

# ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867

**FIAT**  
TORINO

**SOCIETÀ  
PER AZIONI  
UNIONE  
CEMENTI**

**MARCHINO  
& C.**

≡

**CASALE  
MONFERRATO**

NUOVA SERIE . ANNO XXIII . N. 5 . MAGGIO 1969

## SOMMARIO

### RASSEGNA TECNICA

- C. CODEGONE - *Sull'energia utilizzabile o exergia* . . . . . pag. 105  
C. BOFFA - *Determinazione sperimentale della caduta anodica in generatori di gas ionizzati a pressione atmosferica* . . . » 110  
F. MUSSINO - *Metodo fotografico per confronti fra il tempo universale e i segnali di tempo dell'I.E.N.* . . . . . » 113

### PROBLEMI

- A. CAVALLARI MURAT - *Fattori dinamici tradizionali della bellezza dell'attuale paesaggio urbanizzato svedese* . . . . . » 121  
A. BASTIANINI - *Aspetti e problemi per l'impiego degli elaboratori nella progettazione architettonica* . . . . . » 125

### COMITATO DI REDAZIONE

*Direttore:* Augusto Cavallari-Murat - *Membri:* Gaudenzio Bono, Cesare Codegone, Federico Filippi, Rinaldo Sartori, Vittorio Zignoli - *Segretario:* Piero Carmagnola.

### COMITATO D'AMMINISTRAZIONE

*Direttore:* Alberto Russo-Frattasi - *Membri:* Carlo Bertolotti, Mario Catella, Luigi Richieri

REDAZIONE: Torino - Corso Duca degli Abruzzi, 24 - telefono 51.11.29.

SEGRETERIA: Torino - Corso Siracusa, 37 - telefono 36.90.36/37/38.

AMMINISTRAZIONE: Torino - Via Giolitti, 1 - telefono 53.74.12.

Publicazione mensile inviata gratuitamente ai Soci della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino. — Per i non Soci: abbonamento annuo L. 6.000. - Estero L. 8.000.

Prezzo del presente fascicolo L. 600. - Arretrato L. 1.000.

La Rivista si trova in vendita: a Torino presso la Sede Sociale, via Giolitti, 1.

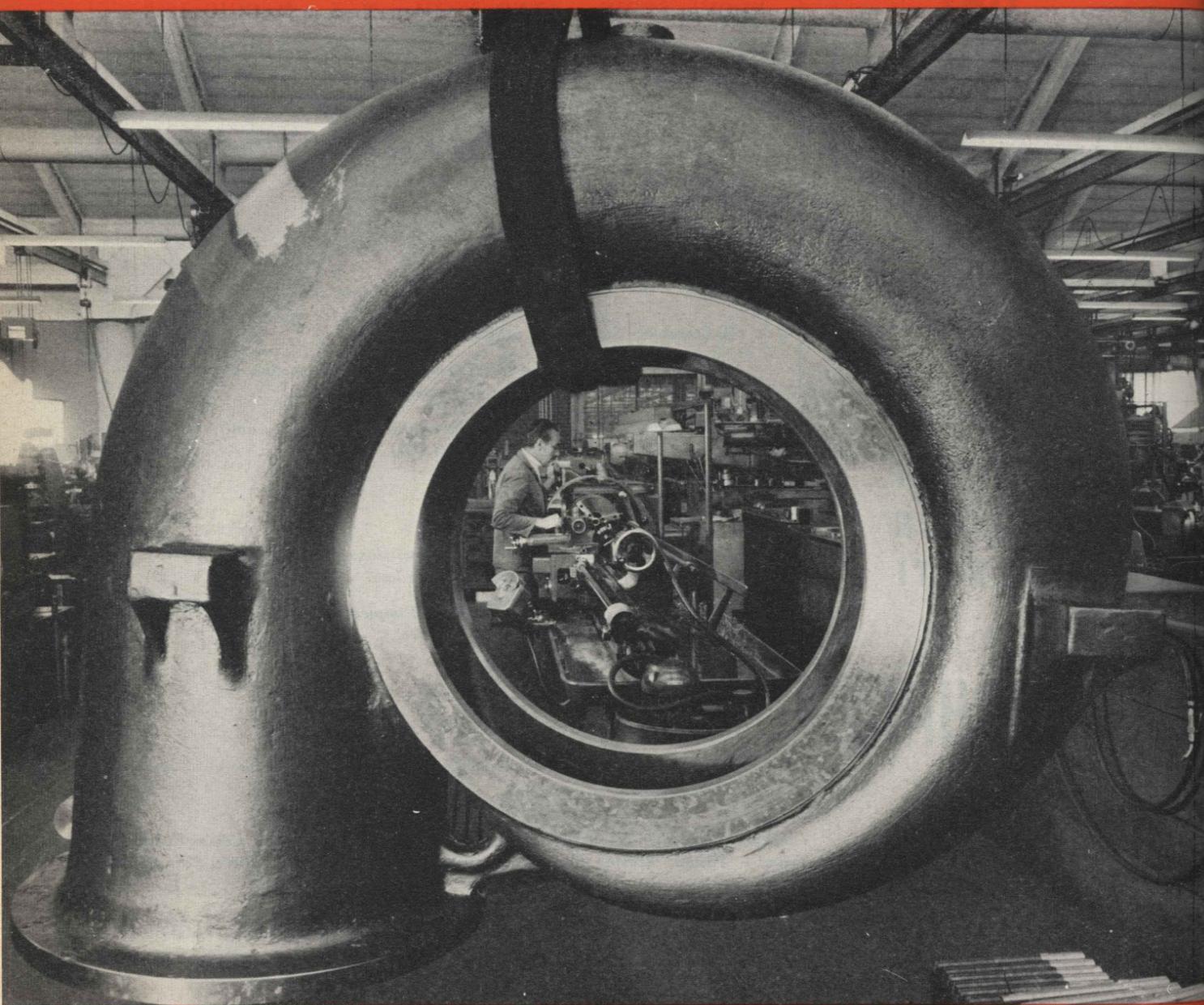
**SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE — GRUPPO III**

# POMPE GABBIONETA

S. p. A.

STABILIMENTO 20099 SESTO S. GIOVANNI Telef. 2470.221/223/894

20131 MILANO Via Paisiello 10 Telef. 279.791



POMPE PER L'INDUSTRIA  
CHIMICA, AD ASSE  
ORIZZONTALE,  
VERTICALE, IMMERSE ED  
ESTERNE, IN ACCIAIO  
INOX E LEGHE SPECIALI

POMPE di PROCESSO  
POMPE per DOWTHERM a 300-400°C  
POMPE EBANITATE e GOMMATE  
POMPE verticali immerse per METALLI fusi  
a 500-800°C, SALI fusi, ecc.  
POMPE per AMMONIACA ed UREA  
POMPE per GAS LIQUIDI  
POMPE per CELLULOSA e LIQUIDI DENSI

POMPE per LISCIVIO BISOLFITICO  
POMPE ad ELICA per SOLFATO AMMONICO  
ecc.  
POMPE per ALTE PRESSIONI, per ALIMEN-  
TARE SERBATOI ELEVATI e per ACQUEDOTTI  
AGITATORI - MESCOLATORI  
MOLINI COLLOIDALI  
IMPIANTI COMPLETI - NOLEGGI

## RASSEGNA TECNICA

La « Rassegna tecnica » vuole essere una libera tribuna di idee e, se del caso, saranno graditi chiarimenti in contraddittorio; pertanto le opinioni ed i giudizi espressi negli articoli e nelle rubriche fisse non impegnano in alcun modo la Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

### SULL'ENERGIA UTILIZZABILE O EXERGIA

CESARE CODEGONE riesamina sotto un aspetto generale la definizione della funzione termodinamica di Maxwell-Gouy detta « energia utilizzabile », che il Rant ha recentemente chiamato « exergia », rilevandone criticamente talune applicazioni a processi termodinamici.

1 — L'equazione dell'energia, riferita all'unità di massa del fluido operante in un impianto termico in condizioni di regime permanente nel tempo può scriversi nella forma:

$$\left(\frac{c_1^2}{2} + gz_1 + u_1 + p_1 v_1\right) + q_I + l_I = \left(\frac{c_2^2}{2} + gz_2 + u_2 + p_2 v_2\right) + q_{II} + l_{II} \quad (1)$$

e per un ciclo  $q_I - q_{II} = l_{II} - l_I$ .

In questa equazione ( $c^2/2$ );  $gz$ ;  $u$ ;  $pv$  rappresentano rispettivamente le energie cinetica; di posizione alla quota topografica  $z$ ; interna; di spostamento, avendo indicato con gli indici 1 e 2 le sezioni iniziale e finale alle quali si riferiscono le grandezze così contrassegnate.

Inoltre  $q_I$  ed  $l_I$  rappresentano rispettivamente le energie termiche e meccaniche introdotte dall'esterno nel sistema e ricevute dall'unità di massa del fluido;  $q_{II}$  ed  $l_{II}$  quelle analoghe estratte e cedute all'esterno<sup>(1)</sup>. Il lavoro tecnico utile  $l_I^*$  (detta  $i$  l'entalpia) può porsi quindi nella forma generale:

$$l_I^* = l_{II} - l_I = \left(\frac{c_1^2}{2} + gz_1 + i_1\right) - \left(\frac{c_2^2}{2} + gz_2 + i_2\right) + (q_I - q_{II}). \quad (2)$$

<sup>(1)</sup> Per fluidi ionizzati soggetti a campi magnetici occorrerebbe tener conto delle corrispondenti energie fornite dai campi stessi.

Se fossero nulle le differenze di energia cinetica ed i dislivelli si avrebbe:

$$l_I^* = (i_1 - i_2) + (q_I - q_{II}). \quad (3)$$

Se fossero inoltre nulli gli scambi di calore con l'esterno si otterrebbe la nota espressione:

$$l^* = i_1 - i_2 = - \int_1^2 v dp. \quad (4)$$

Qualora le trasformazioni termodinamiche avvenissero in una capacità chiusa, senza moto d'insieme del fluido, i lavori  $pv$  di spostamento sarebbero nulli e nei risultati le energie interne  $u$  dovrebbero porsi in luogo delle entalpie  $i$ .

Se ancora, invece di una trasformazione aperta, il fluido compiesse nell'impianto un ciclo termodinamico, le funzioni di stato si eliderebbero e si otterrebbe semplicemente:

$$l_{II} - l_I = q_I - q_{II}. \quad (5)$$

In generale il fluido scambia le energie termiche a temperature variabili con varie sorgenti esterne e sussistono negli impianti reali molte cause di irreversibilità delle trasformazioni (attriti, moti vorticosi, differenze finite di temperatura colle sorgenti e di pressione fra le facce degli organi meccanici, ecc.). Indicando con  $T_I$  le temperature delle sorgenti che introducono le  $dq_I$ , e con  $T_{II}$  quelle

analoghe per le  $dq_{II}$  il bilancio delle entropie può scriversi nel modo seguente:

$$\left(\int_I \frac{dq_I}{T_I}\right) + s_1 + \Delta s = \left(\int_{II} \frac{dq_{II}}{T_{II}}\right) + s_2 \quad (6)$$

Nella (6)  $s_1$  ed  $s_2$  sono le entropie dell'unità di massa del fluido operante nelle sezioni 1 e 2 e  $\Delta s$  è l'incremento di entropia del sistema fluido-sorgenti dovuto alle cause di irreversibilità suaccennate e nel contempo è misura della irreversibilità stessa.

Si noti che se al limite queste cause di irreversibilità non operassero e si attuasse una trasformazione « chiusa » i due integrali che appaiono nella (6) sarebbero uguali.

Si moltiplichino ora l'equazione delle entropie per il valore, supposto costante, della temperatura ambiente  $T_0$  e si sottragga membro a membro l'equazione stessa, da quella (1) delle energie.

Poichè  $q_I = \int_I dq_I$ ;  $q_2 = \int_{II} dq_{II}$  si ottiene:

$$\left(\frac{c_1^2}{2} + gz_1 + i_1\right) + l_I - T_0 s_1 - T_0 \Delta s + \int_I \frac{T_1 - T_0}{T_I} dq_I = \left(\frac{c_2^2}{2} + gz_2 + i_2\right) + l_{II} - T_0 s_2 + \int_{II} \frac{T_{II} - T_0}{T_{II}} dq_{II}. \quad (7)$$

Anche qui se il fluido percorresse nell'impianto un ciclo termodinamico esso tornerebbe ad assumere periodicamente le condizioni iniziali e quindi le funzioni di stato del fluido stesso (aventi gli indici 1 e 2) si eliderebbero e si otterrebbe:

$$(l_{II} - l_I)_{cicl} = -T_0 \Delta s_{cicl} + \int_I \frac{T_I - T_0}{T_I} dq_I - \int_{II} \frac{T_{II} - T_0}{T_{II}} dq_{II} - T_0 \Delta s_{cicl} + \oint \frac{T - T_0}{T} dq. \quad (8)$$

Al solito, tolte al limite le cause di irreversibilità ( $\Delta s_{cicl} = 0$ ) si tornerebbe alla equazione di conservazione (5) poichè l'  $\oint \frac{dq}{T}$  sarebbe nullo.

Se in tal caso si avessero due sole sorgenti a temperature costanti  $T_I$  e  $T_{II}$  dalla (8) si otterrebbe:

$$(l_{II} - l_I)_{cicl} = q_I \frac{T_I - T_0}{T_I} - q_{II} \frac{T_{II} - T_0}{T_{II}} - T_0 \Delta s_{cicl}. \quad (9)$$

All'indicato limite,  $\Delta s$  scomparirebbe e si tornerebbe alla (5) perchè  $(q_I/T_I)$  sarebbe uguale a  $(q_{II}/T_{II})$ .

Se ancora fosse:

$$T_{II} = T_0 \quad (10)$$

la (9) diverrebbe:

$$(l_{II} - l_I)_{cicl} = q_I \frac{T_I - T_0}{T_I} \quad (11)$$

come richiede il principio di Carnot.

In un ciclo rigenerativo completo gli integrali corrispondenti alle isodiabatiche si compenserebbero e si tornerebbe alla espressione del Carnot, funzione soltanto delle temperature estreme.

2 — Il confronto secondo la (9) fra cicli reali e cicli limiti « a due sole sorgenti » porta a stabilire per le efficienze, considerate nei riguardi dei fenomeni di irrever-

sibilità, le seguenti espressioni:

a) per un impianto motore (sorgenti  $T_I$  e  $T_0$ )

$$\eta^* = \frac{(l_{II} - l_I)_{reale}}{(l_{II} - l_I)_{cicl}} = \frac{(l_{II} - l_I)_{reale}}{q_I \frac{T_I - T_0}{T_I}} = \frac{(l_{II} - l_I)_{reale}}{(T_I - T_0)/T_I} = \frac{\eta}{(\eta_{Carnot})_0} \quad (12)$$

essendo  $\eta$  l'ordinario rendimento termico.

Questo  $\eta^*$  potrebbe al limite diventare uguale ad 1 se scomparissero le cause di irreversibilità e  $T_{II}$  uguagliasse  $T_0$ .

b) per un impianto di refrigerazione a compressione meccanica (sorgenti  $T_{II}$  e  $T_0$ ) <sup>(2)</sup>:

$$\varepsilon^* = \frac{q_{II} \frac{(T_0 - T_{II})}{T_{II}}}{l_I} = \frac{(T_0 - T_{II})/T_{II}}{l_I/q_{II}} = \frac{(\varepsilon_{Carnot})_0}{\varepsilon} \quad (13)$$

essendo  $\varepsilon$  l'ordinario fattore di effetto utile. Anche qui il valore limite di  $\varepsilon^*$  è 1 per  $\Delta s = 0$  e  $T_I = T_0$ .

Definizioni analoghe si possono porre per apparecchi scambiatori termici, anche dei tipi a combustione, per impianti di liquefazione dei gas, per apparecchi di distillazione, ecc.

Si torni ora al caso della trasformazione aperta e si suppongano nulli gli scambi di calore con l'esterno nonchè le variazioni di energia cinetica ed i dislivelli. Dalla (7) per tali condizioni si ottiene:

$$(l_{II} - l_I)_{1,2} = (i_1 - T_0 s_1) - (i_2 - T_0 s_2) - T_0 \Delta s. \quad (14)$$

Nelle condizioni limiti di reversibilità, per fluido evolvente da condizioni generiche di partenza a condizioni finali di equilibrio

<sup>(2)</sup>  $l_{II}$  è l'ordinario nullo perchè il motore è sostituito da una valvola di espansione. Qui  $T_0$  rappresenta l'isoterma superiore e  $T_{II}$  l'inferiore ed i segni delle  $q$  si invertono rispetto al caso precedente.

termodinamico con l'ambiente, si avrebbe invece:

$$(l_{II} - l_I)_{lim} = (i - T_0 s) - (i_0 - T_0 s_0) = (i - i_0) - T_0 (s - s_0). \quad (15)$$

Posto:

$$e = i - T_0 s \quad (16)$$

si ha infine:

$$(l_{II} - l_I)_{lim} = e - e_0. \quad (17)$$

La grandezza  $(e - e_0)$ , già considerata dal Maxwell e detta « available energy », fu chiamata dal Gouy « énergie utilisable » e recentemente « exergie » dal Rant, che chiamò pure « anergie » la parte residua e cioè, a meno di una costante, la grandezza  $T_0(s - s_0)$ , non più utilmente trasformabile sotto l'aspetto termodinamico. La  $T_0 s$  corrisponde alla « gebundene Energie » di von Helmholtz. La  $\Delta s$  è detta « ectropia » dal Touloukian.

Il vocabolo « exergie », mezzo latino e mezzo greco, non può certo dirsi ben scelto, ma nonostante il suo difetto filologico si è ora molto diffuso.

Si può osservare che la  $e$  è funzione non soltanto dello stato termodinamico del fluido, ma altresì delle condizioni ambientali, non certo costanti al variare del clima, della stagione, delle stesse ore del giorno. È questo indubbiamente, soprattutto per le applicazioni pratiche, un punto debole della definizione.

Comunque, fissate, sia pure in modo convenzionale, tali condizioni ambientali si potrà porre, come implicitamente si è fatto nella (17)

$$e_0 = i_0 - T_0 s_0. \quad (18)$$

3 — In un sistema *monotermo*, tale cioè da consentire al fluido scambi termici sola con una sorgente, e sia essa in particolare quella ambiente a temperatura  $T_0$ , il lavoro limite sviluppabile dall'unità di massa del fluido nell'evolvere dallo stato generico  $(p, T,$

$i, s)$  a quello  $(p_0, T_0, i_0, s_0)$  di equilibrio termodinamico con l'ambiente, comprende in generale, com'è facile vedere su un diagramma  $Ts$ , un lavoro isentropico da  $T$  fino a  $T_0$  ed un lavoro isotermico, pure reversibile, alla temperatura  $T_0$  da  $s$  fino a  $s_0$ .

Per chiarire questo rilievo si indichi (v. fig. 1) con  $P$  il punto rappresentativo dello stato iniziale di coordinate  $p, T$ ; con  $P_0$  il punto rappresentativo dello stato finale corrispondente alle condizioni  $p_0, T_0$  dell'ambiente; con  $P'$  ( $p', T_0$ ) l'intersezione della isen-

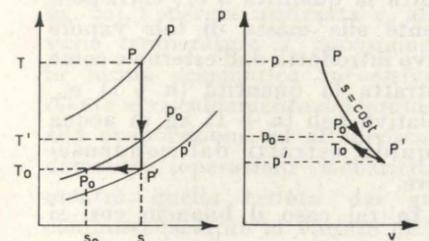
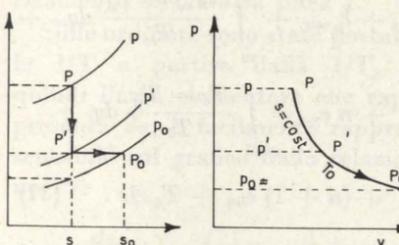


Fig. 1 a, b.



tropica per  $P$  con l'isoterma  $T_0$ . Si indichi ancora con  $p'$  la pressione dello stato corrispondente alla intersezione della isentropica per  $P$  con l'isoterma  $T_0$  e con  $T'$  la

temperatura dello stato corrispondente alla intersezione della stessa isentropica per  $P$  con l'isobara  $p$ . È facile allora distinguere molti casi particolari, e ne indichiamo alcuni in tabella 1.

