsivo, grassetto, indicano sempre numeri in base, dieci, due, sedici).

Resta il problema di tradurre nella forma binaria, in entrata, i dati usualmente disponibili in forma decimale, e di ritradurre i risultati, in uscita, dalla forma binaria in quella decimale per l'uso corrente. Non è un problema difficile: c'è solo l'aggravio di tali operazioni in più, e la scelta se incorporarle nella macchina stessa o farne oggetto di due separate elaborazioni, una preliminare e un'altra postuma. Si può menzionare del resto, pur giudicandola azzardata, l'ipotesi di alcuni specialisti: che il sistema binario, per i vantaggi che presenta in tali tecniche la cui applicazione andrà sempre più estendendosi, finirà per soppiantare il sistema decimale anche nella vita pratica. E allora tale problema della traduzione cesserebbe di esistere.

Una soluzione intermedia è quella della SSEC: vi è conservato il sistema decimale, ma ogni cifra decimale viene espressa secondo il sistema binario. Ogni cifra richiede quattro tubi, e in corrispondenza ai suoi dieci valori possibili utilizza dieci delle sedici combinazioni (di modalità *acceso* e *spento*) cui essi possono dar luogo (nel precedente prospetto: si utilizzano le combinazioni corrispondenti ai segni **0-9** e non quelle corrispondenti a **uvwxyz**). Si evita allora la traduzione, ma si sfrutta solo in parte la semplificazione del sistema binario.

E si spreca anche qualcos'altro, come penserà chiunque riflettendo sul fatto che con quattro tubi si indicano 10 numeri inutilizzando le altre sei combinazioni (e quindi, con 40 tubi, numeri fino a 10^{10} anzichè a $16^{10} = 2^{40} = 10^{40 \, log \, 2} = 10^{40 \times 0,3} = 10^{12}$ circa).

Si perde in *capacità*, diremmo usualmente; si perde in *quantità d'informazione* direbbe Norbert Wiener, che di tale nozione ha lumeggiato il profondo significato dal punto di vista della cibernetica.

5. Quantità d'informazione

Il fatto di rappresentare un numero nel sistema che richiede il minor quantitativo di tubi elettronici diviene particolarmente importante quando dispositivi dello stesso tipo o di tipo analogo vadano impiegati per la registrazione nell'organo della *memoria* dei numeri che occorre tenervi immagazzinati. Ed è ovvio che, pur variando eventualmente i dispositivi tecnici, non deve variare il sistema in cui i numeri vengono rappresentati se vogliamo che la loro immissione ed estrazione dalla memoria abbiano luogo nel modo più immediato.

Il problema dell'uso più redditizio dei dispositivi di memoria viene a coincidere con quello, presentatosi in altri campi, di definire opportunamente una *quantità d'informazione*, basandosi sul numero di domande (comportanti le due sole risposte *sì* o *no*) occorrenti per dirimere una questione. Se la questione comporta n alternative, si può sempre giungere alla conclusione con m domande ove $m = log\ n / log\ 2$ (arrot. all'intero superiore); se le domande si formulano

([12]) Lo stesso vale naturalmente per numeri frazionari: sarà ad es. *0,1* = 1/2, *0,01* = 1/4, *0,001* = 1/8, *0,101* = 5/8, ecc.

([13]) Si badi che, qui e in seguito, la locuzione « numero di tubi » va presa in senso puramente convenzionale. Il numero è doppio se per ogni cifra si usa una coppia di tubi a « flip-flop », e altri tubi in più occorrono per funzioni accessorie, a seconda dei tipi di macchina.

Considerazioni approfondite sulla traduzione in dispositivi elettronici delle operazioni su numeri in base due si trovano in una nota di uno dei progettisti della UNIVAC: Robert F. Shaw: *Arithmetic Operations in a Binary Computer*, « Rev. Sci. Instruments », 1950.

([14]) Il rapporto (asintoticamente) è quello tra log 10 e log 2, ossia 1/0,30103 = 3,32.

in modo che alcune alternative risultino individuate con meno di m risposte, si rischia in compenso di doverne chiedere più di m per individuarne altre. Si potrà ottenere un vantaggio, in media (far diminuire cioè, la speranza matematica del numero di risposte dopo cui la questione è definita)? Dipende dalle probabilità che si attribuiscono alle diverse alternative. Se sono equiprobabili, non si può scendere sotto il valore indicato ($\log n / \log 2$); se le probabilità sono $p_1 \ldots p_n$ vale la formula più generale $\Sigma\, p_h \log_h / \log 2$ (per $p_h = 1/n$, è chiaro che si ha la precedente). La quantità I data da tale formula si dice appunto *quantità d'informazione*, e gode di notevoli proprietà che la rendono significativa ([15]).

Il computo alla fine del precedente n. 4 si esprimerebbe, ad es., dicendo che col sistema decimale-binario si perde quantità d'informazione nel rapporto da 12 a 10 (cioè 1/6, circa 17%); analogamente applicando il sistema decimale con un tubo elettronico per ogni cifra (nel modo citato come prima esemplificazione nel n. 3), ne occorrerebbero 40 per rappresentare numeri di 4 cifre, cioè fino a 10^4, cosicchè la perdita di quantità d'informazione è nel rapporto da 12 a 4 (cioè di 2/3, circa 67%). Anche considerazioni pratiche relative al costo possono effettivamente basarsi su tale impostazione: potendosi assumere proporzionale ad $N\,(2^{I/N}\text{-}1)$ il costo di N organi ciascuno dei quali atto a registrare una quantità d'informazione I/N, la ricerca del valore di N più economico conduce a stabilirlo in modo che $N=I$, ossia che ciascun organo abbia due sole alternative, come appunto nel sistema binario ([16]).

Questioni di un valore filosofico fondamentale vengono pure inattesamente ricollegate in modo suggestivo e promettente alla nozione di quantità d'informazione. La formula che la esprime (e la circostanza stessa che abbia il significato di logaritmo di una probabilità) mostra come essa abbia il significato di una *entropia*: precisamente, di una entropia negativa. La questione tanto interessante e dibattuta, sulla possibilità di processi contrastanti la normale tendenza dell'entropia ad assumere il massimo valore, risulta forse per la prima volta posta in termini ben definiti, dove cioè il potere di contrastare la marcia verso il caos viene espresso quantitativamente in termini omogenei all'entropia. Precisamente, in termini di quantità d'informazione. L'azione del demone di Maxwel, e quella verosimilmente, analoga di esseri meno immaginari, dagli enzimi all'uomo, ha per presupposto la possibilità di agire regolandosi su una certa quantità d'informazione ([17]).

Lasciamo tali questioni, troppo al di fuori e al di sopra del nostro tema.

Con riferimento alle questioni sfiorate nel paragrafo introduttivo, notiamo qui che macchine che agiscono in base ad informazioni (come le calcolatrici, od anche l'accennato dispositivo automatico di tiro radar-comandato) partecipano della facoltà *catalizzatrice* che si poteva esser tentati di considerare peculiare agli organismi viventi.

Un'altra questione connessa alla precedente, ma che riguarda aspetti più specificamente tecnici di organi delle calcolatrici elettroniche, è quella concernente lo studio della trasmissione di messaggi dal punto di vista della quantità d'informazione che essi contengono. Il problema ha un significato ben chiaro nel caso di trasmissioni di segnali telegrafici (o, esempio meno felice come schematicità, ma in compenso ancor più familiare, di suoni e parole per telefono o per radio): la sovrapposizione di disturbi e rumore indistinto (background noise) rende confuso il messaggio e ne riduce la quantità d'informazione (precisamente: come il logaritmo della percentuale imputabile al disturbo sull'ampiezza efficace del segnale). Di qui i problemi concernenti dispositivi (filtri d'onde) atti a ripristinare nel miglior modo il messaggio originale, ed altri analoghi, caratteristici per l'ingegneria delle comunicazioni.

Potrebbe sembrare che tali problemi siano del tutto estranei alla tecnica della costruzione di calcolatrici elettroniche, dato che la trasmissione di *messaggi* (cioè di numeri e di istruzioni sulle operazioni da eseguire) avviene tra organi vicini. Invece non è così, perchè la stessa conservazione di un messaggio nella memoria (o almeno: nei tipi più moderni di dispositivi di memoria rapida) non è un semplice processo statico, bensì un processo di continua rigenerazione. Illustriamo tale circostanza con riguardo a due dei dispositivi menzionati (nel n. 3), dei quali daremo con l'occasione una descrizione sommaria dei principi di funzionamento.

6. Memoria, sistemi di rigenerazione

Premettiamo che in ogni caso i dati da ricordare, sia numeri scritti in sistema binario, sia istruzioni codificate col medesimo criterio, consistono in una successione di cifre 0 o 1, corrispondenti a una successione di impulsi positivi e negativi (oppure di impulsi e mancanza di impulsi) a intervalli regolari.

Nel sistema delle linee di ritardo ultrasonore a mercurio, i segnali elettrici vengono tradotti in vibrazioni ultrasonore a un'estremità di una colonna di mercurio. Si forma così una successione di treni d'onde,

([15]) Oltre i cap. 3° e 5° di *Cybernetics*, v. anche JEAN VILLE: *La formation de la connaissance envisagée du point de vue probabiliste*, « Congr. Int. Phil. Sci. - IV. Calcul de Probabilités », in « Act. Sci. Ind. », n. 1146, Hermann, Paris, 1951.

([16]) In tale fatto si può vedere anche una giustificazione « economica » della logica bivalente. Notiamo anche come siano stretti i rapporti fra la logica matematica e i principi di funzionamento delle calcolatrici elettroniche; anche nel più modesto campo delle macchine a schede perforate riesce pratico l'uso del simbolismo logico per « somma », « prodotto », ecc. di condizioni (chiusura di circuiti, ecc.).

([17]) Una breve spiegazione per il lettore non pratico dell'argomento. Nella parete divisoria tra due vasi contenenti aria a diversa pressione, si pratichi un foro: passerà dell'aria fino a che le pressioni si equilibreranno (si raggiungerà allora il massimo di « entropia »). Ma se un essere immaginario (il « demone » immaginato per esprimere tale concetto da Maxwel) facesse la guardia all'apertura, aprendola per lasciar passare le particelle che provenendo dal vaso a bassa pressione entrassero in quello a pressione più alta, e chiudendola a quelle in senso opposto, egli farebbe avvenire il fenomeno opposto (di aumentare lo squilibrio), e ciò senza spendere energia. N. Wiener spiega tale possibilità osservando che il « demone », per comportarsi così, dovrebbe avere una « quantità d'informazione » sulle particelle in arrivo; il principio dell'aumento d'entropia varrebbe ancora, ma per il sistema composto gas+demone, ossia per entropia totale = entropia del gas — quantità di informazione. Non so se tale concetto (*Cyb.*, p.72) sia stato esposto altrove in forma più ampia.

che si trasmette lungo la colonna di mercurio esattamente come avverrebbe per segnali acustici (come una serie di squilli di campanello: la differenza è solo che il *suono* è molto più acuto dei più acuti suoni percepibili dall'orecchio). Giunto, dopo il tempo occorrente (lunghezza/velocità), all'altra estremità della colonna di mercurio, ogni segnale ultrasonoro viene ritradotto in un segnale elettrico uguale a quello da cui ebbe origine, e questo nuovamente viene tradotto in vibrazioni ultrasonore alla prima estremità. La successione da *ricordare* percorre così indefinitamente il ciclo colonna di mercurio-circuito elettrico, allo stesso modo dei seggiolini di una seggiovia che circolano continuamente sul percorso di andata e di ritorno. Indefinitamente, s'intende, finchè i dati servono: dopo che i segnali elettrici generati all'uscita dalla colonna di mercurio siano stati usati (portandoli all'unità aritmetica, o dove altro occorrevano), se non serviranno altre volte si interromperà il circuito per il reingresso al principio della colonna di mercurio, e al posto rimasto libero potranno subentrare nuovi dati da ricordare. L'immagine precedente è più appropriata pensando dunque, anzichè ai seggiolini, a passeggeri che vi si lascino seduti a girare su e giù finchè il dirigente della stazione di arrivo, avendo bisogno di conferire con qualcuno, l'attende al passaggio e lo fa scendere (cfr. App. figg. 17-19).

Nel sistema dei tubi di Williams (valvole a raggi catodici tipo televisione) i dati da ricordare hanno la forma di macchie (macchie di carica elettrostatica). Si immagini il fondo del tubo (la parete che funge da schermo) divisa in una scacchiera di caselle (16×16 nei tubi della SWAC); in ogni casella si può registrare una cifra, che sarà 0 o 1 a seconda che ivi abbia una macchia o no, oppure una macchia a forma di punto o di lineetta. Come nel caso della televisione, un pennello di raggi catodici esplora continuamente e successivamente a grande velocità (decine di migliaia di volte al secondo) tutte le caselle: si pensi a un riflettore che venga puntato, una dopo l'altra, su ciascuna delle 16 finestre del primo piano di un fabbricato, poi su ciascuna delle 16 del secondo piano, del terzo, e così via fino al sedicesimo, e poi daccapo. In ogni casella il pennello sarà comandato a disegnare una traccia in forma di punto o lineetta a seconda della cifra da ricordare; dopo avvenuta la registrazione (e finchè il dato non sia stato utilizzato e non venga quindi l'ordine di cancellarlo ed eventualmente di sostituirlo) il comando è di rigenerare la traccia quale essa è (punto o linea). È la stessa funzione di chi fosse incaricato di ravvivare periodicamente le annotazioni fatte sulla lavagna, per impedire che sbiadiscano col disperdersi delle particelle di gesso (cfr. App. figg. 20-24).

Nell'un caso e nell'altro, ci siamo messi nelle condizioni più favorevoli per la rigenerazione del segnale. Si hanno infatti da distinguere due soli segni diversi, lo zero e l'uno, sotto forma di assenza o presenza di un treno d'onde nella colonna di mercurio o di una macchia sul fondo di un tubo di Williams (o di diversità di forma). È ben poco probabile un errore di ricezione quando il messaggio si riduce alla forma più semplice: 0 o 1, sì o no, bianco o nero, punto o linea, suono o silenzio, acceso o spento [18].

Però, bisogna ricordare, il processo si ripete decine di migliaia di volte al secondo per ciascuna delle cifre nella memoria, e quindi milioni di milioni di volte al giorno in una macchina con memoria discretamente estesa, e basta un errore per falsare tutti i risultati.

Osserviamo incidentalmente, per riferirci nuovamente alle considerazioni generali sulla quantità d'informazione, che questo rischio è tanto più grande appunto quanto migliore criterio si segue in fatto di quantità di informazione. Se, in un'istruzione a stampa, uso il linguaggio comune, dicendo p. es. di *moltiplicare A per B*, un errore di stampa (p. es. *motliplicare*) non causerà malintesi (e forse rimarrà inavvertito); se uso il linguaggio algebrico, e per errore anzichè $A \times B$ viene stampato $A + B$, ho senz'altro un errore, perchè non c'è sovrabbondanza di segni, ogni segno porta da solo tutta la quantità d'informazione concernente l'operazione da eseguire. È questo il pericolo che si contrappone ai vantaggi della condensazione dell'informazione in codici, cifrari, simboli: pericolo che bisogna rendere minimo, e contro il quale occorre cautelarsi (cfr. p. es. App. UNIVAC, sist. numeraz.).

Il problema tecnico che si pone a seguito di tale considerazione, sta soprattutto nella scelta di dimensioni che rendano sicuro il funzionamento del processo di rigenerazione. Sarebbe possibile prendere ancor più brevi i treni d'onda del singolo segnale nella colonna di mercurio? o prender più piccole le caselle della scacchiera del tubo di Williams (p. es. 32×32 anzichè 16×16)? È difficile rispondere, perchè ciò dipende dalle piccole probabilità. Consideriamo ad es. il caso della macchia *punto*: potremo pensarla probabilmente come un ammasso di cariche distribuite secondo la legge normale degli errori sul piano. Potremo verificare che ciò va bene nella parte centrale, significativa, della distribuzione; ma il guaio è che un errore dipenderebbe proprio dal fatto che delle cariche a distanze *praticamente impossibili* si addensino in modo pericoloso una volta su milioni di milioni. E chi oserebbe pronunciarsi sulla validità della distribuzione normale per gli scarti grandi? Nelle applicazioni usuali l'esistenza di probabilità positive, per quanto piccole, di scarti comunque grandi, sembra quasi una sottigliezza teorica da rigettare in pratica. È probabilmente la prima volta che risulta praticamente necessario porsi dal punto di vista opposto. Ed è questo un motivo di più per rendere concettualmente interessante il problema.

7. La programmazione delle operazioni

Dai pochi cenni del n. 3 risultava già chiara una circostanza che va ora illustrata un po' più ampiamente. La macchina essendo nient'altro che un'esecutrice di operazioni aritmetiche secondo un programma preordinato, occorre anzitutto tradurre ogni problema matematico in un procedimento di calcolo numerico adatto come meglio possibile alle attitudini della macchina e completamente specificato in ogni dettaglio di attuazione.

Le circostanze da lumeggiare sono di due ordini diversi. Come già appariva dalla frase precedente, quella più essenziale concerne la scelta di procedimenti in modo

[18] Un'idea concreta di un tale « messaggio » in termini di corrente si ha dalle illustrazioni di J. P. ECKERT, Jr., H. LUKOFF and G. SMOLIAR: *A Dynamically Regenerated Electrostatic Memory System*, « Proc. I.R.E. », 1950.

più o meno felice, la seconda il modo più adatto di tradurre il procedimento prescelto in effettiva codificazione di un programma. Il primo è compito del matematico che conosce le diverse vie teoriche per giungere alla conclusione ed ha un'idea generale dei vantaggi e svantaggi che ciascuna di esse presenta in relazione all'applicazione a una data macchina; il secondo è compito di un conoscitore della macchina che sia abbastanza buon matematico da saper tradurre in effettivo schema di calcolo un procedimento indicatogli in termini matematici.

Ci occuperemo più avanti dei problemi del primo tipo (nn. 10-14), dopo esserci soffermati prima su quelli del secondo, di natura meno elevata e forse per un lettore frettoloso alquanto fastidiosi; tuttavia lo sconsiglierei dal saltare questa parte perchè è solo rendendosi conto, almeno in linea di massima quanto la brevità di questi cenni si prefigge, del modo con cui si può far eseguire alla calcolatrice ogni singola operazione e gruppo di operazioni, che si può formarsi un'idea dei motivi che giocano nella scelta di tutto un procedimento. È solo dai problemi della programmazione in piccolo che emergono quelli della programmazione in grande. Del resto il confine non è netto, chè ad es. la scelta del modo di procedere per risolvere un problema intermedio (come il calcolo di un'espressione o del valore di una funzione o della radice di un'equazione, ecc.) può attribuirsi all'uno o all'altro campo a seconda non solo della difficoltà intrinseca del problema ma anche della possibilità di introdurre qualche speciale accorgimento, della novità della questione o della sua somiglianza con altre già familiari agli addetti alla macchina, e così via.

Si noterà comunque come la codificazione del procedimento per la risoluzione di un problema sia un lavoro lungo e non semplice. Per un problema di normale complessità la codificazione richiede parecchi giorni o anche settimane di studio (naturalmente, *normale* complessità per calcoli da affidare a calcolatrici elettroniche significa in genere complessità *proibitiva* per esecuzione a mano con macchine da tavolo).

Cominciando dall'abbiccì della codificazione, e ricordando (dal n. 3) in cosa ogni istruzione singola consista, occorre riflettere che il grado di elementarità in cui esse vanno sminuzzate per essere comunicabili alla macchina è il più spinto immaginabile. Per darne un'idea efficace, può valere questa immagine: si pensi di dare queste istruzioni a un uomo munito di macchina calcolatrice a mano che non capisca nulla nè della macchina nè di matematica, e sia solo in grado di eseguire una successione d'ordini come *premere questo tasto, poi quest'altro, poi girare la manovella a sinistra tre volte, poi spostare il carrello di due posti a destra*, e così di seguito. Così pensando, si ha l'attitudine mentale meglio disposta ad evitare facili malintesi. Anche se qualche elementare successione di comandi fondamentali (come quelle per somma, prodotto, divisione, comparazione) viene per praticità prevista fin dalla costruzione della macchina (in modo da evitare i comandi delle mosse elementari occorrenti ad es. per eseguire il prodotto), ciò non guasta l'immagine: è come se l'operatore avesse una macchina più perfezionata (che esegue tale successione automaticamente premendo un tasto × anzichè girando una manovella e spostando il carrello), ma i comandi hanno sempre il mero predetto significato materiale, sia pure ridotto a *premere il tasto*. Quanto alla utilità di dotare la macchina, fin dalla costruzione, di un corredo più o meno vasto di comandi standard, è questione che accenneremo ulteriormente [n. 9, nota ([21])].

L'aspetto materialmente più appariscente, nella programmazione dettagliata di un procedimento di calcolo, prima ancora che dalla successione delle operazioni, è caratterizzato forse dal problema logistico, consistente nel regolare il traffico dei dati che affluiscono alla centrale di calcolo e ne escono, e nel trovare loro un alloggio nella città della memoria nel quartiere più idoneo in relazione alla presumibile durata del loro soggiorno e alla frequenza ed urgenza prevedibili degli affari per cui dovranno ulteriormente presentarsi alla stessa centrale.

Per evitare di porsi un nuovo problema ogni volta che si presentano situazioni analoghe, un accorto organizzatore preparerà degli schemi fissi di itinerari, alloggiamenti, accoglienze, turni di lavoro per ospiti che vengono con identico scopo. Lo stesso vale, fuori di metafora e in maggior misura, nel nostro caso, ove la ripetizione di una *routine* (ed eventuali *subroutines*) può venir comandata con la semplice istruzione codificata di ripetere su nuovi dati una sequenza di operazioni già eseguita su altri e il cui schema si trovi in qualche modo riutilizzabile nella memoria. Detto ad es. (per intenderci provvisoriamente) *itinerario* Q quello che si deve far percorrere alla coppia A e B per ottenere le radici H e K dell'equazione $x^2+2Ax+B=o$, ogni qualvolta occorra risolvere un'equazione di secondo grado con nuovi dati per A e B, basterà esprimere il comando: *impostare A e B e seguire l'itinerario Q.*

Un tale itinerario (sia che costituisca una routine ripetibile come in questo esempio, o no) dev'essere specificato in ogni dettaglio prevedendo ogni eventualità ad ogni passo e includendo anche le operazioni di controllo eventualmente desiderate. Supponiamo, per fissare le idee e concretare l'esempio, che le radici interessino solo se reali, e per elaborazioni successive diverse a seconda che distinte o coincidenti, come potrebbero essere quelle che indicheremo sviluppando l'esemplificazione). Potremo allora descrivere le operazioni come segue: 1) moltiplicare tra loro i fattori letti entrambi nella posizione dove è immagazzinato A (ossia: calcolare $A\times A=A^2$), 2) sottrarre da tale risultato (cioè da A^2) il numero letto nella posizione dove è immagazzinato B (ossia: calcolare A^2-B), 3) vedere se tale risultato è negativo ($A^2-B<0$) e allora sospendere il calcolo stampare un'indicazione che significa impossibilità e passare al calcolo successivo, 4) se è zero trasferire A a una certa posizione della memoria e dar seguito alla routine dei calcoli relativi al caso di radice doppia $H=K=-A$ (p. es. calcolo di una tabella di valori della funzione $(C_1+C_2x)\ e^{-Ax}$ con date condizioni ai limiti), 5) se A^2-B è positivo inserire la subroutine del calcolo della radice (ne riparleremo) ottenendo $\sqrt{A^2-B}$, e, 6) infine, $H, K=-A\pm\sqrt{A^2-B}$, 7) come controllo dell'esattezza del calcolo di H e K (p. es. fino alla 6ª decimale, calcolare $x^2+2Ax+B$ per $x=H+0{,}000001$ (idem per $x=H-0{,}000001$ e per $x=K\pm0{,}000001$) controllando i segni (+, —, —, +), 8) se il controllo non va bene riprendere dal punto (5), 9) se va bene dar seguito alla routine per radici reali distinte (p. es. tabella come sopra per $C_1e^{Hx}+C_2e^{Kx}$).

L'esempio, mezzo banale e mezzo lambiccato, non è che un'invenzione per far intravvedere qualche aspetto abituale della casistica su cui vanno costruiti i programmi; si noti che solo i punti 1) e 2) sono indicati con tutta la descrizione abbastanza per esteso, mentre poi, per non tediare troppo, si è via via sottinteso qualcosa in più. Nelle applicazioni effettive l'intrico dei passi successivi, delle alternative e dei controlli, è incomparabilmente maggiore.

