

ANNO I - N. 3

LIRE 400

# CIVILTÀ DELLE MACCHINE

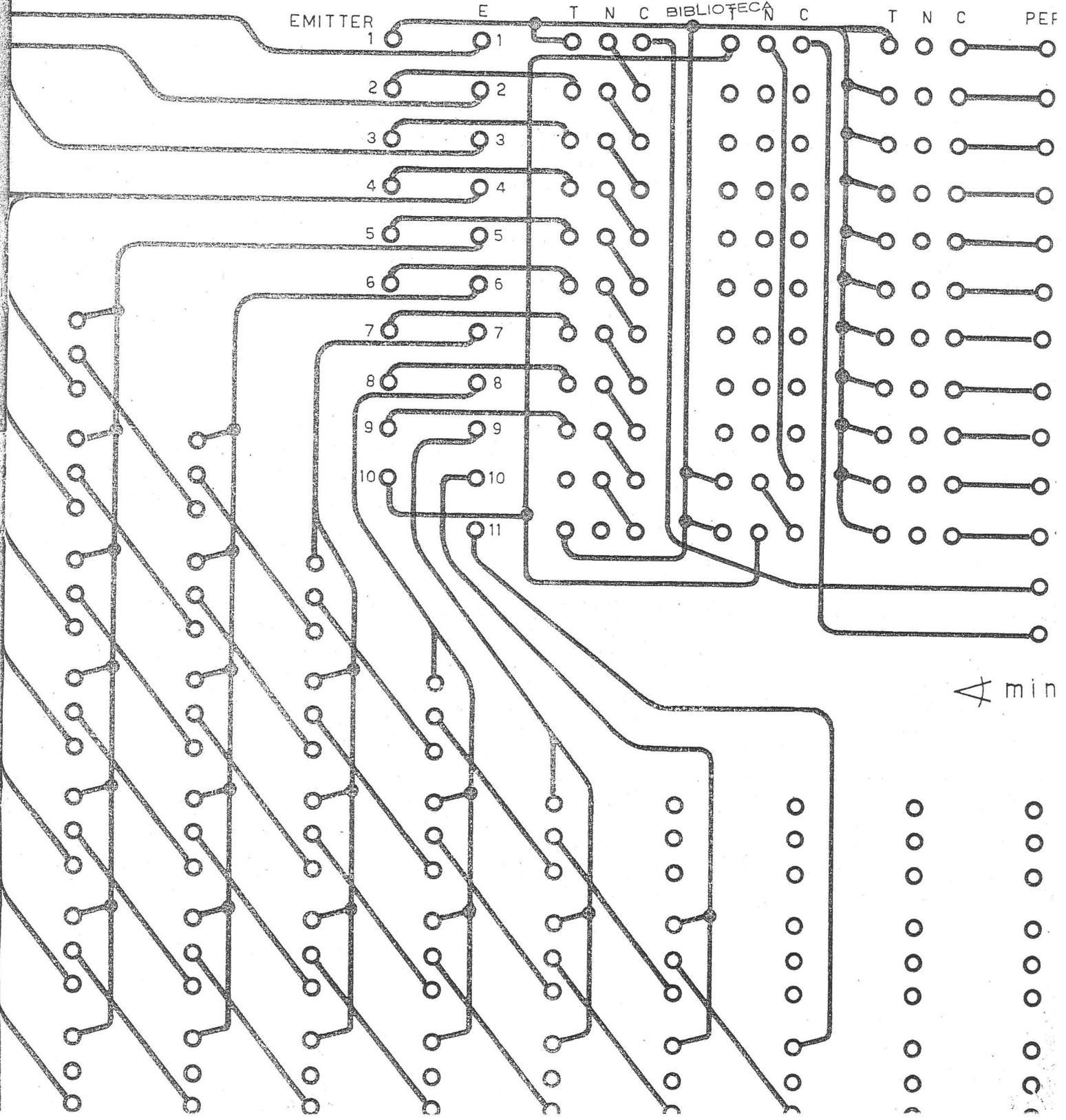
MAGGIO 1953

29851

RIVISTA BIMESTRALE



SPEDIZ. ABBON. POSTALE - GRUPPO IV



△ min

$$y' = \sin kx - y^2$$

Con un impianto a schede perforate i tecnici dell'Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo hanno eseguito in meno di mezz'ora l'integrazione numerica di questa equazione differenziale