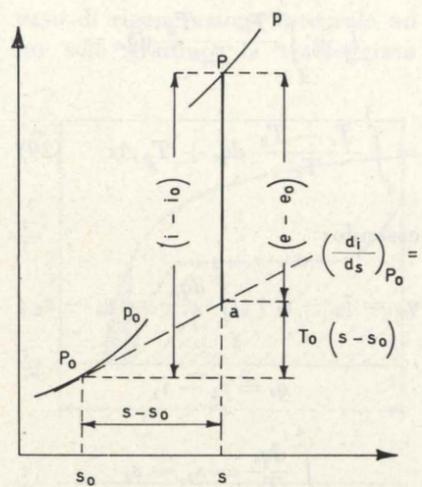


Fig. 2.

Altri casi particolari si hanno per  $T = T_0$  e per  $T < T_0$ .

In generale:

$$(l_{II} - l_I)_{lim} = - \int_{P'}^{P_0} v dp \quad (19)$$

ma questo lavoro può risultare secondo i casi positivo e massimo o anche negativo (macchine operatrici) e minimo.

L'espressione « energia utilizzabile » è dunque propria nel primo caso, non nel secondo.

Per la valutazione di  $(e - e_0)$  sul diagramma  $i s$  il Bosnjakovic

Tabella 1.

$\frac{P > P_0}{T > T_0}$	}	$p' > p_0$ espansione isentropica fino a $p'$ ed espansione isoterma fino a $p_0$ (v. fig. 1b)
		$p' = p_0$ sola espansione isentropica
		$p' < p_0$ espansione isentropica fino a $p'$ e compressione isoterma fino a $p_0$ (v. fig. 1a)
$\frac{P < P_0}{T > T_0}$	}	$p' > p_0$ compressione isentropica fino a $p'$ ed espansione isoterma fino a $p_0$
		$p' = p_0$ sola compressione isentropica
		$p' < p_0$ compressione isentropica fino a $p'$ e compressione isoterma fino a $p_0$ .

ha proposto una costruzione grafica fondata sul tracciamento della tangente in  $P_0$  alla isobara  $p_0$  e sul suo prolungamento fino alla intersezione colla isentropica per  $P$ .

Il segmento compreso fra  $P$  e tale intersezione misura  $(e - e_0)$ . Infatti il coefficiente angolare della suddetta tangente vale:

$$\left( \frac{\partial i}{\partial s} \right)_p = T_0. \quad (20)$$

Si ottiene quindi subito (v. fig. 2):

$$e - e_0 = (i - i_0) - T_0 (s - s_0). \quad (21)$$

Si possono costruire diagrammi  $e, i$  (legati ovviamente al valore scelto di  $T_0$ ) (fig. 3) per i quali valgono le seguenti relazioni:

$$\left( \frac{\partial e}{\partial i} \right)_s = 1; \quad \left( \frac{\partial e}{\partial i} \right)_p = 1 - \frac{T_0}{T}. \quad (22)$$

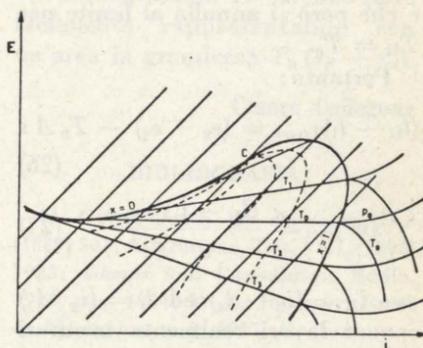


Fig. 3.

Le isentropiche sono dunque rette parallele, inclinate di  $45^\circ$  se le scale degli assi coordinati sono le stesse; le isobare da questa inclinazione limite per  $T = \infty$ , tendono a diventare orizzontali per  $T = T_0$ .

4 — Nel caso di un impianto che attui un ciclo di Rankine-Clausius, (fig. 4) compreso fra due

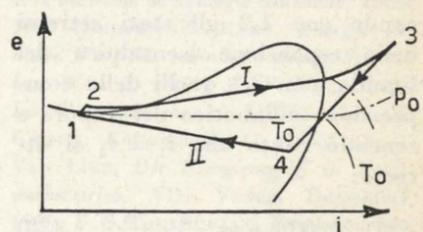


Fig. 4.

isobare e due adiabatiche, detti 1,2 gli stati estremi della compressione del liquido e 3,4 quelli della espansione del vapore, dalla (8) si ottiene:

$$l_I + \int_2^3 \frac{T_1 - T_0}{T_1} dq_1 = l_{II} + \int_4^1 \frac{T_{II} - T_0}{T_{II}} dq_{II} + T_0 \Delta s. \quad (24)$$

Ma:

$$\int_2^3 \frac{T_1 - T_0}{T_1} dq_1 = q_1 - T_0 \int_2^3 \frac{dq_1}{T_1} = q_1 - T_0 (s_3 - s_2) = (i_3 - i_2) - T_0 (s_3 - s_2) = e_3 - e_2 \quad (25)$$

e analogamente per il secondo integrale ( $e_1 - e_4$ ) che riguarda la condensazione isoterma del vapore e che però si annulla al limite per  $T_{II} = T_0$ .

Pertanto:

$$(l_{II} - l_I)_{T_{II}=0} = (e_3 - e_2) - T_0 \Delta s \quad (26)$$

$$(\eta^*)_{\text{mot}} = \frac{(l_{II} - l_I)_{T_{II}=0}}{e_3 - e_2} \quad (27)$$

ove  $l_{II} = (i_3 - i_4)$  ed  $l_I = (i_2 - i_1)$  sono i lavori realmente misurati nell'impianto.

La (27) equivale alla (12) se si adotta per la  $T_1$  della sorgente superiore (che è variabile quando si esce dal campo del vapore saturo) il valore  $(i_3 - i_2)/(s_3 - s_2)$ . La (27) è facilmente valutabile sul diagramma  $e, i$ .

5 — In modo analogo si può procedere (fig. 5) per un impianto di refrigerazione a compressione meccanica di vapore, pur esso compreso fra due isobare. Indicando con 1,2 gli stati estremi della espansione isentalpica del liquido, con 3,4 quelli della compressione adiabatica del vapore e tenendo conto che  $i_1 = i_4$  si ottiene:

$$(\varepsilon^*)_{\text{refr}} = \frac{e_2 - e_3}{l_I} \quad (28)$$

in cui  $l_I$  è il lavoro ( $e_4 - e_3$ ) realmente speso nel compressore. Infatti detti  $q_{ev}$  e  $q_c$  le energie termiche scambiate rispettivamente nell'evaporatore e nel condensatore, si ha:

$$l_I + \int_2^3 \frac{T_{ev} - T_0}{T_{ev}} dq_{ev} = \int_4^1 \frac{T_c - T_0}{T_c} dq_c + T_0 \Delta s \quad (29)$$

essendo:

$$q_{ev} = i_3 - i_2; \quad \int_2^3 \frac{dq_{ev}}{T_{ev}} = s_3 - s_2;$$

$$q_c = i_4 - i_1$$

$$\int_4^1 \frac{dq_c}{T_c} = s_4 - s_1$$

e quindi:

$$l_I = (e_4 - e_1) - (e_3 - e_2) + T_0 \Delta s. \quad (30)$$

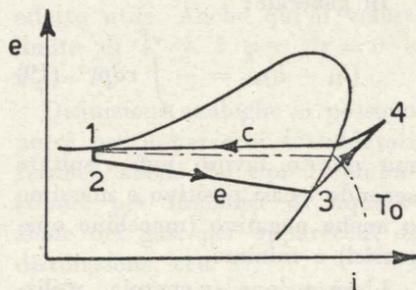


Fig. 5.

Al limite, se la condensazione del vapore fosse isoterma, essendo pure:

$$T_c = T_0$$

il binomio ( $e_4 - e_1$ ) si annullerebbe e se ne deriverebbe la (28). Si ricordi al riguardo che  $e_2 > e_3$ , perchè l'evaporazione si sviluppa tutta sotto la  $T_0$  e quindi le differenze ( $T_{ev} - T_0$ ) sono tutte negative.

6 — Se l'impianto serve da pompa termica del Kelvin si porterà al numeratore della (28) il termine ( $e_4 - e_1$ ) in luogo di

( $e_2 - e_3$ ); o anche la somma di entrambi se pure quest'ultimo è utile.

Se la compressione è ottenuta mediante un eiettore, come negli impianti refrigeranti a vapore d'acqua, si spende lavoro meccanico nella pompa di circolazione della soluzione salina ( $l_{p.s.}$ ) e in quella di estrazione del condensato ( $l_{p.estr.}$ ).

Se si impiegano  $n$  kg di vapore vivo (di alimentazione dell'eiettore) per ogni kg di vapore aspirato a bassa temperatura dall'evaporatore, va contata come introdotta la quantità  $n e_{v.v}$  corrispondente alla massa di tale vapore vivo introdotta dall'esterno e come estratta la quantità  $(n+1) e_{liq.}$  relativa agli  $(n+1)$  kg di acqua liquida estratti dal condensatore.

In tal caso il bilancio così si esprime:

$$l_{p.s.} + l_{p.estr.} + \int_{ev} \frac{T_{ev} - T_0}{T_{ev}} dq_{ev} + n e_{v.v} = \int_{cond} \frac{T_c - T_0}{T_c} dq_c + (n+1) e_{liq.} + T_0 \Delta s. \quad (31)$$

Alle solite condizioni limiti si può porre:

$$\varepsilon^* = \frac{(\Delta e)}{n e_{v.v}} \quad (32)$$

7 — In un impianto di refrigerazione ad assorbimento oltre al lavoro  $l_p$  (peraltro esiguo) della pompa di circolazione della soluzione ricca, va considerato a primo membro lo scambio termico  $q_b$  attuato nel bollitore ed a secondo membro quello  $q_a$  che ha luogo nell'assorbitore:

$$l_p + \int_b \frac{T_b - T_0}{T_b} dq_b + \int_c \frac{T_c - T_0}{T_0} dq_c = \int_e \frac{T_c - T_0}{T_c} dq_c + \int_a \frac{T_a - T_0}{T_a} dq_a \quad (33)$$

e pertanto, se al limite si può porre  $T_a = T_c = T_0$  ed è trascu-

rabile il lavoro della pompa:

$$(\varepsilon^*)_{\text{refr}} = \frac{(\Delta e)_{ev}}{q_b} \quad (34)$$

in cui  $q_b$  è la quantità di energia termica realmente fornita nel bollitore ad ogni unità di massa di vapore generato.

8 — Il Van Lier ha applicato il concetto di energia utilizzabile ai generatori di vapore a combustione nei quali l'energia messa a disposizione dell'impianto per ogni unità di massa di combustibile è il potere calorifico superiore  $K_s$  (v. fig. 6a), l'energia utilizzata  $e_u$  alle varie temperature  $T$  corrisponde in forma schematica successivamente al riscaldamento del liquido, alla evaporazione ed al surriscaldamento (operazioni isobariche) mentre quella ceduta dai gas combusti (sempre al variare di  $T$  e ancora isobarica) varia schematicamente secondo la linea  $f$ .

Sulle ordinate sono state portate le  $1/T$  a partire dalla  $1/T_0$  e quindi l'area elementare che rappresenta  $de_u$  è facilmente rappresentabile sul grafico dalla relazione (3):

$$\frac{de_u}{T_0} = dq \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \quad (35)$$

e pertanto:

$$e_u = T_0 \int \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) dq.$$

Tenuto conto delle scale del disegno l'area tratteggiata, moltiplicata per  $T_0$ , dà  $e_u$ .

L'area sottostante la  $f$  rappresenta l'energia utilizzabile, quella compresa fra la  $f$  e la  $v$  è perduta

(3) Dalla definizione della funzione  $e$  si ricava:

$$de = di - T_0 ds = dq + v dp - T_0 (dq/T) = dq \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) + v dp$$

$$(de)_p = \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) dq = T_0 \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) dq$$

$$\left( \frac{\partial e}{\partial T} \right)_p = c_p \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right).$$

a motivo delle differenze finite ( $T_f - T_v$ ); l'area  $c$  corrisponde alla perdita al camino; la  $a$  corrisponderebbe all'anergia.

In un rigeneratore termico (v. fig. 6b) la orizzontale  $v$  corrisponde alla temperatura del vapore nel caso di rigenerazione integrale ad un solo gradino, la tratteggiata

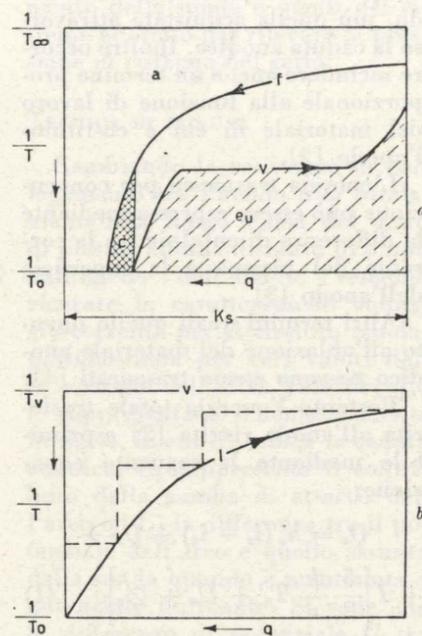


Fig. 6 a, b.

alla rigenerazione a più gradini, la linea  $I$ , in forma schematica, al riscaldamento del liquido.

Il grafico mette in evidenza il vantaggio del processo a gradini.

9 — Un'altra applicazione della funzione  $e$  è indicata in fig. 7. Per effetto delle perdite interne di

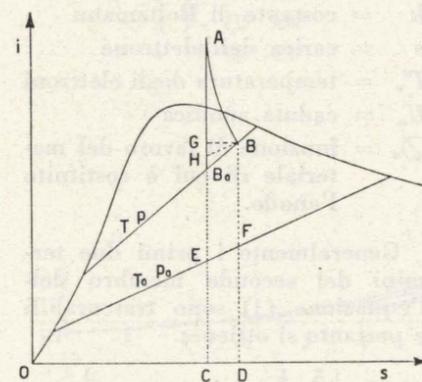


Fig. 7.

energia l'espansione reale in una turbina sia rappresentata dalla linea  $AB$  anziché dalla isentropica  $AB_0$ . Si ha subito

$$e_A = i_A - T_0 s_A; \quad e_B = i_B - T_0 s_B$$

$$e_A - e_B = (i_A - i_B) - T_0 (s_A - s_B) = (i_A - i_B) + T_0 (s_B - s_A).$$

Sia la  $BH$  parallela all'isoterma  $T_0$ ; poichè  $(di/ds)_p = T_0$  si ottiene:

$$GH = T_0 \cdot GB = T_0 (s_B - s_A)$$

$$e_A - e_B = AG + GH = AH.$$

Il segmento  $AG$  rappresenta l'energia trasformata in lavoro e utilizzata dall'espansione irreversibile  $AB$ ; il segmento  $GH$  quella utilizzabile secondo la definizione della funzione  $e$ ; e così il segmento  $HB_0$  quella non utilizzabile.

Sul diagramma  $Ts$  sarebbe pure facilmente rappresentabile con un'area la grandezza  $T_0 (s_B - s_A)$ .

Cesare Codegone

#### BIBLIOGRAFIA

M. GOUY, *Journ. de Physique*, II-8 (1889) 501; A. STODOLA, *Zeit. VDI*, (1898) 1088; *Dampf und Gasturbinen*, Berlin, 1924, pag. 1054; M. E. JOUGUET, *Revue de Mécanique*, n. 3, 1917; G. DARRIEUS, *Science et Industrie*, n. 3, 1931; G. VAN LERBERGHE, P. GLANSBORFF, *Publ. Ass. Ecole des Mines*, Mons, 1932; FR. BOSNJAKOVIC, *Technische Thermodynamik*, Dresden, 1935, Bd., pag. 138 (ed. ediz. succ.); J. VILLEY, *Le rendement des moteurs thermiques*, Mem. Sc. Phys. Paris, XXXI (1936) 14; C. CODEGONE, *Il ciclo Rankine-Clausius, Il Calore* (1947), n. 7; P. GRASSMANN, *Proc. 8th Int. Congr. of Refr.*, London, 1951, pag. 506; K. NESSELMANN, *I.I.F. Journées de Mons* (1953) pag. 67; *Kältetechnik*, 3 (1953) 135; *Allg. Wärmetechnik* 4 (1953) 141; J. MARCHAL, *La Thermodynamique et le théorème de l'énergie utilisable*, Paris, 1956 (Dunod); Z. RANT, *Exergie ein neues Wort für technische Arbeit*, Forsch. Ing. Wes. 22 (1956) 36; F. MATTAROLO, *La Termotecnica*, 10 (1956) 155; H. GIESEN, *Kältetechnik*, 17 (1965) 82; J. VAN LIER, *Der Exergiebegriff in Kraftwerksbetrieb*, VDI Verlag, Düsseldorf, 1965; Y. S. TOULOUKIAN, *Thermodynamics of the first order*, Auburn Un., 1968.

# Determinazione sperimentale della caduta anodica in generatori di gas ionizzati a pressione atmosferica

CESARE BOFFA \* discute il meccanismo di scambio termico tra gas ionizzato ed anodo in un generatore di gas ionizzati ad alta energia e presenta un semplice metodo per la misura della caduta anodica. Nell'articolo vengono riportati dati sperimentali ottenuti con tale metodo per vari valori di corrente dell'arco e vengono paragonati con i valori ottenuti applicando le equazioni dello scambio termico tra gas e anodo, secondo il modello descritto.

## INTRODUZIONE

L'energia trasferita agli elettrodi, ed in particolare all'anodo costituisce una tra le più importanti perdite che si riscontrano nei generatori di plasma utilizzando archi elettrici.

Tale energia non solo riduce fortemente il rendimento termico del generatore ma può ridurre sensibilmente la durata degli elettrodi stessi.

Numerosi studi sono stati riportati al riguardo nella letteratura: si veda per maggiori informazioni l'articolo « Advances in Plasma Heat Transfer » [1].

Purtroppo la complessità del problema e la scarsa conoscenza del comportamento degli archi nelle regioni prossime agli elettrodi hanno impedito una descrizione rigorosa e sistematica del fenomeno di scambio di calore con gli elettrodi.

Mentre infatti lo scambio di calore tra plasma e superfici elettricamente isolate può essere descritto da parametri adimensionali [2], quello tra plasma ed elettrodi si verifica in condizioni di non equilibrio termodinamico, sia nei confronti della composizione del plasma sia nei confronti della distribuzione di energia nei vari gradi di libertà e pertanto può venire descritto, con molta maggiore difficoltà, soltanto ricorrendo a modelli.

## SCAMBIO TERMICO PLASMA-ANODO

Diversi termini compaiono nella descrizione dello scambio termico tra plasma ed anodo quali l'energia trasportata dagli elettroni e quella trasmessa per convezione e radiazione.

Gli elettroni raggiungono la superficie dell'anodo con una energia corrispondente alla temperatura degli elettroni nella corrente

\* Istituto di Fisica tecnica - Politecnico di Torino.

del plasma, in prossimità dell'anodo, più quella acquistata attraverso la caduta anodica. Inoltre occorre includere anche un termine proporzionale alla funzione di lavoro del materiale di cui è costituito l'anodo [2].

L'energia trasmessa per convezione può essere espressa mediante la differenza di entalpia tra la corrente del plasma e la superficie dell'anodo [3].

Altri termini quali quello dovuto all'ablazione del materiale anodico possono essere trascurati [4].

Pertanto l'energia totale trasferita all'anodo risulta [2] esprimibile mediante la seguente equazione:

$$Q_a = h_a (i_s - i_a) + Q_R + I \left[ \frac{5}{2} \frac{k}{e} T_e' + U_a + \phi_a \right] \quad (1)$$

in cui:

$Q_a$  = energia totale trasferita all'anodo

$h_a$  = coefficiente di scambio termico

$i_s$  = entalpia del gas al di fuori dello strato limite

$i_a$  = entalpia del gas nelle immediate vicinanze dell'anodo

$Q_R$  = energia trasmessa all'anodo per irraggiamento

$I$  = corrente dell'arco

$k$  = costante di Boltzmann

$e$  = carica dell'elettrone

$T_e'$  = temperatura degli elettroni

$U_a$  = caduta anodica

$\phi_a$  = funzione di lavoro del materiale di cui è costituito l'anodo.