Abbiamo omesso, al punto (5), la descrizione dettagliata della subroutine per l'estrazione della radice: gli è che molti metodi possono venir prescelti, e tale esempio potrà servire come pretesto per illustrare in generale la moltitudine di tali possibilità (sia pure limitandosi ad accennare soltanto le principali).

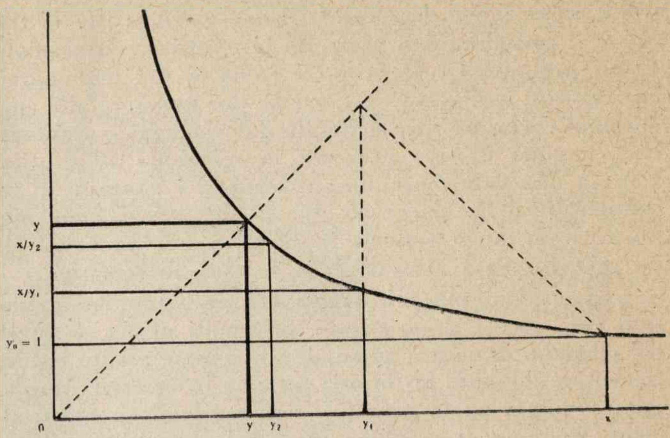
8. Calcolo di funzioni

L'estrazione della radice col metodo scolastico potrebbe certo venir eseguita anche con la calcolatrice elettronica ([19]); per essa sono però più adatti procedimenti meno elementari ma più uniformi. Nel caso della radice, cioè per trovare $y=f(x)=\sqrt{x}$ ossia per risolvere $y^2=x$, il metodo preferibile risulta in genere il metodo d'iterazione di Newton: partendo da un valore approssimato y_0, si calcoli $y_1=\frac{1}{2}\left(y_0+\frac{x}{y_0}\right)$, poi $y_2=\frac{1}{2}\left(y_1+\frac{x}{y_1}\right),\ldots,$ in generale $y_{n+1}=\frac{1}{2}\left(y_n+\frac{x}{y_n}\right)$. (vedi fig. 1).

Si ottiene una successione di valori sempre più approssimati alla radice di x (ed è facile calcolare un confine dell'errore: ovviamente non supera metà di y_n-x/y_n). Il processo d'iterazione comporta operazioni facilissime da tradurre in routine, da ripetersi finchè il predetto confine dell'errore non divenga inferiore a un margine prefissato (p. es. a 0,000000001).

I metodi d'iterazione riescono in genere particolarmente vantaggiosi nell'applicazione alle calcolatrici elettroniche, perchè il fatto di ripetere in serie operazioni analoghe anche molte volte non costituisce praticamente più alcun aggravio data la velocità con cui le operazioni interne alla macchina si svolgono, mentre è una complicazione e una perdità di tempo modificare via via le istruzioni al fine di diminuire il numero delle operazioni. Di tale fatto generale vedremo applicazioni più interessanti anche nel caso della programmazione *in grande*.

Anche per altre funzioni, come nel caso visto or ora della funzione $f(x)=\sqrt{x}$, è possibile applicare comodi procedimenti d'iterazione. Ma anche procedimenti di natura diversa, proibitivi nel calcolo a mano causa il tempo che richiederebbero, si presentano spesso come pratici per le calcolatrici elettroniche. Ad es. facendo uso dello sviluppo in serie di potenze $f(x)=a_0+a_1x+a_2x^2+\ldots+a_nx^n+R_n(x)$ è abbastanza comodo spingere il calcolo fino all'approssimazione richiesta se la convergenza non è eccessivamente lenta e se è abbastanza facile dare una limitazione soddisfacente per



1 **Illustrazione grafica del procedimento iterativo per il calcolo della radice: trasformazione del rettangolo 1 × x in altri via via « più quadrati » [y_1 (x/y_1), y_2 (x/y_2), ecc.].**

$R(x)$. In moltissimi casi risulta tanto facile e rapido per la macchina calcolare direttamente $f(x)$ con questo metodo o altri analoghi che non ci sarebbe convenienza a ricorrere a una tavola di valori della funzione già calcolati.

Eppure anche l'operazione di *consultazione di tavole* può essere effettuata da una calcolatrice elettronica in modo infinitamente più rapido che a mano. Occorre naturalmente che la *tavola* della funzione o delle funzioni che interessano siano in qualche modo inserite nella memoria: la SSEC ha ad es. un organo apposito, che è poi nient'altro che una particolare stazione di memoria a striscie perforate, denominata *table look-up*. I valori della funzione sono perforati su striscie chiuse ad anello: per la consultazione si fanno ruotare finchè giunge nella posizione di lettura il valore di x che interessa, e allora in corrispondenza viene letto il valore di $f(x)$.

Diverse varianti sono state studiate e confrontate quanto a preferibilità nell'applicazione alle calcolatrici elettroniche (od anche, con metodi al confronto un po' rudimentali, a normali macchine a schede perforate): varianti riguardanti la scelta degli intervalli delle tavole, e varianti riguardanti l'opportunità di allargarli completando la determinazione del valore della funzione con interpolazioni (lineari, o d'ordine superiore). Oltre alle tavole usuali *a intervallo costante* (nell'ascissa), sono stati studiati i casi di *tavole critiche* (con incrementi costanti nei valori della funzione) e di tavole a *intervalli ottimi* (intervalli variabili, se necessario, scelti quanto più larghi possibile compatibilmente con la condizione che applicandovi l'interpolazione di un dato ordine l'errore non superi mai un certo limite prefissato). È infatti essenziale, per fare il migliore e più rapido uso della memoria, ridurre la quantità dei valori della tavola, anche a costo di eseguire più complesse operazioni di interpolazione, che non impressionano avendole da eseguire a macchina. Per mostrare quanto il vantaggio conseguibile con appropriata scelta di tali varianti sia considerevole, riportiamo ([19a]) il numero di

([19]) Un metodo del genere è esposto da COUFFIGNAL, *op. cit.* ([7]), che sostiene la sua opportunità.

([19a]) Da E. KRAVITZ, *Punched card Math. Tables*, « Proc. Ind. Comp. Seminar », IBM, 1950.

valori occorrenti per ottenere *senx* con approssimazione all'$1/10^7$ usando diversi sistemi:

Tavola critica	— interpolazione	I ordine	— valori	5.000.000
Intervalli costanti	— »	I »	— »	9.000
» ottimi	— »	I »	— »	1.500
» »	— »	II »	— »	60
» »	— »	III »	— »	15

Si noti che la convenienza di ricorrere a un sistema o all'altro può variare non solo a seconda di caratteristiche della macchina usata ma anche a seconda del problema, e sia per circostanze estrinseche (p. es. maggiore o minore disponibilità della memoria per altre funzioni), sia, ciò che è più significativo, a seconda che le successive ricerche di valori di $f(x)$ si riferiscano a singoli sconnessi valori della x oppure a una successione di valori vicini. Nel primo caso si accrescono i motivi in favore del calcolo diretto, nel secondo quelli in favore di calcolo con tavole (una stessa lettura essendo utilizzabile per parecchi calcoli, variando solo il parametro dell'interpolazione).

9. Controlli automatici; analogie col sistema nervoso

Nei cenni e nella esemplificazione del n. 7 si era fatto rilevare come ordinariamente opportuni controlli aritmetici vengano inseriti nel corso dei calcoli, in modo da arrestarli o da ripeterne la fase incriminata non appena venga segnalato un errore. In altri procedimenti il controllo è insito automaticamente nel fatto che l'iterazione si arresta quando si raggiunge l'approssimazione richiesta: così avviene ad es. nel metodo indicato nel n. 8 per l'estrazione di radice, e in tali condizioni un errore intermedio non porta altro danno che un maggior numero di iterazioni per riavvicinarsi al risultato esatto dopo essercene casualmente allontanati causa l'errore (o magari un vantaggio se casualmente l'errore avesse portato più vicino). In ogni caso, l'ordine di approssimazione richiesto in ogni singola operazione va naturalmente prefissato in modo da ottenere un risultato finale che abbia il grado definitivo di approssimazione richiesto, tenuto conto dell'effetto globale di tutti gli errori: da quelli derivanti dall'approssimazione nell'impostazione (*truncation error*, p. es. da omissione di termini oltre un dato ordine in una serie, nell'esprimere una derivata mediante differenze finite, ecc.) a quelli derivanti dall'approssimazione delle singole operazioni aritmetiche (*rounding-off error*: arrotondamento vero e proprio, limitazioni aritmetiche).

Vi sono però due modi diversi d'intendere tale grado di precisione, e in certi casi (come in quello dei sistemi d'equazioni lineari ([20])) la differenza è enorme. L'errore finale è la risultante di un grandissimo numero di errori d'approssimazione sui singoli conteggi, e si può quindi considerare come una funzione statistica che avrà un certo campo di variabilità ma, spesso, una distribuzione di probabilità praticamente molto più ristretta. Potrà avvenire ad es. che per un certo risultato numerico si possa dire con *certezza matematica* soltanto che l'errore non supera 0,0001, ma con *certezza pratica* che non supera 0,000001 (se considerazioni statistiche inducono ad assumere ad es. che la distribuzione di probabilità è normale con scarto quadratico medio 0,0000003). Sulla maggiore propensione o perplessità verso l'impiego di simili considerazioni probabilistiche non ci dilunghiamo, chè vedremo in seguito procedimenti ove la loro importanza, da accessoria, diventa preminente.

A prescindere da cicli di operazioni espressamente stabiliti a scopo di controllo, come nei casi precedenti, le calcolatrici elettroniche sono munite di circuiti di controllo automatici per accertare che i comandi siano stati eseguiti secondo le istruzioni e che i diversi organi siano efficienti. È necessario, soprattutto che la segnalazione e localizzazione dei guasti (relativamente frequenti, non fosse che per il gran numero di tubi elettronici soggetti a deterioramento) risulti rapida e automatica, perchè la riparazione e la conseguente inattività si riducano al minimo. Si è ottenuto di realizzare tali obiettivi con segnalazione del guasto entro 1/1000 di secondo circa senza rallentare le operazioni e dando anche senza ulteriori controlli una garanzia notevole alla loro esattezza.

In principio, si tratta di verifiche sul tipo di quelle in uso per i comandi in marina, ove chi li riceve ne dà conferma, o, per dare un esempio conforme all'immagine già usata nel n. 7 che considera la programmazione come regolazione del traffico di impulsi, come quella di una cabina ferroviaria ove un segnale sul quadro avverte l'operatore se la manovra eseguita (comando a distanza di uno scambio, di un semaforo, ecc.) ha sortito l'effetto dovuto. Si tratta di un segnale di risposta, sul tipo di quelli già accennati nel n. 1 parlando del *feed back*, e che costituisce anche qui un argomento concettualmente interessante, nel senso della cibernetica, per un raffronto fra «sistema nervoso» delle macchine e l'uomo.

Un altro argomento ove tale analogia sembra particolarmente suscettibile di suggestive ipotesi e interpretazioni, è quello della struttura della memoria nel cervello, della funzione dei neuroni e delle sinapsi (probabilmente conformi allo schema del sistema binario, con una soglia di sensibilità variabile), del bilancio energetico e di quello *entropia-informazione*, delle interpretazioni possibili del meccanismo di formazione dei concetti generali in base alla *somiglianza* di percezioni, e così via. Soffermarsi di proposito su tali argomenti sarebbe troppo fuori del nostro tema ([21]); vorrei tuttavia approfittare dell'occasione per rilevare con compiacimento che l'atteggiamento filosofico cui le considerazioni di Norbert Wiener s'ispirano, riprende la rigogliosa corrente di pensiero culminata in David

([20]) Cfr. lavori di Hotelling, di von Neumann e Goldstine (Parte I^a in « Bull. Am. Math. Soc. », 1947, e II^a in « Proc. Am. Math. Soc. », 1951), Fox, Huskey e Wilkinson (« Quart. J. Mech. Appl. Math. », 1948), ecc.

([21]) Più aderenti al nostro tema sarebbero dei problemi che tale analogia fa porre nel senso inverso. In particolare, N. Wiener si chiede in qual modo sarebbe possibile render più pratico l'uso della « memoria » nelle calcolatrici elettroniche lasciando maggior elasticità nell'utilizzazione delle posizioni libere (come avviene per i neuroni, o come per le chiamate telefoniche « con ricerca della linea libera »). Nello stesso ordine d'idee sono le considerazioni di R. F. Shaw circa la possibilità di ridurre al minimo i comandi predisposti in una macchina (che avrebbe allora la massima flessibilità, ma abbisognerebbe di complesse istruzioni anche per le operazioni più banali), e la convenienza di conciliare tale punto di vista con quello opposto (comunicazione al Congr. Int. Matem., Cambridge, Mass., 1950).

Al medesimo ordine d'idee si riallacciano questioni analoghe che si possono porre a proposito dell'unità aritmetica (p. es. per scegliere fra la soluzione « in serie » o « in parallelo », cioè ope-

Hume. Ho sempre espresso ([22]) l'opinione che il pensiero umano abbia raggiunto ivi il vertice del rigore e della chiarezza, e che la maggior fortuna di pensatori successivi (a cominciare da Kant) sia dovuta all'aver apportato non perfezionamenti ma contaminazioni in ossequio alla diffusa ripulsione contro idee troppo geniali. Tale convinzione, che a me premeva illustrare particolarmente nel campo delle discussioni su causalità e probabilità, risulta felicemente avvalorata dall'impostazione del capitolo della cibernetica concernente la formazione delle idee. E dico naturalmente dall'impostazione, cioè dal modo più o meno felice di prospettarsi il problema, non dal fatto che certe ipotesi scientifiche formulate in connessione all'argomento risultino di fatto vere o false, chè questa è circostanza contingente che nulla ha a che vedere con la filosofia.

10. Generalità sulla programmazione in grande

Dopo le sia pur sommarie considerazioni ed esemplificazioni dei nn. 7-8 concernenti la programmazione *in piccolo*, di singole operazioni o gruppi di operazioni, risulterà già con una certa evidenza cosa s'intenderà per programmazione *in grande*. Si tratterà di concatenare tante operazioni o gruppi di operazioni, in una parola, tanti pezzi di programmazione *in piccolo*, in modo che la macchina sia comandata ad eseguire automaticamente da cima a fondo tutta una serie di conteggi.

E si badi che può trattarsi di lavori che durano mesi, pur avvenendo i singoli conteggi con la velocità fantastica del calcolo elettronico: basti un esempio. Il calcolo della posizione della luna (con formule estremamente complesse che tengono conto di tutte le perturbazioni) richiede (nella SSEC, per la cui inaugurazione tale problema è stato esibito) 7 minuti (per dare latitudine e longitudine al centesimo di secondo, parallasse al millesimo di secondo, in un dato istante); è previsto di spingere il calcolo (per le ore 0 e 12 di ciascun giorno) per molti secoli nel passato e nell'avvenire, ed ogni anno richiede un centinaio di ore di lavoro effettivo. Va anzi notato che in genere i calcoli affidati a calcolatrici elettroniche richiedono appunto molto lavoro e molto tempo, perchè se fossero di minor mole potrebbero più agevolmente ed economicamente esser eseguiti con strumenti meno costosi, e non compenserebbero tra l'altro il lavoro di codificazione.

Una volta chiarito questo punto, si può passare all'esame delle molte questioni concrete che si pongono nei diversi campi; prima no, chè ci si troverebbe nella situazione argutamente illustrata in un opuscolo dedicato a rappresentanti di macchine del genere per avvertirli che potranno trovare degli scienziati che rivolgeranno loro domande incomprensibili. Con questa macchina è possibile *invertire una matrice?*, *integrare un'equazione differenziale?*, *calcolare un autovalore?* e così via. E viene insegnato il modo di avviare un colloquio che dia ad entrambi la possibilità di intendersi.

Due aspetti vanno particolarmente tenuti presenti. Il primo è la continuazione su scala più vasta di quella tecnica di concatenazione di operazioni e sequenze o routines di operazioni che già abbiamo visto parlando della programmazione *in piccolo*. Il secondo è l'applicazione dei criteri di opportunità nella scelta, non più del metodo per eseguire i conteggi richiesti per tradurre in calcolo numerico un dato procedimento matematico, ma del procedimento matematico da proporre per la traduzione in calcolo numerico.

In entrambi i casi la circostanza da tener presente è quella medesima già segnalata: che cioè per la calcolatrice elettronica è pochissimo gravoso eseguire una enorme quantità di calcoli (quale con altri mezzi sarebbe pazzesco anche solo prendere in considerazione) purchè consistenti nella ripetizione di schemi predisposti, mentre è meno pratico un calcolo consistente in relativamente poche operazioni tutte diverse e richiedenti volta per volta nuovi dati. Questa circostanza gioca però in modo più essenziale e pieno di imprevisto di quanto probabilmente non sia tratto a pensare il lettore pur pienamente conscio della sua importanza e della vastità delle sue conseguenze.

Metodi di iterazione o di rilassamento, metodi di approssimazioni successive in genere, risultano particolarmente adatti per la programmazione, e in genere tutti i metodi diretti che si appoggiano sul significato dei problemi fisici anteriormente alla loro traduzione in equazioni differenziali, oppure preferibilmente sulla loro traduzione in equazioni integrali. Risulta diminuita ad es., di conseguenza, la differenza di difficoltà fra la trattazione di problemi analoghi in una, due o più dimensioni. Particolarmente caratteristica è l'introduzione di metodi statistici per la risoluzione di problemi matematici di svariate specie, noti sotto il nome pittoresco di Metodi di Monte Carlo.

L'espressione più estrema di tale punto di vista è questa di G. W. King ([23]): *My philosophy is that with a computing machine one can forget classical mathematics;* certamente non vuol essere più che uno *slogan* paradossale anche nell'intenzione dell'autore, ma l'esempio che egli cita è significativo. Parlando dei problemi di *diffusione*, di cui tratteremo in seguito, egli così osserva. « Dal punto di vista del fisico o del chimico, non esiste in realtà un'equazione differenziale connessa al fenomeno. È solo in virtù di un'astrazione che il problema può esser risolto per mezzo della matematica negli ultimi secoli. Ma con la macchina calcolatrice non è possibile far uso dell'analisi in quanto tale. È invece possibile impostare direttamente il problema reale nella macchina, scavalcando ogni formulazione specifica matematica come quella delle equazioni differenziali ». Anche F. D. Hartree esprime l'avviso che i metodi suggeriti dall'uso delle calcolatrici elettroniche « finiscano con lo sradicare da noi l'attuale ten-

rando successivamente su ciascuna cifra usando un unico organo, o su tutte simultaneamente usandone tanti quante le cifre), dell'unità di controllo e modi di programmazione (già menzionato in ([11])), ecc.; interessante è anche la connessione ampiamente sfruttata della logica matematica con tale campo di problemi, riconosciuta fin dal nome di *Logical Design* con cui viene designato. Per tutti questi aspetti citiamo i Rapporti di H. H. Goldstine e J. von Neumann, *The Mathematical and Logical Aspects of an Electronic Computing Instrument* (Princeton, 1948; cfr. anche opp. citt. ([9])).

([22]) V. per es. le conferenze tenute nel 1935 all'Inst. Poincaré (in chiusa), o il discorso inaugurale dell'Anno acc. 1948-49 all'Univ. di Trieste.

([23]) G. W. King: *Further Remarks on Stochastic Methods in Quantum Mechanics*, « Computation Seminar Dec. 1949 », IBM, 1951.

denza a considerare un'equazione differenziale come il metodo basilare per tradurre i problemi fisici in forma matematica» ([24]).

Non è detto naturalmente che tali tendenze, sol per il fatto di essere conformi a caratteristiche particolarmente pratiche nell'uso delle macchine, debbano prevalere o risultare giustificate. Non mancano le obiezioni, e particolarmente in Italia, da parte soprattutto della scuola di Picone ([25]), si osserva che simili metodi, seppure conducano a calcolare con sufficiente esattezza i valori di una funzione, non consentono di ricavare con approssimazione ancor essa sufficiente p. es. le derivate che rispondono spesso a enti di interesse fisico anche maggiore (e sorvolo su altri punti di natura più tecnica). Nulla impedisce di applicare metodi di sapore più classico, secondo l'indirizzo cui tali rilievi si ispirano: si tratterebbe in questo caso di risolvere sistemi di equazioni lineari per determinare i coefficienti di uno sviluppo in serie di autofunzioni.

Ma anche per risolvere i sistemi di equazioni lineari le calcolatrici elettroniche favoriscono l'applicazione di procedimenti di iterazione, e addirittura di un metodo di Monte Carlo, come vedremo rispettivamente nel n. 12 e nel n. 14. Beninteso, il risultato può essere in questo caso verificato direttamente, e tutti i vantaggi desiderati del procedimento classico non sono toccati dal modo con cui i coefficienti sono stati ottenuti.

Senza voler prendere posizione a priori fra le diverse opinioni, giova rilevare che è certo interessante assistere a una fioritura di novità anche concettuali, e sarà utile lasciare che l'esperienza mostri chiaramente pregi e difetti e limiti di applicabilità di ogni metodo. Per il momento non esiste ancora una base per conclusioni sistematiche sui criteri e limiti per la preferibilità dei diversi procedimenti nei diversi campi; esiste appena una vasta casistica in via di sviluppo di pari passo con l'apparire di macchine via via più perfezionate e col presentarsi di nuove idee per la loro applicazione a sempre nuovi problemi.

11. Concatenamento di programmi e di iterazioni

Per illustrare praticamente alcuni aspetti tipici della programmazione in grande di un problema, svilupperemo succintamente, ma in modo completo, il procedimento relativo ad un esempio già istruttivo come tale, anche se inadeguatamente semplice per le possibilità di una grande calcolatrice.

Consideriamo l'equazione differenziale ordinaria del 2° ordine:

$$y'' = y(u + v\sqrt{y})$$

(u e v funzioni note della variabile indipendente x), che è una modificazione semplificata a scopo esemplificativo dell'equazione del campo atomico ([26]).

La prima osservazione da fare, è che l'equazione differenziale si deve trasformare in equazione alle differenze finite ([27]). Prendendo brutalmente $y'' = \delta^2 y$ (ove $\delta^2 y$ = «differenza centrale», cioè $\delta^2 y = y_{x+1} - 2y_x + y_{x-1}$) l'approssimazione sarebbe insoddisfacente (si trascurebbero termini del 4° ordine, nel passaggio da differenze a derivate); se invece si considera la funzione ausiliaria

$$z = y - \frac{1}{12} y'', \text{ e si pone } y'' = \delta^2 z,$$

l'approssimazione diviene buona (si trascurano termini del 6° ordine) ([28]).

Comunque sia, con tale approssimazione l'equazione proposta viene sostituita dal sistema di equazioni ricorrenti:

$$z_n = y_n\ (u_n + v_n\sqrt{y_n}), \qquad y_n = z_n + \frac{1}{12}\delta^2 z_n.$$

Gli u_n e v_n sono dei dati, che verranno letti e impostati ogni qual volta il calcolo procederà da un valore di n al successivo; i valori iniziali saranno introdotti al principio; i calcoli richiesti per un n generico, dopo ottenuti y_{n-1}, z_{n-1} e $\delta^2 z_{n-1}$, consisteranno quindi nel calcolare y_n, z_n e $\delta^2 z_n$ dalle formule

$$z_n = 2z_{n-1} - z_{n-2} + \delta^2 z_{n-1}, \qquad y_n = z_n + \frac{1}{12}\delta^2 z_n,$$

$$\delta^2 z_n = y_n\,(u_n + v_n\sqrt{y_n}).$$

Il primo calcolo (di z_n) si effettua senz'altro mediante valori già noti e immagazzinati nella memoria; gli altri due sono tra loro concatenati, e la risoluzione del sistema si effettua con una duplice iterazione.

Preso, in prima approssimazione, $y_n = z_n$, se ne calcola la radice col metodo iterativo del n. 8, si ottiene la prima approssimazione di $\delta^2 z_n$, e con essa la seconda approssimazione di y_n; la radice di questa serve a ottenere la seconda approssimazione di $\delta^2 z_n$ e quindi la terza di y_n; così si continua fin quando lo stabilizzarsi del valore di y_n indica che si è pervenuti al valore esatto. Allora si passa ad $n+1$.