di Bruno de Finetti,

L'ATTREZZATURA impiegata dall'INAC (Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo) per i propri lavori, che era finora costituita soltanto di normali calcolatrici da tavolo, si è da qualche mese sostanzialmente arricchita con l'installazione di un impianto IBM a schede perforate (1). Risultano di conseguenza grandemente accresciute, sotto molteplici aspetti, le possibilità dell'INAC di corrispondere a richieste di lavori d'interesse scientifico e tecnico comportanti notevole volume di calcoli adatti per l'esecuzione automatica.

Il potenziamento dell'attrezzatura meccanografica dell'INAC costituiva una premessa per la ripresa di una consulenza su vasta scala per le industrie italiane che nell'anteguerra era cospicua e feconda, ora che questo potenziamento comincia ad essere una realtà è da auspicarsi che tale ripresa abbia inizio senza indugio, per i certi vantaggi che ne deriverebbero sia agli utenti per la soluzione dei loro problemi, sia all'INAC che potrebbe, con maggiori mezzi, progredire più speditamente nel portare la propria attrezzatura a un livello che lo ponga anche sotto tale aspetto, come lo è per il prestigio scientifico, ai primi posti fra le istituzioni similari di tutto il mondo.

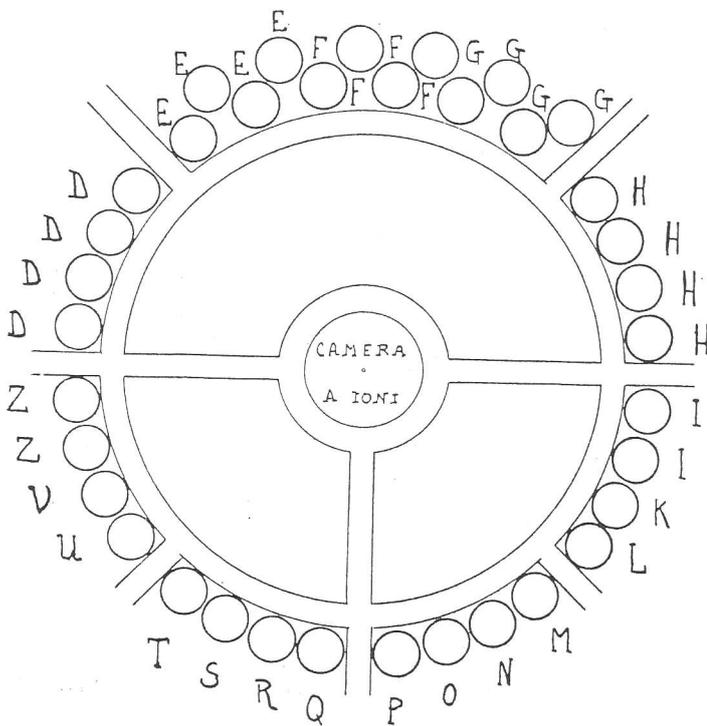
E' stato rilevato che riportando alla misura d'anteguerra l'utile annuo per consulenze dell'INAC (ammontare pari ai prezzi attuali, a un quarto di miliardo di lire, e che l'INAC versava allo Stato), basterebbe un anno di attività per dare all'INAC i mezzi per provvedersi di una calcolatrice elettronica. Tale indicazione riesce significativa anche pensandovi da un altro punto di vista; dimostra infatti che uno stanziamento per dotare l'INAC di una calcolatrice elettronica, se anche bastasse solo a riportare al livello di anteguerra l'attività dell'INAC a favore dell'industria risulterebbe redditizio nella misura di circa il 100% all'anno. Fortunatamente sembra che la necessità di avere anche in Italia una calcolatrice elettronica abbia già avuto concreto riconoscimento, e rimanga aperta solo la questione di deciderne tipo e modalità di costruzione.