Generalmente i primi due termini del secondo membro dell'equazione (1) sono trascurabili e pertanto si ottiene:

$$Q_a = I \left[ \frac{5}{2} \frac{k}{e} T_e' + U_a + \phi_a \right] \quad (2)$$

Tranne la caduta anodica  $U_a$ , le grandezze che compaiono nella (2) sono facilmente misurabili ed il loro andamento è ben noto; si ottiene pertanto:

$$U_a = \frac{Q_a}{I} - \frac{5}{2} \frac{k T_e'}{e} - \phi_a \quad (3)$$

Pochissimi dati sperimentali, riguardanti le misure della caduta anodica in archi ad alta intensità, sono stati pubblicati [5, 6, 7].

Nel presente lavoro vengono determinati sperimentalmente valori della caduta anodica in una torcia generante plasma d'argon a pressione atmosferica mediante un nuovo metodo [8] ed i risultati ottenuti vengono paragonati con quelli calcolati mediante l'equazione (3).

## APPARATO SPERIMENTALE

L'apparato sperimentale utilizzato nella esperienza descritta nel presente lavoro consiste essenzialmente di un generatore di plasma, di una sonda raffreddata ad acqua e dei circuiti ausiliari. Il generatore di plasma è del tipo Plasmatron M. 4 prodotto da Plasmadyne

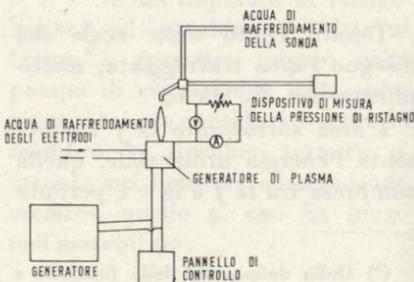


Fig. 1 - Schema globale dell'apparecchiatura.

Corp. ed è collegato ad un generatore di corrente continua di 12,5 KW. L'arco è fatto scoccare per mezzo di uno starter ad alta frequenza modello HF 5 prodotto dalla Arco. La sonda utilizzata è

del tipo raffreddato ad acqua modello Greyrad G-1-16, progettata per operare in regime stazionario all'interno dei getti di plasma [9].

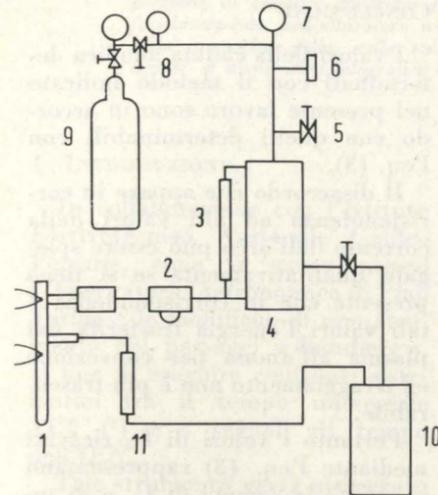


Fig. 2 - Circuito dell'acqua di raffreddamento della sonda.

1. Sonda; 2. Filtro; 3. Indicatore di livello; 4. Serbatoio acciaio inossidabile; 5. Valvola di sfogo; 6. Valvola di sicurezza; 7. Manometro; 8. Regolatore di pressione; 9. Bombola di elio; 10. Serbatoio di raccolta; 11. Rotametro.

Il raffreddamento della sonda è ottenuto con acqua distillata ad alta pressione fatta circolare mediante apposito circuito.

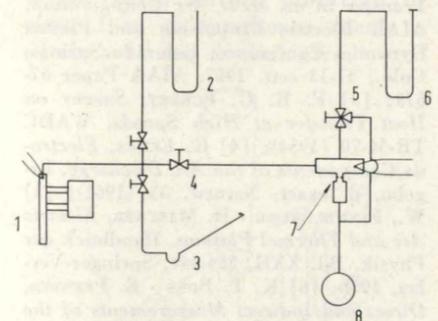


Fig. 3 - Dispositivo per la misura della pressione di ristagno e della portata di argon.

1. Sonda; 2. Manometro ad « U »; 3. Manometro inclinato; 4. Valvola; 5. Valvola a tre vie; 6. Manometro a mercurio; 7. Orifizio sonico; 8. Pompa a vuoto.

Una descrizione dettagliata della torcia, della sonda e degli apparati ausiliari è riportata altrove [10].

Per misurare la caduta anodica la sonda viene posta lungo l'asse del getto di plasma, ad una certa distanza dall'ugello dell'anodo. La sonda è mantenuta a potenziale fluttuante oppure collegata all'ano-

do attraverso resistori e batterie. La differenza di potenziale tra sonda ed anodo è misurata con un voltmetro digitale X3 NLS e la corrente  $I_s$  nel circuito plasma-sonda-anodo con un amperometro Weston.

In figura 1, è riportato lo schema globale dell'apparecchiatura ed in fig. 2 e 3, i particolari del circuito dell'acqua di raffreddamento della sonda e quelli del sistema adottato per rilevare la pressione di ristagno del getto.

## TECNICA DI MISURA

Cambiando la resistenza di collegamento tra l'anodo e la sonda, mantenuta lungo l'asse del getto di plasma ad una distanza di 8 mm dall'ugello dell'anodo, vengono ricavate le caratteristiche voltaggio-corrente per il circuito anodo-plasma-sonda per vari valori della corrente dell'arco. Tale circuito è rappresentato schematicamente in fig. 4, in cui  $U_a$  indica la caduta anodica,  $U_y$  rappresenta il contributo della gamba di attacco dell'arco ed  $U_p$  la differenza tra il potenziale dell'arco e quello assunto dalla sonda quando è mantenuta a potenziale fluttuante. Si vede che la differenza di potenziale  $U$  tra catodo e sonda in corrispondenza ad un valore di corrente nullo ( $I_s=0$ ) nel circuito plasma-sonda-anodo si può esprimere come

$$U = U_f = U_a + U_y + U_p \quad (4)$$

Al crescere dei valori della corrente dell'arco,  $U_y$  diminuisce, per

tendere a zero per valori di  $I$  300 Amp., e pertanto in corrispondenza a tali valori di corrente dell'arco, si ottiene:

$$U = U_f = U_a + U_p \quad (5)$$

nella situazione in cui  $I_s=0$ , il valore di  $U_p$  può essere calcolato imponendo l'uguaglianza della corrente dovuta agli ioni e quella dovuta agli elettroni alla superficie

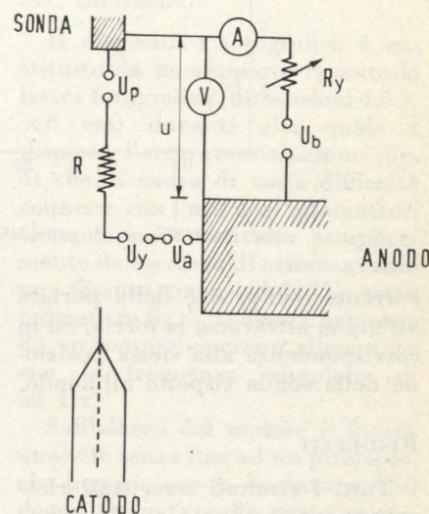


Fig. 4 - Schema del circuito per la misura della caduta anodica.

della sonda. Si ottiene in tal modo [11, 12]:

$$U_p = \frac{k T_e}{2e} \ln \left( \frac{m +}{2\pi m e} \right) \quad (6)$$

$U_a$  può quindi essere determinato mediante l'eq. (5) una volta misu-

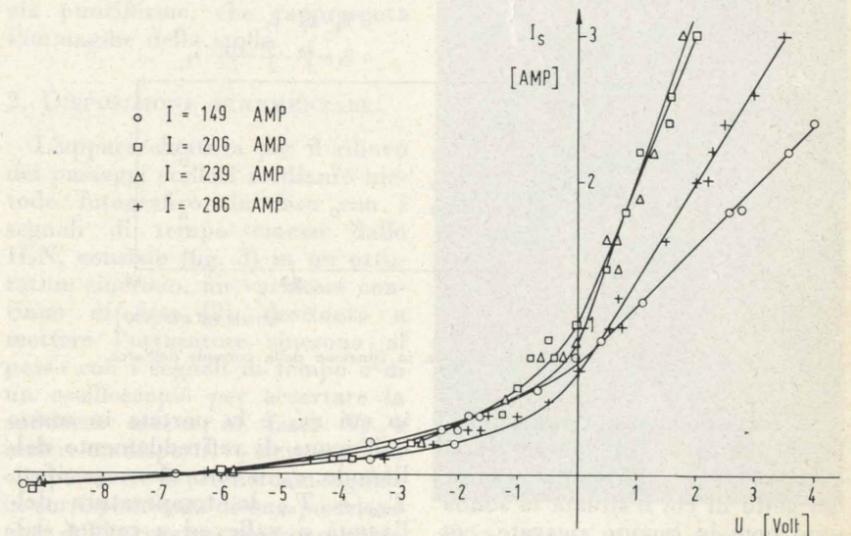


Fig. 5 - Caratteristiche del circuito plasma-sonda-anodo.

rato  $U$ , ed una volta nota la temp.  $T_e$  che compare nell'eq. (6). Tale temperatura è stata calcolata in un precedente lavoro [10] in corrispondenza agli stessi valori della

La posizione assiale della sonda è controllata mediante la lettura della pressione di ristagno del getto e conseguenti aggiustamenti della sonda stessa.

Il valore di  $T_e$ , che compare nell'eq. (3) è stato ricavato da valori misurati in precedenza [10], a valle dell'anodo.

#### CONCLUSIONI

I valori della caduta anodica determinati con il metodo indicato nel presente lavoro sono in accordo con quelli determinabili con l'eq. (3).

Il disaccordo che appare in corrispondenza ad alti valori della corrente dell'arco può essere spiegato qualitativamente se si tiene presente che in corrispondenza a tali valori l'energia trasferita dal plasma all'anodo per convezione ed irraggiamento non è più trascurabile.

Pertanto i valori di  $U_a$  ricavati mediante l'eq. (3) rappresentano in realtà la somma di  $U_a$  e di un termine che tenga conto dell'energia trasmessa per convezione ed irraggiamento.

Cesare Boffa

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] E. R. G. ECKERT, *Advances in Plasma Heat Transfer*, Advances in Heat Transfer, vol. 4, Academic Press, New York (1967); [2] K. T. SHIH - E. PFENDER - W. E. IBELE - E. R. G. ECKERT, *Experimental Studies of Electrode Heat Transfer in an MPD Arc Configuration*, AIAA Electric Propulsion and Plasma Dynamics Conference, Colorado Springs, Colo., 11-13 sett. 1967, AIAA Paper 67-673; [3] E. R. G. ECKERT, *Survey on Heat Transfer at High Speeds*, WADC TR-54-70 (1954); [4] G. ECKER, *Electrode Components of the Arc Discharge*, Ergebn. d. exact. Naturw. 33 (1961); [5] W. FINKELNBURG - H. MAECKER, *Electric Arc and Thermal Plasmas*, Handbuch der Physik, Bd. XXII, 254-444, Springer-Verlag, 1956; [6] K. T. BOSE - E. PFENDER, *Direct and Indirect Measurements of the Anode Fall in a Coaxial Arc Configuration*, in corso di pubblicazione su AIAA Journal; [7] P. SHOECK, *Ph.D. Thesis*, University of Minnesota, Mech. Eng. Dept., 1961; [8] E. PFENDER, *Comunicazione Privata*, University of Minnesota, Mech. Eng. Dept., sett. 1968; [9] J. GREY - P. F. JACOBS - M. P. SHERMAN, *Calorimetric Probe for the Measurement of Extremely High Temperature*, Rev. of Sci. Instr., Vol. 33, (7), 1962; [10] C. BOFFA - E. PFENDER, *Enthalpy Probe and Spectrometric Studies in an Argon Plasma Jet*, University of Minnesota, Mech. Eng. Dept. HTL-TR. 73, nov. 1967; [11] M. VON ARDENNE, *Tabellen zur Angewandten Physik*, Bd. II, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1964; [12] H. J. OSKAM, *Lectures on Plasma Physics*, Univ. of Minnesota, E. E., 1968.

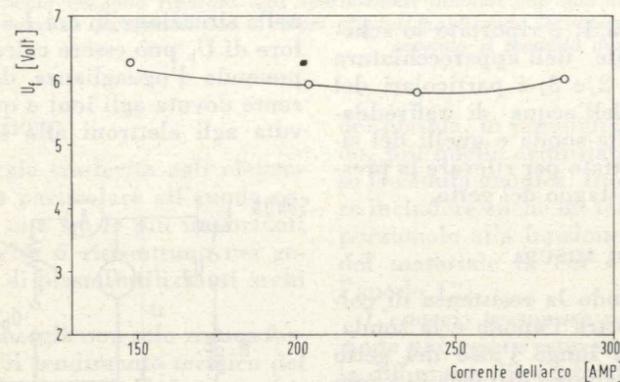


Fig. 6 - Differenza di potenziale tra sonda ed anodo per  $I_s=0$ .

corrente dell'arco e della portata all'argon attraverso la torcia, ed in corrispondenza alla stessa posizione della sonda rispetto all'anodo.

#### RISULTATI

Tutti i risultati sono stati ricavati mantenendo la sonda lungo l'asse del getto, ad una distanza di 8 mm. dall'ugello dell'anodo, e mantenendo attraverso la torcia, una portata d'argon pari a 0,18 gr/secondo.

Le misure si sono effettuate in corrispondenza a quattro valori della corrente dell'arco, pari a 149 Amp., 206 Amp., 239 Amp., 286 Amp.

I valori della differenza di potenziale  $U$  tra sonda e anodo, e della corrente  $I_s$ , per i quattro valori della corrente dell'arco sono riportati in fig. (5).

In fig. (6) sono riportati i valori di  $U=U_f$ , cioè della differenza di potenziale tra sonda ed anodo in corrispondenza ad un valore di corrente  $I_s$  nel circuito plasma-sonda-anodo.

In fig. 7, sono riportati i valori di  $U_a$  calcolati mediante le equazioni (5), (6) e mediante l'eq. (3).

$Q_a$  che compare nell'eq. (3) è stato determinato con misure calorimetriche effettuate nell'acqua di raffreddamento dell'anodo:

$$Q_a = m'_a c_{pa} (T_{av} - T_{am}) \quad (7)$$

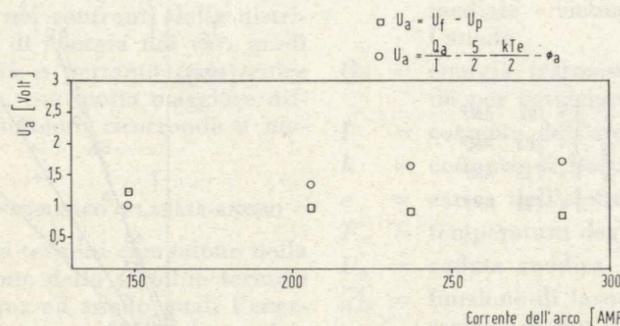


Fig. 7 - Valori della caduta anodica in funzione della corrente dell'arco.

In corrispondenza a tali valori, le distribuzioni di temperatura, entalpia e velocità nella sezione del getto in cui è situata la sonda sono note in quanto ricavate, come detto, in precedenza [10].

in cui  $m'_a$  è la portata in massa dell'acqua di raffreddamento dell'anodo,  $c_{pa}$  il suo calore specifico,  $T_{am}$  e  $T_{av}$  la temperatura dell'acqua a valle ed a monte dell'anodo rispettivamente.

## Metodo fotografico per confronti fra il tempo universale e i segnali di tempo dell'IEN

FRANCO MUSSINO descrive un dispositivo fotografico che, con l'ausilio di apparecchiature elettroniche, permette di eseguire confronti fra il tempo universale e i segnali di tempo emessi dall'IEN. Si esamina il funzionamento dell'otturatore usato e si determinano analiticamente le correzioni da apportare alla posizione delle immagini delle stelle sul fotogramma ottenuto. Vengono anche analizzati quantitativamente gli errori dovuti al dispositivo fotografico e alla lettura del fotogramma. Sono infine riportati alcuni risultati sperimentali ottenuti con lastre di diversa sensibilità.

#### 1. INTRODUZIONE.

In collaborazione con l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, sono in corso presso l'Osservatorio Astronomico di Pino Torinese le modifiche di uno strumento dei passaggi « Bamberg », al fine di eseguire confronti sistematici fra il tempo universale TU2 (1) e i segnali di tempo dell'IEN.

Tale strumento verrà attrezzato mediante dispositivo fotografico [1] per eseguire, ad intervalli di tempo noti e costanti, fotografie delle stelle al loro passaggio per il meridiano.

Lo strumento dei passaggi (fig. 1) è notoriamente costituito da un cannocchiale che può essere ruotato solamente nel piano meridiano, in quanto i supporti sono fissi e orientati secondo un asse orizzontale nella direzione Est-Ovest. Esso ha un obiettivo di circa 1 m di lunghezza focale e di circa 10 cm di diametro.

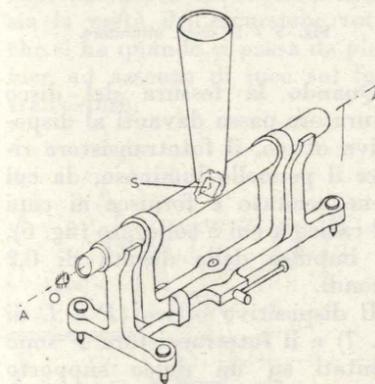


Fig. 1 - Lo strumento dei passaggi rappresentato schematicamente.

Il puntamento della stella viene effettuato variando la inclinazione del cannocchiale entro il piano meridiano, perpendicolarmente al quale avviene il movimento della stella.

(1) TU2: tempo universale TU corretto dello spostamento del polo e delle variazioni stagionali del periodo di rotazione della Terra.

L'immagine della stella viene rinviata all'oculare disposto in uno dei supporti, per mezzo dello specchio S (fig. 1), in modo che l'osservatore si trovi in posizione comoda e indipendente dalla declinazione della stella osservata.

L'immagine della stella, riflessa dallo specchio S, appare all'osservatore O, muoversi in direzione parallela alla parte del cannocchiale che è rivolta verso la stella stessa.

Al fine di determinare in modo semplice ed univoco la posizione della traccia del meridiano strumentale sul fotogramma, le immagini di una stessa stella vengono riprese prima del suo passaggio per il meridiano; quindi si inverte lo strumento sui suoi supporti (facendolo ruotare di 180° intorno a un asse verticale) e viene ripresa una seconda serie d'immagini dopo il passaggio per il meridiano. Opportuni dispositivi meccanici permettono di effettuare tale « inversione » in pochi secondi.

Sostituendo all'oculare il dispositivo fotografico più oltre descritto, si ottengono delle fotografie simili a quella riportata in fig. 2: a ciascuna apertura dell'otturatore corrisponde una traccia puntiforme, che rappresenta l'immagine della stella.

#### 2. DISPOSIZIONE STRUMENTALE.

L'apparecchiatura per il rilievo dei passaggi stellari mediante metodo fotografico, in fase con i segnali di tempo emessi dallo IEN, consiste (fig. 3) in un otturatore sincrono, un variatore continuo di fase [2], destinato a mettere l'otturatore sincrono al passo con i segnali di tempo e di un oscilloscopio per accertare la suddetta messa in fase. Vi è inoltre un dispositivo elettro-ottico che permette di ottenere un segnale in corrispondenza di una posizione nota dell'otturatore sincrono, come sarà spiegato più oltre.

#### 3. DISPOSITIVO FOTOGRAFICO.

##### 3.1. Otturatore.

Il dispositivo fotografico è costituito da un supporto recante la lastra fotografica (dimensioni  $4,5 \times 6$  cm) davanti alla quale è disposto l'otturatore sincrono (fig. 4) che, a causa di varie difficoltà connesse con l'uso degli'interruttori elettronici, è costituito semplicemente da un disco di ottone avente una fessura trapezoidale [3], come indicato in fig. 5. Il disco è azionato da un motore sincrono alimentato con la frequenza campione di 50 Hz.

Sull'albero del motore è fissata una vite senza fine ad un principio, che ingrana con la dentatura (250 denti) ricavata sulla parte periferica del disco.