Dal punto di vista dei comandi, abbiamo una sequenza fondamentale e tre routines subordinate ripetibili. La sequenza fondamentale comanda l'impostazione dei dati iniziali ecc., poi cede il comando alle routines I, II e III che se lo passano e ripassano tra loro come vedremo, e lo restituiscono alla sequenza principale solo alla fine (quando altri controlli automatici mostrano che la funzione diverge oppure diviene definitivamente assimilabile a una funzione esponenziale) per ricominciare daccapo con altri valori iniziali, e cambiare il foglio di carta ove vengono stampati i risultati in ogni riga:

$$n,\ u_n,\ v_n,\ y_n,\ z_n,\ \delta^2 z_n.$$

([24]) F. D. Hartrée: *Calculating Machines. Recent and Prospective Developments and their Impact on Mathematical Physics*, Cambridge Un. Press, 1947 (cit. in Mandò, v. nota ([7]), p. 92).

([25]) I metodi preferiti nell'indirizzo di Picone si trovano sistematicamente condensati in G. Fichera: *Risultati concernenti la risoluzione delle equazioni funzionali lineari dovuti all'Ist. Naz. Appl. d. Calcolo*, «Mem. Lincei», 1950.

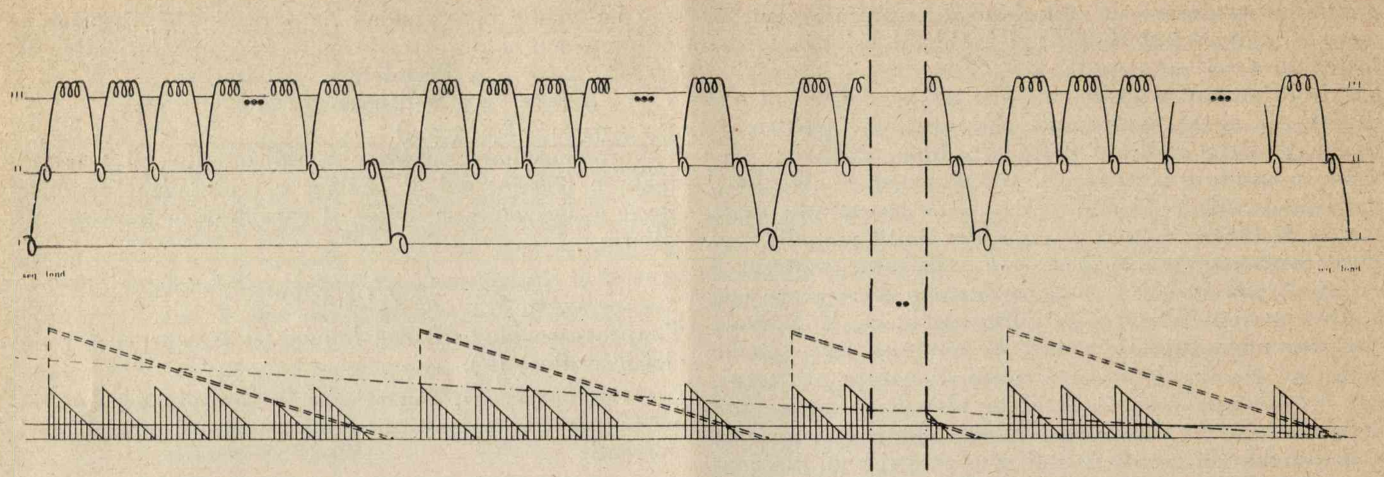
([26]) Adattamento a scopo esemplificativo del metodo usato per risolvere l'equazione

$$y'' = ay + be^x\ (e^{cx}\, y^{\frac{1}{2}} + k)^3$$

mediante la SSEC, cfr. L. H. Thomas: *Computation of Statistical Fields for Atoms and Ions*, «Scientific Computation Forum, 1948», IBM, 1950.

([27]) Supponiamo già adottata l'unità di misura adatta per le ascisse, onde evitare d'indicare $\triangle x = h$ anzichè $=1$.

([28]) Metodo proposto in L. Feinstein and. M. Schwarzschild: *Automatic Integration of Linear Second-Order Differential Equations by Means of Punched Card Machines*, «Rev. Sci. Inst.», 1941.



2 **Indicazione schematica delle iterazioni delle subroutines I, II e III: ogni cappio rappresenta un ciclo della I, II, III routine, ed esso viene iterato finchè il rispettivo errore (v. sotto diagramma in linea continua per III, doppiamente tratteggiato per II, punteggiato per il I) non scende sotto il livello prestabilito.**

Le tre routines subordinate comandano (vedi figg. 2)

— la I, il calcolo del nuovo z_n; e la sua trasmissione al posto di y_n come primo suo valore approssimato (ecc.), e la chiamata in funzione della II (salvo, come detto, alla fine: ritorno alla sequenza fondamentale);

— la II, il calcolo della semisomma di r ed y_n/r dove r è il valore approssimato via via ottenuto per la radice di y_n, e la chiamata in funzione di se stessa (iterazione) o della III a seconda che r non ha ancora od ha raggiunto la stabilità;

— la III, il calcolo di $\delta^2 z_n$ e quindi di y_n in base al valore di r dato dalla II, e la chiamata in funzione della II per un nuovo calcolo della radice e una migliore approssimazione, oppure della I per il passaggio alla successiva ascissa $n+1$ a seconda che y_n non ha ancora od ha raggiunto la stabilità. Quando chiama in funzione la I, la III comanda anche la stampa della riga dei valori corrispondenti ad n, e la liberazione o rotazione delle posizioni della memoria in modo da servire per i conteggi successivi.

Non occorrono molti commenti; quello che si può notare è, oltre alle differenze finite, la iterazione usata sia per l'estrazione di radice che per la soluzione del sistema di due equazioni, la compenetrazione di tali due iterazioni, l'organizzazione pratica delle corrispondenti routines e dei richiami dall'una all'altra.

12. Sistemi di equazioni lineari

Uno dei problemi di maggiore importanza pratica è, naturalmente, quello della risoluzione di un sistema di equazioni lineari, perchè molti problemi pratici si traducono in tale forma direttamente (basti pensare all'equilibrio di travature), e molti altri vi si possono ricondurre (come nel caso già ricordato, di sviluppo delle soluzioni di un problema in serie di autofunzioni). È un problema elementarissimo che teoricamente ogni studente di scuola media sa risolvere mediante eliminazioni o sostituzioni, ed ogni *matricola* di scienze o ingegneria od anche economia e commercio sa risolvere mediante i determinanti, in base alla regola di Cramer. Il guaio è soltanto che, al crescere del numero n delle incognite e delle equazioni (che devono essere altrettante per determinarle, univocamente salvo il caso d'incompatibilità o dipendenza), il numero delle operazioni aritmetiche cresce proporzionalmente al cubo di n, cioè con rapidità tale da raggiungere ben presto livelli di laboriosità proibitivi per il calcolo a mano (pur con le usuali macchine da tavolo) [29]. Già il numero dei coefficienti e dei termini noti è grandissimo (n^2+n), ciò che rende disagevole la loro sistemazione anche nella memoria di una grande calcolatrice (almeno: nelle memorie meno lente). Altro inconveniente: il grande effetto che possono avere sui risultati finali arrotondamenti anche piccolissimi sui dati e sui risultati intermedi; basti pensare, per rendersene conto, che per $n=3$ le incognite sono le coordinate del punto d'intersezione di tre piani: se questi si tagliano sotto angoli piccoli, è intuitivo che un errore anche piccolo del determinarne la posizione può provocare spostamenti notevoli nel punto d'intersezione [30].

Fra i metodi classici (non iterativi, di approssimazioni successive) quello più adatto all'elaborazione meccanica è il metodo di eliminazione secondo lo schema di Gauss-Chiò; in modo anche più simmetrico e completo (seppure alquanto più lungo) lo si può tra-

[29] Cfr. p. es. U. Cassina: *Sul numero delle operazioni elementari necessarie per la risoluzione dei sistemi di equazioni lineari*, « Boll. Un. Mat. It. », 1948. Dal punto di vista dell'eseguibilità dei calcoli con macchine da tavolo (nel qual caso viene applicato di preferenza il metodo di Banakiewicz), un sistema di 40 equazioni in altrettante incognite comporta un lavoro di settimane; giungere ad 80 è un'impresa eccezionale comportante un lavoro di parecchi mesi (sempre, se si tratta di equazioni complete di tutti i termini). Quando molti coefficienti sono nulli, la laboriosità diminuisce; è per tal motivo che ad es. nei problemi di compensazione di reti geodetiche si risolvono sistemi anche di centinaia di equazioni, dato che ciascuna contiene solo un numero d'incognite molto minore.

[30] Cfr. i lavv. cit. [18]; quanto all'errore derivante da eccessiva sensibilità dei risultati a variazioni dei dati, bisogna notare che in tal caso l'esattezza raggiungibile con un calcolo accurato è essa stessa illusoria, se i dati stessi rappresentano grandezze fisiche di per sè approssimate. In tal caso le equazioni sono « praticamente non indipendenti » e quindi praticamente non atte a individuare una soluzione.

durre nello schema d'operazione seguente ([31]). Scriviamo la tabella (matrice) dei coefficienti a_{rs} nella posizione indicata A, poi la colonna dei termini noti b_r nella posizione indicata B (eventualmente più colonne, se interessa risolvere simultaneamente più sistemi con coefficienti uguali ma diversi per i termini noti), poi la matrice unitaria indicata con I (cioè: una tabella tutta di zeri, tranne gli elementi sulla diagonale principale che sono uni); al di sotto scriviamo, la matrice —I (come sopra, ma con —1 anzichè +1 nella diagonale principale) sotto la A, e matrici nulle (0, cioè tutti zeri) sotto B e I.

Sulla tabella complessiva C così ottenuta:

$$\left\| C \right\| = \left\| \begin{array}{c|c|c} A & B & I \\ \hline -I & O & O \end{array} \right\|$$

si operi secondo il solito schema dell'eliminazione: aggiungendo a ciascuna riga un opportuno multiplo della prima, si annulla tutta la prima colonna, procedendo allo stesso modo con la seconda riga si annulla tutta la seconda colonna, e così di seguito fino all'n-esima. A tale punto la tabella C si è trasformata nella C′ con tutti zero nella parte superiore (prime n righe) e nel primo riquadro della parte inferiore (n colonne delle altre n righe), ma poi con la colonna (o le colonne, se più varianti di termini noti) delle soluzioni (X), e la matrice inversa (A^{-1}):

$$\left\| C' \right\| = \left\| \begin{array}{c|c|c} O & O & O \\ \hline O & X & A^{-1} \end{array} \right\|$$

Così implicitamente abbiamo illustrato anche lo schema di procedimento per l'inversione di una matrice secondo tale metodo; è ovvio poi che se non interessa ottenere, con l'occasione, anche A^{-1}, basta omettere l'ultimo gruppo di colonne nella C (le matrici I e O) e si otterrebbe ugualmente la soluzione X nella C′ (senza l'ultimo gruppo di colonne, con O e A^{-1}).

Quanto alla programmazione del procedimento per la macchina, lo schema ne esibisce già le grandi linee, e non c'è scopo di dilungarsi in dettagli tecnici. Occorre solo dire che, sebbene la struttura schematica del procedimento sia adatta alle esigenze del calcolo automatico, e sebbene l'enorme massa di operazioni aritmetiche rientri nella capacità ed anzi negli scopi delle calcolatrici elettroniche, non si può contare su una rapidità dell'ordine di grandezza che ci si potrebbe attendere facendo il conto del numero delle operazioni e del numero di operazioni al secondo che l'apparato aritmetico è capace di eseguire. Non appena n è un po' alto, subentra dannosamente la necessità di registrare via via i risultati intermedi con mezzi di memoria lenti.

Più vantaggioso, dal punto di vista della programmazione per macchine elettroniche, appare l'uso di metodi di iterazione, e particolarmente del più semplice possibile: quello di Gauss-Seidel. Sia dato il sistema di n equazioni lineari in n incognite

$$a_{r1}x_1 + a_{r2}x_2 + a_{r3}x_3 + \ldots + a_{rn}x_n - b_r = 0\ (r=1,2,\ldots,n);$$

se prendiamo a caso dei valori $x_h^{(o)}$ per le variabili x_h, le n espressioni, anzichè annullarsi, assumeranno dei valori in generale non nulli $c_r^{(o)}$. Partendo da questi valori iniziali $x_h^{(o)}$, proponiamoci di *migliorarli* a turno: *miglioreremo* anzitutto x_1 in modo che risulti soddisfatta la prima equazione, poi x_2 rendendo soddisfatta la seconda, ..., x_n rendendo soddisfatta l'ultima, e poi di nuovo x_1 rendendo soddisfatta la prima (che avrà cessato di esserlo causa le modificazioni successivamente apportate alle $x_2 \ldots x_n$), e così di seguito. L'operazione di *miglioramento* è, ad ogni passo, semplicissima: l'$(m+1)$-esima approssimazione di x_h si ottiene dall'm-esima semplicemente calcolando

$$x_h^{(m+1)} = x_h^{(m)} - \frac{1}{a_{hh}} c_h^{(m)}$$

Tutto ciò naturalmente serve solo se il procedimento converge (chè allora, ovviamente, il limite fornisce la soluzione); una condizione sufficiente (non necessaria) per la convergenza è che $a_{rs}a_{sr} < a_{rr}a_{ss}$ (e si noti che, potendo variare l'ordine delle equazioni, può darsi che una scelta opportuna giovi a render soddisfatta la condizione). Accertarsi preliminarmente della convergenza è certo utile, se si può farlo abbastanza agevolmente; tuttavia, usando la macchina, si vede presto se i valori tendono a stabilizzarsi o no, e ciò conduce a un'attitudine piuttosto *sperimentale*: a tentare e vedere se la convergenza si manifesta o no, indipendentemente da tentativi troppo onerosi di accertarsene per via teorica.

Sul procedimento avremo da aggiungere qualche considerazione concernente l'esecuzione automatica nel n. 15. Osserviamo ancora soltanto, per ora, che in molti casi il sistema di equazioni non è del tipo più generale: ogni equazione contiene solo pochi dei molti termini possibili (cioè: molti dei coefficienti a_{rs} sono nulli), oppure si hanno simmetrie, ecc. Allo stato attuale almeno, in questi casi conviene, anche disponendo di calcolatrici elettroniche, non applicare lo schema generale ma elaborarne uno particolare che sfrutti le semplificazioni conseguenti. Od anche in generale, se n è grande, scindere le equazioni in due gruppi partendo da stime approssimate delle soluzioni e migliorandole poi alternativamente (balayage).

13. Procedimenti d'iterazione nell'analisi

Un ultimo tipo di problemi di cui è possibile dare un cenno abbastanza elementare e significativo per riuscire utile al fine esemplificativo qui perseguito, è quello delle equazioni alle derivate parziali. Oltre che per illustrare i metodi del presente paragrafo, ciò servirà anche per introduzione a quelli del prossimo riguardanti prevalentemente problemi di questo medesimo tipo. Ci riferiremo, naturalmente, al caso più semplice, e precisamente a quello dell'equazione di Laplace, che è il più importante e istruttivo.

Se $z=f(x,y)$ è funzione dei punti di un piano (x,y coordinate cartesiane ortogonali), la somma delle derivate seconde $z''_{xx} + z''_{yy}$ ha un significato importante: p. es. se z s'interpreta come potenziale generato da una distribuzione di masse, detta espressione dà la densità di massa in ogni punto del campo. Nella terminologia fisico-matematica, essa esprime in forma cartesiana la divergenza del gradiente di z, div grad z, e si indica

([31]) Frank M. Verzuh: *The Solution of Simultaneous Linear Equations with the Aid of the 602 Calculating Punch*, « Math. Tables Aid Comp. », 1949.

spesso con $\triangle z$, *laplaciano* di z. Se esso è nullo in tutto un dominio D (p. es. un rettangolo), la z si dice ivi funzione *armonica* (ciò significa che il campo di cui essa è il potenziale è solenoidale, cioè, nell'esempio precedente, vuoto di masse; geometricamente, vuol dire che la superficie $z=f(x,y)$ è tagliata da ogni suo piano tangente lungo due linee le cui proiezioni sul piano x,y s'intersecano ad angolo retto).

Per determinare una soluzione dell'equazione differenziale $\triangle z=0$ (ossia $z''_{xx}+z''_{yy}=0$), ossia per determinare una funzione armonica, occorrono opportune condizioni aggiuntive; precisamente, si può ad es. assegnare pressochè ad arbitrio il valore di z per ogni punto del contorno C di D perchè esista una e una sola soluzione all'interno di D (problema di Dirichlet).

Per impostare il problema direttamente sotto forma numerica, occorre esprimere anche le derivate parziali mediante differenze finite, analogamente a quanto fatto per l'equazione differenziale ordinaria considerata nel n. 11; i valori della funzione si penseranno definiti soltanto nei vertici di un reticolo (carta quadrettata!) che (adottando, se necessario, un'unità di misura sufficientemente piccola) supporremmo siano i punti di coordinate x,y intere. L'espressione approssimata del valore di $\triangle z$ in un punto del reticolo, sarà allora una combinazione lineare dei valori della z nel punto stesso e in quelli circostanti. La più semplice e usuale (corrisponde alla prima approssimazione — senza il termine correttivo 1/12... — in quella del n. 11) consiste nel prendere $\triangle x=$somma dei 4 valori adiacenti meno 4 volte il valore nel punto, ossia una combinazione dei valori nel reticolo secondo il primo dei tre schemi sotto indicati (dove il significato s'intuisce da sè; gli altri due sono analoghi ma meno ovvi: li riportiamo per dare un'idea delle possibili varianti:

$$\text{I:}\ \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \qquad \text{II:}\ \frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & -4 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{III}\quad \left(=\tfrac{2}{3}\,\text{I}+\tfrac{1}{3}\text{II}\right):\ \frac{1}{6}\begin{pmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 4 & -20 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \end{pmatrix}$$

Così impostato, il problema consiste nel determinare x sui punti del reticolo interni al dominio (per semplicità si pensi un rettangolo) D, dati quelli sul contorno C, in modo che il valore in ogni punto sia la media dei quattro adiacenti (sotto e sopra, a sinistra e a destra). Abbiamo un sistema di equazioni lineari: un'equazione e un'incognita per ogni punto del reticolo interno a D. Si tratta però di un caso in cui il sistema presenta particolarità notevoli, per cui, come detto in fine al n. precedente, conviene sfruttarle a fini semplificativi anzichè seguire procedimenti validi per un sistema generico di equazioni lineari. La semplificazione sta qui nel fatto che ogni equazione contiene solo 5 incognite e sempre con gli stessi coefficienti $+1$, $+1$, $+1$, $+1$, -4 e termine noto zero (salvo punti adiacenti al contorno, dove cadono una o due incognite e subentra un termine noto).

Un metodo di rilassamento (dovuto a Sir Richard Southwell) consiste nel partire da valori attribuiti ad arbitrio a z nei punti del reticolo in D (quanto meglio plausibili a stima), e nel calcolare per ogni punto il $\triangle z$; anzichè annullarsi (come avverrebbe se si fosse scelta, indovinando, la soluzione esatta) tale $\triangle z$ avrà i valori che avrà. Potremo renderlo nullo in un punto alterando il valore di z ivi (sostituendolo, precisamente, con la media dei quattro adiacenti); se si procede in tal modo, cominciando sempre dai punti ove $\triangle z$ è più grande, ci si avvicina rapidamente alla z armonica.

Per l'esecuzione a mano il metodo è molto pratico (ad ogni operazione il residuo annullato va ad alterare i residui dei quattro punti adiacenti fra cui viene ripartito in 1/4 per ciascuno; ulteriori accorgimenti migliorano la convergenza), ma a macchina la ricerca del massimo residuo, da eseguirsi dopo ogni operazione (somma di pochi termini!) pregiudica ogni possibilità di applicazione rapida. Conviene eseguire la medesima operazione esplorando nell'ordine naturale più e più volte tutti i punti del campo, perchè la convergenza, pur essendo più lenta quanto a numero di operazioni, è più rapida come tempo se si evita quella scelta che in teoria dà il modo di procedere più vantaggioso. Un vantaggio si ha invece rendendo più automatico ancora il procedimento, e a ciò giova ad es. l'applicazione del III schema di calcolo, benchè più complicato, nel modo proposto e applicato da Milne. L'operazione che esso rappresenta ha infatti il pregio di poter essere scomposta in due operazione successive, di perequazione di tre valori consecutivi (con pesi 1/6, 4/6, 1/6) prima per sole righe e poi per sole colonne ([32]).

Osserviamo che, salvo ovvie modificazioni, nulla vi sarebbe da cambiare se in luogo dell'equazione $\triangle z=0$ si considerasse l'equazione non omogenea $\triangle z=\varphi\,(x,\,y)$ (funzione nota: p. es. potenziale data la densità di massa) sempre con le dette condizioni al contorno. Allo stesso schema si riduce anche l'equazione $\triangle z=\lambda z$; per essa si presenta però un problema ulteriore potendo non ammettere una soluzione unica. Infatti, per la condizione al contorno $z=0$, il sistema di equazioni (omogenee!) ammette soluzioni (oltre quella banale $z=0$) se il determinante dei coefficienti si annulla, il che avviene per i valori di λ che soddisfano l'equazione così ottenuta e che si dicono autovalori. Procedimenti per determinare tali autovalori mediante calcoli così impostati si trovano in parecchie pubblicazioni ([33]).

Quanto detto per l'equazione di Laplace vale in sostanza per tutti i problemi analoghi (di tipo *ellittico*); per equazioni di tipo *iperbolico* o *parabolico*, quali rispettivamente l'equazione delle onde (o *delle corde vibranti*) $z''_{tt}-z''_{xx}=0$ e quella della diffusione $z'_t-z''_{xx}=0$, si possono naturalmente applicare metodo analoghi ma sono diversi i problemi che si possono porre (non si possono imporre i valori sul contorno, se non parzialmente, facendo i conti con le *linee caratteristiche* dell'equa-

([32]) Copiosa è la letteratura su tali argomenti; le presenti notizie sono desunte prevalentemente da Everett C. Yowell: *Numerical Solution of Partial Differential Equations*, « Comp. Seminar, Dec. 1949 », IBM, 1951.

([33]) Ad es. subito dopo la nota cit. ([31]), ve n'è una di Harry H. Hummel: *An Eigenvalue Problem of the Laplace Operator*. Cfr. anche W. Wasow: *Random Walks and the Eigenvalues of Elliptic Difference Equations*, « J. Res. NBS », 1951.

zione; oppure si possono dare condizioni iniziali; le variabili sono state indicate con t e x anzichè con x e y per richiamare l'interpretazione più intuitiva con t = tempo).

14. Metodo di Monte Carlo

È entrata nell'uso corrente questa denominazione pittoresca per designare in genere ogni metodo per risolvere problemi matematici mediante esperimenti statistici. Un tizio che non sapesse come calcolare o dove trovare il valore di e ($e = 2{,}718\ldots$, base dei logaritmi naturali), ma ricordasse che $1/e$ è la probabilità che disponendo sul cartellone della tombola i numeri secondo l'ordine d'estrazione nessuno si trovi al proprio posto (problema delle *concordanze*), potrebbe pensare di riempire tante volte il cartellone fino ad aver trovato 1000 volte estrazioni prive di concordanze. Se avrà fortuna ciò avverrà dopo 2718 volte e avrà il valore esatto con tre decimali; fortuna a parte, si può stabilire con quale probabilità lo scarto supererà un certo limite, vedere se con 10.000, 100.000 estrazioni, ecc., potrà esser praticamente certo di raggiungere l'approssimazione voluta, e così via.

Vi sono molti problemi dove il calcolo matematico è più lungo e difficile di quanto lo sia nell'esempio da cui scherzosamente abbiamo preso le mosse, e in cui pertanto un procedimento sperimentale del genere può avere un valore tutt'altro che umoristico, purchè, beninteso si riesca a svolgerlo in modo meno lento che estraendo le palline dal sacchetto della tombola.

Un metodo molto rapido è naturalmente quello di far eseguire ad una calcolatrice una successione di operazioni *casuali* conformi allo schema probabilistico desiderato (p. es. una successione di cifre 0 e 1 scelte *casualmente* è l'equivalente in scala ultrarapida di una partita a testa e croce). Quanto a realizzare le condizioni volute, ciò è possibile in più modi: sia introducendo successioni predeterminate di *numeri casuali*, sia generandoli nella stessa calcolatrice mediante operazioni sufficientemente strampalate. Comunque, prescindendo dalla tecnica di simili accorgimenti, vediamo alcuni esempi di applicazioni.