Le calcolatrici elettroniche, per le caratteristiche di potenzialità e velocità loro proprie, superano senza possibilità di confronto qualunque altro mezzo di calcolo; ma appunto per tali loro eccezionali possibilità, per la congiunta elevatissima dei costi sia di costruzione che d'esercizio, e per il lavoro preparatorio che si richiede per disporre i calcoli in modo adatto ad esse e programmarli, l'uso di calcolatrici elettroniche è giustificato solo per problemi di mole e importanza considerevoli (quelli che gli americani chiamano VIP's, come abbreviazione di « Very Important Problems »). Resta perciò sempre un largo campo di calcoli per cui le

macchine a schede perforate costituiscono l'attrezzatura più adatta, tant'è vero che anche gli istituti di calcolo che dispongono di calcolatrici elettroniche (come l'Institute of Numerical Analysis di Los Angeles ove è installata la SWAC, « Standard Western Automatic Computer », e il Watson Laboratory di New York, Columbia University, che può disporre della SSEC, « Selective Sequence Electronic Calculator » della IBM) fanno uso, per la maggior parte dei calcoli, di normale macchinario a schede perforate.

L'installazione di un tale impianto presso l'INAC non va quindi considerata come un

la IBM per le elaborazioni riguardanti i problemi scientifici ivi affrontati. L'impianto consiste di un gruppo di macchine dei tipi usuali, standard; la calcolatrice (tipo 601) è però modificata per l'aggiunta di numerosi relé e selettori e per l'interruzione di molti circuiti (avanzamento di passo di programma, rimesse a zero dei vari contatori ed ingresso dai contatti lettura, partenza e interruzione della perforazione, ecc.); la macchina così modificata viene detta « 601-2 » e « universale », e, pur non potendo competere coi modelli più recenti, può venir sfruttata in vari modi ingegnosi fino a rendersi quasi altrettanto utile. E' prevista



SCHEMA di disposizione dei contatori attorno alla camera di ionizzazione. Si riferisce all'esperienza sulle statistiche di esplosioni provocate da raggi cosmici nominata nel testo.

transitorio surrogato in attesa dell'auspicata calcolatrice; è uno strumento che non solo sarà utile nel frattempo, come un primo passo per la risoluzione di vari problemi e per l'addestramento del personale alle molte diverse esigenze e particolarità del calcolo con mezzi meccanografici, ma anche in seguito conserverà un suo campo d'applicazione, così come lo conserveranno, limitatamente ai casi loro più adatti, le macchine da tavolo e perfino la carta e matita. L'impianto di macchine a schede perforate installato presso l'INAC dal novembre 1952 è stato concesso in uso praticamente gratuito dal-

del resto l'aggiunta di altre macchine e la sostituzione con tipi più perfezionati man mano che lo sviluppo dei lavori da una parte, ed i progressi e la disponibilità di macchinari dall'altra, lo renderanno opportuno e fattibile. Qualche cenno sui lavori per i quali l'impianto è stato finora utilizzato e per cui s'intende utilizzarlo prossimamente, può dare un'idea concreta delle possibilità di applicazione: riferendosi a tali esempi riuscirà più espressivo anche esprimere qualche osservazione di carattere generale.