Il rapporto di trasmissione degli ingranaggi (1 : 250) e la velocità

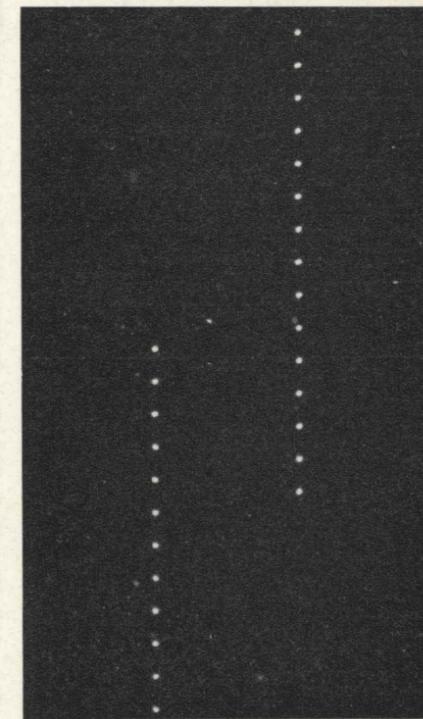


Fig. 2 - Esempio di fotogramma stellare eseguito con il dispositivo fotografico descritto; (Stella  $\beta$  Pegasi, magnitudine 2,5) ( $\sim 12 \times$ ).

di rotazione del motore (3000 giri/min) sono tali che il disco compie un giro ogni 5 secondi.

Quando la fessura del disco otturatore passa davanti alla lastra fotografica, questa viene impres-

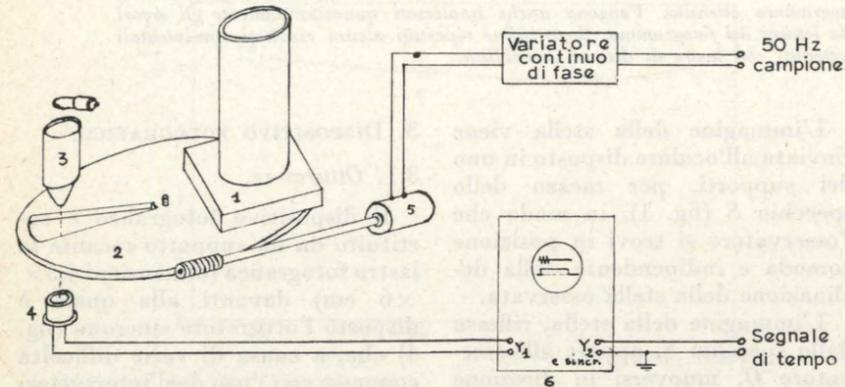


Fig. 3 - Disposizione delle apparecchiature per eseguire fotografie stellari in fase con i segnali di tempo campione emessi dall'IEN.

1) Supporto recante la lastra fotografica; 2) Disco otturatore; 3) Cannocchiale collimatore che genera un sottile pennello di luce che viene intercettato dalla fessura del disco otturatore durante la sua rotazione; 4) Fototransistore che raccoglie il pennello di luce e genera il segnale utile per effettuare la coincidenza tra l'istante di esecuzione delle fotografie e i segnali di tempo campione; 5) Motore sincrono azionato dal 50 Hz campione; 6) Oscilloscopio a doppia traccia.

sionata: il tempo di esposizione è di 0,2 secondi (2) in quanto l'ampiezza dell'angolo  $\alpha$  (fig. 5) è di  $14^{\circ} 24'$ .

### 3.2. Sincronizzazione.

Per fare in modo che le fotografie stellari siano scattate in fase con i segnali di tempo campione, occorre poter variare in anticipo o in ritardo l'istante in cui la fessura del disco otturatore passa davanti alla lastra fotografica, fino ad ottenere l'esatta

(2) La velocità di rotazione del disco otturatore ed il tempo di esposizione sono stati scelti in base a numerose prove preliminari effettuate da C. EGIDI con macchina fotografica Exacta e con pellicole del tipo Kodak Tri-X da  $24^{\circ}$  DIN.

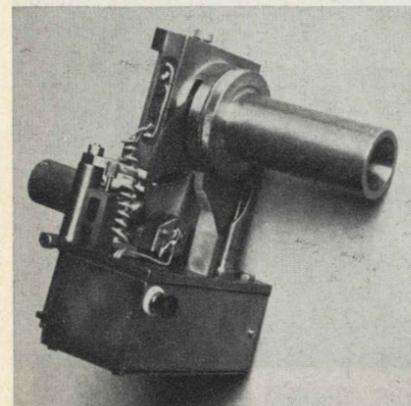


Fig. 4 - Il dispositivo fotografico.

messa in fase. Ciò viene fatto sfasando in anticipo o in ritardo la tensione di alimentazione del motore sincrono per mezzo del variatore continuo di fase; si possono così ottenere sfasamenti

regolabili a piacere, con sensibilità dell'ordine di 0,1 ms.

In tal modo risulta noto il tempo al quale ciascuna immagine stellare è stata ripresa. Poiché i segnali di tempo anzidetti sono regolati su propria scala di tempo accuratamente nota attraverso confronti internazionali di tempo e di frequenza, effettuando la coincidenza mediante il variatore continuo di fase, si può riferire tale scala ai passaggi stellari e determinare così su una conveniente base statistica la posizione dei segnali di detta scala rispetto al tempo universale.

Per eseguire l'esatta messa in fase del dispositivo fotografico, occorre poter confrontare, ad esempio mediante un oscilloscopio a doppia traccia, i segnali di tempo campione con un segnale ottenuto nell'istante in cui la mezziera della fessura coincide con la traccia del piano meridiano.

Questo segnale può essere ottenuto usando la fessura stessa. Si sfrutta il fatto che i segnali di tempo, costituiti da cinque sinusoidi di frequenza 1000 Hz, sono emessi ogni secondo, mentre il disco compie un giro ogni 5 sec.

Suddividendo idealmente il disco in 5 tratti equidistanti, uno dei quali coincida con la mezziera della fessura, si osserva che durante un giro intero del disco

otturatore si hanno 4 posizioni della fessura utili per generare il segnale, essendo la quinta posizione usata per fotografare la stella.

Di queste 4 posizioni si è scelta quella che è raggiunta dalla fessura dopo una rotazione di  $2/5$  di circonferenza (cioè con un ritardo di 2 secondi) a partire dalla posizione usata per eseguire le fotografie stellari (fig. 5).

Il segnale per la sincronizzazione è generato nel seguente modo: da un lato del disco otturatore è sistemato un fototransistore, mentre dall'altro lato del disco è sistemato un dispositivo ottico, costituito da una lampadina e da un cannocchiale (fig. 3) con diaframma a fessura, che emette un sottile pennello di luce di circa 0,015 mm di spessore.

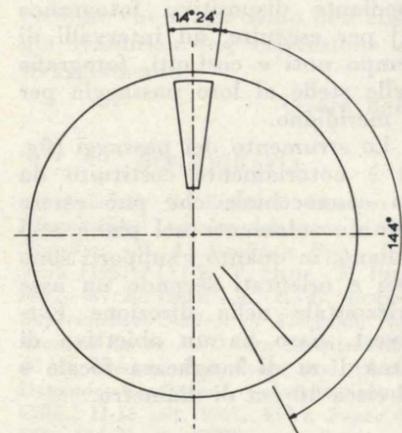


Fig. 5 - Il disco otturatore.

Quando la fessura del disco otturatore passa davanti al dispositivo ottico, il fototransistore riceve il pennello luminoso, da cui viene eccitato e fornisce ai capi del carico a cui è collegato (fig. 6), un impulso della durata di 0,2 secondi.

Il dispositivo ottico ( $P$  e  $L$  di fig. 7) e il fototransistore  $F$  sono montati su un unico supporto rotante intorno ad un asse in modo da poter spostare il tutto fino ad ottenere che il segnale generato dal fototransistore sia sfasato di  $2/5$  di circonferenza (cioè di 2 secondi) rispetto alla

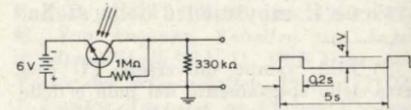


Fig. 6 - Circuito del fototransistore.

posizione in cui la fessura passa davanti alla lastra fotografica.

Per eseguire l'esatto posizionamento del dispositivo ottico e del fototransistore, da cui dipende la precisione dei confronti fra i passaggi stellari ed i segnali di tempo, sono stati incisi sul disco otturatore due segmenti radiali (fig. 5) ruotati di  $144^{\circ} \pm 0,01^{\circ}$  (cioè di  $2/5$  di circonferenza) rispetto ai lati della fessura.

Poiché il punto centrale della parte cilindrica del dispositivo fotografico è un punto dell'asse di simmetria del cannocchiale corrispondente anche alla traccia del piano meridiano, la messa in fase del dispositivo si esegue portando a coincidere detto punto centrale con uno dei due segmenti incisi sul disco otturatore. La coincidenza è ottenuta (fig. 7) introducendo nella parte cilindrica un apposito disco  $C$ , avente al centro un foro di 0,5 mm di diametro: guardando attraverso il foro si può centrare facilmente uno dei segmenti incisi.

Si esegue quindi la regolazione del pennello di luce, in modo da portarlo a lambire il lato della fessura. Ciò viene fatto sia visivamente, sia con l'ausilio di un voltmetro per corrente continua o di un oscilloscopio con accoppiamento in continua: si fa cioè in modo che il segnale ottenuto ai capi del carico del fototransistore sia la metà dell'escursione totale che si ha quando si passa da piena luce ad assenza di luce sul fototransistore.

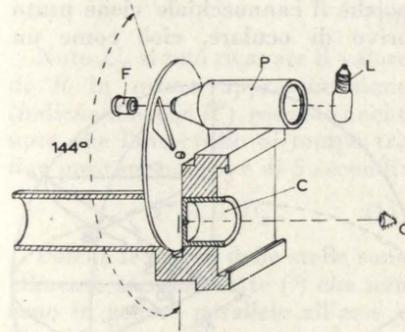


Fig. 7 - Disposizione per mettere in fase l'apparecchiatura fotografica.

### 3.3. Errori del dispositivo fotografico.

Gli errori del dispositivo fotografico sono dovuti principalmente a tre cause.

La prima è l'incertezza con cui, guardando attraverso il foro (fig. 7), si centra il segmento inciso; questa incertezza può essere stimata in  $\pm 0,05$  mm (cioè in  $\pm 1/10$  del diametro del foro).

Poiché lo sviluppo della circonferenza su cui si fa il posizionamento è di circa 195 mm, l'errore risulta di circa  $\pm 1,3$  ms.

La seconda causa d'errore è l'incertezza con cui si posiziona il dispositivo ottico e il fototransistore fino ad ottenere ai capi del carico del fototransistore un segnale pari alla metà dell'escursione totale. Poiché il tempo di salita di questo segnale è di circa 1,5 ms (fig. 8) e l'incertezza della regolazione di posizione è di circa  $\pm 1/5$  dell'escursione totale del segnale, tale errore risulta di circa  $\pm 0,3$  ms.

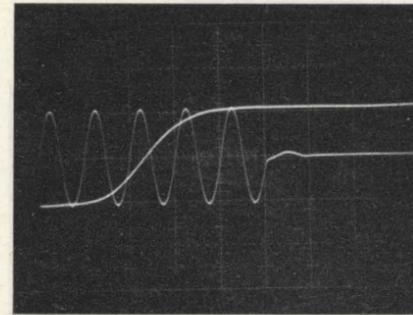


Fig. 8 - Il segnale di tempo e il segnale del fototransistore osservati all'oscilloscopio.

La terza causa d'errore è il gioco tra la dentatura periferica del disco otturatore e la vite senza fine dell'albero motore. Questo errore è stato valutato osservando all'oscilloscopio gli spostamenti in anticipo ed in ritardo del fronte di salita dell'impulso generato dal fototransistore rispetto al segnale di tempo. Sulla base di circa 100 osservazioni consecutive si è rilevato che il valore massimo di tale spostamento è di circa  $\pm 0,3$  ms mentre lo scarto quadratico medio è di  $\pm 0,1$  ms.

Nel caso peggiore in cui tali errori vengono sommati, l'errore massimo del dispositivo fotografico è di circa  $\pm 1,9$  ms.

Come si vedrà più oltre, tali errori sono largamente inferiori a quelli che si commettono nella lettura della lastra.

## 4. DETERMINAZIONE DEL TEMPO DI PASSAGGIO DELLA STELLA RISPETTO AI SEGNALE DI TEMPO.

### 4.1. Esame del fotogramma.

In fig. 9 è rappresentato in modo schematico il fotogramma di fig. 2. I punti  $A_i$  sono le immagini della stella in entrata, quelli  $B_j$  sono le immagini della medesima stella in uscita, i cerchi sono le immagini perse durante l'inversione dello strumento; la retta  $M-M$  è la traccia del piano meridiano strumentale che evidentemente non è segnata sul fotogramma.

Le serie di immagini  $A_i$ ,  $B_j$ , sono parallele, più o meno distanziate a seconda della precisione delle due puntate al cerchietto di declinazione. Per determinare l'istante in cui la stella in entrata avrebbe intersecato il meridiano strumentale (se non ci fosse stata l'inversione), si misurano le ordinate delle  $A_i$  e  $B_j$ ; da esse si ricavano il valore medio dell'intervallo  $R$  e il valore medio della differenza  $D$ . Quindi se  $u$  è l'intervallo di tempo in secondi tra una posa e la successiva,  $T_a$  l'istante dell'ultima posa  $A$ ,  $T$  l'istante cercato in cui la stella interseca  $M-M$ ,  $n$  il numero delle immagini perse, si ottiene con semplici considerazioni la relazione:

$$T = T_a + (n+1) \frac{u}{2} - \frac{D}{R} \frac{u}{2} \quad (1)$$

a condizione che l'ultima posa delle  $A$  sia più vicina ad  $M-M$  della prima delle  $B$  [4]. Se invece è la prima posa delle  $B$  ad essere più vicina ad  $M-M$  dell'ultima delle  $A$  si ottiene una relazione del tutto analoga alla (1). Si osserva che lo scarto  $\Delta t$  esistente tra il tempo di passaggio della stella per il meridiano e il segnale di tempo campione, cioè

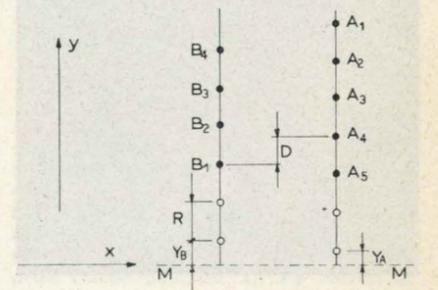


Fig. 9 - Rappresentazione schematica del fotogramma di fig. 2.

$\Delta t = T - T_a$ , può essere determinato (a meno di multipli interi di  $u/2$ ) misurando semplicemente le distanze  $D$  ed  $R$  sul fotogramma.

Si osserva quindi che la presenza delle due serie di tracce  $A_i$  e  $B_j$ , ottenute mediante l'inversione del cannocchiale, permette di determinare la posizione della traccia  $M-M$  del piano meridiano strumentale, in modo sicuro ed univoco (a meno di multipli interi di  $R/2$ ).

#### 4.2. Correzioni dovute al tipo di otturatore usato.

L'otturatore rotante usato nel dispositivo fotografico impiega circa 0,67 secondi a descrivere il campo impressionabile della lastra; ciò comporta la necessità di effettuare delle correzioni, che sono facilmente determinabili, in quanto gli istanti in cui vengono impressionate le tracce della stella sono funzioni della posizione delle tracce stesse.

La correzione non sarebbe necessaria soltanto nel caso in cui la direzione lungo la quale si muove la traccia della stella passasse per il centro di rotazione del disco otturatore e fosse parallela alla direzione del segmento inciso (fig. 7) nella posizione in cui è stata fatta la regolazione del pennello di luce per ottenere la sincronizzazione. La suddetta condizione non soltanto sarebbe difficile da ottenere, poichè dipendente dalla precisione con cui si effettua il puntamento della stella, ma anzi presenterebbe l'inconveniente di una sovrapposizione delle sue serie di tracce, prima e dopo l'inversione.

È stato perciò studiato un procedimento di calcolo che, impostato su un calcolatore elettronico,

partendo dai valori delle coordinate delle tracce lette sulla lastra, permette di riportarsi alla condizione ideale suddetta, ossia come se le tracce fossero state ottenute da un otturatore istantaneo ad iride, che si apre in sincronismo con i segnali di tempo.

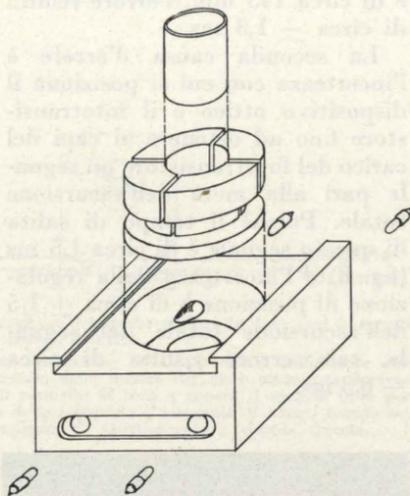


Fig. 11 - Dispositivo per impressionare sulla lastra le quattro linee di riferimento.

Allo scopo di fissare un sistema cartesiano di riferimento, vengono fotografate sulla lastra quattro linee sottili al di fuori del campo impressionabile dalle stelle (fig. 10). Queste quattro linee permettono di individuare gli assi  $x$  e  $y$  con sufficiente precisione per effettuare le correzioni. Inoltre si è fatto in modo che l'asse  $x$  coincidesse con la retta  $M-M$  traccia del piano meridiano, come indicato in fig. 9, e che l'asse  $y$  fosse parallelo alla traiettoria della stella nel suo transito per il meridiano (o più evidentemente, all'asse  $x$  sul piano della lastra); la fig. 11 mostra il dispositivo con cui si ottengono foto-

graficamente le quattro linee di riferimento sulla lastra.

Le coordinate delle tracce della stella si ottengono misurando la posizione della traccia mediante un comparatore e riferendola alla posizione delle linee di riferimento che individuano gli assi  $x$  e  $y$ . Per ridurre gli errori si effettuano più puntate sulla stessa traccia; quindi le varie letture vengono mediate.

È utile ai fini dei calcoli di correzione suddetti, determinare la velocità  $U_0$  con cui si sposta l'immagine della stella sulla lastra fotografica. Tale velocità dipende essenzialmente dalla declinazione della stella e può essere determinata facilmente osservando la fig. 12, in cui la volta celeste è rappresentata con una sfera e la Terra con il punto  $T$ . La Terra è considerata puntiforme a causa della grande distanza dalla stella stessa. Per il medesimo motivo non interviene nel calcolo la latitudine del luogo in cui si fanno i rilievi. Con riferimento alla fig. 12 si ha:

$$\widehat{AB} = r_\infty S_0 \quad (2)$$

da cui:

$$S = \frac{\widehat{AB}}{R_\infty} = \frac{r_\infty}{R_\infty} S_0; \quad (3)$$

considerando poi il triangolo rettangolo  $BCT$  si ha che:

$$r_\infty = R_\infty \cos \delta. \quad (4)$$

Sostituendo la (4) nella (3), si ottiene:

$$S = S_0 \cos \delta. \quad (5)$$

Si consideri ora lo schema ottico dello strumento riportato in fig. 13; poichè il cannocchiale viene usato privo di oculare, cioè come un

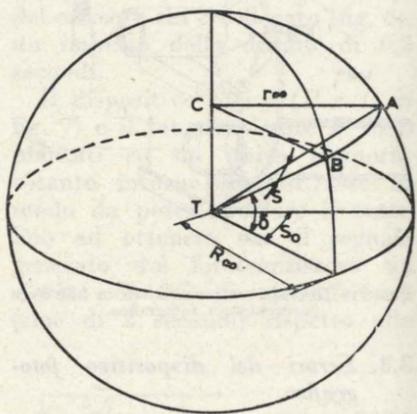


Fig. 12 - Rappresentazione schematica della sfera celeste per il calcolo della velocità  $U_0$  con cui si sposta l'immagine della stella sulla lastra.

semplice obiettivo fotografico, dalla nota relazione:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (6)$$

considerando che  $p$ , nel caso in cui l'oggetto sia una stella, tende ad infinito, si ricava:

$$q = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{p}} = f \quad (7)$$

si può quindi scrivere, nell'approssimazione dell'ottica geometrica,

$$A'B' = S \cdot q = S \cdot f. \quad (8)$$

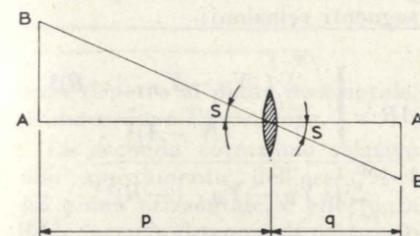


Fig. 13 - Schema ottico dello strumento dei passaggi.