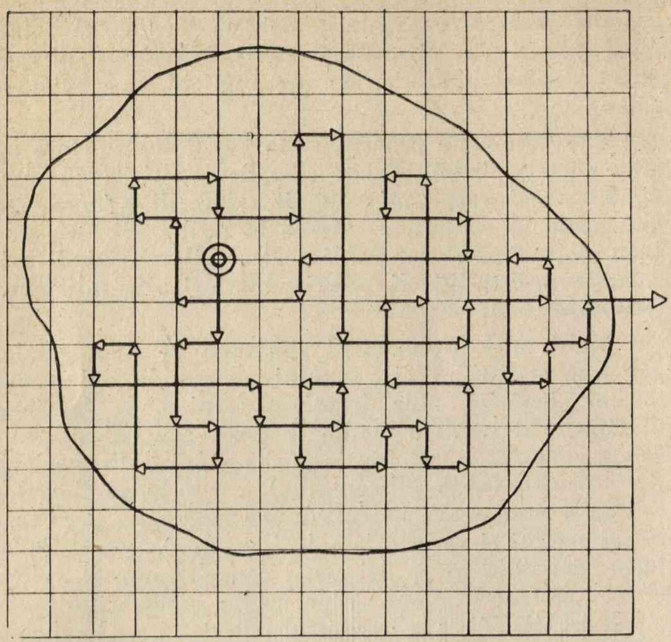
Torniamo all'equazione di Laplace (problema di Dirichlet: $\triangle z = 0$, valori dati sul contorno), e più precisamente alla sua traduzione in forma finita secondo cui in ogni punto del reticolo, il valore di z dev'essere la media dei quattro adiacenti. Immaginiamo, partendo da un punto del reticolo, di compiere una passeggiata a caso sul reticolo stesso, p. es., gettando dopo ogni passo due monete per decidere con ugual probabilità (1/4) se il prossimo dev'essere un passo a nord o est o sud o ovest, e continuando così fino a che si giunga sul contorno; in quel punto la z ha il valore assegnato, e si potrà arrivare in qualunque punto e trovare uno qualunque dei valori assegnati sul contorno; tenendo conto delle probabilità che la passeggiata vada a finire sui diversi punti del contorno si può definire il valor medio (speranza matematica) del valore di z incontrato. Orbene: tale valor medio altro non è che il valore della funzione z nel punto di partenza. Esso è infatti una funzione che soddisfa la proprietà voluta (dopo il primo passo si sarà in uno dei quattro punti adiacenti; il valor medio è la media dei valori medi subordinati all'ipotesi che il primo passo porti in uno o l'altro dei quattro punti, ossia la media dei valori medi relativi a detti quattro punti), ed assume sul contorno i valori imposti a z; per l'unicità essa coincide con z.

Ecco allora un procedimento possibile: ripetere un gran numero di passeggiate casuali uscenti da un punto dato, registrare ogni volta il valore di z incontrato giungendo al contorno, e farne la media. Si ottiene z (con scarto quadratico medio calcolabile, e quindi calcolabile probabilità di errori superiori alla tolleranza prefissata) (vedi fig. 3).

Molti altri problemi si risolvono in modo analogo. Una statistica dei cammini a seconda del punto in cui sboccano sulla frontiera fornisce la funzione di Green. Il numero medio di passi con cui si giunge sul contorno è una funzione che soddisfa l'equazione $\triangle z = costante$ (nulla sul contorno), e se in luogo di contare i passi si sommano i valori di una funzione φ per i crocicchi toccati si ottiene la soluzione di $\triangle z = -\varphi$. Se in luogo del numero N dei passi consideriamo il valore v^N (v = costante), il suo valor medio soddisfa un'equazione del tipo $\triangle z = \lambda z$ (λ dipendendo da v; $z = 1$ sul contorno); sostituendo a v^N il prodotto di valori v variabili da punto a punto relativi ai crocicchi attraversati, e di un ulteriore valore dipendente dal punto raggiunto sul contorno, si risolve la più generale equazione $\triangle z = \varphi . z$ con φ variabile e con valori al contorno comunque assegnati. La ricerca degli autovalori può ancor essa effettuarsi sperimentalmente, basandosi sulla circostanza che essi sono legati a quella che si potrebbe chiamare la *tavola di sopravvivenza* delle passeggiate a caso (estinzione per arrivo sul contorno) e tale tavola di mortalità si può ricavare dalla statistica.

Nel caso di problemi di diffusione (equazioni paraboliche), il metodo ha un'aderenza addirittura analogica con i fenomeni reali: gli esperimenti probabilistici sono un modello — più o meno strettamente adeguato — dei movimenti di una particella durante la diffusione. È ciò che intendeva King nei passi citati (n. 11). Per avere un esempio, basta ripensare alle passeggiate a caso già viste, immaginare che l'insieme degli esperimenti rappresenti uno sciame di particelle ciascuna delle quali compia un passo ad ogni unità di tempo, e considerare di conseguenza l'insieme delle posizioni dopo t passi come formante la distribuzione dello sciame a un dato istante. In questo stesso ordine di idee rientra un'osservazione di Fermi sfruttata da Kac e Donsker per risolvere con metodo di Monte Carlo l'equazione di Schrödinger. Ulteriori problemi si hanno considerando il contorno parzialmente assorbente, riflettente, eccetera.

Ma anche problemi del tutto lontani da interpretazioni del genere possono venir affrontati col metodo di Monte Carlo: il più importante è quello dell'inversione di una matrice (e quindi della soluzione dei sistemi di equazioni lineari). Lo illustreremo nel caso più semplice, supponendo a tal uopo che, posto $p_{rs} = -a_{rs}$ ($r \neq s$) e $p_{rr} = 1 - a_{rr}$, i coefficienti p_{rs} risultino positivi e di somma minore di 1 in ciascuna riga; diremo $p_r = 1 - \Sigma_s\, p_{rs}$ il complemento all'unità. Consideriamo ancora, se così si vuol dire, una *passeggiata a caso*, ma di tipo diverso. Le posizioni possibili sono n punti (n = ordine della matrice), che potremo pensare disposti su una circonferenza; ad ogni colpo si può saltare dal pun-



3 Una « passeggiata a caso » per la soluzione del problema di Dirichlet nel campo C col metodo di Montecarlo.

to raggiunto (r) a ciascun punto (s) con probabilità $p_{r,s}$, oppure *morire* ivi con probabilità p_r $(r,\ s = 1,\ 2,\ \ldots,\ n)$. Partendo da un punto iniziale (h), la probabilità di « morire » nel punto (s) è data da a'_{hs}/p_s, ove con a' si indichino gli elementi della matrice inversa (vedi fig. 4).

Sperimentalmente si possono determinare le frequenze di *morti* nei diversi punti partendo da un punto dato, e moltiplicando per i p_r si hanno gli elementi della matrice inversa. Il metodo è stato applicato con risultati soddisfacenti per la rapidità con cui fornisce risultati sia pure soltanto approssimati; si dice precisamente che con questo metodo il numero delle operazioni cresce soltanto come n^2 anzichè con n^3 (ma è da osservare che cresce come n il quantitativo di organi impegnati nella macchina, in quanto vengono in certo senso giocate n partite simultaneamente); per il gran numero di organi adatti di cui dispone, fra le macchine standard, sembra particolarmente rispondente a tale uso la macchina statistica menzionata nel n. 2 ([34]).

15. Macchine e applicazioni speciali; macchine analogiche

Oltre ai compiti matematici di cui abbiamo cercato di dare un'idea, le calcolatrici elettroniche possono venir usate per altre applicazioni. È facile immaginare, ad es., come si possano escogitare svariati metodi per codificare e decodificare messaggi cifrati. Più sorprendente apparirà il progetto di studiare la possibilità di ottenerne traduzioni da lingue straniere, sia limitandosi in un primo stadio a una rozza sostituzione letterale di termini (sufficiente comunque al lettore di una pubblicazione scientifica in lingua a lui ignota), sia cercando le forme realizzabili di miglioramento in fatto di riordinamento di parole nelle proposizioni ecc.; ciò è allo studio con la SWAC (per tedesco-inglese ([34a])). Maggiore adattabilità a compiti del genere ha poi la UNIVAC, studiata per l'elaborazione di dati anche alfabetici e particolarmente per lavori del censimento.

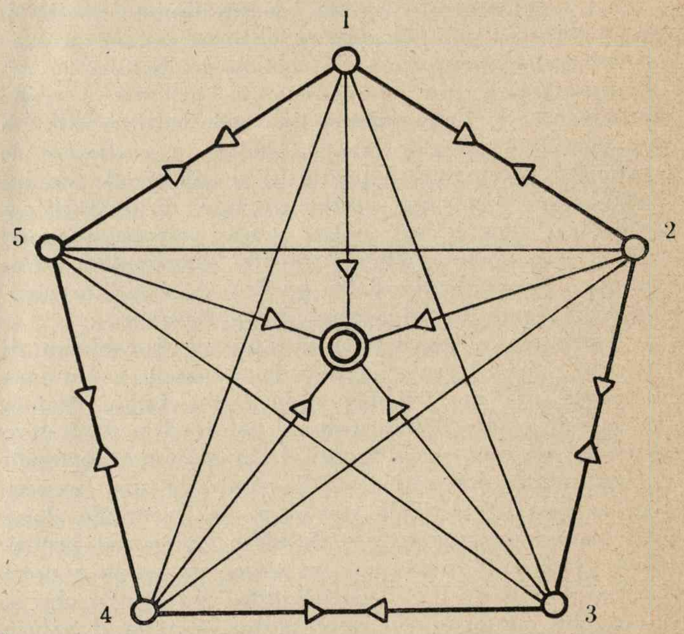
Abbiamo parlato finora delle grandi macchine elettroniche, le « General Purpose Machines », ma, come detto nel n. 2, vi sono anche macchine minori e soprattutto meno flessibili, costruite espressamente per un unico tipo di calcoli o lavori. Il problema particolare per cui più spesso sono state progettate o costruite macchine specifiche è quello dei sistemi di equazioni lineari, specialmente coi metodi d'iterazione. Una memoria vasta ma a struttura periodica può rendere particolarmente efficiente una macchina espressamente costruita a tale scopo.

Ricordando il procedimento di Gauss-Seidel (numero 12), è chiaro, ad es., che risponderebbe allo scopo una registrazione su nastro chiuso ad anello degli n^2 coefficenti (in n^2+n posizioni, con n vuote " = ") nell'ordine qui indicato (per semplicità, per $n=3$):

$$a_{11}\ a_{12}\ a_{13} = a_{22}\ a_{23}\ a_{21} = a_{33}\ a_{31}\ a_{32} \quad \text{(e daccapo)}$$

che, ruotando insieme ad altra di $n+1$ posti coi valori approssimati via via ottenuti per le incognite (ad ogni giro iscrivendo il nuovo valore e cancellando il precedente), darebbe rispettivamente come segue

$$x'_1\ x'_2\ x'_3\ x''_1\ x'_2\ x'_3\ x''_1\ x''_2\ x'_3\ x''_1\ x''_2\ x''_3$$



4 Schema di « passeggiata a caso » per l'inversione di una matrice col metodo di Montecarlo.

([34]) Sul Metodo Monte Carlo per equazioni differenziali, si vedano: JOHN H. CURTISS: *Sampling Methods Applied to Differential and Difference Equations*, « Seminar on Scient. Comput., Nov. 1949 », IBM, 1950; MARK KAC and M. D. DONSKER: *The Monte Carlo Method and Its Applications*, « Comp. Sem., Dec. 1949 », IBM, 1951; e altre comunicaz. nelle riun. IBM; N. METROPOLIS and. S. ULAM: *The Monte Carlo Method*, « J. Amer, Stat. Ass. », 1949; diversi lavori di W. Wasow, R. Fortet, J. Todd., ecc. Per le « passeggiate a caso », cfr. anche l'ampia bibliografia nell'ambito del calcolo delle probabilità (dai primi lavori di Polya, al recente trattato di Feller).

Sul Metodo Monte Carlo per l'inversione di matrici: G. E. FORSYTHE and. R. A. LEIBLER: *Matrix Inversion by a Monte Carlo Method*, « Math. Tables Aid Comp. », 1950; ASCHER OPLER: *Monte Carlo Matrix Calculation with Punched Card Machines*, ibid., 1951.

([34a]) Per gli ingegnosi metodi di traduzione automatica incluso il riordinamento della parola in un periodo cfr. W. A. OSWALD e S. L. FLETCHER, *Proposal for the Mathematical resolution of German Syntax Patterns*, « Modern Language Forum », 36, 3-4.

la sostituzione completa di una serie di valori x' con i nuovi x'' nel corso di n cicli.

Il problema è di sapere se tali particolari adattamenti a un solo problema e l'economia nel costo compensano l'incapacità per altre applicazioni ([35]).

Le macchine analogiche sono pur esse, in un certo senso, da considerarsi macchine per scopi speciali, dato che sono particolarmente atte a trattare equazioni e sistemi d'equazioni differenziali ordinarie. Tale specifica abilità è però tanto grande che, avendo bisogno di una funzione quale, ad es., il seno, essa trova più semplice costruirsi da sè seno e coseno come le funzioni u e v tali che $u' = v$, $v' = -u$ coi valori iniziali $u = 0$ e $v = 1$, anzichè leggerle pronte. Per prenderle pronte, come per ogni lettura, dovrebbe leggerne un diagramma; ciò viene effettivamente attuato quando si tratta di funzioni date empiricamente, e la lettura avviene con sorprendente automaticità mediante un occhio luminoso che segue la linea, avvertito da cellule fotoelettriche di centrarsi se se ne sposta. Anche i risultati sono forniti sotto forma di diagrammi. Problemi come quelli della ricerca di autovalori sono risolti per tentativi, costruendo diagrammi per diversi valori del parametro finchè si giunge a soddisfare le volute condizioni al contorno (analogamente alle traiettorie dei tiri per inquadrare l'obbiettivo e poi centrarlo).

16. Prospettive del calcolo meccanico in Italia

Una domanda che sarà venuta spontanea al lettore è certamente la seguente: e l'Italia? non c'è interesse per l'argomento tra noi? oppure la spesa è proibitiva?

Anche il citato articolo di Mandò terminava ponendosi questa questione, ed esprimendo il timore che « dopo aver assistito all'esodo dei fisici verso il paese dei " ciclotroni ", " betatroni ", ecc., non ci tocchi anche ad assistere all'esodo dei matematici verso il paese delle calcolatrici elettroniche ».

Ciò sarebbe tanto più deprecabile in quanto l'Italia, che nel campo della matematica pura ebbe sempre una posizione di primo piano, si è andata affermando solidamente anche nel campo delle applicazioni tecniche e numeriche del calcolo specie in seguito alla istituzione dell'INAC (Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo) ad opera di M. Picone (dapprima presso l'Università di Napoli, poi a Roma sotto l'egida del Consiglio Nazionale delle Ricerche).

La più significativa riprova del grande prestigio che l'INAC si è guadagnato in un venticinquennio di intensa attività, si è avuta recentemente (novembre 1951) quando, concretatasi l'iniziativa dell'UNESCO di creare un Centro Internazionale di Calcolo Matematico, la scelta della sede è caduta su Roma in seguito a un vaglio accurato, da parte di autorevoli esperti e delegati di varie nazioni, dei titoli e delle condizioni presentati da diversi paesi. Il nuovo Centro, che avrà sede, come l'INAC, presso il Consiglio Nazionale delle Ricerche, ha nelle sue finalità non solo lo sviluppo delle applicazioni numeriche della matematica per mezzo del calcolo meccanico, ma anche lo studio dei problemi riguardanti il progresso nel campo delle calcolatrici, dal punto di vista concettuale e tecnico, e in particolare la preparazione di specialisti in tale campo (il cui numero appare insufficiente in America ove sono molti, e in Europa mancano quasi del tutto).

È prevedibile quindi che gli strumenti di calcolo elettronico e le possibilità di coltivarne lo studio cesseranno presto di essere tra noi quasi un mito, ed è da auspicare che questa prospettiva contribuisca ad agevolare e affrettare l'adeguamento dei mezzi meccanici dell'INAC, cui sempre competerà di occuparsi delle applicazioni di natura particolare o riservata per conto di industrie e di enti (attività esclusa dalle attribuzioni del Centro), e di affiancare nel modo più stretto le ricerche dei matematici italiani (mentre il Centro servirà naturalmente un po' tutti i paesi aderenti). È già decisa e prossima l'installazione presso l'INAC di un impianto a schede perforate, ed è da tempo in esame il progetto più avanzato, di dotarlo di una calcolatrice elettronica.

La spesa è certamente forte: il dato di riferimento più recente è il prezzo della UNIVAC, di 600.000 dollari. La maggior parte del costo è però costituita dal lavoro di montaggio ecc.; potendolo eseguire in Italia (dopo che qualche elemento idoneo avrà completato un periodo di specializzazione negli U.S.A.) la cifra scende molto e per tal parte non incide sulla bilancia dei pagamenti. Un motivo di perplessità, oltre alla elevatezza del prezzo, era inoltre costituito dal timore di prossimi ulteriori rapidi progressi che avrebbero fatto rapidamente invecchiare la macchina. Effettivamente, nella fase dei « pionieri », solo i paesi più ricchi possono partecipare alla gara, e non quelli per cui uno sforzo notevole non riuscirebbe ripetibile a breve scadenza. Ma il periodo degli inizi si può considerare superato, nè si può attendere che il progresso raggiunga un'inesistente ultima mèta. Non si può seguire l'esempio del pirandelliano villaggio di Milocca ([36]), privo d'illuminazione perchè « ogni amministrazione che avesse veramente a cuore il decoro del paese e il bene dei cittadini doveva stare in guardia dalle sorprese continue della scienza », e su ogni progetto veniva posta la sospensiva « in vista dei nuovi studi e delle nuove scoperte che avrebbero finalmente dato la luce al paese di Milocca ». Arriva un momento in cui un ulteriore indugio rischia di far perdere il contatto con chi fa il battistrada sulla via del progresso: tale momento è forse giunto, o almeno è vicino. Il rischio di rimanere tagliati fuori, sia pure sotto un aspetto particolare, dalle posizioni di avanguardia nella matematica applicata (che esige pur sempre mezzi materiali tanto meno ingenti di altre scienze), è peggiore di quello derivante dalla possibilità di accorgersi che un ritardo avrebbe aperto soluzioni più convenienti. Sia, quindi, consentito di chiudere con l'augurio che il problema di dotare l'INAC di una calcolatrice elettronica possa trovare prossimamente la via verso la soluzione.

([35]) Una macchina del genere dev'essere il « Fairchild Linear Equation Solver » della cui applicazione alla determinazione di un potenziale ha riferito C. L. PERRY al Meeting di Washington dell'Ass. Comp. Mach., 1950.

([36]) L. PIRANDELLO: *Le sorprese della Scienza*, « Novelle per un anno », vol. I, p. 673, Mondadori, 1937.

Appendice illustrata

Nella presente appendice sono brevemente descritte alcune tra le principali macchine calcolatrici, e precisamente, di massima, quelle che l'A. aveva avuto maggior agio di conoscere sul posto. Le descrizioni e le illustrazioni hanno in primo luogo lo scopo di fornire al lettore immagini e fatti concreti per aiutarlo a dar corpo e vita e punti d'appoggio alle nozioni esposte nel testo che invece, lasciate a sè, rimarrebbero nel limbo delle impressioni e reminiscenze troppo vaghe ed astratte per attecchire e consolidarsi in utile conoscenza.

Nello stesso tempo, alcune parti di descrizioni, ed alcune illustrazioni con le relative didascalie, hanno lo scopo di integrare da un punto di vista più concreto e pratico (e talvolta un po' anche tecnico) le spiegazioni su taluni dispositivi, limitate nel testo a cenni sommari per non interrompere il filo generale dell'esposizione e per non renderla meno accessibile al pubblico cui vuole dirigersi.

L'ordine del materiale illustrativo è ispirato al primo scopo: a quello di evocare un'immagine concreta di alcune macchine. Perciò sono raggruppate di seguito le figure relative alla medesima macchina, a scapito della seconda finalità che poteva suggerire un ordine basato sulla successione logica degli argomenti. Per facilitare la consultazione in entrambi i sensi, ecco comunque un'elencazione delle figure relative ad alcuni argomenti per la cui comprensione uno sguardo alle illustrazioni e la lettura delle rispettive didascalie può riuscire particolarmente utile: per i *relé*, figg. 1-2; per i *contatori elettronici*, figg. 4-6 e 10; per la *memoria* a linee di ritardo e a tubi di Williams, risp. figg. 17-19 e figg. 20-24.

L'ordine di presentazione delle macchine segue un criterio didattico-cronologico. La SIMON, 1950, è una piccola macchina portatile a scopo didattico, costruita da E. C. Berkeley (New York). La SSEC, 1947 (Selective Sequence Electronic Calculator), costruita dalla I. B.M. (International Business Machines Corp.) è la macchina più grande e la più recente fra quelle anteriori all'adozione di nuovi sistemi in sostituzione dei tubi elettronici per la memoria, delle schede perforate per i dati, ecc. La C.P.C., 1950, (Card Programmed Computer) è un complesso di macchine standard della stessa Ditta, che porta all'utilizzazione su scala industriale di concetti analoghi. La SEAC e la SWAC, 1950, (Standards Eastern Automatic Computer, risp. St. Western A.C.) sono due macchine costruite dal National Bureau of Standards sfruttando i più progrediti mezzi disponibili con finalità prevalente di applicazioni di alta matematica. La macchina di prossima inaugurazione, costruita allo Institute for Advanced Study, dovrebbe rappresentare un ulteriore perfezionamento nella medesima direzione. La UNIVAC, 1951, (Universal Automatic Computer), costruita dalla Eckert-Mauchly Computer Corp. (sussidiaria della Remington Rand), altrettanto modernamente concepita, si distingue per esser particolarmente studiata per applicazioni di carattere organizzativo (come spoglio ed elaborazione di dati statistici, contabili, ecc.).

Per il materiale illustrativo e per le recentissime informazioni (avute per lettera o da copie di rapporti tecnici, opuscoli, articoli di giornali e riviste) utilizzate nella compilazione della presente appendice (oltre che per spiegazioni avute sul posto), devo rivolgere ringraziamenti particolarmente sentiti alle seguenti persone:

E. C. Berkeley and Associates, New York, e Fred Shunaman di « Radio Electronics », New York;

G. Vuccino, Dir. della I.B.M. Italia, Milano; W. J. Eckert e C.C. Hurd della I.B.M., New York;

F. L. Alt e J. D. Edgerton del National Bureau of Standards, Washington;

W. Wasow dello Inst. for Numerical Analysis, Los Angeles;

H. H. Goldstine dello Inst. for Adv. Study, Princeton, New Jersey;

R. F. Shaw dell'Electronic Computer Corp., New York; J. D. Chapline della Eckert-Mauchly Computer Corp., Philadelphia, e T. R. Cott della Remington Rand Inc., New York.

1 SIMON. Come si vede è una piccola macchina portatile (circa: cm. 60×40×15, peso kg. 20, costo 600 $), ed ha scopi di dimostrazione didattica. Dato tale suo carattere, ha capacità estremamente limitata (due cifre binarie: opera quindi sui soli numeri 1, 2, 3, e 4≡0, ossia nell'algebra « modulo 4 »), ma le possibilità di memoria e di programmazione sono adeguate al fine di illustrare efficacemente le corrispondenti possibilità delle grandi calcolatrici.

simon

Costruita da Edmund C. Berkeley and Associates, New York (1950)

La SIMON è una piccola macchina portatile (pesa circa 20 kg.) costruita espressamente per finalità didattiche, ed esibita in diverse località (New York, Boston, Seattle, Detroit, Washington...). E. C. Berkeley and Associates offrono corsi regolari o assistenza individuale in studi di Logica simbolica e Macchine calcolatrici, per principianti e per provetti.