Menzioniamo come primo esempio quello che è

(1) Dell'INAC (che ha sede presso il C.N.R., p. d. Scienze 7, Roma) e del suo Direttore, prof. Mauro Picone, « Civiltà delle macchine » si è già occupata nel suo primo numero (pp. 24-26: articolo « Matematica e industria » di Sagredo). Le illustrazioni ivi riportate mostrano l'impianto IBM nei suoi primi giorni di attività (mentre il testo, un po' anteriore, non poteva farne cenno).

stato anche il primo lavoro eseguito all'impianto in occasione della visita del Comitato per la Matematica e la Fisica del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Si trattava di integrare numericamente l'equazione differenziale

$$y' = \sin kx - y^2$$

( $k = 2/3,6$  onde avere, in iscala,  $1^\circ$  corrispondente a  $0,01$ ); ponendo nella calcolatrice un pacco di 360 schede (su cui erano stati previamente perforati i valori delle ascisse  $x$  e dei corrispondenti valori del seno), precedute da una scheda matrice con il valore (arbitrario) dell'ordinata iniziale  $y_0$ , si otteneva in meno di mezz'ora la perforazione di tutto il pacco di schede con l'indicazione, per ogni  $x$  (da 0 a  $3,6$  di  $0,01$  in  $0,01$ ), del valore di  $y$  e quello di  $y'$ . Il risultato (che si potrebbe leggere sulle schede sotto forma di perforazioni) appare più comodamente leggibile passando le schede nell'altra macchina, la tabulatrice, che stampa in pochi minuti la tabella con le colonne dei valori ottenuti e, volendo, le loro somme, ossia praticamente, tra l'altro, l'integrale di  $y$  sull'intervallo considerato. Riportando i risultati sotto forma di diagramma il procedimento indicato fornisce cioè una linea integrale, o traiettoria, del nostro problema, col valore iniziale

$y_0$ ; ripetendo il procedimento con diversi valori iniziali (ossia, ripassando in calcolatrice altre edizioni del pacco di 360 schede, con anteposta una matrice con diverso valore iniziale) si possono ottenere quanto traiettorie si vogliono, e un certo numero di esse basta a mostrare l'andamento anche di tutte le altre. Ciò si vede chiaramente sulla figura che riproduce il diagramma disegnato in quell'occasione: le traiettorie sono le linee in rosso, mentre quella in nero (a forma di uovo) e quella in azzurro (a serpentina) rappresentano il luogo (predeterminato a calcolo) dei massimi e minimi e dei punti di flesso delle traiettorie. Poichè dal tabulato si desume subito la posizione dei massimi e minimi della funzione e di quelli della derivata (flessi della traiettoria), la coincidenza con le posizioni precalcolate si riscontra immediatamente.

Tale calcolo è stato improvvisato in occasione della detta visita, mentre alla vigilia si stavano appena installando le macchine ed il radrizzatore, necessario per alimentarle a corrente continua (110 V); tale fulmineità dipende naturalmente dalla scelta del problema, la cui complicazione è sufficiente a renderlo interessante ma scevra di elementi fastidiosi nell'esecuzione meccanografica. Quando i problemi sono posti da altri e non inventati, occorre

in genere uno studio accurato per scegliere la via più adatta per tradurli in procedimento meccanografico e per escogitare espedienti per superare circostanze fastidiose; soprattutto è necessario prospettarsi minuziosamente, fin da prima di iniziare i lavori, tutte le fasi successive, essendo essenziale comportarsi passo per passo nel modo che riesce più comodo per tutte le elaborazioni successive.