È quindi possibile calcolare la velocità con cui si sposta l'immagine da  $A'$  a  $B'$  in conseguenza del moto della stella da  $A$  a  $B$ . Il tempo relativo a tale spostamento vale:

$$t_{B'} - t_{A'} = t_B - t_A = \frac{S_0}{2\pi} T_{gs} \quad (9)$$

ove si è indicato con  $T_{gs}$  la durata del giorno sidereo.

Ricordando la (5), (8) e (9) si può ricavare:

$$U_0 = \frac{A'B'}{t_{A'} - t_{B'}} = \frac{2\pi \cdot f \cdot \cos \delta}{T_{gs}} \quad (10)$$

Noto  $U_0$  si può ricavare il valore di  $R$  in prima approssimazione (indicandolo con  $R'$ ), essendo anche noto che l'intervallo di tempo tra due pose successive è di 5 secondi:

$$R' = 5 U_0. \quad (11)$$

Poichè le tracce delle stelle sono allineate secondo rette (3) che non sono in genere parallele all'asse  $y$  (fig. 14), occorre apportare le correzioni sia alle ascisse sia alle ordinate. Queste correzioni dipendono dal valore delle componenti

(3) A rigore le tracce stanno sulla proiezione di archi di cerchi minori. Per semplicità, in questo studio si trascura l'effetto di curvatura del parallelo certamente molto piccola.

$U_{0x}$  e  $U_{0y}$  della velocità  $U_0$  e per calcolarle occorre prima ricavare gli angoli  $\alpha_i$  e  $\beta_i$  formati rispettivamente dai vettori  $A_i - A_{i+1}$  e  $B_{j+1} - B_j$  con il versore  $x$ .

Si ottiene:

$$\cos \alpha_i = \quad (12)$$

$$= \frac{x_{A_i} - x_{A_{i+1}}}{\sqrt{(x_{A_i} - x_{A_{i+1}})^2 + (y_{A_i} - y_{A_{i+1}})^2}}$$

$$\sin \alpha_i = \quad (13)$$

$$= \frac{y_{A_i} - y_{A_{i+1}}}{\sqrt{(x_{A_i} - x_{A_{i+1}})^2 + (y_{A_i} - y_{A_{i+1}})^2}}$$

$$\cos \beta_j = \quad (14)$$

$$= \frac{x_{B_{j+1}} - x_{B_j}}{\sqrt{(x_{B_j} - x_{B_{j+1}})^2 + (y_{B_j} - y_{B_{j+1}})^2}}$$

$$\sin \beta_j = \quad (15)$$

$$= \frac{y_{B_{j+1}} - y_{B_j}}{\sqrt{(x_{B_j} - x_{B_{j+1}})^2 + (y_{B_j} - y_{B_{j+1}})^2}}$$

Se sulla lastra vi sono  $N$  tracce del gruppo  $A$  ed  $M$  del gruppo  $B$ , si possono calcolare i coseni direttori delle rette secondo cui sono allineate le tracce facendo la media tra i valori di  $\sin \alpha_i$ ,  $\cos \alpha_i$ ,  $\sin \beta_j$ ,  $\cos \beta_j$ , secondo le relazioni:

$$\cos \alpha = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \cos \alpha_i + \sum_{j=1}^{M-1} \cos \beta_j}{N + M - 2} \quad (16)$$

$$\sin \alpha = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \sin \alpha_i + \sum_{j=1}^{M-1} \sin \beta_j}{N + M - 2}. \quad (17)$$

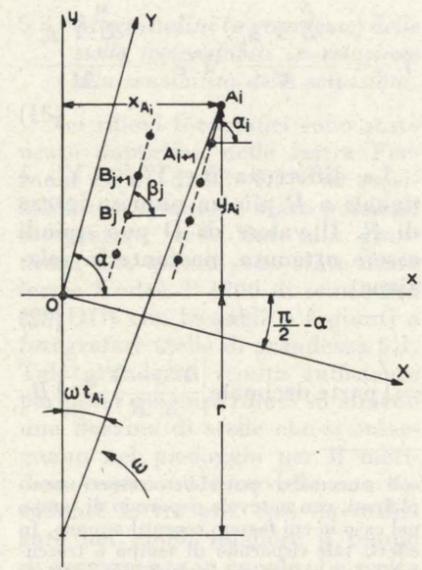


Fig. 14 - Rappresentazione schematica per il calcolo delle correzioni.

Noti  $\cos \alpha$  e  $\sin \alpha$ , è immediato calcolare le componenti  $U_{0x}$  e  $U_{0y}$  della velocità  $U_0$  secondo gli assi  $x$  e  $y$ :

$$U_{0x} = U_0 \cos \alpha \quad (18)$$

$$U_{0y} = U_0 \sin \alpha.$$

Osservando la fig. 14 si deduce che il tempo di anticipo con cui è stata eseguita la fotografia relativa alla traccia  $A_i$  (oppure  $B_j$ ) rispetto all'istante di esposizione ideale è calcolabile mediante le seguenti relazioni:

$$t_{A_i} = \frac{1}{\omega} \arctg \frac{x_{A_i}}{r + y_{A_i}} \quad (19)$$

$$t_{B_j} = \frac{1}{\omega} \arctg \frac{x_{B_j}}{r + y_{B_j}} \quad (20)$$

dove  $\omega$  è la velocità angolare di rotazione del disco.

Si possono ora calcolare, in prima approssimazione, i valori corretti delle coordinate di ciascuna traccia (4):

$$x'_{A_i} = x_{A_i} - U_{0x} t_{A_i}$$

$$y'_{A_i} = y_{A_i} - U_{0y} t_{A_i} \quad (21)$$

$$x'_{B_j} = x_{B_j} + U_{0x} t_{B_j}$$

$$y'_{B_j} = y_{B_j} + U_{0y} t_{B_j}.$$

Per migliorare la precisione del calcolo si ricava il valore di  $R$  in seconda approssimazione deducendolo dalle (21):

$$R_x'' = \quad (22)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{N-1} x'_{A_i} - x'_{A_{i+1}} + \sum_{j=1}^{M-1} x'_{B_{j+1}} - x'_{B_j}}{N + M - 2}$$

$$R_y'' = \quad (23)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{N-1} y'_{A_i} - y'_{A_{i+1}} + \sum_{j=1}^{M-1} y'_{B_{j+1}} - y'_{B_j}}{N + M - 2}$$

$$R'' = \sqrt{R_x''^2 + R_y''^2}. \quad (24)$$

(4) Le correzioni alle ordinate possono giungere fino al 4 ÷ 5% della distanza fra le tracce, secondo la declinazione della stella (da cui dipende  $U_0$ ) e la precisione del puntamento del cannocchiale (da cui dipende la distanza delle tracce dall'asse  $x$ ). Le correzioni alle ascisse sono di solito inferiori almeno di un ordine di grandezza rispetto alle precedenti.

Fig. 10 - Fotogramma stellare con impressionate le quattro linee per l'individuazione del sistema di assi di riferimento.

Noto  $R''$  si ricalcola  $U_0''$  e quindi  $U''_{0x}$  e  $U''_{0y}$ ,  $t''_{A_i}$  e  $t''_{B_j}$ , da cui si possono dedurre i valori delle coordinate in seconda approssimazione, in modo analogo alle (21).

Il calcolo può essere ripetuto numerose volte per migliorare l'approssimazione, controllando ogni volta la convergenza, cioè che sia:

$$|R^{(k)} - R^{(k-1)}| < |R^{(k-1)} - R^{(k-2)}| \quad (25)$$

ed arrestando il procedimento dopo  $K$  iterazioni quando  $K$  è tale che:

$$|R^{(K)} - R^{(K-1)}| \leq R^{(K)}/1000. \quad (26)$$

Si indicherà genericamente con  $R$  il valore a cui si è pervenuti mediante questo calcolo.

I calcoli numerici che sono stati eseguiti hanno confermato che tale convergenza esiste e che la (26) viene verificata dopo un numero limitato di iterazioni (5).

Poichè come è stato detto, le tracce delle stelle sono allineate secondo rette che non sono in genere parallele all'asse  $y$ , ma formano con esso un angolo di  $\frac{\pi}{2} - \alpha$  (fig. 14) è opportuno effettuare un cambiamento di riferimento, in modo da uniformare tutti i fotogrammi ed i risultati che si derivano, alla rappresentazione di fig. 9. Il cambiamento di riferimento consiste semplicemente

in una rotazione di  $\frac{\pi}{2} - \alpha$  intorno all'origine  $O$  degli assi  $x$  e  $y$ : i nuovi assi sono indicati con  $X$  e  $Y$  (fig. 14). Le coordinate delle singole tracce secondo i nuovi assi si ottengono dalle precedenti per mezzo delle relazioni:

$$\begin{aligned} X &= \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos \left[ \arctg \frac{y}{x} + \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) \right] \\ Y &= \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin \left[ \arctg \frac{y}{x} + \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) \right]. \end{aligned} \quad (27)$$

(5) Tale calcolo potrebbe essere effettuato soltanto inizialmente per un certo numero di fotogrammi in modo da determinare con buona precisione la distanza focale, che non è misurabile direttamente con altrettanta precisione. Quindi i cal-

Allo scopo di semplificare i calcoli, poichè in luogo di  $\alpha$  si conoscono già  $\sin \alpha$  e  $\cos \alpha$ , le (27) possono essere scritte nella forma seguente:

$$\begin{aligned} X &= \sqrt{x^2 + y^2} \left[ \cos \left( \arctg \frac{y}{x} \right) \sin \alpha - \sin \left( \arctg \frac{y}{x} \right) \cos \alpha \right] \\ Y &= \sqrt{x^2 + y^2} \left[ \sin \left( \arctg \frac{y}{x} \right) \sin \alpha + \cos \left( \arctg \frac{y}{x} \right) \cos \alpha \right]. \end{aligned} \quad (28)$$

Resta ancora da calcolare il valore di  $D$  (fig. 9) che può essere definito come differenza fra l'ordinata  $Y_{A_i}$  della generica traccia  $A_i$  e l'ordinata  $Y_{B_j}$  della traccia  $B_j$  immediatamente inferiore a  $Y_{A_i}$ .

Per determinare  $D$  occorre perciò calcolare tutte le differenze suddette tra coppie di tracce  $A$  e  $B$ , quindi eseguirne la media.

Un metodo più semplice da eseguire con calcolatore elettronico e che permette di usare tutte le ordinate delle tracce  $A$  e  $B$  è il seguente; si calcolano le quantità:

$$\begin{aligned} Y'_{A_i} &= Y_{A_i} + (i-1)R \\ Y'_{B_j} &= Y_{B_j} - (j-1)R \end{aligned} \quad (29)$$

nel caso in cui  $\sin \alpha$  è positivo, oppure le quantità:

$$\begin{aligned} Y'_{A_i} &= Y_{A_i} - (i-1)R \\ Y'_{B_j} &= Y_{B_j} + (j-1)R \end{aligned} \quad (30)$$

nel caso in cui  $\sin \alpha$  è negativo. Si calcolano quindi i valori:

$$Y'_A = \frac{\sum_{i=1}^N Y'_{A_i}}{N} \quad Y'_B = \frac{\sum_{j=1}^M Y'_{B_j}}{M} \quad (31)$$

La differenza fra  $Y'_A$  e  $Y'_B$  è uguale a  $D$  più un numero intero di  $R$ . Il valore di  $D$  può quindi essere ottenuto mediante la relazione:

$$D = \left( \text{parte decimale} \left| \frac{Y'_A - Y'_B}{R} \right| \right) R. \quad (32)$$

colti successivi potrebbero essere semplificati, con notevole risparmio di tempo nel caso in cui fossero eseguiti a mano. In effetti tale risparmio di tempo è trascurabile se si usa un calcolatore elettronico.

#### 4.3. Errori nella lettura della lastra.

L'incertezza (scarto quadratico medio) con cui sono noti  $R$  e  $D$  può essere calcolato mediante le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} \Delta R &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (|Y_{A_i} - Y_{A_{i+1}}| - R)^2}{(N-1)^2} + \frac{\sum_{j=1}^{M-1} (|Y_{B_j} - Y_{B_{j+1}}| - R)^2}{(M-1)^2}} \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} \Delta D &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y'_{A_i} - Y'_A)^2}{N^2} + \frac{\sum_{j=1}^M (Y'_{B_j} - Y'_B)^2}{M^2}} \end{aligned} \quad (34)$$

È ora facile calcolare l'errore che si commette nella determinazione di  $T$ , a causa dell'incertezza con cui sono noti  $R$  e  $D$ . Ricordando la (1) e applicando note relazioni, si ottiene:

$$\Delta T = \frac{uD}{2R} \sqrt{\left| \frac{\Delta D}{D} \right|^2 + \left| \frac{\Delta R}{R} \right|^2}. \quad (35)$$

Da alcuni rilievi fotografici preliminari si è trovato che tale errore è dell'ordine di 50ms, per i singoli fotogrammi contenenti una ventina di tracce, ossia per ogni stella.

#### 4.4. Correzioni ulteriori.

Per tener conto della non coincidenza dell'asse di rotazione  $A-A$  dello strumento dei passaggi (fig. 1) con un asse di direzione Est-Ovest, si effettuano successivamente due correzioni.

La prima correzione viene effettuata usando una livella che permette di valutare l'angolo di cui l'asse  $A-A$  dello strumento è incli-

TABELLA 1.

N.	Stella	Magnitudine	Classe spettrale	Ascensione retta	Distanza zenitale	Declinazione	Lettura livella prima dell'inversione (div.)		Lettura livella dopo l'inversione (div.)	
1	$\zeta$ Cygni	3,4	KO	21h 11' 37"	14° 57' S	+ 30° 5'	+ 28,0	+ 62,0	- 12,1	- 47,5
2	$\beta$ Cephei	3,33	B <sub>1</sub>	21h 28' 18"	25° 23' N	+ 70° 24'	- 11,5	- 45,6	+ 24,0	+ 58,5
3	$\beta$ Pegasi	2,54	KO	21h 42' 40"	35° 18' S	+ 9° 43'	+ 24,6	+ 58,9	- 8,5	- 43,0
4	16 Pegasi	5,05	B <sub>3</sub>	21h 51' 39"	19° 15' S	+ 25° 46'	- 12,9	- 47,2	+ 23,6	+ 58,0
5	$\iota$ Pegasi	3,96	FS	22h 5' 0"	19° 50' S	+ 25° 11'	+ 24,8	+ 59,2	- 11,7	- 46,1
6	$\gamma$ Aquarii	3,97	AO	22h 20' 3"	46° 34' S	- 1° 32'	- 11,4	- 45,9	+ 24,5	+ 59,0

nato rispetto al piano orizzontale, prima e dopo l'inversione.

La seconda correzione relativa allo spostamento dell'asse  $A-A$  sul piano orizzontale, è effettuata considerando il tempo di passaggio per il meridiano di almeno due stelle.

#### 5. RILIEVI SPERIMENTALI.

##### 5.1. Operazioni preliminari.

Le operazioni che si devono compiere prima dell'inizio di una serie di rilievi fotografici del passaggio di stelle consistono nel mettere a fuoco il dispositivo e in fase l'otturatore.

La messa a fuoco viene effettuata puntando un oggetto sufficientemente lontano e sostituendo la lastra con un vetro smerigliato: si sposta quindi, mediante opportuna vite, la posizione del dispositivo fotografico in modo che sul vetro smerigliato appaia l'immagine nitida dell'oggetto osservato. Tale regolazione viene effettuata una tantum e richiede soltanto periodici controlli.

La messa in fase dell'otturatore sincrono viene invece effettuata all'inizio di ogni serie di rilievi fotografici. Per fare in modo che la fotografia di ogni singola traccia della stella sia effettuata in corrispondenza dell'inizio dei segnali di tempo campione emessi dall'IEN, occorre agire sul variatore continuo di fase fino a quando appaia sull'oscilloscopio, sincronizzato dai segnali di tempo, il fronte di salita della forma d'onda generata dal fototransistore, quindi lo si porta

a coincidere con l'inizio del segnale di tempo stesso.

In tal modo il dispositivo fotografico è pronto per eseguire una serie di rilievi fotografici. In una serata nell'intervallo di tempo di circa tre ore è possibile eseguire rilievi su circa 12 ÷ 15 stelle.

##### 5.2. Raccolta dei dati durante l'esecuzione delle fotografie.

I dati relativi alle stelle utilizzate, quali le loro magnitudini, le ascensioni rette e le declinazioni vengono raccolti in una tabella del tipo di quella qui riportata (tabella I); durante la esecuzione delle fotografie della stella si aggiungono ad essi le letture eseguite sulla livella, di cui il cannocchiale è munito.

##### 5.3. Magnitudini (o grandezze) delle stelle fotografabili in relazione alla sensibilità delle emulsioni.

Nei rilievi fotografici sono state usate dapprima delle lastre Ferrania LS 61 di 22° DIN di sensibilità con le quali è stato possibile fotografare stelle fino alla grandezza 4,0, quindi sono state usate lastre Kodak P 1200 di sensibilità 27° DIN con le quali si è giunti a fotografare stelle di grandezza 5,1. Tale grandezza risulta sufficiente per poter eseguire rilievi su almeno una dozzina di stelle che si susseguono nel passaggio per il meridiano entro un intervallo non eccedente le tre ore, così da utilizzare nel modo migliore il tempo di permanenza in cupola. La scelta delle stelle da fotografare è poi

anche limitata verso la elevate luminanze, affinché le tracce non risultino di dimensioni grandi, con conseguente aumento dell'incertezza nella determinazione della posizione del loro centro sulla lastra.

La magnitudine massima ( $M_1$ ), cioè la minima luminanza, di una stella fotografabile con una lastra di sensibilità ( $S_1$ ) è immediatamente deducibile dalla magnitudine massima ( $M_2$ ) della stella fotografabile con lastra avente sensibilità ( $S_2$ ), mediante la seguente relazione:

$$M_1 = M_2 + \frac{S_1 - S_2}{4}. \quad (36)$$

Questo calcolo è soltanto approssimato, se viene applicato a due emulsioni che hanno diversi andamenti della sensibilità in funzione della lunghezza d'onda della luce. In genere le sensibilità sono date per la luce solare; invece per le stelle, che emettono luce di composizione spettrale diversa, l'aumento di sensibilità può differire da quello calcolabile mediante la relazione precedente, che tuttavia può fornire un utile orientamento.

##### 5.4. Massima declinazione delle stelle utilizzabili.

La distanza  $R$  tra una traccia e la successiva sul fotogramma dipende dalla declinazione  $\delta$  della stella. Per una stella equatoriale ( $\delta = 0$ ) tale distanza ( $R_0$ ) vale, ricordando la (10) e la (11):

$$R_0 = \frac{2\pi f \cdot 5}{T_{gs}} = 0,364 \text{ mm} \quad (37)$$

essendo:

$$f = 1 \text{ m}, T_g = 23^{\text{h}} 56' 4,091''.$$

Per una stella di declinazione  $\delta$  si ha:

$$R_\delta = R_0 \cos \delta. \quad (38)$$

La distanza percorsa dal centro dell'immagine durante il tempo dell'esposizione, per una stella equatoriale, vale:

$$d_0 = \frac{2\pi f \cdot 0,2}{T_g} = 0,0146 \text{ mm} \quad (39)$$

mentre per una stella di declinazione  $\delta$ , si ha:

$$d_\delta = d_0 \cos \delta. \quad (40)$$

Sulle lastre si osserva che la forma delle tracce è sensibilmente circolare; ciò è dovuto al fatto che il loro diametro è maggiore della distanza percorsa dall'immagine durante l'esposizione. Nella tabella II sono riportati i valori dei diametri delle tracce, in funzione della magnitudine della stella che le ha impressionate.