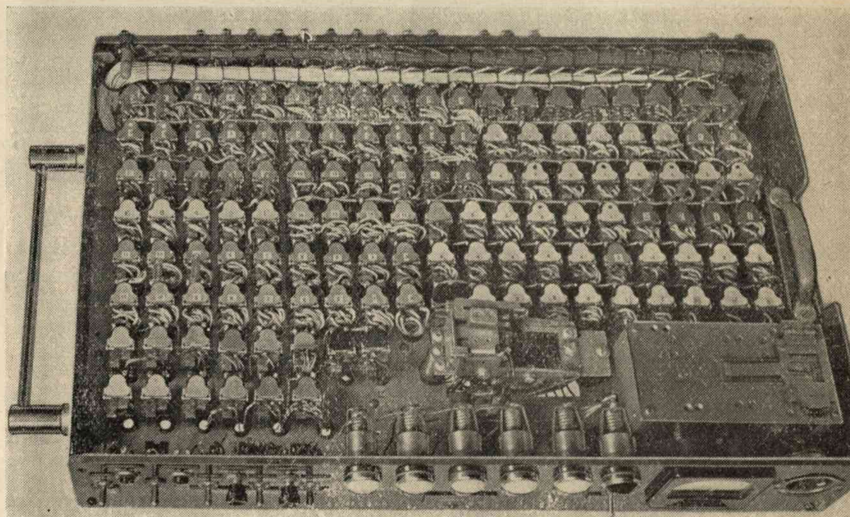
Una descrizione della macchina si trova in:

E. C. Berkeley, *Simple SIMON*, « Scientific American », Oct. 1950.

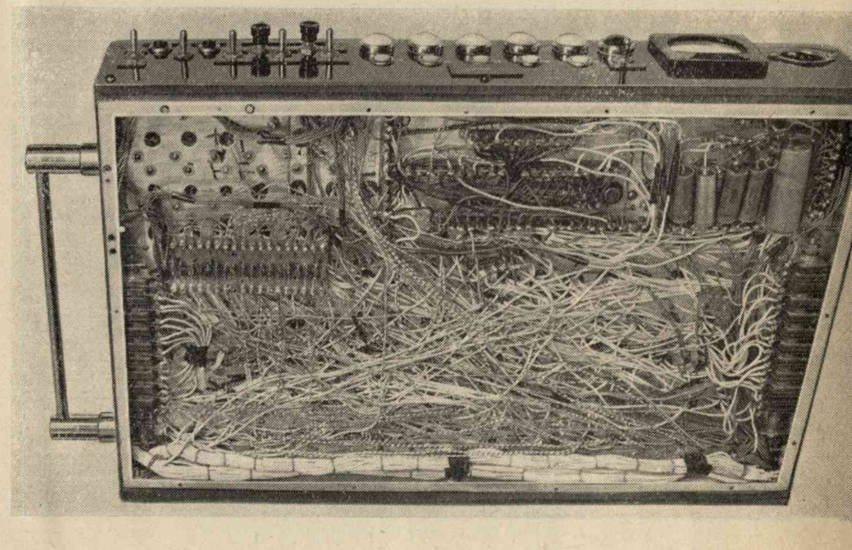
Si tratta di una macchina a relais, come si vede particolarmente nella fig. 2. I relais sono lo strumento più classico per aprire e chiudere circuiti in dipendenza di determinati comandi; su di essi si basa per la massima parte la tecnica dei principali dispositivi nelle macchine elettriche a schede perforate (insieme a contatti stabiliti da camme, quando dipendono solo dalla « fase » della macchina e non dalla situazione di altri circuiti). Anche le prime macchine automatiche a successione comandabile funzionano a relais (e così la più vicina a noi: quella del Politecnico di Zurigo). Il relé è un organo tuttora utile (per la robustezza, specialmente per la possibilità di comandare simultaneamente numerosi circuiti), ma solo dove non è richiesta una velocità estrema; nelle funzioni più essenziali è ora sostituito da tubi elettronici o altri organi rapidi (senza movimento di masse), che però in compenso richiedono l'ausilio di amplificatori data la debolezza dei segnali (impulsi elettrici) forniti direttamente.

Più che guardando i relé, allineati sulla faccia superiore della macchina mostrata nelle figg. 1 e 2, un'idea adeguata seppure, naturalmente, confusa della complessità delle loro funzioni si può avere guardando, sulla faccia opposta mostrata dalla fig. 3, il viluppo dei fili che li collegano. Ad ogni relé, fanno capo almeno quattro fili: due alla bobina (circuito che eccita il relè quando è percorso dalla corrente) e due al contatto che si apre o chiude quando l'armatura viene attratta (circuito per interrompere il quale si usa il relé). Normalmente i fili sono più di quattro, sia perchè la bobina può venir eccitata (o mantenuta eccitata) da più circuiti (e con avvolgimento in senso concorde o discorde di modo che gli effetti si sommino o si elidano), sia perchè i circuiti da interrompere con un medesimo relé possono essere più d'uno, e invece che semplice interruzione può aversi scambio (inviando un impulso all'una o all'altra di due destinazioni diverse, o, viceversa, collegando due diverse linee di provenienza a una medesima destinazione). Ciò spiega il grande viluppo di fili nella piccola SIMON, e quello ben maggiore che si ha nelle macchine elettriche a schede perforate, e (enormemente più ancora) nelle grandi calcolatrici (elettroniche o a relé) a successione comandabile.

2 SIMON. È una macchina a relé (120 relé): qui si vedono bene i relé. Dati e istruzioni vengono immessi a mano o mediante nastro perforato col dispositivo di telescrivente (in basso, a destra). I risultati sono forniti dall'accensione delle lampadine (sul davanti).



3 SIMON. E qui (sulla faccia opposta) si vede bene il viluppo dei fili che collega i relé (e gli altri organi).



ssec

selective sequence electronic calculator

Costruita dalla I. B. M. (International Business Machines Corp.), Endicott, New York. Inaugurata il 27 gennaio 1948. Situata nella sede della I.B.M., New York, N. Y.

La ditta I.B.M., come è noto, costruisce e noleggia in tutto il mondo macchine elettriche a schede perforate in cui da tempo la maggior parte dei comandi ed alcune funzioni aritmetiche hanno luogo (anzichè meccanicamente: con ingranaggi, leve, ecc.) ad opera di relé. Estendendo l'applicazione a funzioni aritmetiche dei relé, la I.B.M. costruì nel 1944 i Relay Calculators (per i laboratori balistici di Aberdeen) e la prima grande calcolatrice automatica, la IBM Automatic Sequence Controlled Calculator donata all'Università di Harvard (macchina generalmente nota come Mark I; il prof. H. H. Aiken, coinventore della Mark I, costruì in seguito ivi le Mark II (1947 a relé), e Mark III (1950, elettronica), mentre attualmente ha in costruzione la Mark IV.

L'impiego di apparecchiature basate su tubi elettronici in funzione di contatori fu dapprima impiegato dai fisici per ricerche sui raggi cosmici (il circuito di Bruno Rossi, 1930, è tuttora fondamentale per le calcolatrici elettroniche). Il suo avvento nel campo delle calcolatrici può farsi datare dal 1946, quando apparvero sia la prima grande calcolatrice elettronica, l'Eniac (di cui accenneremo ancora parlando della Univac), sia la prima calcolatrice standard per schede perforate a funzionamento elettronico (Calcolatrice « 604 » IBM).

La SSEC che qui presentiamo costituisce l'esempio più tipico delle grandi macchine del periodo susseguente all'impiego dei tubi elettronici, ma anteriore all'applicazione di ulteriori novità; del periodo, possiamo dire con sufficiente esattezza, in cui la tecnica era nelle grandi linee la stessa delle macchine elettriche a schede perforate salvo la sostituzione dei relé coi tubi elettronici dall'azione tanto più rapida.

Prima dell'ingresso alla grande sala che accoglie la SSEC, sono esposti alcuni pannelli dimostrativi che chiariscono il funzionamento dei tubi elettronici nell'unità aritmetica. Essi sono riprodotti nelle figg. 4, 5 e 6. Occorre premettere soltanto un cenno sul funzionamento di un tubo elettronico (triodo, normale valvola radio) spiegandolo nel modo più rudimentale che è anche il più adatto per intendere l'applicazione in oggetto nella sua essenza « logica » (resistenze, condensatori, amplificatori, ecc., interesserebbero per penetrare l'aspetto fisico o padroneggiare i dettagli tecnici, ma guasterebbero più che giovare quando si voglia cogliere l'essenziale dello schema di funzionamento riguardante le calcolatrici).

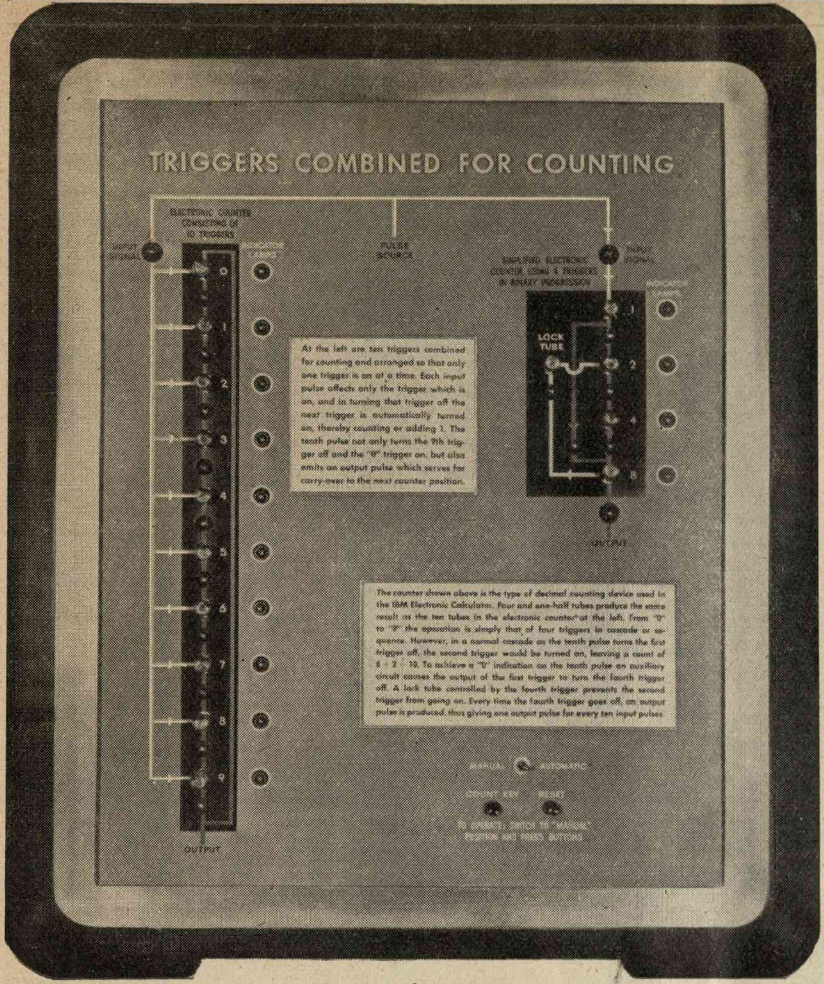
Si pensi dapprima che un tubo elettronico è semplicemente un interruttore: la corrente (di elettroni) può passare o non può passare dal catodo (o « filamento ») all'anodo (o « placca ») a seconda che la « griglia » interposta fra essi sia portata ad un potenziale sufficientemente positivo (allora favorisce infatti l'efflusso degli elettroni) o negativo (allora lo impedisce, respingendoli). E si pensi poi che un opportuno accoppiamento di due tubi (accoppiamento a « flip-flop »: la griglia di ciascun tubo è collegata alla placca dell'altro) permette di ottenere un organo suscettibile di due situazioni (o conduce un tubo o l'altro, mai entrambi o nessuno dei due), che passa dall'una all'altra ogni qual volta riceve un impulso, e che emette un impulso quando passa, p. es., dalla seconda alla prima. Abbiamo cioè un dispositivo che, di una successione di impulsi, ne lascia passare uno sì e uno no, alternativamente.

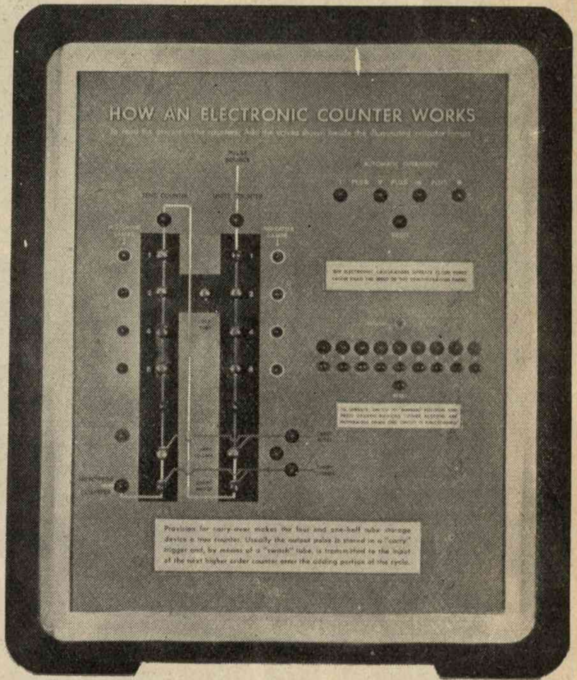
Il pannello della fig. 4 mostra come si possa, combinando dei flip-flop (o « triggers »), contare degli impulsi (fino a dieci); il secondo (fig. 5) illustra il passaggio delle decine, grazie al quale raddoppiando il dispositivo si giunge a contare fino a cento, e ripetendolo quante volte si vuole (come nel terzo pannello, figura 6) a contare fino a un numero di altrettante cifre. Le didascalie sotto ogni figura spiegano più in dettaglio il procedimento (le didascalie in inglese riprodotte nelle figure sono all'incirca equivalenti).

Ancora, brevemente, due osservazioni. Il sistema decimale (realizzato direttamente con 10 flip-flop: sez. sinistra del pannello in fig. 4) è usato ad es. nell'Eniac; quello decimale-binario (sez. destra ibid., e altri pannelli) è quello della SSEC; il sistema binario puro (SEAC, SWAC, ecc.) è ancor più semplice (basta immaginare dopo i tubi « 1 », « 2 », « 4 », « 8 » gli altri direttamente di seguito « 16 », « 32 », ecc., senza la specialità qui richiesta dal « 10 »). Per l'addizione (e, quindi, per le altre operazioni) basta mandare nelle rispettive posizioni tanti impulsi quante sono le unità, decine, centinaia, ecc., dell'addendo; ciò si può fare *in parallelo* (tutte le cifre simultaneamente, e poi tutti i riporti, come nelle usuali addizionatrici), oppure *in serie* (prima unità, poi riporto e decine, ecc., come nel calcolo a mano); nel secondo caso basta un contatore a una sola posizione usato a turno per le successive cifre (non è così nella SSEC, ma in macchine con memoria ciclica come a tubi di mercurio).

Ciò premesso, entriamo nella grande sala (m. 11 per 30 circa): la calcolatrice (v. fig. 7) consta dei tubi elettronici (12500) disposti sulle pareti laterali (a sin.: lettura, sequenza; a destra: unità aritmetica, memoria elettronica), dei macchinari entro la sala (per lettura dei dati da schede perforate, fig. 8; per registrare i risultati a stampa, fig. 12, o ancora su schede perforate, fig. 11; tavolo di comando e controllo, fig. 13), della memoria a striscie perforate (v. attrezzatura in fondo alla sala: rotolo che si svolge e successivi lacci; analogo, a destra, il dispositivo di lettura di tabelle di funzioni), della memoria a relé e altri organi che riempiono altre due pareti grandi come quella di fondo in altro locale dietro di essa.

Per qualche ulteriore dettaglio v. le didascalie delle illustrazioni; alcuni dati sulla capacità, velocità, ecc., sono raccolti, per utilità di comparazione, in una tabella riassuntiva a pag. 28.

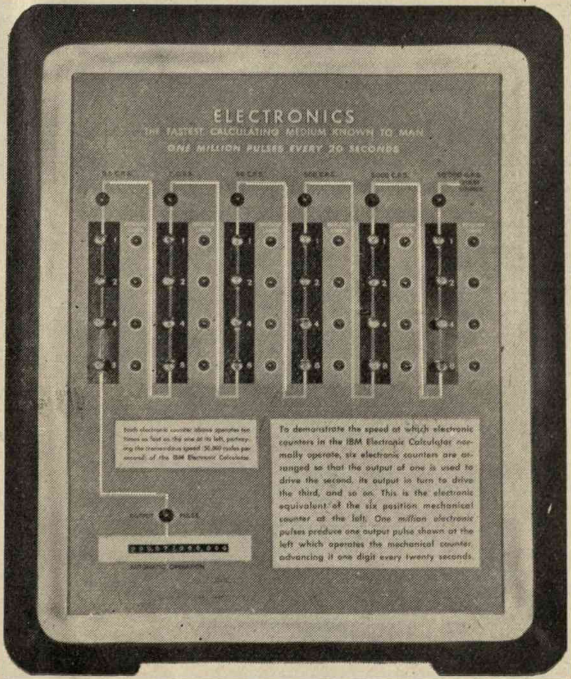


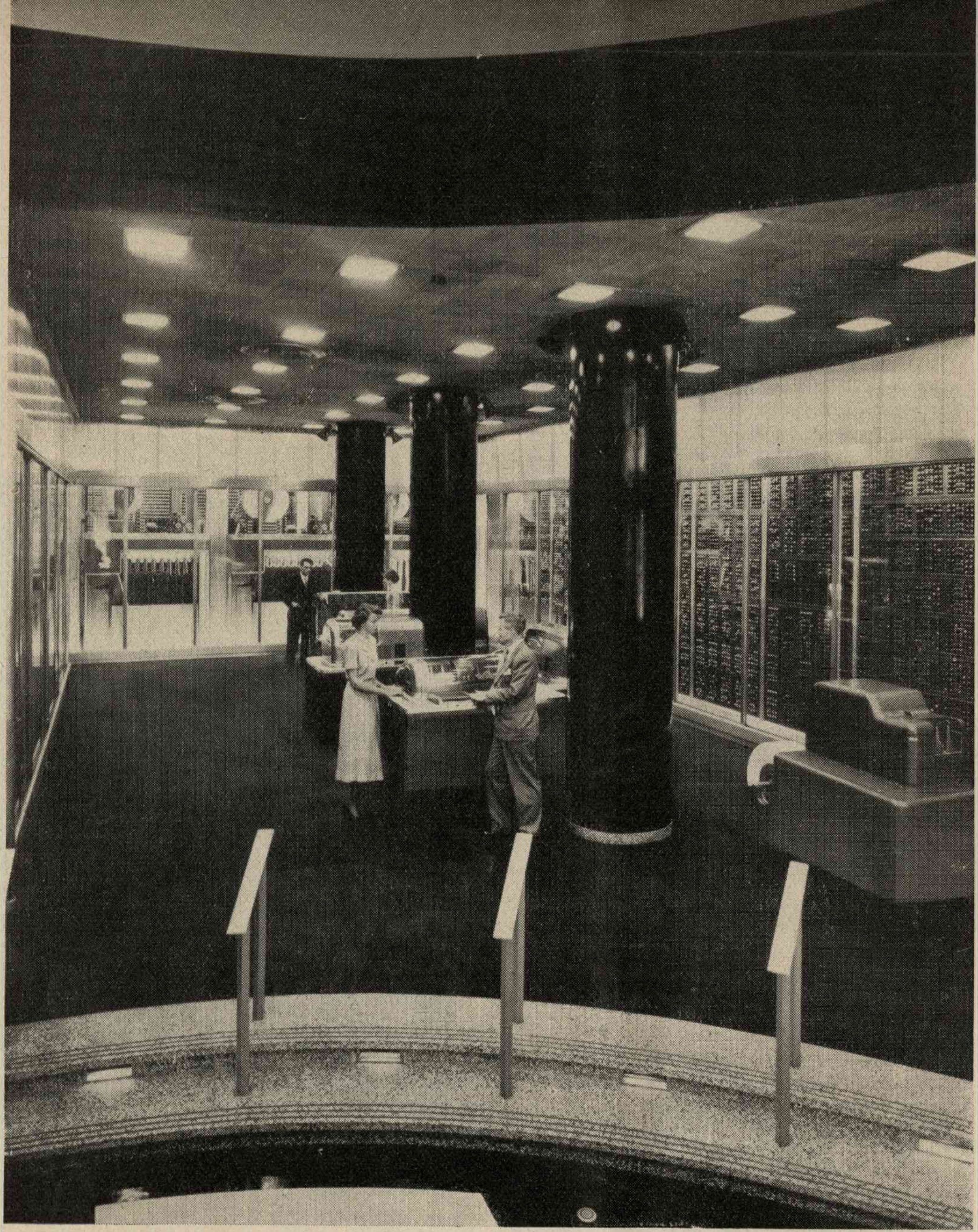


4 SSEC. Pannello dimostrativo dell'uso dei flip-flop al fine di « contare » (da 0 a 9). Vengono contati degli impulsi, emessi a intervalli regolari automaticamente oppure provocati a mano premendo un bottone, a seconda che si giri l'interruttore su « Automatic » o « Manual ». La sezione a sinistra illustra il metodo con 10 flip-flop: ogni impulso giunge al tubo acceso (indicato dall'accensione della lampadina-spia adiacente), lo spegne e fa accendere il successivo (dopo il 9 si torna a zero, e si ha emissione di un ulteriore impulso (« Output ») per il riporto). La sezione a destra illustra il metodo binario per l'indicazione delle cifre decimali. Il tubo « 1 » si accende o spegne ad ogni impulso, e nel secondo caso emette un impulso che va al tubo « 2 »; questo si comporta al medesimo modo, e quindi si accende o spegne ogni 2 impulsi ed emette un impulso che fa accendere o spegnere il tubo « 4 » ogni 4 impulsi. Continuando così indefinitamente si avrebbe (come in altre macchine) il sistema binario puro. Volendo ottenere la rappresentazione decimale, un dispositivo addizionale (« Lock Tube ») fa sì che, quando è acceso il tubo « 8 », il passaggio da « 1 » a « 2 » (che significa passaggio da 9 a 10!) provochi lo spegnimento di tutti i 4 tubi (ritorno a zero) e l'emissione dell'impulso di riporto.

5 SSEC. Continuazione della dimostrazione del precedente pannello (fig. 4), sezione destra. Qui si vede il medesimo dispositivo ripetuto due volte (per le cifre delle unità e delle decine): si può quindi vedere l'effetto degli impulsi di riporto, e contare fino a 99. Anche qui si può (Interruttore) far funzionare a mano (premendo uno dei 9 pulsanti si può veder sommare 1, o 2, o 3, ..., o 9) oppure automaticamente (velocità 1/12000 della SSEC).

6 SSEC. Continuazione della dimostrazione precedente (figg. 4 e 5): qui si hanno sei cifre decimali, per contare impulsi alla velocità effettiva della SSEC: 50.000 al secondo. Naturalmente l'occhio non può accorgersi del troppo rapido accendersi e spegnersi delle lampade delle unità, decine, centinaia; poi avverte un tremolio, le decine e centinaia di migliaia (1/5 di secondo, 2 secondi) si distinguono sempre meglio; ogni 20 secondi l'operazione di contare da 1 a un milione è completata, e l'impulso di Output fa addizionare 1.000.000 nel contatore meccanico che indica (di milione in milione) il numero delle pulsazioni della SSEC.