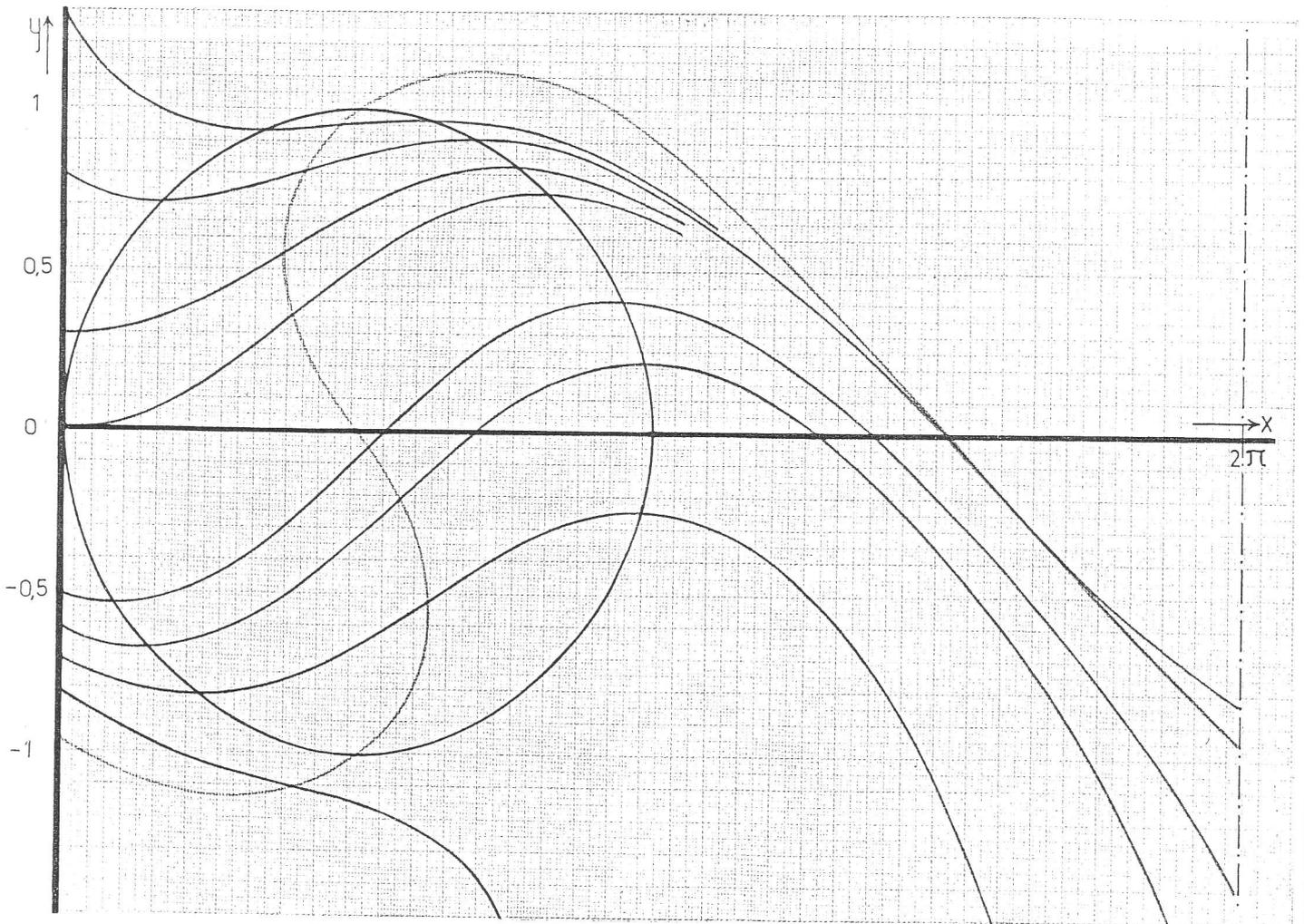
A prescindere da ulteriori circostanze di natura particolare, ciò che rende particolarmente adatto all'elaborazione meccanografica un problema come quello indicato è il carattere ricorrente dei procedimenti che permettono di calcolare una dopo l'altra le posizioni dei successivi punti di una traiettoria. Analogamente al precedente esempio di equazioni di prim'ordine, benchè con molta maggiore complicazione, sarà affrontato il problema analogo per equazioni lineari del second'ordine, del tipo cioè

$$y = y(x) + y'(x),$$

con speciale riguardo a due casi che interessano particolarmente in quanto riguardano una generalizzazione della « funzione gamma completa » data recentemente dal prof. F. Tricomi, ed una delle funzioni di Mathieu presentatesi in ricerche dell'INAC.