Affinchè non si commetta un errore eccessivo nella lettura delle lastre è necessario che la distanza minima  $R_{\min}$  fra una traccia e la successiva sia convenientemente maggiore del diametro  $\Phi$  della traccia della stella (per esempio, almeno cinque volte). Per ogni magnitudine si avrà quindi una declinazione massima, oltre la quale le stelle di quella grandezza non sono utilizzabili. Supponendo  $R_{\min} = 5 \Phi$ , si ottiene:

$$\begin{aligned} \delta_{\max}(\Phi) &= \arccos \frac{R_{\min}}{R_0} = \\ &= \arccos \frac{5 \Phi}{0,364}. \quad (41) \end{aligned}$$

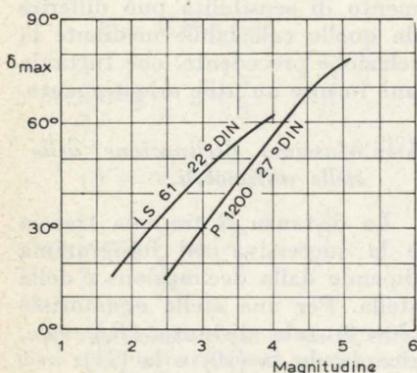


Fig. 15 - Determinazione della declinazione massima delle stelle utilizzabili in funzione della loro magnitudine, per due tipi diversi di lastre.

Da questa relazione e con i dati sperimentali della tabella II, si è costruito il grafico di fig. 15.

TABELLA II.

Magnitudine	Lastra Ferrania LS 61 $\Phi$ (mm)	Lastra Kodak P 1200 $\Phi$ (mm)
0,34	0,1	—
1,7	0,07	—
2,2	0,06	—
2,5	0,06	0,07
2,8	0,055	—
3,2	0,05	—
3,4	0,045	0,055
3,6	0,04	0,05
3,8	—	0,054
4,0	0,035	0,04
4,6	—	0,025
5,1	—	0,015

### 5.5. Lettura delle lastre.

La misura della posizione delle singole tracce sul fotogramma può essere eseguita mediante un comparatore, per sempio un Gartner, con cui si possa apprezzare il  $\mu\text{m}$ . Nell'oculare di tale strumento vi sono di solito due fili di traguardo; conviene effettuare una prima serie di letture utilizzando uno dei fili, una seconda serie utilizzando l'altro e fare quindi la media tra le due serie di letture. In questo modo si riduce l'entità dell'errore sistematico introdotto dalla vite micrometrica con cui si eseguono gli spostamenti della lastra.

È poi consigliabile, dopo aver misurato con almeno quattro puntate per ogni traccia, ruotare la lastra di  $180^\circ$  e ripetere la misura allo scopo di ridurre ulteriormente gli errori.

### 6. CONCLUSIONI.

Il dispositivo fotografico descritto, insieme con parte delle apparecchiature elettroniche necessarie per eseguire i confronti suddetti, è stato costruito presso l'IEN, mentre i rilievi fotografici sono stati effettuati presso l'Osservatorio astronomico di Pino Torinese. I risultati conseguiti sono sembrati incoraggianti in quanto la maggior fonte d'errore nella determinazione del tempo di passaggio della stella per il meridiano è dovuta all'incertezza con cui si esegue la determinazione delle coordinate delle singole immagini sul fotogramma (circa 50 ms), mentre l'errore del dispositivo stesso risulta del tutto trascurabile rispetto al precedente, in quanto è dell'ordine di 2 ms.

L'errore nella lettura del fotogramma può essere diminuito usando metodi più elaborati richiedenti anche l'impiego di dispositivi semiautomatici, attualmente in fase di studio presso l'Osservatorio Astronomico di Pino Torinese.

Se si riuscirà a limitare l'errore nella lettura della lastra a qualche  $\mu\text{m}$ , l'errore, escluso quello relativo all'asse di rotazione del cannocchiale, potrà essere ridotto a meno di 10 ms, utilizzando le determinazioni effettuate su almeno una dozzina di stelle.

Franco Mussino

Torino - Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Tesi di laurea in Ingegneria Elettronica di Mario Moro svolta sotto la guida dello scrivente; Politecnico di Torino, dicembre 1968.
- [2] F. MUSSINO, *Variatore continuo di fase*, Elettronica e Telecomunicazioni, N. 4, 1969.
- [3] C. EGIDI, *Sul rilievo dei passaggi stellari*, Alta frequenza, ott. 1960, XXIX, 5, pag. 586.
- [4] C. EGIDI, N. MISSANA, F. MUSSINO, *Rilievi fotografici del tempo mediante lo strumento dei passaggi*. Relazione presentata al Colloquio sui problemi della determinazione, conservazione e sincronizzazione del tempo tenutasi a Milano presso l'Osservatorio Astronomico di Brera nel marzo 1968.

Ringrazio vivamente il prof. C. Egidi, Capo del Reparto Radiotecnica dell'IEN, per i preziosi consigli e l'accurata revisione del presente lavoro; ringrazio inoltre il Prof. N. Missana, dell'Osservatorio Astronomico di Pino Torinese, per la cortese collaborazione nell'eseguire i numerosi rilievi fotografici stellari.

# PROBLEMI

## Fattori dinamici tradizionali della bellezza dell'attuale paesaggio urbanizzato svedese

AUGUSTO CAVALLARI MURAT trae conclusioni generali d'estetica applicata prendendo lo spunto da una diretta visione dell'attuale paesaggio svedese caratterizzato da tradizionali spunti di predizioni alla uniformità delle geometrie architettoniche ma anche da una vivacità dei fattori dinamici che articolano l'anatomia delle composizioni urbanistiche concretamente sperimentabili.

Visitare il territorio sistemato urbanisticamente attorno a Stoccolma in automobile, è fare una inutile fatica distraente dalla esplorazione della reale vita del grandioso insediamento di uomini. Occorre visitare l'insieme di unità residenziali parzialmente autosufficienti, ma satelliti, della capitale con i mezzi usuali; cioè con le linee ferroviarie, automobilistiche e metropolitane che gli stessi abitanti usano quotidianamente, quando non vanno in giro con l'automobile personale (il che accade per divertimento domenicale a vasto raggio turistico oppure per importanti affari di mercatura e di lavoro tecnico).

S'avverte allora che le tecniche architettoniche e dei trasporti si integrano in una più generale tecnica urbanistica per creare una condizione ambientale nella quale soprattutto sta la ragione del successo dell'esperimento di programmazione territoriale svedese attorno a Stoccolma.

Riaffiorano pertanto alla mente le grandi generali polemiche sugli standards edilizi e rionali (a), sulle finalità sociali-economiche e di conforto dei piani regolato-

ri (b), sulla forma urbana globale (c). Quest'ultima, la forma globale dell'aggregazione vastissima (c) che già appare a chi sorvola in aereo come un oggetto geometrico, elaborato ma semplice e comunque raffinato come un tessuto di buona fabbrica, è forma di città diradata dotata di singolari possibilità estetiche sia al primo incontro quanto ai successivi approcci conoscitivi. Anzi le ultime esplorazioni finiscono per rinobilitare quelle immagini di dettaglio, le quali, non viste come legate al contesto generale potrebbero apparire imparentate con un'edilizia burocratica sciatta. E la configurazione generale, dalle ultime fasi di rilevamento percettivo, balza fuori come compiuta totale forma di una immagine di società congruente nel dettaglio e nell'insieme globale.

Confrontato con l'ambito centrale di Stoccolma, dei lembi della città vecchia amalgamati forzatamente con la city dei palazzi d'ufficio direzionali, l'ambito periferico, diradato e suburbano, appare all'occhio critico come cosa perfettamente riuscita nella quale la struttura provoca consenso mentale e godimento artistico.

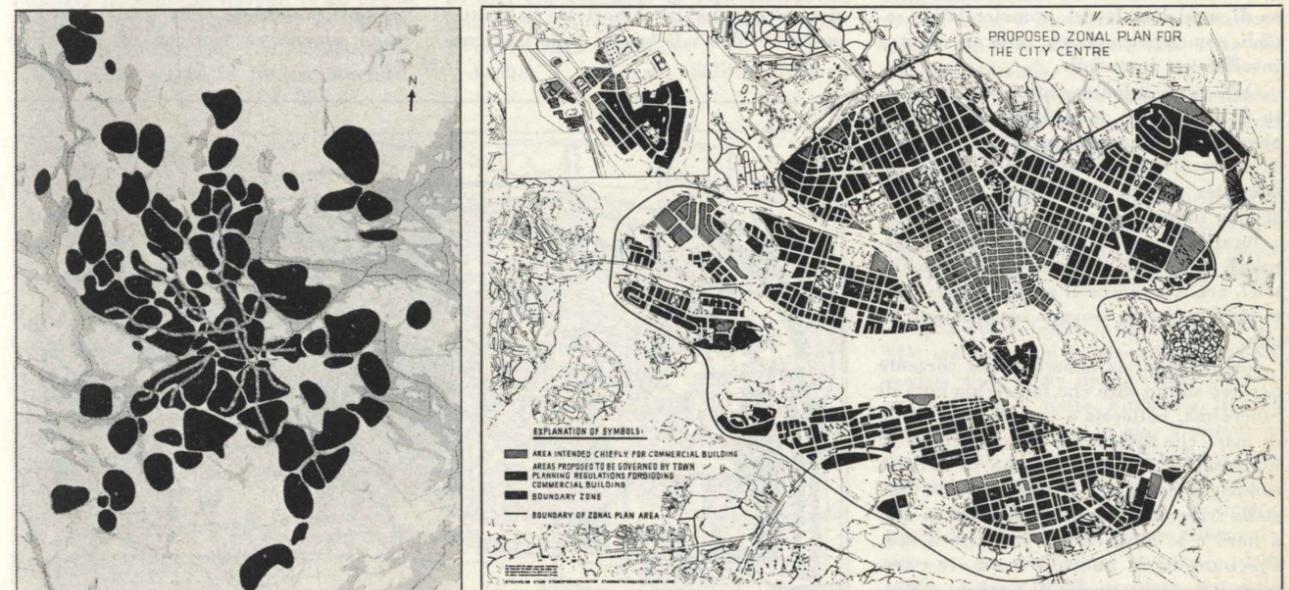
Così come nei grandi disegni di paesaggio antico e di città antica; ché, invero, non esiste differenza tra la qualità degli effetti di bellezza del paesaggio e dell'ambiente urbano e gli effetti della bellezza della architetture singole. Queste, a loro volta sono fatte di mattoni o di elementi architettonici anonimi di scarso valore e che conducono tanto al piacevole quanto allo sgradevole se non illuminati dalla ideale tessitura d'un disegno d'insieme rispecchiante il gusto d'uno stile o l'animo d'un creatore artista.

Nell'interno della city le minori e le maggiori costruzioni non fanno composizione e restano con l'aspetto di trasandati baracconi dozzinali. Nella periferia invece le piccole costruzioni utilitarie e le residenze in serie riescono sovente a fare composizione, legandosi al paesaggio ed alla gente che vi formicola intorno. Accade come quando un materiale da costruzione si sublima per congruente risonanza nell'armonia del contesto globale d'una architettura.

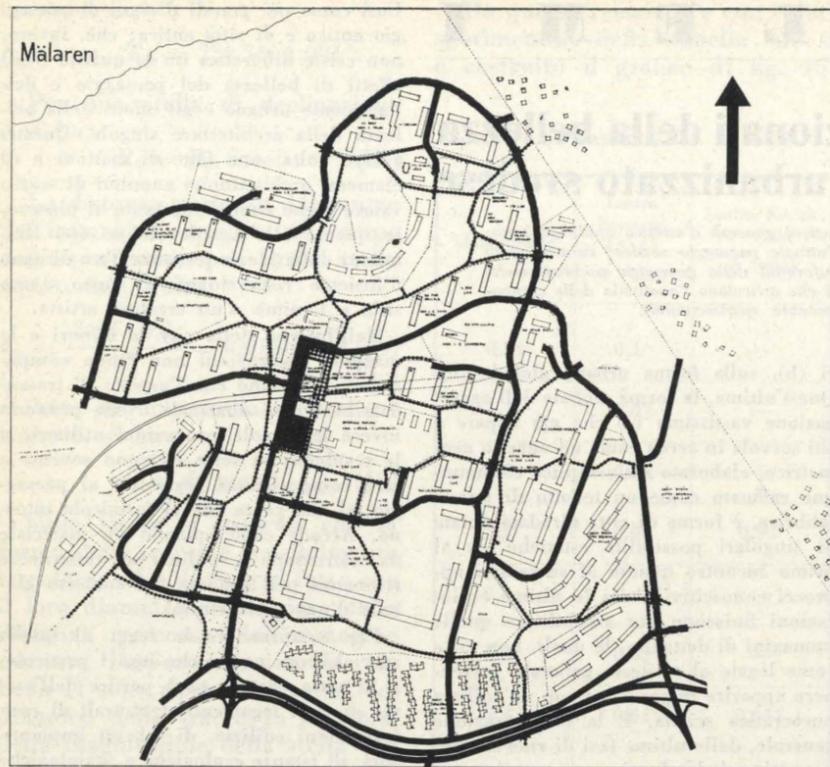
Per comprendere le leggi di quella speciale *concinnitas* che lega i particolari al tutto occorre però partire dall'esame di quei legamenti strutturali di conformazioni edilizie, di schemi impiantistici, di istanze ecologiche e sociologiche che fanno sì che l'unità residenziale sia un unico guscio nel quale si rispecchia una società e non sia viceversa un aggregato di gusci per un ammasso incoerente di uomini.

La rispondenza di congruenza estetica nasce quando la società è sintesi e non sommatoria di personalità e di attività di quelle persone. E l'animo di quella società si fa forma d'arte.

È difficile che possa fare comunità so-



L'insieme delle zone d'aggregazione edilizia nel suburbio di Stoccolma collegate dalle numerose comunicazioni veloci metropolitane (in figura sono visibili come solchi biancastri) con andamento radiale. Viceversa in superficie corrono innumeri servizi di filobus ed autobus in senso circolare e tangenziale, dando luogo ad una straordinaria e capillare rete di trasporti irrorante tutta l'area. — a destra: La zona centrale di Stoccolma, la cosiddetta «city» nella quale si innestano i molti rami della comunicazione veloce metropolitana.



Altro dettaglio del piano di Stoccolma: l'unità residenziale di Mälaren con evidenziato il sistema stradale collegato alla metropolitana.

ziale la sola aggregazione di residenze. Proprio come critica alle cosiddette città giardino, proposte altrove dalla speculazione immobiliare-edilizia (e che non hanno nulla a che vedere con i modelli proposti nel secolo scorso da Howard), è nato il termine spregiativo di «villaggi dormitori» per siffatte insulse aggregazioni di immobili in affitto od in proprietà. Anche se vi si aggiunge un complesso di servizi scolastici, commerciali e sociali, come centro civico, resta ancora una insufficienza insanabile.

Qui, negli insediamenti di allargamento di Stoccolma, sono da notare integrazioni con dislocazione presso ognuna delle unità civiche di attività terziarie concentrate: palazzi per uffici di importanti società industriali e commerciali, palazzi e locali per mostre, grandi ospedali generali o speciali (gerontologici, psichiatrici, ecc.); cosicché il gruppo di residenti può in parte trovare occupazione in sito.

Per chi non sia abbastanza al corrente occorre subito dire che la vecchia città di Stoccolma, collocata a cavallo d'un ramo di mare che diviene un lago col nome di Mälaren, s'irradia intorno su vergine campagna costellata di laghetti come una stella irregolare a sette punte, due in alto a nord e le altre cinque in basso a sud. Precisamente la punta di nord-ovest termina a Ropsten, quella di nord-est a Häselsby Strand; la inferiore di sud-est termina a Värberg ed a Skärholmen (l'ultima unità satellite in corso d'esecuzione

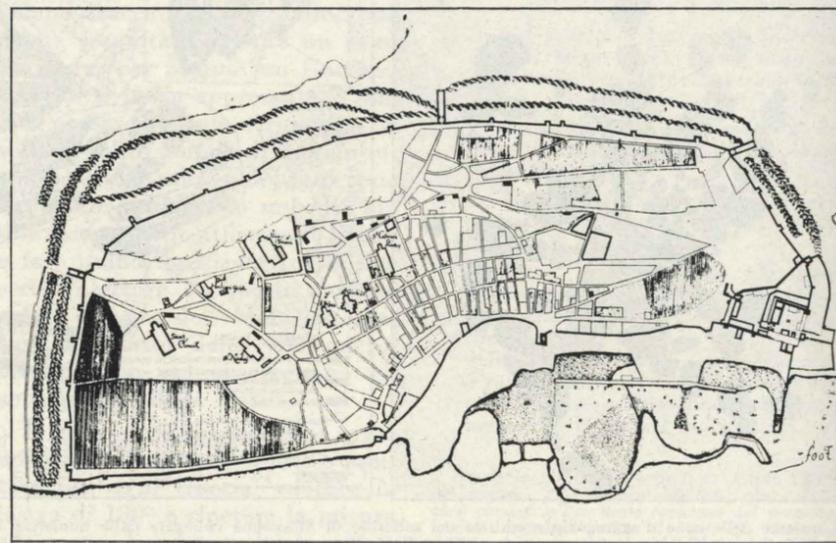
è destinata all'ospitalità di fiere internazionali), altre due a sud terminano rispettivamente ad Hagsätra, a Fruängen; sempre a sud e sud-ovest si sporgono le punte di Färsta e di Bagarmossen. Stanno tutte circoscritte entro un raggio di 13 chilometri e gli estremi sono raggiungibili con un tempo di percorrenza in metropolitana di 20-30 minuti. Le circa trentaquattro grandi unità sono tuttavia frazionate ognuna in minori tre o quattro nuclei residenziali facenti capo al comu-

ne complesso di servizi civici della unità capogruppo.

Stoccolma è perciò assimilabile ad un sistema solare di cui è il centro gravitazionale con intorno quelle decine di pianeti sui quali si incentrano dei satelliti minori e giustamente dimensionati. Ciò che stupisce chi proviene da paesi civilizzati da troppo tempo è la fortunata circostanza di potere pianificare, progettare ed eseguire aggregati che sempre assumono l'aspetto di cose nuove senza impacci di preesistenze alle quali doversi adattare con sacrifici. È una ideale assenza di vincoli tradizionali e patrimoniali per la maggior parte del territorio, tranne che per la vecchia sede della capitale che parzialmente si conserva con criteri restaurativi (Staden Mellan boarna, centro storico più antico, ed anche una zona di parchi denominata Shansen attorno al porto verso il mare aperto) ed in parte si viene modificando radicalmente, come la cosiddetta City con grattacieli di uffici dirigenziali, tutti destinati alle attività terziarie.

Ritornando in argomento, qui poi è da segnalare l'integrazione di vita ottenuta meravigliosamente attraverso quella dianzi cennata attrezzatura di comunicazione motorizzata che è implicita nella ricca rete di linee ferroviarie automobilistiche stradali e sotterranee con frequentissimi nodi di scambio in orizzontale ed in verticale, i quali danno luogo a stazioncine o scambiatori di traffico coagulanti centri di attività associata molto funzionali, prive di retorica magniloquenza monumentale, organicamente dimensionati e semplicemente decorati.

Bisogna avere sperimentato le infinite e rapidissime possibilità di accessibilità d'ogni angolo del vasto territorio per capire il significato speciale della formula urbanistica svedese nella quale si assumano esperienze teoriche ed empiriche



a) antica planimetria di Visby nell'isola di Götland.

della più progredita scienza della città, specialmente di quella inglese e di quella americana tuttavia adattandole ad una attualità concreta e reale.

È noto che gli inglesi, dopo il famoso «rapporto Buchanan» (1960-63), hanno messo di moda presso gli urbanisti l'integrazione del fatto di tecnica edilizia col fatto di tecnica dei trasporti, spingendo lo studio del territorio a cercare quella condizione ottimale per cui gli «ambiti ambientali» realizzano la più comoda sicura economica accessibilità mediante l'automobile privata (contabilizzata nella misura di una macchina per ogni famiglia): le reti primarie, secondarie e locali, come a Newbury dovrebbero realizzare tale ideale struttura circolatoria e distributiva. È noto peraltro che nella stessa Inghilterra, per Leicester, l'urbanista Smigielskj propose d'integrare l'automobile privata con il mezzo pubblico veloce per cui la famiglia fosse tutta insieme semovente per le vacanze di fine settimana ma servita dai trasporti collettivi per le esigenze dei singoli componenti il gruppo familiare diretti ai posti di lavoro, di studio e di svago.