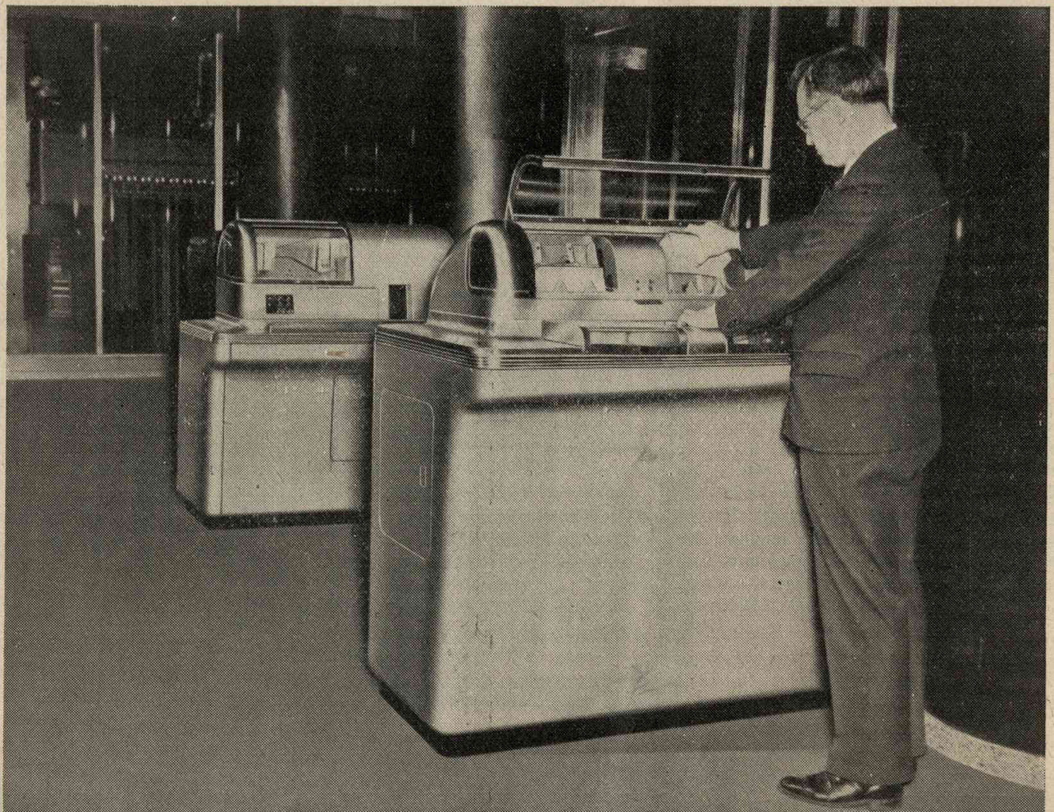




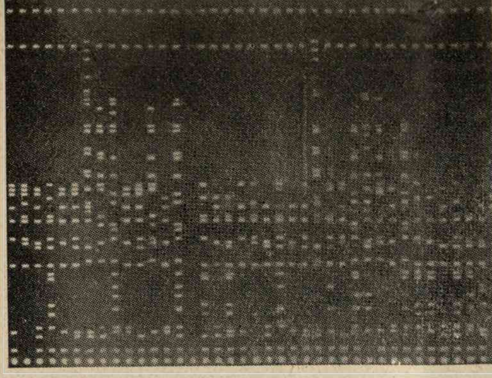
7

ssec

selective sequence electronic calculator



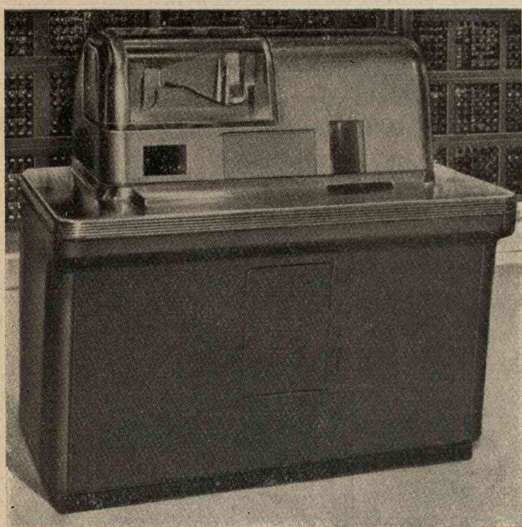
8



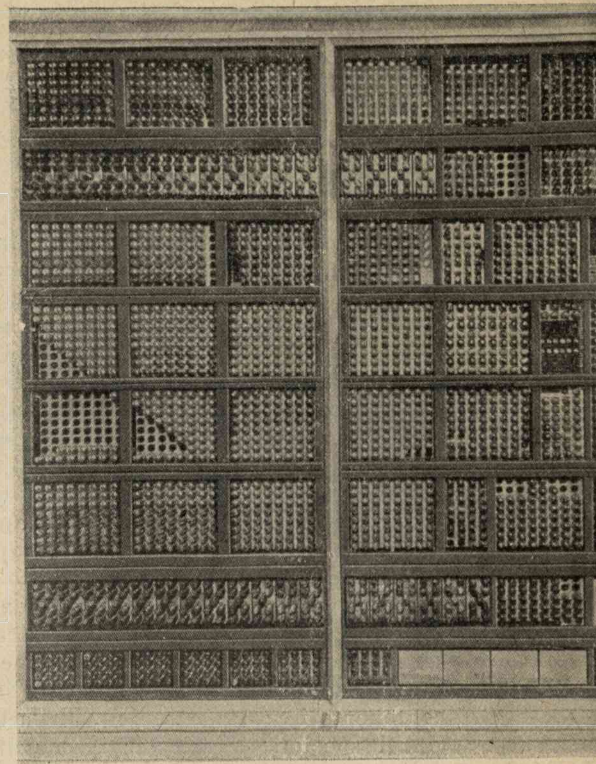
9

7 **SSEC.** Veduta della calcolatrice nella grande sala in cui è situata (e quale è visibile dalla vetrina sulla 57ª strada, angolo Madison Avenue, New York): è composta dai macchinari entro la sala e dai dispositivi lungo le pareti e altri dietro la parete di fondo.

8 **SSEC.** La macchina (a duplice serbatoio) per la lettura dei dati da schede perforate; complessivamente, velocità di lettura di 30.000 cifre al minuto. Le schede sono normali schede IBM a 80 colonne.



11



10

9 **SSEC.** La lettura di dati può anche avvenire da striscie perforate: una riga (nella figura: verticale) contiene 76 posizioni di perforazione, atte a rappresentare un numero di 19 cifre (per ogni cifra: 4 posizioni corrispondenti al codice binario) con segno + o — (2 posizioni). Le striscie possono essere preperforate (dati da elaborare, tavole di funzioni, risultati di calcoli anteriori) e continue oppure chiuse ad anello (cicliche). Oppure vengono perforate automaticamente per registrare risultati intermedi (apparati in fondo alla sala) da leggersi per successive utilizzazioni (ogni rotolo di cartoncino va a una posizione di perforazione e passa poi attraverso a fin 10 posizioni di lettura). Velocità complessiva di lettura, fino a 140.000 cifre al minuto.

10 **SSEC.** L'unità aritmetica eseguisce su scala più vasta le operazioni descritte esemplificativamente sui pannelli delle figg. 4 e 6. Ecco un settore dell'immensa parete tappezzata di tubi elettronici (in tutto 12.500).

11 **SSEC.** La registrazione dei risultati (oltre che sulle striscie perforate, v. fig. 9) può avvenire mediante perforazione di nuove schede in due macchine come la presente (insieme fino a 16.000 cifre al minuto).

12 **SSEC.** I risultati possono anche venir direttamente registrati a stampa mediante i due blocchi-stampa della presente macchina (velocità complessiva di 24.000 cifre al minuto).

13 **SSEC.** Il tavolo di comando (Console), con lampadine-spia indicanti quanto interessa seguire e controllare nella situazione della macchina, e interruttori e tasti per intervenire, all'occorrenza, a mano (per fermarla, inserire nuovi dati o istruzioni, ecc.).

12

13

cpc

card-programmed electronic calculator

Costruita in serie dalla I.B.M., Endicott, N. Y., dal 1950.

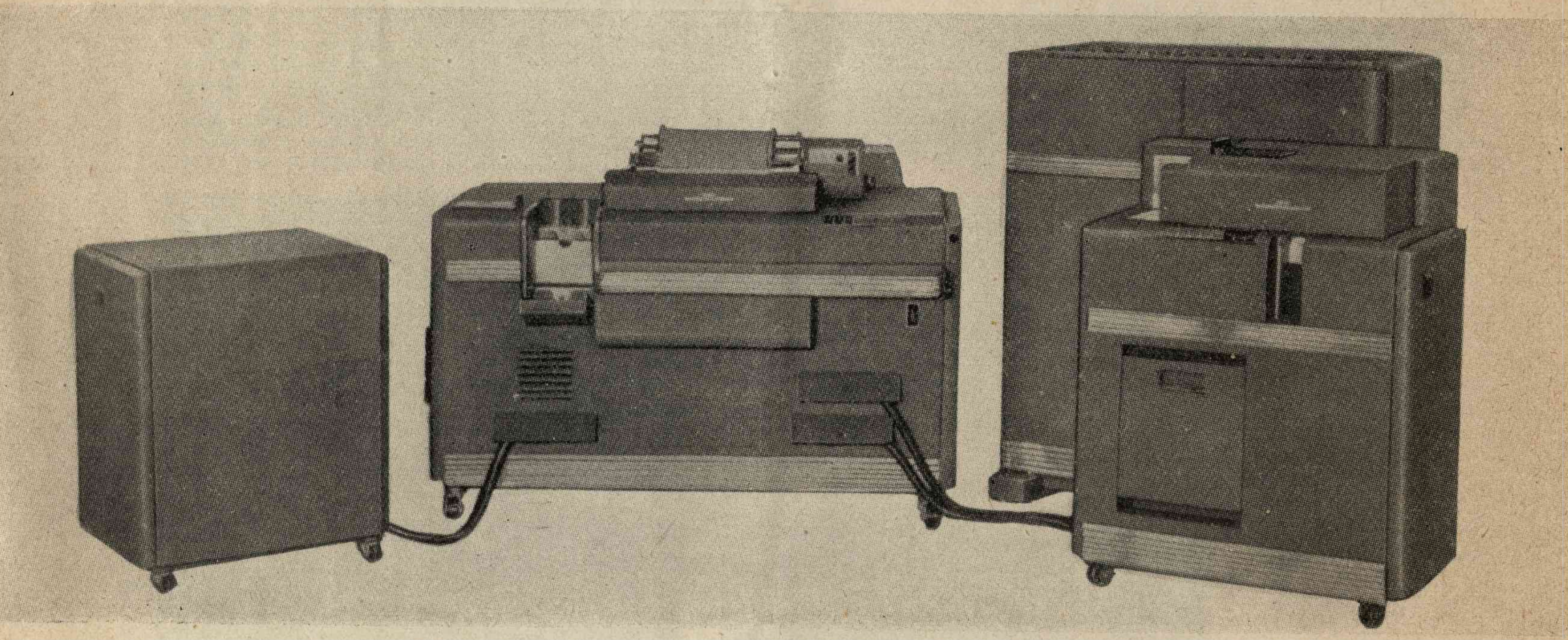
È un complesso di macchine, operanti come un tutto in collegamento tra loro, che per la prima volta mette a disposizione del pubblico la possibilità di eseguire (sia pure in iscala non comparabile a quella delle grandi calcolatrici) calcoli a velocità elettronica programmati secondo una successione comandabile di operazioni.

Il gruppo si compone (come si vede nella fig. 14) di quattro macchine. La macchina centrale è una tabulatrice, che serve per la lettura dei dati e delle istruzioni da schede perforate poste nel serbatoio d'alimentazione, e per la stampa dei risultati col blocco-stampa. Ad essa è collegata (a sinistra) un'unità ausiliaria di memoria capace di conservare per immediata utilizzazione in qualsiasi istante futuro 16 numeri di dieci cifre (oltre ai 6 conservabili nei contatori della tabulatrice). A destra è collegata la calcolatrice elettronica, formata dall'organo meccanico (che può anche perforare i risultati su schede) e da quello elettronico (stipo contenente i tubi elettronici). Nella tabulatrice sono aggiunti speciali organi per il comando della sequenza delle operazioni secondo i programmi e le istruzioni. Quando non si abbiano ad eseguire operazioni complesse richiedenti tali metodi di programmazione, il gruppo può essere diviso in tabulatrice e calcolatrice da usare indipendentemente l'una dall'altra nel modo usuale.

Nota: Per maggiori notizie sulla SSEC e la CPC, v. diverse pubblicazioni della IBM, tra cui: *IBM Selective Sequence Electronic Calculator*, 1948; *Electrons at work*, *Fundamentals of electronic calculation*, *Examples of electronic calculation*, 1950.

Ad applicazioni della CPC è stato dedicato pressochè completamente il seminario tenuto a Endicott, N. Y., nell'agosto 1951; vedi *Proc. Computation Seminar*, IBM, 1951.

Aggiungo che nel recente Meeting della Ass. Comp. Mach. a Pittsburgh, Pa. (2-3 maggio 1952) è stata presentata una nuova calcolatrice realizzata nei laboratori di ricerca della IBM a Poughkeepsie, N. Y.; per il momento non ho altre notizie che il titolo della comunicazione: N. Rochester, *The logical organization of the New IBM Scientific Calculator*.



14 CPC. È un gruppo di macchine IBM, costruite in serie, che, collegate, costituiscono la prima calcolatrice elettronica programmabile messa a disposizione del pubblico. Al centro la tabulatrice, a sinistra un'unità di memoria, a destra la calcolatrice elettronica (i tubi elettronici sono disposti nello stipo retrostante).

seac

standards eastern automatic computer

Costruita dal National Bureau of Standards, Washington, D. C. Inaugurata nel giugno 1950. Situata nella sede del N. B. of Standards, Washington. D. C.

La SEAC è stata costruita, nel 1949-50, con il proposito di conseguire tutti i vantaggi dei più recenti ritrovati, purchè sufficientemente sperimentati per garantire l'immediato impiego pratico della macchina, e di prevedere la possibilità di futuri perfezionamenti mediante aggiunta di nuovi organi. Si sono conseguite in tal modo insieme una maggiore velocità e una maggiore semplicità. È diminuito, ad es., il numero dei tubi elettronici: non ce n'è che 800 (contro 18000 della Eniac e 12500 della SSEC), e solo in funzione di amplificatori; nelle funzioni di interruttori e organi di contatori sono sostituiti da diodi di germanio (11000), come organi di memoria rapida da tubi di mercurio (linee di ritardo acustiche). L'unità aritmetica è del tipo « in serie » (opera su una cifra alla volta man mano che viene fornita dalla memoria a mercurio), ed usa integralmente il sistema binario, facendo significare « 1 » la presenza e « 0 » l'assenza di un impulso. La lettura dei dati avviene da una strisciolina perforata tipo telescrivente; i risultati vengono del pari perforati su una tale strisciolina oppure stampati da una macchina da scrivere (tipo telescrivente); sia nella perforazione che nella scrittura ogni gruppo di 4 cifre binarie consecutive viene « scritto » mediante una cifra in base 16 (cifre 0...9 e lettere A, B, C, D, E, F per 10...15).

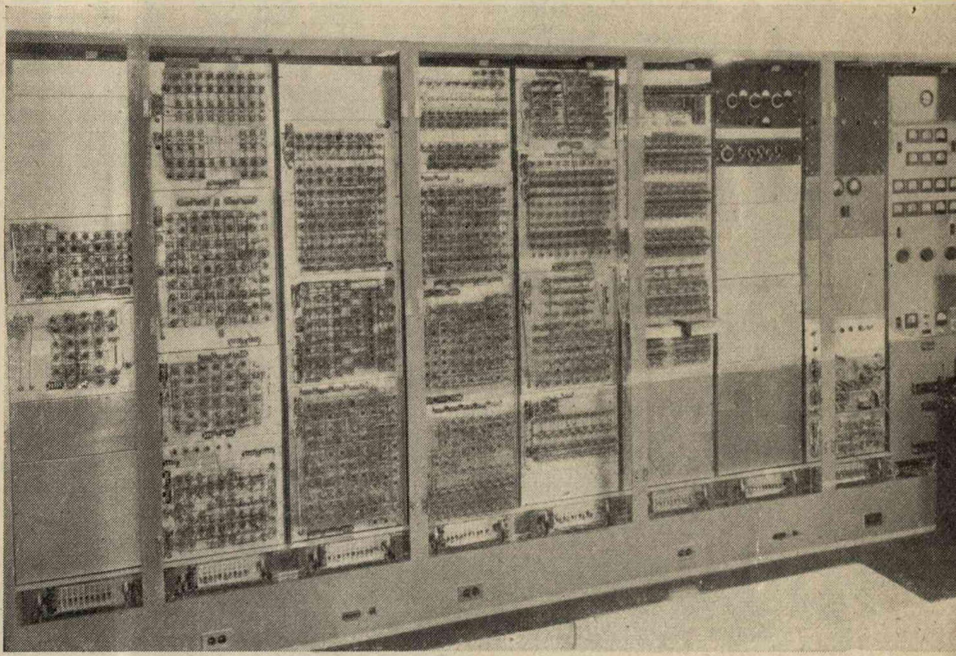
In base al programma di successivi sviluppi, sono stati aggiunti e messi in funzione nel 1951:

— un gruppo di 45 tubi di Williams per aumentare la capacità della memoria e la velocità di utilizzazione dei dati ivi conservati:

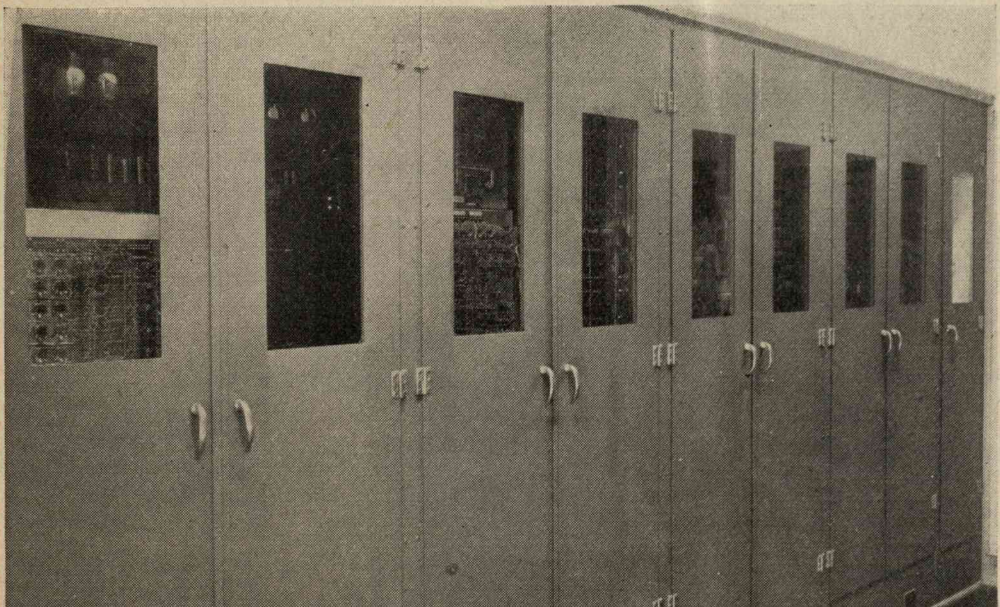
— un dispositivo a nastro magnetico, come memoria esterna e come mezzo rapido di lettura dei dati e registrazione dei risultati.

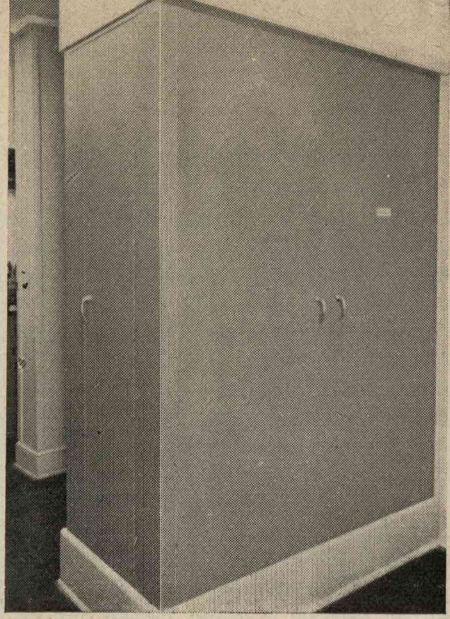
L'aumento di velocità consentito dall'applicazione del dispositivo a nastro magnetico appare chiaro quando si pensi che, nei casi in cui si doveva ricorrere come memoria esterna al nastro perforato di telescrivente, la macchina perdeva il 95% della sua velocità per leggere e scrivere i dati. Il dispositivo della SEAC è stato poi

15 **SEAC. Il complesso principale della macchina visto di fronte, tolti gli sportelli di protezione. L'unità aritmetica è nei settori centrali; a sinistra l'unità di controllo; a destra generatori d'impulsi e organi relativi alla lettura di dati e registrazione di risultati. All'estrema destra è visibile in parte la macchinetta che legge i nastri di telescrivente.**



16 **SEAC. Veduta posteriore, con sportelli; attraverso i finestrini s'intravvedono alcuni organi.**





studiato in modo da evitare complessi e costosi servomeccanismi per comandare l'avanzamento, l'arresto, l'inversione di moto, del nastro magnetico agendo sui rocchetti su cui usualmente è avvolto; qui invece lo si mantiene allentato per non avere inerzia, e se ne ottiene l'istantaneo trascinamento in un verso o nell'altro premendolo contro l'una o l'altra di due ruote continuamente in rotazione.

Le illustrazioni danno: le prime una veduta d'insieme della macchina, davanti e dietro (figg. 15 e 16), le tre successive un'idea della memoria a linee di ritardo a mercurio (figg. 17-19), e le tre ultime di quella a tubi di Williams (figg. 20-22).

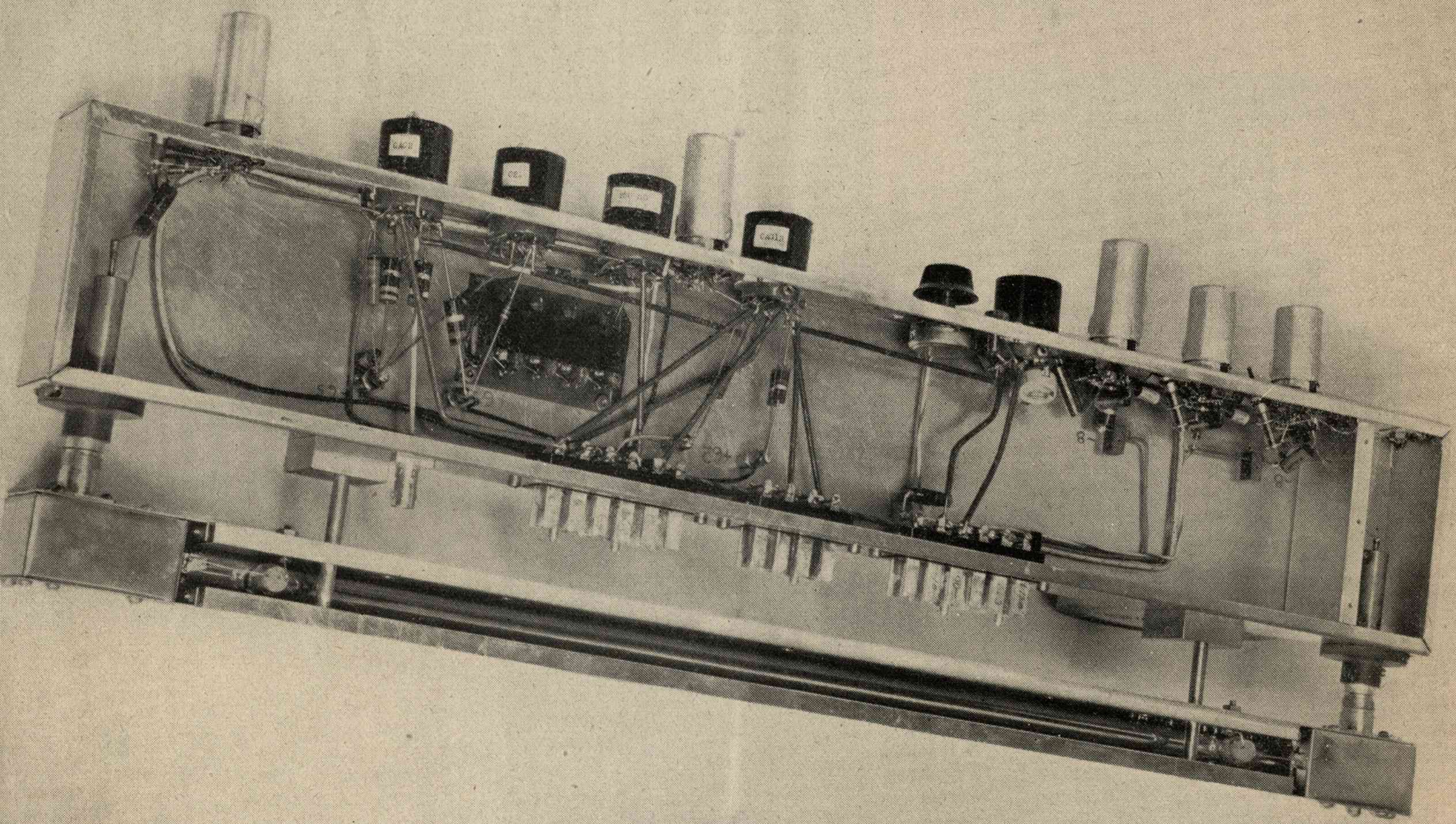
Maggiori notizie, sia di natura tecnica, sia sulle applicazioni eseguite, ecc., si trovano in diversi rapporti tecnici dello N.B.S. pubblicati in genere nello « N.B.S. Technical News Bulletin ».