Due fra i primi lavori eseguiti si prestano bene a illustrare i procedimenti meccanograficamente più adatti per interpolare o ricavare valori di funzioni. La ricerca di tali metodi è stata anzi uno dei compiti preliminari che si sono dovuti affrontare, non certo perchè il problema sia nuovo (v'è anzi un'ampia letteratura al

**TRAIETTORIE** dimostrative del calcolo dell'equazione differenziale eseguito dal nuovo impianto dell'Inac. In rosso il diagramma su cui furono riportate le traiettorie man mano che procedeva il calcolo; in nero e azzurro il luogo dei massimi, dei minimi, dei flessi.



re la  
ento  
per  
to è  
n da  
rees-  
per  
utte  
atu-  
ente  
pro-  
cor-  
cal-  
ces-  
e al  
'or-  
one,  
qua-  
e

iano  
geo-  
omi,  
tasi

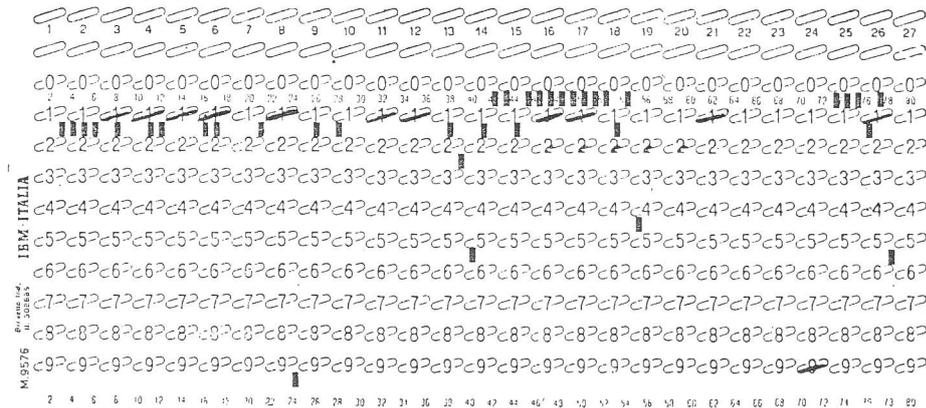
ene  
ren-  
lori  
tata  
son  
ma  
t al

riguardo), ma perchè una scelta giudiziosa deve dipendere dalle caratteristiche della calcolatrice usata. Per quella dell'impianto all'INAC è apparso appropriato attenersi alla interpolazione parabolica (mentre con macchine meno efficienti ci si dovrebbe limitare all'interpolazione lineare, con macchine più perfezionate ci si potrebbe spingere all'interpolazione di grado superiore e con calcolatrici elettroniche addirittura al calcolo diretto di una funzione partendo dallo sviluppo in serie e da altra proprietà che la caratterizza). Precisamente (rammentando che se in un intervallo di lunghezza  $h$  si sostituisce a una curva  $y = f(x)$  la parabola  $y = P_2(x)$  che ne conserva i valori agli estremi e al centro dell'intervallo, l'errore non supera  $0,008 h^3 \max f'''$ ) si può suddividere il campo che interessa in intervalli di lunghezza  $h$  abbastanza piccola per assicurare la approssimazione desiderata; per ciascuno di tali intervalli basta preparare perforata una scheda (scheda matrice, come si usano chiamare le schede adibite a compiti del genere) che porti i valori dei coefficienti  $a, b, c$ , di  $P_2(x) = a + bx + cx^2$ , e, ogni qualvolta si debba calcolare  $f(x)$  per i valori  $x_n$  perforati su altrettante schede, basterà inserire le matrici fra tali schede, e precisamente ognuna in testa a quelle appartenenti al corrispondente intervallo della suddivisione. Le matrici si conservano inalterate per farne uso ogni qual volta occorra, mentre il calcolo viene eseguito sulle schede fra cui le s'inserisce.