Ebbene, a Stoccolma c'è una tale ricchezza di comunicazioni che irrorano tutto il territorio con una velocità ch'è credibile solo dopo averla sperimentata in metrò ed in autobus, per cui ogni individuo non si sente lontano dalla vita pulsante della città e neppure dalle più periferiche unità insediative e di servizio; non si sente confinato; non si sente segregato nella sospesa vita dell'unità di vicinato, la quale sclerotizza gli uomini condannandoli ad attività professionali ereditarie e tradizionali. Ogni uomo ha possibilità infinite di legamenti con gli altri e di scelte vocazionali differenziate. Il collegamento è economicissimo; e ciò calma il costo dei terreni. È un avviamento a quelle articolazioni secondarie elastiche e mimetizzate che io vagheggio.

Ciò spiega perchè lo svedese autentico

non ami la differenziazione vistosamente ornamentale e barbarica delle diverse case dei singoli e delle diverse macchine di trasporto. Ne consegue quell'ordine interiore e quell'ordine esteriore che fanno norma, ritmo e talora anche arte. Inoltre ne deriva che quella turbolenta giovinezza, capellonista minimigonnista e stravagante, che s'insedia nella notte nella città è un fatto anormale, d'imitazione esotica, di moda e transitoria il quale s'intona solo in quella fasulla architettura della stessa città che prima si denunciava lamentandosi.

Con l'annotazione della speciale integrazione di standard edilizio con lo standard dei trasporti ed anche di tutti gli altri standard di conforto, tra i quali l'ammirevole servizio omogeneo della fognatura non immessa nel golfo di Mälaren ma purgata, si viene a colorire anche il primo fattore della conformazione cittadina che in senso lato si può identificare con l'anatomia del rione (a).

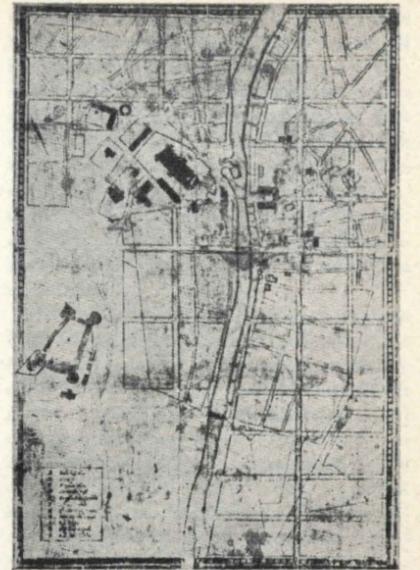
Intelligentemente gli scambiatori di traffico (o stazioni) immettono nel cuore dei rioni e creano nei rioni stessi scia di percorrenza quasi obbligata e fortemente impegnata, cosicché i negozi ed i centri culturali e religiosi che vi si trovano allineati lungo i bordi usufruiscono d'un elevato potenziale d'interesse.

Alcuni esempi, come a Farga ed a Valingby, realizzano come una stretta piazzetta longitudinale o trasversale, che ricorda le «altee» mediterranee dove durante la giornata s'affolla la gente per gli acquisti e per gli incontri.

Gli incontri tra gli uomini sono necessari come il pane. Ma basta anche poco tempo per la vita associata; l'altra parte del tempo può farsi in vita isolata.

I rioni periferici di Stoccolma sono dunque viventi, perchè sentiti da uomini vivi che traggono la loro vitalità da una tradizione riformata nel costume della civiltà delle macchine.

Anche il paesaggio dell'interland è



Progetto di amplificazione di Uppsala, secondo Anders Torstenson, nel 1643, col solito sistema a scacchiera ortogonale usata in tutta la Svezia.

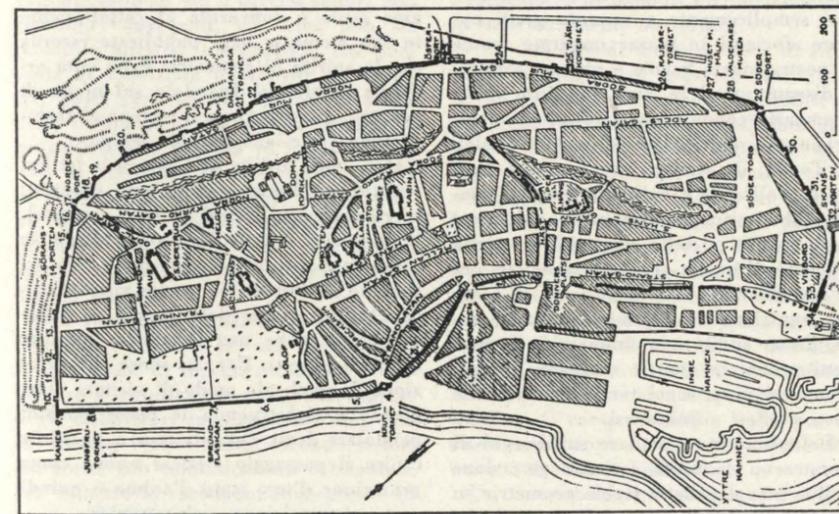
d'utile consultazione; e farebbe un grave errore chi visitasse solo la città evitando di conoscere l'ambito geografico, con i suoi aspetti di ieri e di oggi.

Ogni antico borgo, a simiglianza della capitale, ha ora numerosi satelliti che punteggiano il verde dei prati e dei boschi con blocchetti candidi legati da bianchi nastri stradali rispondenti ad una geometria ordinata e disciplinata come sempre. È la tradizione ed è la sua attualizzazione. In questa sede si sente più vigorosa l'impronta dell'organizzazione industriale. Le fabbriche costituiscono i moderni surrogati degli antichi castelli come motori propellenti di vita, distanziate come quelli, perchè la Svezia è sempre un paese a bassissima concentrazione umana (in 450 mila kmq solo sette milioni di abitanti).

Tuttavia fabbriche e castelli vanno visti come nodi di maglie di insediamento nei quali tecnica e cultura fanno struttura.

Una struttura territoriale, urbanistica ed architettonica da vedersi in Isvezia è quella dell'insediamento del primo popolo cristianizzato che successe ai famosi Vichinghi.

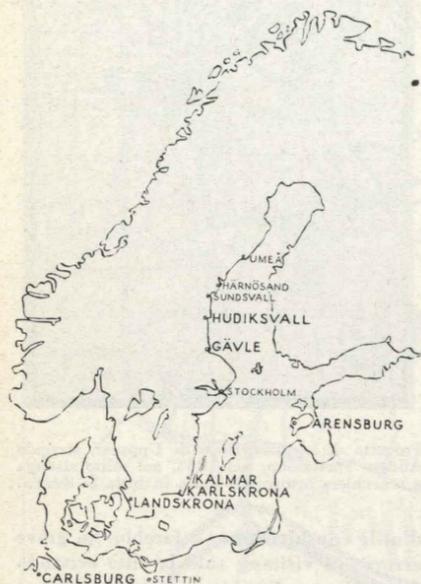
Nell'isola di Götland tra i secoli XIII e XIV era collocato il baricentro dei porti svedesi sulle coste della Svezia propriamente detta e della Finlandia, facenti forcilla con cerniera in alto a settentrione nel mare di Botten. Sull'isola s'è conservata ancora la città di Visby con le sue complete mura ospitanti navigatori guerrieri e mercanti di grande rilievo storico, l'epoca delle crociate cattoliche nella quale il mondo sembrava un paese solo ed in certo qual modo piccolo per l'intensa comunicazione di mezzi linguisti-



b) attuale planimetria di Visby con la ferrovia e le costruzioni ottocentesche.

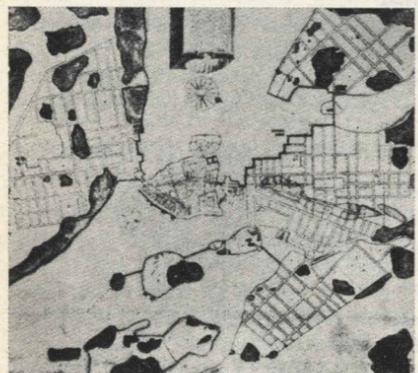
stici e stilistici accompagnatisi agli scambi commerciali d'incredibile intensità.

Nella sola Visby tuttora s'ammirano i ruderi di imponenti monumenti romani e gotici che attrassero già l'attenzione del Viollet le Duc e che conservano l'im-

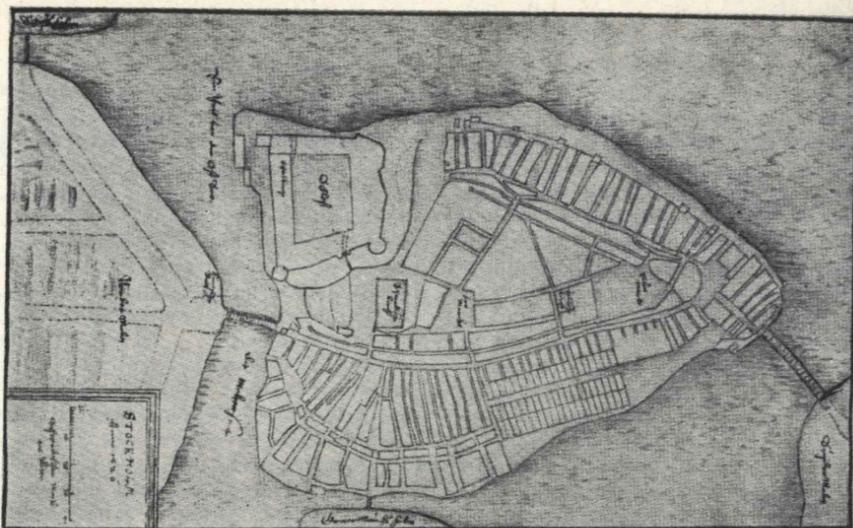


Le città Svedesi fortificate della seconda metà del Seicento, costituenti un grandioso piano di insediamento moderno nella penisola scandinava.

magine d'una straordinaria dignità e semplicità. Una farmacia romanica è a sette piani fuori terra! Nei dintorni ben cento grandi chiese rurali, più simili a cattedrali che a cappellanie, furono erette da arricchiti contadini-mercanti, dimostrando praticamente che nell'isola era il centro direzionale del vasto dominio del traffico marinaro dell'Europa settentrionale fondato da Olof Skötkonung poco dopo il Mille e durato fintanto che nel 1361 i re danesi non lo distrussero. La chiesa di Sant'Olof a Sigtuna, dà un esempio sulla terraferma di quella monumentalità romanica che stampò nel suolo geo-



Il progetto generale delle aggregazioni urbane costituenti Stoccolma nel 1645: è da notarsi la lottizzazione con isolati rettangolari variamente orientati a seconda delle esigenze di tracciamento topografico in un terreno accidentato in riva al mare e ricco di laghetti (da G. HEIMER).



Tracciati stradali nella vecchia Stoccolma secondo il progetto di Henrich Thomé del 1626. Preesistevano strade medioevali. E questo il centro storico della città che viene restaurato con criteri rigidamente conservativi, facendo spese enormi per sottoporre e sottofondare anche le più modeste case che contribuiscono al colore ambientale (da G. HEIMER).

logico-geografico quasi vergine l'immagine chiara d'un popolo duro e operoso dal quale l'attuale ha ereditato assai.

Sulla scia di quel primo impianto di fondazioni di città e colonizzazioni di territori agrari sarebbe interessante estendere la visione durante il XVI e XVII secolo. Una ricca serie di città all'europea, anzi alla maniera spagnola e fiamminga, dopo che Gustavo Vasa agì l'indipendenza sotto insegne protestantiste. Le città vengono recinte da mura bastionate e fatte guardare a lieve distanza da una pentagonale cittadella (come a Torino) od esagonale (come a Casale).

La stessa costante un pò rigida e monotona ricerca d'una geometria ippodamea, come nel disegno torinese di Carlo Morello, presiede l'organizzazione urbana. La società di quei secoli era organizzata in modo da trovarsi a suo agio entro quelle schiere di isolati rettangolari spartiti da strade rettilinee ed incrociantesi semplicemente a novanta gradi oppure sfocianti in piazze quadrate (come le nostre piazza Savoia e piazza Carlina). I disegni messi in giro dal libro dello Scamozzi conquistavano l'animo degli urbanisti architetti locali da Olof Falck ai Tessin, da Anders Torstenson a Jean De la Vallée de a Erik Dahlberg, e questi fabbricavano gli involucri contenitori degli uomini e delle comunità di quella era paga di quella organizzazione che ora si usa chiamare classicistica ma ch'è anche squisitamente illuministica e barocca. Eimer addita una cinquantina di progetti urbani in quattro scaglioni di programmi piani regolatori operativi sulle coste svedesi e finlandesi.

Bellissimo è controllare sui disegni di Torstenson la lenta faticosa gestazione dell'assetto di siffatte rigide geometrie su un terreno accidentato dalle complicate anse del golfo marino, dei laghi e laghet-

ti e delle collinette ed isolotti. S'apprende dapprima il segreto di quegli adattamenti delle prototipi schematizzazioni ideali alle reali esigenze della topografia e della organizzazione sociale. S'impara in seguito a posteriori che la città è una matrice di civiltà e che stampa nelle personalità condizionamenti basilari per l'operare pratico e culturale degli uomini.

Gli uomini della Scandinavia appresero nelle epoche di quegli speciali romanici di cui si disse per Visby, dei barocchi delle città fondate dai Vasa e dei neoclassici ad amare una irrigidimentazione entro squadrate eguali prismi architettonici. Non li spaventava l'uniformità dell'abito, quasi divisa militaresca. Non li spaventava l'obbedienza ad un ordine d'allineamento. Purchè fosse salva la dignità della partecipazione del singolo alla vita comunitaria, intesa come cosa di tutti e non imposta dall'esterno.

Anche Christina di Svezia la grande regina esule e convertita al cattolicesimo in sue memorie oggi pubblicate ricorda che lo spirito di geometria della città ordinata incide nobilitandolo sul modo di pensare, quasi prepari il terreno al razionalismo cartesiano del suo tempo.

Oggi quell'ordine non ha più la fattura strutturale d'una squadratura d'oggetti inerti cartesiani, bensì ha fuso con quella ordinata schematizzazione ideale la morbida malleabile qualità delle cose organiche di natura, sia quelle visibili col l'occhio sia quelle della mente, la quale organizza anche una dinamica interiore a quegli oggetti. Per cui senza l'illustrazione di quel tale modo di visitare viaggiando e ricostruendo le peregrinazioni pendolari degli abitanti non è possibile capire il paesaggio svedese nuovo come proiezione d'uno stato d'animo e quindi come composizione architettonica.

Augusto Cavallari Murat

## Aspetti e problemi per l'impiego degli elaboratori nella progettazione architettonica

ATTILIO BASTIANINI esamina alcuni complessi problemi di natura logica ed applicativa connessi all'impiego degli elaboratori nel campo della progettazione architettonica. Dopo una breve nota sugli sviluppi storici delle ricerche, schematizza gli attuali campi di indagine e per ciascuno di questi passa in rapida rassegna alcuni programmi progettuali interessanti. Una particolare attenzione viene rivolta ai processi di valutazione estimativa ed infine al programma BUILD, che costituisce, nel settore dell'ingegneria civile, un'avanzata proposta per un impiego integrato degli elaboratori nella progettazione.

Contrariamente a quanto finora prevalentemente tentato, le più complete possibilità d'uso nel campo della progettazione di ingegneria civile sono offerte ai più perfezionati elaboratori non tanto dalla capacità di risolvere in tempi ridotti problemi statici che venivano in precedenza considerati inaffrontabili, quanto dalle possibilità di rinnovare, con approcci globali e nuovi, la logica stessa delle progettazioni.

Anticipando parte delle conclusioni per necessità di chiarezza, l'impiego degli elaboratori nel settore, a tutt'oggi, ha prevalentemente comportato dei miglioramenti « quantitativi » senza riuscire a produrre quel salto di qualità che ricerche e studi teorici hanno, seppur in modo ancora poco coordinato, anticipato. Infatti, la possibilità di risolvere in tempi ridotti problemi concettualmente tradizionali, rappresenta solo un modo di ampliare in termini quantitativi le occasioni di verifica e approfondimento per i diversi settori della progettazione, ma non implica necessariamente la resa in disposizione di processi nuovi.

In concreto quanto ricordato significa che, individuato in un certo organismo una serie di « strutture », all'operatore viene data occasione, attraverso il « computer », di analizzarle singolarmente più in profondità, di affrontare problemi altrimenti insolubili e di studiare, dato il ridotto tempo di soluzione, ma ancora comparto per comparto, eventuali soluzioni alternative. Supposto, come in pratica sempre si verifica, che le soluzioni valutate ottimali per i diversi settori non risultino congruenti, che cioè non sia possibile allestire un progetto che consenta di soddisfare totalmente gli obiettivi posti per ciascun settore, la scelta delle « rinunce » sarà ancora rimessa al progettista che opererà in modo soggettivo su elementi inconfondibili. Nulla di nuovo rispetto all'attuale logica, tranne un miglioramento « quantitativo », prodotto dall'occasione di aver potuto mettere a confronto più soluzioni per i diversi settori.

Una variazione « qualitativa » verrebbe invece a verificarsi se, nel campo della progettazione di ingegneria civile, si riuscissero a mobilitare le possibilità logiche degli elaboratori impegnandoli non solo ad operare verticalmente secondo settori ma anche con comunicazioni orizzontali, per valutare le variazioni conseguenti ad una scelta settoriale su tutti gli elementi che concorrono a formare il complesso

in progettazione. Senza voler anticipare i risultati che emergono dalle ricerche svolte in tale campo, sembra importante ricordare che gli ostacoli alla soluzione di questo problema non sono tanto legati alla formulazione di un programma completo e ben connesso, quanto alla capacità degli uomini di scienza di ridurre questa materia a « sistema », rendendola così integralmente disponibile a processi logici coordinati.

All'approfondimento, per settori verticali, dei singoli aspetti della progettazione è attualmente rivolta in modo prevalente la ricerca di impiego degli elaboratori, con la conseguenza che sembrano avviate a soluzione quelle tipologie e quegli impianti in cui più facilmente può definirsi una « struttura » privilegiata rispetto alle altre. I campi di principale applicazione riprendono le principali schematizzazioni che tradizionalmente vengono sovrapposte alla progettazione architettonica e che sono orientate ad estrarre dal complesso le « strutture » statiche, le « strutture » funzionali-distributive, le « strutture » impiantistiche e le « strutture » estetiche. Fatta eccezione per quest'ultime, in cui le difficoltà di trattamento concorrono in questa prospettiva non tanto a farle discendere da una serie di processi di automatica verifica, quanto come espressione soggettiva, conseguente e visibile delle scelte ottimali nei restanti settori di indagine, negli altri campi gli elaboratori hanno trovato applicazione crescente nella misura in cui si riuscivano a superare le difficoltà connesse alla « creazione » di modelli di funzionamento sufficientemente attendibili.

Le difficoltà di messa a fuoco di strumenti particolari di indagine per i vari settori di schematizzazione applicabili ai complessi architettonici e, parallelamente, quelle di inquadramento generale, solo apparentemente possono sembrare problemi disgiunti; in una analisi più approfondita convergono in un'unica problematica a due diversi livelli di specificazione: da un lato la ricerca delle « strutture » rilevanti e la definizione delle interrelazioni che in diverso grado concorrono a formare il fenomeno, dall'altro l'approfondimento di quelle schematizzazioni più convenienti a rappresentare o a simulare il comportamento, nelle prevedibili condizioni di esercizio, delle diverse « strutture » individuate.

Un caso abbastanza singolare è costituito, per la verità, dai processi di elaborazione relativi ai problemi statici di

dimensionamento e verifica, in cui, se si fa astrazione dalle possibili ricerche di ottimizzazione, il problema è costituito dall'applicazione ad una particolare teoria di procedimenti di calcolo ben definiti. In tal caso, e prescindendo dalle dimensioni dei problemi trattati, può ben dirsi che l'elaboratore rispetto ai procedimenti tradizionali non fa altro che porre a disposizione del progettista informazioni concettualmente note ma difficili a calcolarsi.