seac

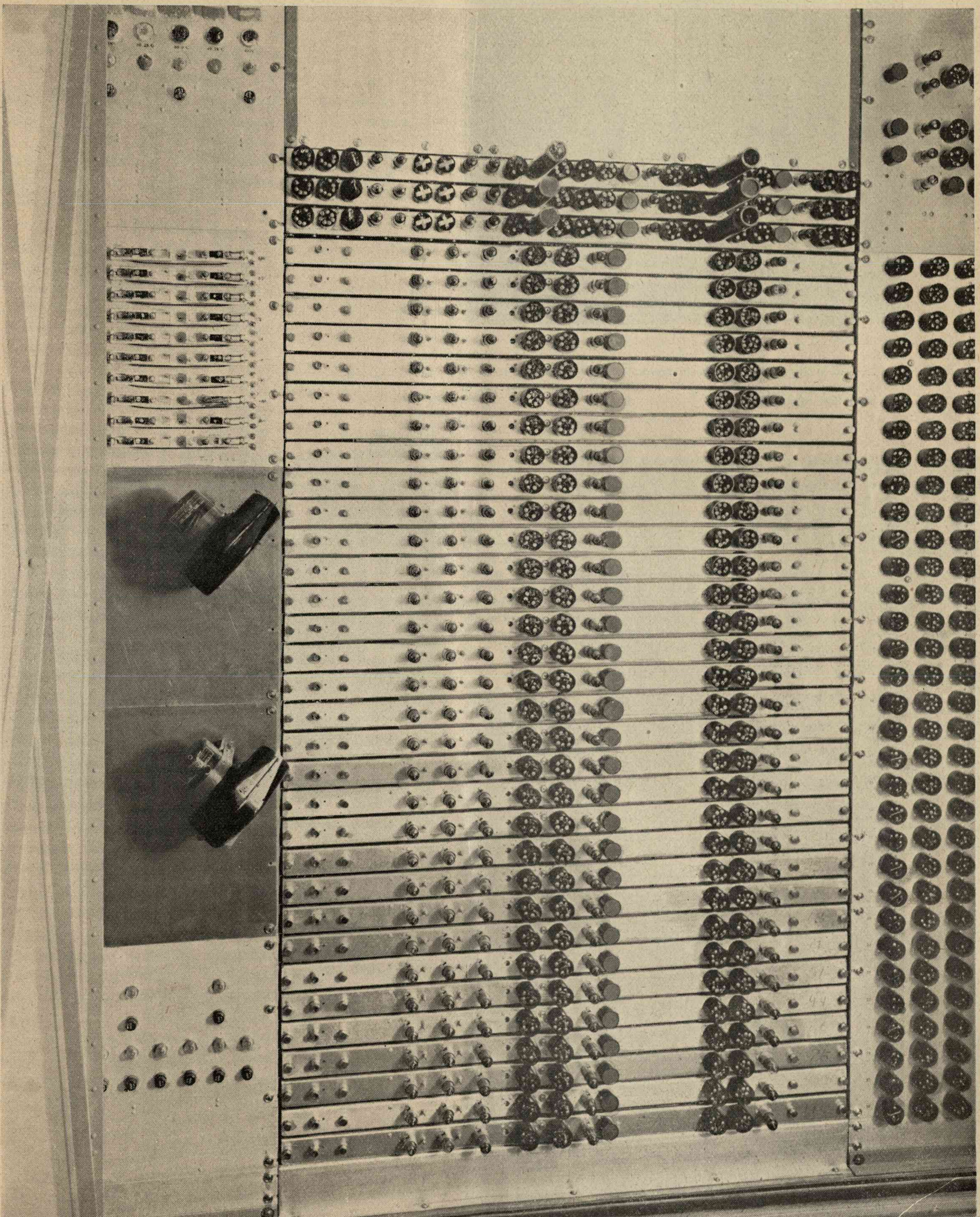
standards eastern automatic computer

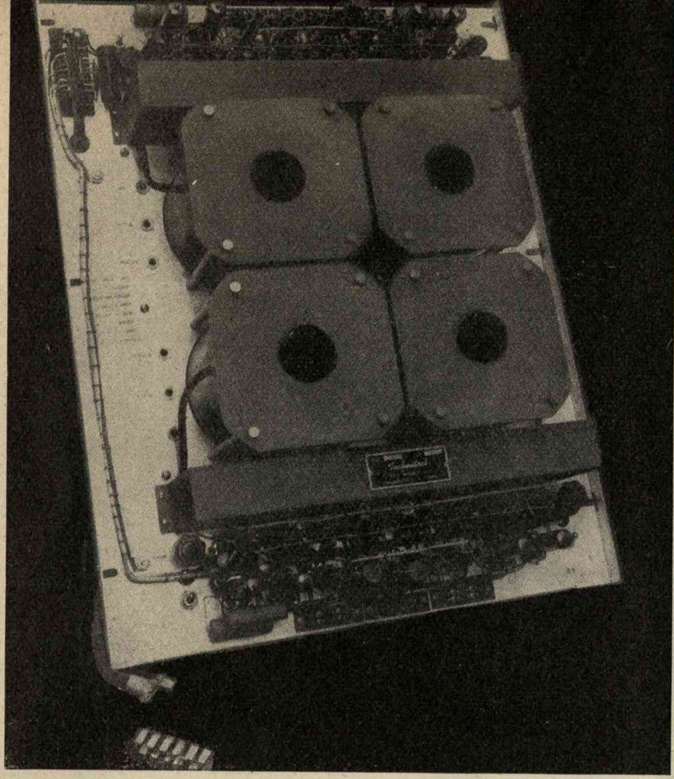
17 SEAC. In questo armadio è racchiusa la memoria a linee di ritardo a mercurio. Quivi sono contenuti 64 tubi di mercurio (v. fig. 18), in due gruppi di 32 ciascuno, di cui uno è mostrato nella fig. 19. La capacità totale di questa memoria è di 512 « parole » (così intendendo un gruppo di 45 segni 0 o 1 significanti un numero di 44 cifre binarie — 11 cifre in base 16 — con segno + o —), e cioè 8 (pari a 360 segni) per tubo; il tempo di accesso è di 168 microsecondi (circa 1/6 di millesimo di secondo).

18 SEAC. Ecco uno dei tubi di mercurio (in basso) col relativo equipaggiamento elettronico per immissione, rigenerazione, ed estrazione dei dati. Per la spiegazione del funzionamento, v. nel testo il n. 6. Il tubo di mercurio sta in un involucro d'alluminio che deve conservare la temperatura di 50° (± 1/4°) C (affinchè la velocità del suono non varii); nelle scatole alle estremità stanno i cristalli di quarzo piezoelettrico.



19 SEAC. Veduta di metà del complesso della memoria a linee di ritardo acustiche. 32 di tali dispositivi, sovrapposti, si vedono qui dalla parte non del tubo di mercurio, ma degli amplificatori di ricircolazione. In alto, tre generatori di selezione, i quali, quando ricevono il comando dall'unità di controllo, individuano il tubo a mercurio voluto e lo connettono ai circuiti d'accesso (a destra).



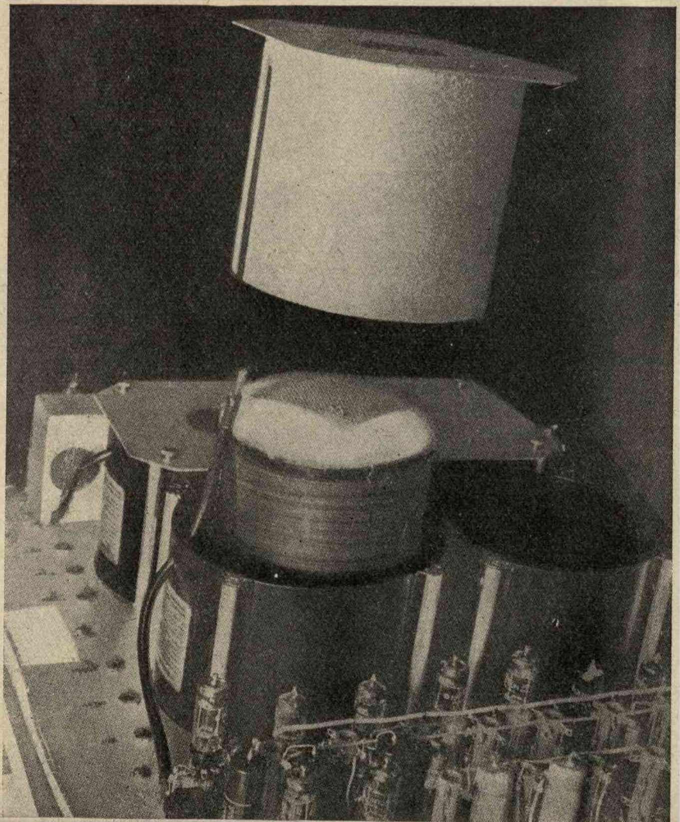


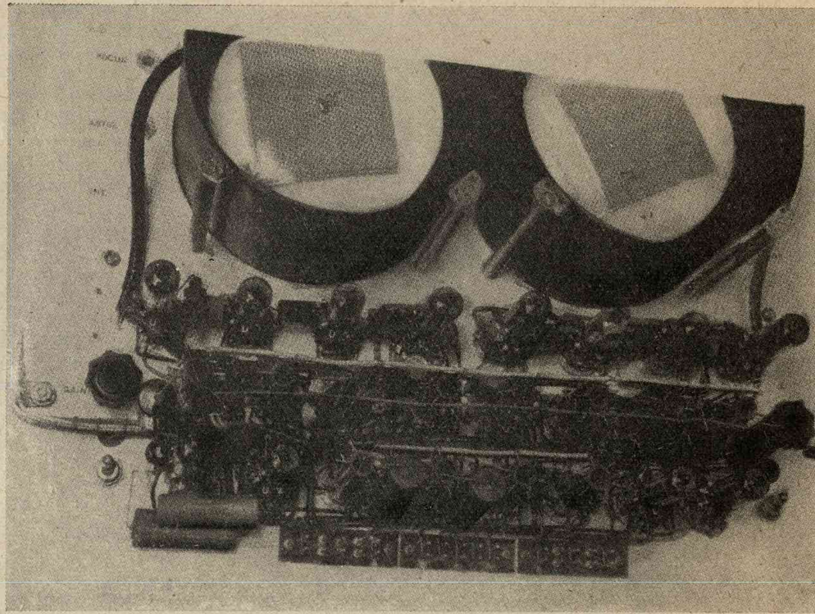
20 SEAC. La memoria a tubi di Williams ne comprende 45, montati a gruppi di quattro come mostra la figura. Tale organo è compreso in quattro sezioni dell'armadio a fig. 16 (in ciascuno, tre di tali gruppi di quattro tubi, sovrapposti).

seac

standards eastern automatic computer

21 SEAC. Un gruppo di quattro tubi come nella figura precedente. Ma uno dei coperchi di protezione è tolto, e il tubo è sollevato. Si rammenti la spiegazione del n. 6 sul funzionamento del tubo di Williams: sul fondo del tubo (la parte visibile in figura) arriva il pennello di raggi catodici (uscenti dal catodo, alla base), deflesso in modo da disegnarvi (in una scacchiera p. es. a $16 \times 16 = 256$ posizioni; nella SEAC, 512) dei punti o lineette (risp. per indicare 0 e 1), che hanno bisogno di essere continuamente rigenerate. Si vede, sul tubo aperto, la graticola del dispositivo che, ricevendo i raggi, chiude, attraverso i contatti del cavo, il circuito di rigenerazione.





22 SEAC. Qui si vedono due tubi di Williams scoperti (ma non sollevati). Si notino le stesse cose segnalate per la figura precedente, e inoltre l'insieme del dispositivo elettronico di rigenerazione (interruttori, amplificatori, ecc.) qui visibile in primo piano.

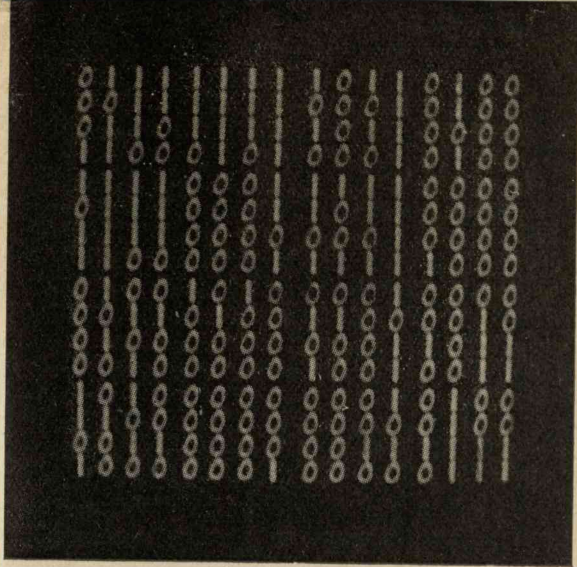
Gemella della SEAC in quanto la costruzione ne fu decisa e attuata simultaneamente dal medesimo N.B.S., se ne stacca invece per il carattere più spinto del progetto, che, anche a scapito di una immediata sicurezza di funzionamento (non consta infatti che il suo impiego sia tuttora uscito dalla fase di collaudo), prevede maggiori velocità e possibilità di applicazione.

La differenza di principio sta nel dispositivo aritmetico, che è del tipo in *parallelo* anzichè *in serie* (opera su tutte le cifre simultaneamente, anzichè su una per volta); quindi, memoria tutta a tubi di Williams; ecc. Altra novità interessante, l'uso di una memoria ausiliaria a velocità intermedia costituita da un tamburo magnetico.

Nelle figure, una veduta d'insieme della SWAC (fig. 24), con in primo piano il tavolo di comando; al centro di esso si notino due tubi di Williams con funzione di « spia ». Vi si può far apparire infatti, nella forma di effettive cifre 0 e 1 (cfr. fig. 23), il contenuto di uno qualunque dei tubi della memoria (scelto mediante interruttori; per osservare il funzionamento si può farlo svolgere « al rallentatore » o addirittura comandare manualmente ogni ciclo premendo un bottone). I tubi, in numero di 37, si trovano ciascuno in una delle scatole con finestra circolare visibili al centro della macchina, dietro il tavolo di controllo. Ogni tubo ha 256 ($=16\times16$) posizioni per punto o linea (è in progetto di raddoppiarle); ogni « parola » (numero, istruzione, segno alfabetico) consta di 37 segni binari, 0 o 1 (per numeri: 36 cifre binarie, pari a 9 in base 16 e a circa 10-11 in base 10, più il segno + o —), ed è conservata registrandone una cifra in ciascun tubo (un numero sarà rappresentato ad es. dai segni nel posto $a_{7,3}$ nelle matrici dei 37 tubi, un altro da quelli in $a_{16,9}$ e così via). Il periodo di rigenerazione è di 8 microsecondi, quello di accesso 16.

Quanto al tamburo magnetico, esso ha lunghezza di 60 cm. e diametro di 20 cm. circa, e ruota alla velocità di 3600 giri al minuto, il che dà un tempo medio di accesso (tempo di mezzo giro) di 8 millisecondi. Su di esso possono venir registrate 8192 « parole » (8192 serie di 37 — in seguito aumentabili a 41 o più — segni 0 o 1). Sarà possibile aumentare tale memoria facendo operare più tamburi uguali sincronizzati; forte vantaggio in velocità di trasferimento (dal e al tamburo) si otterrebbe riuscendo a sincronizzare il tamburo con la memoria rapida (si potrebbe infatti allora trasferire, ad ogni rivoluzione, tutto un gruppo di dati anzichè uno solo).

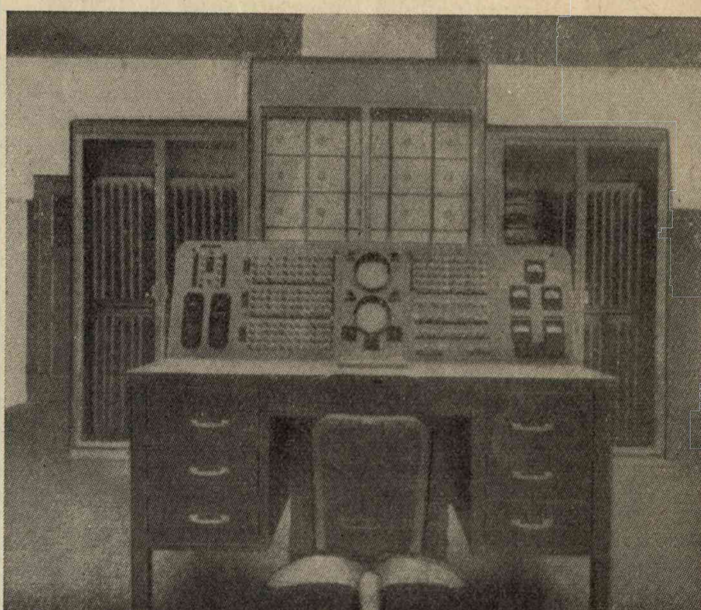
Per maggiori notizie, cfr. *Description of the National Bureau of Standards Western Automatic Computer*, opuscolo per il Symposium tenuto per l'inaugurazione, e H. D. Huskey, *Characteristics of the Institute for Numerical Analysis Computer*, « Math. Tables etc. », IV, n. 30, 1950; da notare che le caratteristiche ivi indicate sono quelle previste come definitive, in parte non ancora raggiunte, in parte migliorate.



swac

standars western automatic computer

Costruita dal National Bureau of Standards, a Los Angeles (Cal.). Inaugurata il 18 agosto 1950. Situata presso l'Istitute of Numerical Analysis, nel «campus» della University of California di Los Angeles, a Beverly Hills.



23 **SWAC.** Nei tubi indicativi sul tavolo di comando (cfr. figura seguente), punti e linee dei tubi di Williams veri e propri appaiono nella effettiva forma di zeri e di uni.

24 **SWAC.** Veduta d'insieme. In primo piano il tavolo di comando. Oltre ai soliti interruttori e lampadine-spia, si notano al centro due tubi di Williams puramente indicativi, nei quali si può far apparire il contenuto di uno qualunque dei tubi (scegliendolo mediante interruttori). V. figura precedente. Dietro, la macchina; al centro i tubi di Williams.

univac

universal automatic computer

Costruita dalla Eckert-Mauchly Computer Corp., Philadelphia, Pa. (sussidiaria della Remington Rand, New York, N. Y.). Inaugurata il 14 giugno 1951. Situata (il prototipo) allo U. S. Census Bureau (Ufficio Censimento), Washington, D. C. (dove ne verranno installate sei; altre saranno destinate ad altri servizi).

Come appare già dalle notizie nella testata, è la prima grande macchina di cui si prevede la costruzione non limitata a un singolo prototipo ma ripetuta (quasi « in serie », se il numero comunque piccolo di esemplari consentisse tale espressione, giustificata tuttavia riferendosi a diverse unità costitutive della macchina piuttosto che al complesso). Tale caratteristica è accentuata dalla circostanza che la calcolatrice si compone (al pari della CPC, e fatte le debite proporzioni) di più elementi distinti accoppiabili secondo le esigenze. Altra particolarità che distingue la UNIVAC sta nella speciale importanza attribuita alla sua efficienza nei problemi che implicano l'utilizzazione ed elaborazione di grandi masse di dati, come appunto i lavori di censimento, i lavori contabili, attuariali, organizzativo-anagrafici, ecc.

I costruttori della Univac, J. Presper Eckert (1) e John W. Mauchly, sono gli stessi che avevano costruito, presso la Moore School of Electrical Engeneering (University of Pennsylvania, Philadelphia, Pa.), la prima grande calcolatrice elettronica, la ENIAC più volte menzionata, inaugurata il 15 febbraio 1946, e tuttora in funzione ai Ballistic Research Laboratories, Aberdeen Proving Ground, Maryland. Costituirono poi la ditta Eckert-Mauchly Comp. Corp., che costruì la BINAC, ed entrò quindi come ditta sussidiaria a far parte del gruppo Remington Rand che si occupa di macchine e attrezzature per ufficio tra cui macchine a schede perforate (sistema Powers).

Nelle due illustrazioni, tanto la fotografia (fig. 25) che il disegno schematico (fig. 26) mostrano bene gli elementi costitutivi della calcolatrice. La Univac propriamente detta è il nucleo principale del complesso, e contiene essenzialmente la memoria, l'unità aritmetica e quella di controllo (per l'esecuzione delle operazioni secondo le istruzioni). Essa può essere collegata a un numero variabile (normalmente 4, 8 o 10) di unità Uniservo, ciascuna delle quali contiene una bobina di nastro magnetico e può sia leggere dati e istruzioni che registrare risultati intermedi e finali. Il tutto può essere governato dal solito tavolo di controllo, quando occorra scostarsi dal programma automatico predisposto. Infine, le due unità Unityper e Uniprinter servono rispettivamente per riportare sul nastro magnetico i dati di partenza, e per trascrivere i risultati dal nastro alla normale forma di dattiloscritto.

Qualche cenno tecnico. Il sistema di numerazione è decimale (come occorre per l'immediata utilizzabilità dei dati e dei risultati); ogni cifra decimale è espressa in base 2 (previa aggiunta di 3: è questo un espediente utile per la sottrazione, bastando così scambiare gli zeri e gli uni per ottenere la cifra complementare), ma ai quattro segni così occorrenti si premettono due zeri e un primo segno zero od uno in modo che gli uni siano in numero dispari nella rappresentazione di ogni cifra. Ciò permette di accertare immediatamente eventuali errori di memoria o di operazione. Gli altri gruppi di 7 segni (non con 00 al 2° e 3° posto) rappresentano lettere alfabetiche, segni d'interpunzione o altri segni tipografici.

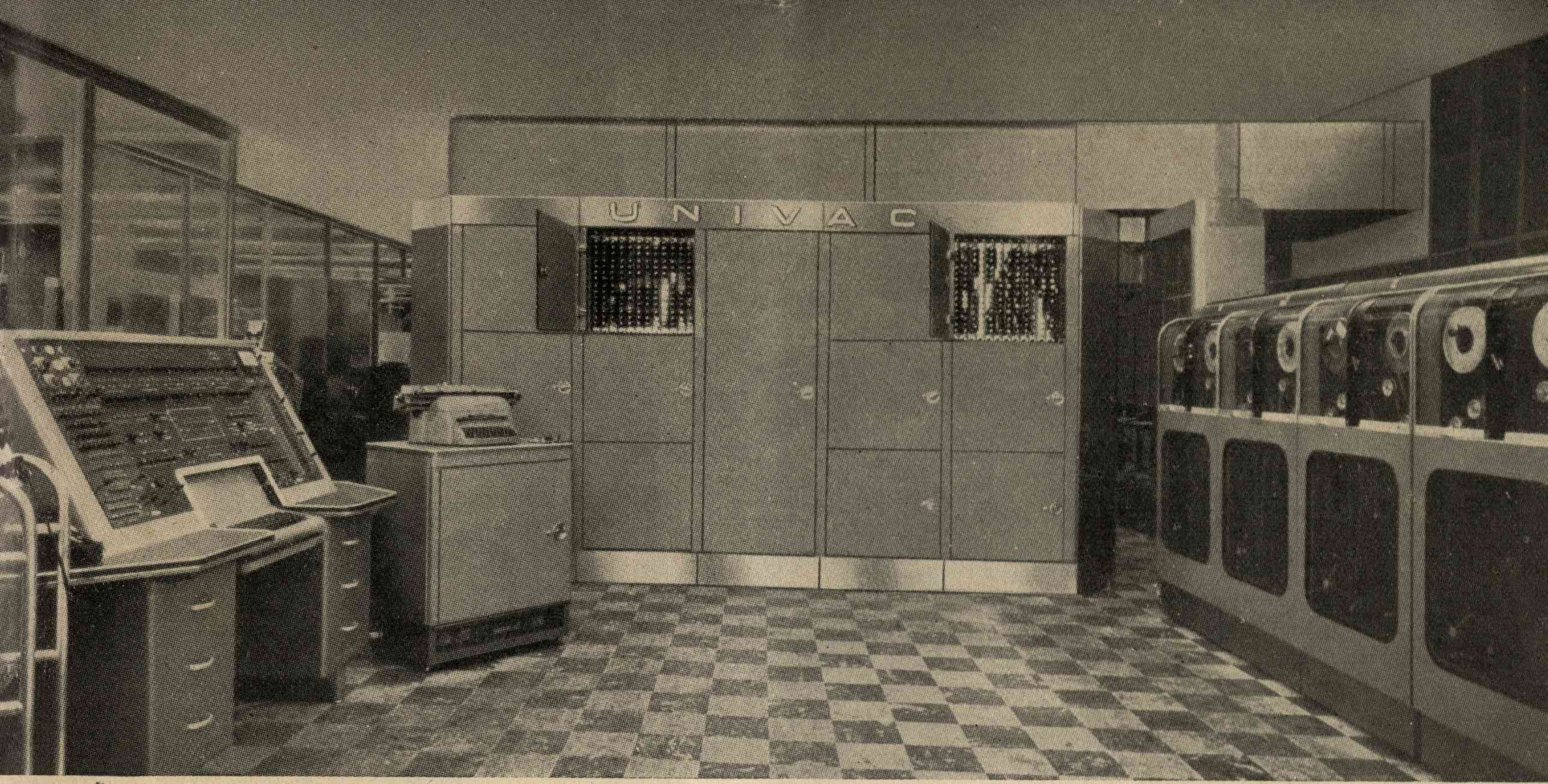
La memoria è a linee di ritardo a mercurio (100 tubi) oltre a quella realizzabile col nastro magnetico. Il nastro magnetico usato per la lettura dei dati consente l'utilizzazione della macchina per tutti i compiti del tipo affidato usualmente alle macchine a schede perforate. Una bobina di nastro magnetico (diametro 20 cm.) contiene su meno di 500 m. di lunghezza oltre un milione di cifre o lettere alfabetiche, il che equivale a circa 10-12.000 schede perforate (diminuzione d'ingombro paragonabile a quella portata dal Microfilm nella tenitura di archivi), e l'elaborazione è circa 50-100 volte più rapida (per quanto il confronto fra procedimenti tanto diversi non sempre abbia un significato univoco). Naturalmente, ciò non vuol dire che convenga senz'altro il più rapido ma più costoso mezzo elettronico; il prezzo della Univac è di 600.000 $ (circa 400 milioni di lire). Si può comunque dire che la CPC in una direzione e la Univac in quella opposta avvicinano sensibilmente la prospettiva di equipaggiamenti elettronici di soddisfacente capacità e convenienza per una clientela relativamente larga (2).