#### Una tabellazione dell'altitudine.

I due lavori cui s'è fatto allusione a questo riguardo sono: il primo un calcolo riguardante lo spettro dei mesoni secondo una teoria elaborata dal prof. Quercia ed altri ricercatori dell'Istituto di Fisica dell'Università di Roma (ivi occorreva calcolare varie funzioni e funzioni di funzioni, implicanti  $\log x, \cos x, f(x) = \log(1+x) + (\log x)/x, e^x$ ); il secondo una tabellazione dell'altitudine in funzione della pressione nella «atmosfera tipo», richiesta dal Ministero dell'Aeronautica per Commissione internazionale aviazione civile con sede a Ottawa (ivi si tratta di invertire una funzione costruita integrando l'equazione di equilibrio dell'atmosfera ove si faccia intervenire una funzione empirica per la temperatura alle diverse altitudini).

Questo lavoro si presta bene anche ad illustrare un altro aspetto, più accessorio in certo senso ma non poco importante, del vantaggio derivante dall'esecuzione meccanografica dei calcoli: il fatto cioè che la tabulatrice fornisce in tal caso i risultati sotto forma di prospetti stampati. Ai prospetti si può dare la disposizione che si preferisce (purché se ne tenga conto fin da principio per dare ai conteggi la disposizione opportuna), curando ogni requisito di praticità e di estetica (p. es., facendo stampare il primo gruppo di tre cifre in testa ad ogni gruppo di 10 righe e in più ogniqualvolta si ha un cambiamento). Il risparmio di tempo e di lavoro, in confronto alla copiatura a macchina, risulta evidente dicendo che la tabulatrice stampa in un sol colpo tutta una riga (di 88 caratteri), e che la velocità è di 4800 righe all'ora (un prospetto di 50 righe, come quello riprodotto, richiede quindi circa  $\frac{3}{4}$  di minuto, cosicché l'intero lavoro comportante, in detto caso, oltre 200 di tali prospetti con oltre 100.000 valori della funzione, richiede poco più di un paio d'ore). Il vantaggio si accresce enormemente se si risparmia anche il costoso lavoro di composizione tipografica (e quello lungo e pericoloso di rivedere le bozze di ampie tavole numeriche) decidendo la riproduzione con metodi fotografici o simili dei tabulati stessi, che per la loro accuratezza vi si prestano ottimamente. La sovrapposizione di una testata o inquadratura per le tabelle può



**RISULTATO** di ogni esplosione nucleare sui contatori colpiti riportato in una scheda mediante tratti a matita. I tratti della scheda vengono tradotti in perforazioni. Nelle colonne è indicato con 0 o 1 rispettivamente se esistono o meno angoli di 1, 2, 3 unità.

facilmente ottenersi in vari modi sul medesimo cliché e con cliché distinti (nel secondo caso, usando colori diversi, l'effetto è anche migliore). Si aggiunga che, ove occorra, la tabulatrice può scrivere anche diciture alfabetiche oltre che numeri.

Un'altra caratteristica da rilevare è la possibilità di impiegare le macchine per rispondere a problemi di natura non matematica ma «logica» (così si usa dire: in accordo, del resto, col significato del termine nella logica matematica). Un lavoro, pur esso richiesto dall'Istituto di Fisica (Roma), chiarisce bene il concetto: si tratta di elaborazioni statistiche di risultati di esplosioni nucleari provocate da raggi cosmici. Per ogni avvenimento una scheda (1) indica le posizioni dei rami della stella cui l'esplosione dà luogo: rami rilevati da contatori disposti tutt'in giro intorno alla camera di ionizzazione (e contraddistinti da lettere dell'alfabeto). Le statistiche richieste contemplavano non solo di contare quante volte sia rimasto eccitato un singolo contatore, p. es.  $D$ , o  $R$ , o  $T$ , ma anche ad es. di contare combinazioni, come  $EP$ ,  $DII$ , ecc., oppure i casi con o senza almeno un ramo in  $E + F + G$ , e così via. Simili operazioni (di «prodotto logico» e «somma logica») si realizzano agevolmente sia in calcolatrice che in tabulatrice. Ma anche un'operazione analoga più complicata fu potuta eseguire con la calcolatrice: interessava sapere quali fossero gli angoli fra rami successivi (entro un certo settore  $K...V$ ), ossia sapere se esistono due rami in contatori consecutivi, o in due contatori separati da uno, da due, ecc. contatori non eccitati. Il caso «angolo uno» significa quindi

$$KL + LM + MN + \dots + TU + UV,$$

l'«angolo due»

$$K\bar{L}M + L\bar{M}N + M\bar{N}O + \dots + S\bar{T}U + T\bar{U}V$$

(ove la soprallineatura indica negazione), e così via. La connessione indicata schematicamente nella figura risponde allo scopo, e a quello ulteriore di indicare direttamente l'«angolo minimo» per ogni esplosione. In parte è stato

risolto analogamente il problema di determinare l'«angolo minimo di tre raggi».

A volte poi è possibile, e allora spesso vantaggioso, eseguire dei calcoli mediante schede perforate senza usare la calcolatrice, e proprio, in certo senso, senza neppure eseguire alcun calcolo. Si stanno preparando, ad es., delle schede che portano, opportunamente disposti, i valori delle funzioni  $kx^n/n!$  (per  $n = 1, 2, \dots, 10$  e per  $k = c10^m$  con  $c = 1, 2, 3, 5$  ed  $m = 1, 2, \dots, 8$ ); dato un polinomio

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2 \frac{x^2}{2!} + a_3 \frac{x^3}{3!} + \dots + a_9 \frac{x^9}{9!} + a_{10} \frac{x^{10}}{10!}$$

(o una funzione di cui lo sviluppo in serie, così troncato, dia l'approssimazione richiesta), basterà selezionare dal gruppo di tutte le schede predette quelle che, per composizione dei singoli coefficienti cifra per cifra (p. es.  $4 = 3+1, 5=5, 7=5+3-1, 9=5+3+1$ ), compongono il polinomio desiderato, e sommarle in tabulatrice: si ottiene d'un colpo la tabella stampata della funzione, senza alcun calcolo e senza consumare alcuna scheda, ma solo lavorando di selezionatrice (la macchina che separa e riordina le schede a seconda delle perforazioni) e di tabulatrice (che in questo caso, richiedendosi solo i totali per gruppo di schede e non la stampa dei dati di ogni scheda, funziona a velocità quasi doppia: 9000 schede all'ora anziché 4800). Anche tale procedimento sarà approntato anzitutto per il menzionato problema del prof. Tricomi.

#### La collaborazione con le aziende.

L'utilità di simili procedimenti, pur tanto banali, è rimarchevole; chi scrive ebbe occasione di sperimentarlo in due casi di applicazioni scientifiche per cui ebbe in passato a dare suggerimenti (strettamente analoghi ai concetti dell'applicazione ora detta nel primo caso, e meno nel secondo). Si trattava di analisi di struttura di composti chimici coi procedimenti di Patterson e Fourier (prof. Croatto, Ist. Chimica Univ. Padova; lavoro eseguito sull'impianto IBM della Cassa di Risparmio di Padova) e di elaborazioni su rilevazioni gravimetriche a scopo di prospezione (per un ingegnere geofisico di una delle grandi compagnie petrolifere mondiali, che iniziò i lavori sull'impianto IBM di cui disponeva a scopi contabili e poco dopo installò un secondo distinto impianto esclusivamente destinato a ricerche del genere dotandolo recentemente addirittura di una CPC).

(1) Può interessare, a titolo di notizia, accennare al modo di preparazione di tali schede. Le indicazioni vengono riportate sulla scheda, nel laboratorio fisico, con tratti di matita; esse vengono tradotte automaticamente in perforazioni dalla macchina detta Mark Sensing (che non esiste nell'impianto INAC, ove servirebbe poco, ma che è utile in molti casi come, esempio tipico, nelle fatturazioni di consumo gas, luce, ecc. ove la lettura dei contatori può venir indicata con segni automaticamente traducibili in perforazioni).