Nell'applicazione al censimento, i dati di un individuo sono registrati su 3 cm. di nastro circa e completamente elaborati in 1/6 di secondo. Nel campo attuariale, si prevede che la Univac fornirebbe istantaneamente (cioè: nel tempo di scorrere il nastro coi dati di una polizza: inizio, età, durata, tariffa, ecc.) tutti i valori desiderati (premi, riserve, ecc.) senza consultare alcun prontuario ma partendo dalla tabella dei dati originari (tavola di sopravvivenza e saggio d'interesse): la Franklin Life Ins. Co. starebbe trattando per l'installazione di una Univac. Di applicazioni alla contabilità di magazzino e inventari, al servizio paghe e stipendi, evidenze e ricerche di carattere anagrafico, ecc., vengono date indicazioni di massima.

Per maggiori dettagli v. diversi opuscoli della Remington Rand ed i numeri di giugno, luglio, ottobre e novembre 1950 di « Systems for modern management », N. Y.

(1) Da non confondere col già nominato Wallace J. Eckert, coinventore della SSEC.

(2) Un ulteriore passo nella medesima direzione è costituito dall'apparire sul mercato di macchine di dimensione intermedia, atte a colmare il distacco fra il livello dei macchinari usuali e quello delle grandi calcolatrici, e particolarmente rispondenti ad estese esigenze di applicazioni scientifiche e commerciali. Alludo alla recente Elecom 100 (prezzo 60.000 $: un decimo della Univac) ed altri tipi (Elecom 110, Elecom 210) della Electronic Computer Corp., New York, N.Y. (stabilimento in Brooklyn, N.Y.), che presenta anche un catalogo di parti e componenti per calcolatrici elettroniche costruite in serie. Mi limito a questo cenno trattandosi di notizie recenti (aggiunte sulle ultime bozze).

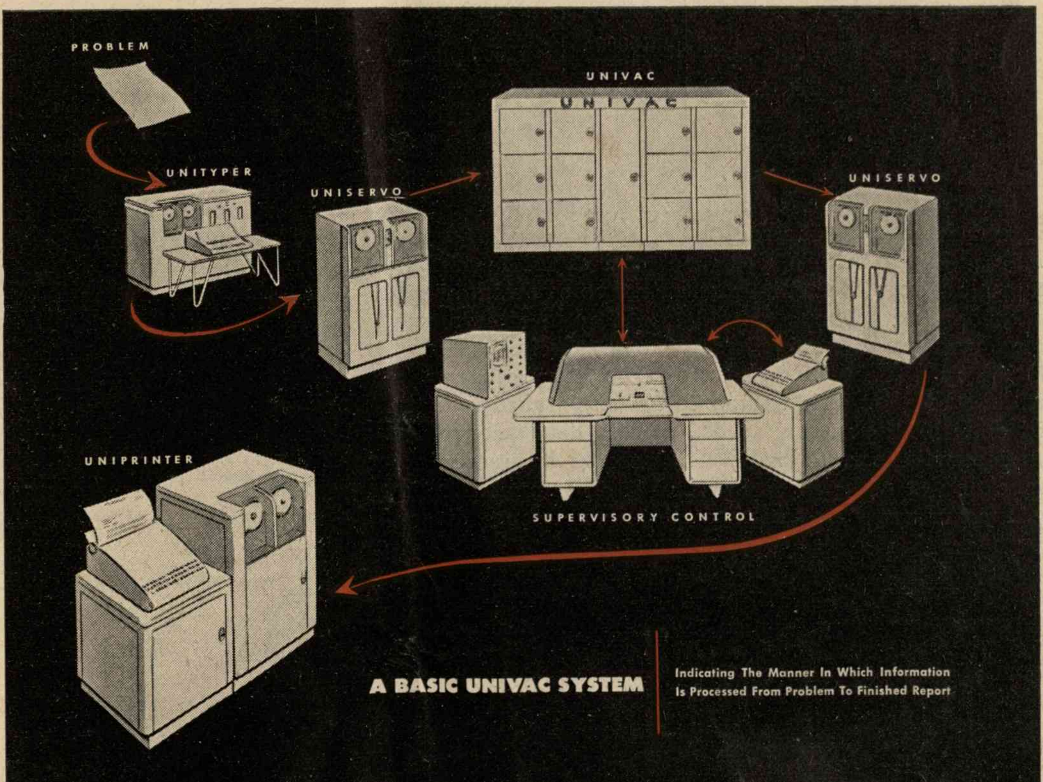


25 UNIVAC. Veduta d'insieme; v. la figura seguente per l'identificazione delle diversi parti della calcolatrice e per cenni sulla loro funzione.

univac

universal automatic computer

26 UNIVAC. Disegno schematico delle diverse parti e schema delle elaborazioni. PROBLEM: foglio coi dati di partenza. UNITYPER: macchina da scrivere per riportare i dati come segnali su un nastro magnetico. UNISERVO: lettura del nastro per fornire istruzioni e dati alla calcolatrice vera e propria. UNIVAC: la calcolatrice vera e propria, con l'organo di comando della sequenza delle operazioni, l'organo aritmetico, la memoria rapida a (100) tubi a mercurio. SUPERVISORY CONTROL: tavolo di comando e controllo. UNISERVO: anche per la registrazione dei risultati su nastro magnetico (di tali unità UNISERVO, tra lettura di dati e istruzioni e registrazione di risultati, ne vanno usate quante occorre, normalmente 4 o 8 o 10). UNIPRINTER: stampa su un foglio i risultati registrati sul nastro.



Confronti finali e cenni su altre macchine

Abbiamo omesso, i dati su velocità ecc., nella descrizione delle singole macchine, pensando sarebbe stato più istruttivo, oltre che più economico come spazio, raggrupparli in fine in un'unica tabella comparativa. Benchè i dati sulla velocità si prestino meglio a volte indicando il tempo in microsecondi per un'operazione singola e a volte invece dando il numero di operazioni al secondo, nella tabella è stato seguito per uniformità e possibilità di confronti sempre il primo sistema; per la traduzione a vista nell'altro basterà guardare la seguente tabella preliminare:

Tempo in microsecondi	0,44	1	12	16	20	64	90	168	250	300	460	500	530	900	2,2 mila	3 mila	3,9 mila	12,6 mila	15,4 mila	20 mila	33 mila
Ripetizioni al secondo	2¼ milioni	1 milione	83 mila	63 mila	50 mila	16 mila	11 mila	6 mila	4 mila	3 mila	2 mila	2 mila	2 mila	1100	450	330	260	80	65	50	30

Tabella comparativa delle VELOCITÀ E CAPACITÀ	SSEC	CPC	SEAC	SWAC	UNIVAC	I.A.S. Comp.
Pulsazioni	20	20	1	1 (?)	0,44	0,5 (?)
Operaz. aritmetiche:	[10^{19}]	[10^{5}]	[2^{45}]	[2^{36}]	[10^{11}]	[2^{40}]
Addizione (o sottr.)	300 [10^{14}]	460	900	64	530	90
Moltiplicazione	20000	12600	3000	384	2200	500
Divisione	33000	15400	»	»	3900	»
Memoria (rapida e intermedia):						
Tubi Williams	—	—	**512 [2^{45}]** 12	**216 [2^{37}]** 16	—	**1024 [2^{41}]** ?
Linee ritardo mercurio	—	—	**64×8 [2^{45}]** 168	—	**100×910[2]** ?	—
Tubi elettronici	**8 [10^{19}]**	—	—	—	—	—
Relè o dispos. meccanici . . .	**3000 [10]**	**22 [10^{10}]**	—	—	—	—
Tamburo magnetico	—	—	—	**8192 [2^{37}]** 250	—	(prog.)
Lettura dati, da:						
Schede perforate	30000	12000	—	—	—	—
Striscie perforate	140000	—	—	—	—	—
Nastro telescrivente	—	—	360	?	—	1400
Nastro magnetico	—	—	70000	?	600000	—
Registrazione risultati, con:						
Stampa su moduli	24000	12000	—	—	—	—
Perfor. schede e striscie . . .	16000 63000	12000	—	—	—	—
Perfor. nastro telescrivente . .	—	—	360	?	—	700
Nastro magnetico	—	—	70000	?	600000	—

NOTE

Numeri in tondo: tempi in microsecondi $\left(1\ \mu\,\text{sec} = \frac{1}{1.000.000}\ \text{sec}\right)$ (per trasf. in N.° di ripetizioni al secondo, *v.* tabellino precedente).

Numeri in grassetto: capacità, da leggersi secondo il seguente esempio: 8192 [2^{37}] = 8192 numeri di 37 cifre in base 2 (equivalente a 8192×37 Log 2 cifre 0 e 1; Log = log base 2).

Velocità in numero di cifre al minuto.

Cifre $\left\{\frac{\text{decimali}}{\text{base 16}}\right\}$ per $\left\{\frac{\text{SSEC, CPC, UNIVAC}}{\text{SEAC, SWAC, I.A.S.}}\right\}$(*)

(per raffronto: 1 cifra base 16 equivale come quantità d'informazione a 1,2 cifre decimali).

La — significa: non esiste; il ?: esiste, ignoro i dati; (prog.) = in progetto

(*) I.A.S. = In t. Adv. Study Computer

Devo avvertire che i dati sono desunti da varie fonti, a volte un po' contraddittorie, spesso non omogenee come unità di misura, ecc.; nei casi dubbi la scelta è stata giudiziosa, per cui almeno a scopo di orientamento la tabella dovrebbe essere attendibile; la riserva vuol solo avvertire di non prendere come ufficiali ed esatti tutti i dati. Esistono del resto circostanze diverse che rendono difficile obiettivamente la comparabilità di tutti i dati; basti pensare, ad es., al caso del tamburo magnetico (v. descr. della SWAC) per cui la sincronizzazione non accresce nè la capacità nè il tempo di accesso, ma aumenta la velocità di lettura nel senso di consentire (ma ciò non sempre occorre) la lettura simultanea di numerosi dati.

Per più ampie informazioni comparative su queste stesse macchine e su altre che non ebbi occasione di conoscere sul luogo, rinvio al volume *High speed Computing Devices* (by the Staff of Engineering Research Associates, Inc.), McGraw-Hill, New York, 1950. Il lettore desideroso di un avviamento alla conoscenza delle questioni tecniche qui appena sfiorate troverà ivi, sia pure sempre succintamente, quanto può interessargli.

Bruno de Finetti

Direttore Responsabile Prof. Francesco Brambilla - Edizioni di Comunità - Via Gabba, 9 Milano T. 80.46.94 - Stampato presso l'Archetipografia di Milano - Viale Umbria, 54

PUBBLICAZIONI DELLE FACOLTÀ DI SCIENZE E DI INGEGNERIA
DELL' UNIVERSITA' DI TRIESTE

SERIE „B"

1. MORELLI C., Compensazione della rete internazionale delle stazioni di riferimento per le misure di gravità relativa, (1946).
2. POLLI S., Il graduale aumento del livello marino determinato per 30 porti del Mare Mediterraneo, (1946).
3. MORELLI C., Per un sistema di riferimento «internazionale» delle misure di gravità - nota preliminare, (1946).
4. MORELLI C., Sulla costante fondamentale della formula elissoidica internazionale per la gravità normale, (1946).
5. POLLI S., Livello medio del mare nella livellazione di precisione, (1946).
6. MORELLI C., Nuovo contributo a favore di un sistema di riferimento «internazionale» per le misure di gravità relativa, (1946).
7. MORELLI C., Le anomalie gravimetriche in funzione delle deviazioni della verticale, (1946).
8. COSTA D. e COSTANTINIDES G., Un'apparecchiatura per la determinazione della temperatura di autoaccensione di polveri combustibili, (1946).
9. MORELLI C., Nuovi fondamenti di assicurazione sismica, (1946).
10. MARUSSI A., Sulle formule di Helmert e sui metodi per la trasformazione di reti sull'elissoide, (1947).
11. de FINETTI B., Conferenze sulle probabilità e l'assicurazione, (1947).
12. COSTA G., Sulla preparazione e sulla proprietà dello acetato di parabromobenzile con particolare riguardo alla sua attività antibiotica, (1947).
13. COSTANTINIDES G., Sulle misurazioni della tendenza alla ossidazione spontanea dei carboni, (1947).
14. KRALL G., Dell'impostazione del progetto nella costruzione dei ponti, (1947), (esaurito)
15. POLLI S., Analisi periodale della successione dei numeri relativi delle macchie solari, (1947).
16. ZANABONI O., Nuovi punti di vista sulle condizioni delle lastre sottili, (1947).
17. SCORZA DRAGONI G., Alcuni teoremi sulle traslazioni piane generalizzate, (1947).
18. ZWIRNER G., Sull'integrazione di un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali, (1947).
19. CHIMENTI A., Dsuguaglianze tra medie associative, (1947).
20. MORELLI C., Teoria e pratica dei variometri magnetici da campagna, (1947).
21. ZANABONI O., Azioni interne e deformazioni intorno ad un punto nelle lastre a doppia curvatura, (1948).
22. COSTA G., Ricerche per un metodo di dosaggio del mercurio in sostanze organiche per via polarografica, (1948).
23. ZWIRNER G., Alcuni teoremi sulle equazioni differenziali dipendenti da un perametro (1948).
24. DOLCHER M., Due teoremi sull'esistenza di punti uniti nelle trasformazioni piane continue, (1948).
25. CALZOLARI C., Controlli analitici in uso per la bauxite, (1947).
26. MARUSSI A., Sulla struttura locale del geoide, e sul mezzi geometrici e meccanici atti a determinarla, (1947).
27. de FINETTI B., L'esattezza nella contabilità aziendale. (1948).
28. MORELLI C., Sui fenomeni di magnetismo terrestre in dipendenza da quelli solari, (1948).
29. DOLCHER M., Geometria delle trasformazioni continue, I: Sopra un teorema di Radò, (1948).
30. POLLI S., Registrazione dei bradisismi costieri, (1948).
31. COSTA D. e COSTA G., Sulle modificazioni pirolitiche del frumento, (1948).
32. BARGONE A. e RINALDI F., L'equilibrio della reazione di decarburazione dal punto di vista della termodinamica dei sistemi reali, (1948).
33. DALLA PORTA N. e FABBRICHESI L., Sull'importanza dei processi multipli nella teoria della radiazione, (1948).
34. PREDONZAN A., Intorno agli *Sk* giacenti sulla varietà intersezione completa di più forme.
35. de FINETTI B., La funzione vivificatrice della matematica, (1948).
36. COSTA G., Sul comportamento polarografico di alcuni composti organomercurici, (1948).
37. POLLI S. e VERCELLI F., Relazioni tra attività solare e fenomeni meteorologici e climatici, con speciale riguardo ai lavori compiuti in Italia, (1948).
38. POLLI S., Su di un microbarografo modificato, (1949).
39. POLLI S., Ricerche fotometriche subacquee nel Lago di Caldonazzo, (1949).
40. COSTA D. - COSTANTINIDES G., Sulla temperatura di autoaccensione dell'amido e su alcuni fattori che la influenzano, (1949).
41. RUNTI C., Su alcuni derivati sulfamidici dell'acido α-aminovalerianico (norvalina), (1949).
42. MORELLI C., Schema di progetto per una rete gravimetrica italiana di alta precisione, (1949).
43. BUDINI P., Sulle particelle penetranti negli sciami estesi dell'aria, (1949).
44. SARTORI G. e SILVESTRONI P., Il metodo oscillografico nell'immagine polarografica, (1949).
45. PREDONZAN A., Sull'unirazionalità della varietà intersezione completa di più forme, (1949).
46. DOLCHER M., Nozione generale di struttura per un insieme, (1949).
47. de FINETTI B., Le vrai et le probable, (1949).
48. POLLI S., Livelli marini eccezionali registrati a Trieste, Grado, Marano, Venezia e P. Marghera, (1949).
49. de FINETTI B., Sull'impostazione assiomatica del calcolo delle probabilità, (1949).
50. MONTICELLI E., Determinazione di una classe di curve unicursali il cui arco si esprime a mezzo di un integrale ellittico di prima specie di Legendre, (1949).
51. BUDINI P. e POIANI G., Sullo spettro mesonico sotto materiali densi.
52. ZWIRNER G., Elementi uniti di trasformazioni funzionali e teoremi di differenziabilità rispetto a un parametro, (1949).
53. COSTA G., Comportamento polarografico e coulombometrico di alcuni composti organostannici, (1949).
54. MARUSSI A., Geodesia intrinseca, (1950).
55. CALZOLARI C., Analisi chimica e chimico-fisica della sorgente sulfurea di Lusnizza, (1948).
56. BALDASSI G., Sull'azione della sostanza che va sotto il nome «Streptomycin Merk» (Calcium Chloride Complex) e «Dihydrostreptomycin Sulfate», sull'andamento del cuore di Rana esculenta, (1949).
57. DOLCHER M., Questioni di minimo per insiemi chiusi sconnettenti uno spazio topologico, (1950).
58. RABBENO G., Vibrazioni torsionali dovute alle eliche, (1950).
59. VERCELLI F., Il superamento delle altezze e delle profondità nelle esplorazioni geofisiche, (1949).
60. de FINETTI B., Conferenze sulle probabilità e l'assicurazione (Fascicolo II), (1950).
61. POLLI S., Determinazione delle costanti armoniche e non armoniche delle maree per i porti di Belvedere, Cortelazzo, Faro Rocchetta e Chioggia, (1949).
62. BUDINI P. e DALLA PORTA N., Sulla componente nucleonica della radiazione cosmica alle medie energie, (1950).
63. POLLI S., Il ciclo climatico di 8 anni e sua realtà fisica, (1950).
64. SOBRERO L., Un metodo di approssimazioni successive per la risoluzione del problema di Dirichlet, (1950).
65. VERCELLI F., Sui fattori tellurici delle epoche glaciali, (1950).
66. SOBRERO L., Di una elementare proprietà cinematica analoga al principio di Fermat, (1950).
67. PREDONZAN A., Intorno alle involuzioni piane $I_n^{2(n-1)}$ (1950)

PUBBLICAZIONI DELLE FACOLTÀ DI SCIENZE E DI INGEGNERIA

DELL'UNIVERSITÀ DI TRIESTE

SERIE „B"

68. POLLI S., Penetrazione delle radiazioni luminose nel ghiaccio e nella neve, (1950).
69. COSTA D. e COSTANTINIDES G., Ossidazione lenta e temperatura di autoaccensione delle polveri di zolfo nell'aria, (1950).
70. MARUSSI A., Sviluppi di Legendre generalizzati per una curva qualunque tracciata su di una superficie pure qualunque, (1950).
71. SOBRERO L., Sui «meccanismi calcolatori» di Svoboda, (1950).
72. BUDINI P., Struttura delle tracce generate da particelle ionizzanti di alta energia, (1950).
73. BUDINI P., Sulla componente elettronica della radiazione cosmica, (1950).
74. RABBENO G., Le conoscenze meccaniche dei romani rivelate dalle navi di Nemi, (1950).
75. MARUSSI A., Il primo problema fondamentale della geodesia ampliato nel campo di Somigliana, (1950).
76. SERVELLO A., La lunghezza «L» nel quadro degli elementi che influenzano la resistenza d'onda delle navi mercantili, (1950).
77. de FINETTI B., La «logica del plausibile» secondo la concezione di Polyo, (1951).
78. DABONI L., Studio delle probabilità subordinate in un caso particolare di processo stocastico, (1950).
79. SARTORI G. e CALZOLARI C., Il comportamento polarografico della dimetilditioidantoina, (1950).
80. CALZOLARI C., Il comportamento polarografico dell'acido dietilditiocarbammico, (1950).
81. CALZOLARI C., Sul comportamento polarografico delle ossime. Nota I: β - Isatinossima, (1949-50).
82. CALZOLARI C., Sul comportamento polarografico delle ossime. Nota II: Salicilaldossima, (1949-50).
83. CALZOLARI C., Sul comportamento polarografico delle ossime. Nota III: α - Benzoinossima, (1949-50).
84. CALZOLARI C., Sul riconoscimento del rame con la dimetilditioidantoina, in presenza degli altri cationi.
85. RABBENO G., Prove sulla resistenza meccanica di pale d'elica nelle condizioni di esercizio, (1950).
86. de FINETTI B., Aggiunta alla nota sull'assiomatica della probabilità, (1951).
87. CERNIANI A., Sulla decomposizione termica dell'amido, (1951).
88. MARUSSI A., Su alcune proprietà integrali delle rappresentazioni conformi di superfici su superfici, (1951).
89. COSTA D. e COSTA G., La analisi termica differenziale applicata alla determinazione di temperature caratteristiche e alla valutazione approssimativa delle tonalità termiche in processi chimici complessi. Nota I[a]: Decomposizione termica dell'amido e della cellulosa, (1951).
90. BUDINI P., Sullo spettro di densità degli sciami estesi dell'aria, (1951).
91. BOTTERI M., Ricerche comparative di scomposizione alcalina di melanoidina, acido umico e lignina, (1951).
92. CERNIANI A., Decomposizione termica comparativa di alcuni monosaccaridi, oligosaccaridi e polisaccaridi.
93. SERVELLO A., Turbine a vapore e motori endotermici, (1951).
94. COSTANTINIDES G., Temperatura di autoaccensione di polveri di monosaccaridi e di oligosaccaridi, (1951).
95. BUDINI P., Cattura K del mesone μ, (1951).
96. SERVELLO A., Il servizio di sicurezza a bordo delle navi da guerra, (1951).
97. de FINETTI B., Role et domaine d'application du théorème de Bayes selon les différents points de vue sur les probabilités, (1951).
98. CERASARI E., Sul contenuto e sulla determinazione dell'acido citrico nei vini, (1951).
    — Sulla solubilità della materia d'uovo nei liquidi vinosi con riguardo alla preparazione del cosiddetto «Marsala all'uovo», (1951).
99. COSTA G., Considerazioni sul comportamento polarografico di alcuni composti organo-metallici di tipo $R_{n-1} ME^{n} - X$, (1951).
100. MORGANTINI E., Su una relazione di armonia fra i triangoli del piano proiettivo complesso, (1951).
101. MORGANTINI E., Sulla risoluzione dell'equazione diofantea : $\sum_i a_i x_i^2 = \sum_i a_i y_i^{2m_i}$ (1952).
102. RAMPONI F., Determinazione approssimata dell'ampiezza di rigurgito in canali rettangolari a debole pendenza, (1951).
103. BUDINI P. e LANZA G., Sulla componente «*N*» dei raggi cosmici alle alte energie, (1952).
104. de FINETTI B., Gli eventi equivalenti e il caso degenere, (1952).
105. GABRIELLI I. e POIANI G., Mesures de la vitesse de propagation des ultrasons dans quelques mélanges liquides, (1951).

Estratto dalla rivista „TECNICA ed ORGANIZZAZIONE"

N. 3-4 maggio-giugno - luglio-agosto 1952

Arti Grafiche «SMOLARS» S. p. A. - Trieste