Del tutto diverse le prospettive che l'impiego degli elaboratori propone nelle schematizzazioni funzionali-distributive ed impiantistiche, in cui la possibilità di creare e verificare soddisfacenti modelli di funzionamento sembra condizione necessaria per liberare le conseguenti scelte di progetto dalla sola verifica semantica o, ancor peggio, dalla personale, approssimata e qualitativa valutazione delle conseguenze.

In tale indirizzo molto è ancora da definire e gran parte del lavoro deve essere svolto a monte dell'impiego dei « computers », nella definizione di quei fattori e di quei modelli di funzionamento che, tipologia per tipologia, meglio sembrano prestarsi a fornire al progettista informazioni valide ad indirizzare le scelte (1).

Si viene così a delineare un doppio ordine di problemi, di cui il primo, a livello inferiore e settore per settore, deve affrontare argomenti e metodi per trasformare da qualitative in misurabili le scelte rispetto ai vari problemi della progettazione, il secondo provvede ad interrelare in « sistema » i vari settori ed i diversi processi per proporre un modo globale di progettazione.

Quanto di impossibile sia in questo programma, non è facile stabilire in questa prima fase della ricerca; il lato positivo, riscontrabile in quasi tutti gli studi finora pubblicati, consiste nel verificare da un lato che coloro che si sono occupati dell'argomento in prospettiva generale non hanno preteso di costituire un'ipo-

(1) Non è possibile ricordare gli studi e le ricerche che sono state svolte e sono tuttora in fase di esecuzione a questo proposito. Conviene piuttosto ricordare che la problematica che sostiene tale modo di procedere trae origine da precise posizioni culturali nei confronti dell'architettura e che tali posizioni non necessariamente riguardano fenomeni moderni, ma molto spesso hanno trovato modo di espressione in cultori della storia dell'Architettura. Si potrebbe forse sostenere che l'esigenza di « schematizzazioni » come approcci privilegiati per la comprensione dei fenomeni architettonici costituissero un dato di fatto preesistente all'esigenza di riconoscere, a fini applicativi e progettuali, la convenienza di organizzare in « strutture ».

Nell'impossibilità di citare tutti gli studi che, per diversi gradi di vicinanza, hanno affrontato la tematica ricordata, si ricordano solo due memorie in cui, pur nella completa diversità, è possibile ritrovare molti dei problemi ricordati G. C. ARGAN, *Tipologia, simbologia, allegorismo delle forme architettoniche*, Bollettino del centro internazionale, A. Palladio, I, Vicenza, 1968; A. CAVALLARI MURAT, *Le perenni difficoltà dell'estetica architettonica*, Proceedings of the Fifth International Congress of Aesthetics, Monton, Amsterdam, 1964.

tesi globale e senza articolazioni, ma hanno sentito l'esigenza di presentare i loro lavori come approccio di insieme per necessari approfondimenti di specializzazione. Gli studiosi di tali parti, tranne poche eccezioni, hanno d'altro canto saputo evitare di « privilegiare » le singole « strutture » su cui individualmente operavano, comprendendo che ogni schematizzazione non è di per se stessa progetto, ma semplice raccolta settoriale di informazioni codificate per meglio orientare le scelte di complesso (2).

#### NOTE STORICHE

L'inizio di tali ricerche (datato verso il 1960) può essere localizzato in America ed affronta, fin dalle origini, sia la manifestazione delle particolari schematizzazioni di determinati aspetti di complessi architettonici (strutture statiche, distribuzione, etc.), sia le conseguenze che da tali approcci derivano su una visione della progettazione come « sistema » (3) (4).

L'assetto logico, come premessa all'impiego degli elaboratori, può ancora ricondursi agli studi dell'Alexander (5), in cui viene rivolta particolare attenzione alla convenienza di formulare per i complessi problemi architettonici schematizzazioni parziali ed interrelate ed alla possibilità di analizzare tali approcci settoriali ed i loro rapporti in termini di modelli matematici.

Se così si provvedeva ad una sistemazione concettuale, non mancano gli studi indirizzati ad approfondire nei vari settori la possibilità di impiego degli elaboratori: presso il M.I.T. venivano messi a punto il COGO, (A Computer Programming System for Civil Engineering-Coordinate Geometry) e lo STRESS (Structural Engineering Systems Solver), orientati il primo alla descrizione ed alla risoluzione dei problemi geometrici ed il secondo alla risoluzione dei problemi statico-strutturali delle costruzioni. Le contemporanee ricerche del Sutherland proponevano intanto nel sistema SKETCHPAD (6) un processo di comunicazione grafica tra uomo e macchina.

Un assetto sistematico alle ricerche veniva successivamente dato presso il Department of Civil Engineering del Mas-

sachusetts Institute of Technology, articolando il programma ICES (Integrated Civil Engineering Systems) in fasi ed individuando per ciascuna di queste sottosistemi specifici di studio (7).

Il programma di ricerca ICES, come si può facilmente rilevare dal nome, rappresenta uno sforzo coordinato per riuscire a far avanzare, parallelamente agli strumenti offerti dalle moderne tecnologie, la pratica corrente e la didattica nel campo dell'ingegneria civile. La prima fase, ormai esaurita con la messa a punto di programmi di uso corrente negli USA ed ora progressivamente introdotti anche in Europa, comprendeva 7 sottosistemi che convenivano ricordare per esteso, in quanto evidenziano con chiarezza i campi di ricerca per settori verticali che in tale fase erano perseguiti.

1) GOGO - COordinate GeOmetry, per la soluzione di problemi geometrici; 2) STRUDL - STRUctural Design Language, per l'analisi e la verifica delle strutture statiche; 3) PROJECT - PROJect Evaluation and Coordination Techniques, per classificazioni e per risolvere problemi di organizzazione lavori; 4) SEPOL - SEttlement Problem Oriented Language, per valutazioni nella ingegneria dei terreni; 5) ROADS - ROadway Analysis and Design System, per l'analisi e progettazione di strade, canali, etc.; 6) BRIDGE BRIDGE, per l'analisi e la progettazione di ponti; 7) TRANSET - TRANSportation Evaluation Techniques, per l'analisi di reti di trasporto.

In tale programma organico venivano ripresi gli studi già precedentemente svolti, come per il sistema COGO o per lo STRUDL, che derivava dallo STRESS con sviluppi e completamenti. La novità dell'ICES consiste nell'aver affrontato una serie di problemi integrandone la metodologia di linguaggio e, tra le molte caratteristiche dell'approccio, conviene ricordare quella riassunta nella definizione di « command-structured problem oriented language ». Infatti impiega parole e frasi derivate dal linguaggio tecnico usuale all'utilizzatore, che, organizzate in comandi, costituiscono istruzioni al computer per eseguire particolari operazioni.

Queste, con solo rispetto alla presenza logica di tutti i dati necessari, possono essere eseguite in qualsiasi ordine, di modo che l'insieme dei sottosistemi aumenta la facilità di impiego in campi attinenti alle costruzioni, anche fuori dagli schemi specifici in cui finora si sono sviluppati gli studi. Questa « facilità », come più in dettaglio sarà esaminato avanti per la seconda fase del programma ICES, che comprende la ricerca BUILD, è della massima importanza per la messa a punto di legami di collegamento orizzontale tra i vari settori, in quanto permette un'intercambiabilità di linguaggio.

Preparare così le basi e gli elementi per un sistematico impiego delle macchine

(7) D. ROOS, *ICES System Design*, M.I.T. Press, Cambridge, 1966.

nella progettazione, contemporaneamente iniziano studi più specialistici su alcune particolari tipologie che, nella maggior parte dei casi, utilizzano le possibilità di comunicare con gli elaboratori tramite unità video ausiliari e comunicazioni grafiche. Nell'impossibilità di ricordare in queste note storiche tutti i contributi in tal campo, si ricordano gli studi sviluppati da Souder e Clark sulla progettazione degli ospedali (8) (9). Dato il particolare rilievo che in tale tipologia assumono i fatti di circolazione e distribuzione, la ricerca si incentrò in tale campo con l'impiego di tecniche statistiche per simulare le condizioni di impiego e, conseguentemente, per confrontare le possibili scelte alternative.

A distanza di circa dieci anni dall'inizio dalle ricerche, il ventaglio di problemi che risultano sotto studio è estremamente vario e può essere schematicamente così riassunto:

#### A) Rappresentazioni grafiche

1) Metodi di rappresentazione prospettica.

#### B) Progettazione

- 1) Metodi di indagine e soluzione delle strutture statiche.
- 2) Metodi di valutazione e controllo in multiple schematizzazioni funzionali-distributive ed impiantistiche.
- 3) Metodi di indagine dei più convenienti impieghi di sistemi modulari.

#### C) Valutazione dei costi

1) Tecniche di valutazione dei costi.

#### D) Organizzazione dati e programmazione lavori

- 1) Tecniche per schedare, classificare, memorizzare dati.
- 2) Tecniche di controllo gestione ed organizzazione lavori.

Tale schema, necessariamente poco rappresentativo delle più complesse realtà di studio, utilizza suddivisioni che di fatto raramente sono riscontrabili nelle diverse ricerche, in quanto queste risultano generalmente orientate a collegare almeno due degli indirizzi sopra ricordati. Ad esempio, la valutazione dei costi non è tanto intesa come operazione di stima a progettazione conclusa, ma come strumento estremamente flessibile per poter essere utilizzato nel procedere delle scelte per favorire attendibili indicazioni sulle conseguenze economiche, in termini di costo di impianto e di gestione, delle possibili soluzioni alternative. Così i metodi di valutazione e controllo nelle schematizzazioni non sono in genere intesi all'ottimizzazione, in termini assoluti, della prestazione della « struttura » in esame, ma piuttosto a correlare le condizioni offerte dalle diverse soluzioni adotta-

(8) J. J. SOUDER, *Estimating Space Needs and Costs in General Hospital Construction*, American Hospital Association, Chicago, 1963.

(9) J. J. SOUDER - W. E. CLARK - J. J. ELKIND - M. B. BROWN, *Planning for hospitals: a systems approach using computer-aided techniques*, American Hospital Association, Chicago III, 1964.

bili ai corrispettivi costi. Anche nei casi in cui all'elaboratore viene richiesta la soluzione di un problema particolare, come spesso accade in sede di dimensionamento statico-strutturale, è implicito l'impiego della maggiore conoscenza che ne deriva al miglioramento del rapporto tra esigenze statiche e condizioni economiche, in modo che sembra potersi affermare che le tecniche di elaborazione concorrono, settore per settore, a definire tra ipotesi alternative la soluzione più conveniente.

Non sembra possibile, in queste note rivolte ad esporre più la problematica di fondo che i dettagli esecutivi, passare in rassegna i molti studi ed i progetti di ricerca svolti o in corso di svolgimento, ma è però di interesse, per alcuni dei settori ricordati, presentare applicazioni che già hanno prodotto interessanti risultati o che sembrano facilmente utilizzabili per indagini e sviluppi futuri.

#### RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE

Tra le più avanzate applicazioni, il programma « ELLIOTT-NCR, Computer Application Program LC 24 » - « Perspective Drawing Program » è in grado di produrre su « plotter » (tracciatori) viste prospettiche di complessi insiemi di volumi su semplice comunicazione di dati geometrici caratterizzanti il problema. In via generale, stabilita una terna di riferimento, gli « inputs » sono costituiti dalle coordinate dei vertici, dalle linee da tracciare (individuate dalla coppia dei profili esterni) ed infine dalle coordinate del punto di vista e del punto focale. L'output è dato graficamente e disegna la prospettiva richiesta con tratti di prefissata lunghezza che possono orientarsi in 8 posizioni fondamentali; per le linee diversamente angolate la macchina procede per tratti utilizzando l'orientamento più prossimo. È di rilievo la possibilità di produrre molteplici viste mantenendo inalterati i dati descrittivi l'oggetto, fornendo nell'input più coppie di valori per localizzare tutti i richiesti punti focali e di vista (10).

#### ANALISI E PROGETTAZIONE

Si tralasciano di ricordare le ricerche relative al primo sottogruppo (indagine e soluzione delle strutture statiche), in quanto costituiscono campo ben definito ed argomento di necessarie specifiche indagini (11). Per gli studi di controllo funzionale-distributivo ed impiantistico, la letteratura si è venuta arricchendo di applicazioni aventi indirizzi e metodologie diverse: analisi teorica di particolari organismi architettonici, verifica di dettagli impiantistici o distributivi in ipotizzate condizioni di funzionamento.

Il principio logico resta comunque lo stesso e deriva dalla messa a punto di modelli che simulino il funzionamento dell'organismo; l'importanza che tali studi assumono nella progettazione è in diretto rapporto con la rilevanza che la struttura distributiva ed impiantistica in esame ha nel complesso dell'opera. Così il già ricordato studio sugli ospedali si basa sull'attendibilità di schematizzazioni del complesso in componenti funzionali e sulla definizione dei relativi fenomeni distributivi; le quantità immesse per verifica e ottimizzazione in questo modello derivano da studi statistici e da controlli su complessi ospedalieri già esistenti (12) (13). Un metodo analogo risulta recentemente impiegato per la ricerca dei più convenienti dimensionamenti di un istituto universitario e, come altre ricerche, impiega la tecnica propria ai problemi delle « reti di trasporto » (14). Mentre questi sono però orientati a « ottimizzare » i flussi su una determinata rete, nel caso delle ricerche in campo architettonico l'obiettivo finale è la più conveniente localizzazione dei nodi, sotto ipotesi di flusso predefinite.

Una ricerca particolare (D.R.S. - Dining Room System), condotta su un caso semplice, convince dell'applicabilità e dell'interesse del metodo. Definito il processo delle operazioni necessarie in un ristorante self-service e rilevati i tempi mediamente impiegati per ciascuna di queste, il programma consente di valutare per un certo schema planimetrico le condizioni di funzionamento sotto diverse condizioni di carico (cioè in diversi schemi di affluenza di avventori). Dai risultati è implicita la possibilità di avere indicazioni tra schemi alternativi, in quanto le varie soluzioni vengono provate sotto identiche condizioni (15).

Accanto a questo programma di simulazione distributiva altri sono stati approntati per studiare le possibilità ed i costi offerte da soluzioni alternative per impianti, per esaminare le condizioni

(12) ved. nota (8) e (9).

(13) Sullo stesso problema e con approcci metodologici, se non strumentali, analoghi conviene ricordare ricerche svolte in Italia e tendenti a schematizzare alcune funzioni dei complessi ospedalieri e a quantificarne la misurazione: P. CERESA, *Concorso per l'ospedale di Vercelli, rilievi tecnici tratti da tre progetti primi classificati*, Atti e Rassegna Tecnica, Torino, Aprile 1951; A. CAVALLARI MURAT, *Selezione mondiale d'edilizia ospedaliera*, Atti e Rassegna Tecnica, Torino, Giugno 1964.

(14) H. D. BARETHER - J. L. SCHILLINGER, *University Space Planning*, University of Illinois Press, 1968.

(15) ved. nota (3). Più in dettaglio gli inputs sono dati dall'orario di funzionamento dell'impianto, dallo schema rappresentativo nel tempo l'intensità di affluenza degli avventori (in persone/minuto), dai tempi mediamente impiegati da questi per le diverse operazioni, dal numero di persone da servire, dai posti disponibili ai tavoli e ai banchi di servizio. L'output fornisce il numero massimo di persone in attesa nelle diverse operazioni e schematizza le condizioni di funzionamento dell'impianto: provato questo con diversi schemi di affluenza e con diverse condizioni planimetriche influenti i tempi per le operazioni, è possibile organizzare e dimensionare le singole parti in modo da utilizzare al meglio gli spazi disponibili.

acustiche di una sala al variare delle superfici e dei materiali isolanti (16), per valutare il massimo numero di posti insediabili in una sala da spettacolo modificando certi parametri di progetto (dimensioni dello schermo, inclinazione longitudinale, etc.) (17). Una nota particolare è riservata al progetto IBIS che, applicato ad un sistema di componenti modulari, consente, su descrizione del progetto, di valutare caratteristiche di isolamento termico, di illuminazione, di standard per i singoli locali e per l'insieme della progettazione (18).

#### VALUTAZIONE DI COSTI

Le ricerche nel campo dell'applicazione degli elaboratori alle tecniche di valutazione estimativa dei costi nelle costruzioni hanno assunto due prevalenti indirizzi: il primo, di carattere prevalentemente applicativo, tende a meccanizzare una serie di operazioni tradizionali, sfruttando al massimo le capacità dei computers di memorizzare informazioni e dati. Il secondo, per cui bisogna parlare più di fasi di studio che di realizzazioni, intende invece integrare questa logica con le possibilità di poter avere, nel corso della progettazione, informazioni estimative sulle possibili scelte nei vari settori e sulle conseguenze che queste comportano nel complesso della progettazione (19).

Le prime ricerche vengono ad interessare sia i processi di valutazione sintetica che analitica, giovando ad entrambi le possibilità degli elaboratori in quanto consentono in un caso di approfondire, per fabbricati costruiti, le relazioni tra costi e relativi standard parametrici, nell'altro potendo automaticamente conservare e memorizzare informazioni di dati di costo ed analisi costantemente aggiornate.

Le valutazioni sintetiche, operate a posteriori ed in modo omogeneo, risultano impiegabili non tanto nei processi estimativi quanto nell'esame delle progettazioni di definite tipologie e, ad esempio, nella ripartizione delle commesse di lavoro per determinati programmi edilizi, in quanto consentono realmente di operare su fonti attendibili di costo. Anche in tal caso, nell'introduzione di valutazioni parametriche, l'impiego degli elaboratori sollecita a monte la definizione di unità tipologiche realmente rappresentative delle condizioni di progettazione ed impone quindi sia una normativa tecnica sui componenti edilizi, sia una precisa definizione delle caratteristiche funzionali-distributive delle tipologie che

(16) ved. nota (3).

(17) J. R. B. TAYLOR, *Planning Study on the Science Lecture Room*, M. A. Cambridge, Maggio 1966.

(18) A. WILLIAMS, *IBIS (Industrialized Building In Steel) Development Project*, Architect and Building News, Vol. 227, 1964.

(19) Tra le prime ricerche nel settore si ricorda: P. KRAMER - L. R. SHAFFER, *COBEST-CO (Computer-Based Estimating Technique for Contractors)*, Report of Civil Engineering, University of Illinois, Urbane, February 1965.

con tali processi si intendono esaminare. I processi analitici risultano invece concettualmente più semplici ed indirizzati particolarmente alla valutazione estimativa del costo di costruzione; la logica consiste nell'applicare costi elementari precedentemente memorizzati a quantità geometriche calcolate su progetto e le difficoltà intervengono sia per la valutazione omogenea e completa delle dimensioni geometriche, sia per l'aggiornamento e l'adeguamento tempestivo dei costi.

Anche in tale settore l'obiettivo non è unicamente fissato e una certa articolazione delle procedure consente di recuperare in una qualche misura anche altri indirizzi: in via schematica gli approcci al sistema sembrano essere riconducibili a tre fondamentali, il primo, che definiremo « a posteriori », si articola sulla semplice trasformazione in processi automatici delle analisi estimative tradizionali; il secondo propone invece, almeno per settori particolari, la possibilità di controllare le conseguenze economiche di scelte alternative; il terzo, su progetti di massima, consente di controllare l'andamento dei costi in base alle scelte progettuali.

Il primo di questi approcci è facile a descriversi e trova i suoi punti di qualificazione nel grado di automatismo nel calcolo delle quantità (nella possibilità cioè di fornire elementari informazioni geometriche e, voce per voce, di far eseguire alla macchina le calcolazioni) e nell'introduzione di fattori correttivi sui costi unitari (20). Ricordato che si tratta ancora di soluzioni particolari, e non degli studi più generalmente intesi a fornire precise indicazioni di costo nel corso della progettazione, il secondo approccio consente per settori particolari e non nel complesso architettonico, di esaminare le conseguenze alternative di scelte progettuali (21).

(20) Questi elementi, che resteranno come fattori rilevanti anche negli altri approcci che successivamente esamineremo, hanno trovato buone soluzioni, potendosi ridurre al minimo l'introduzione di dati geometrici elaborati e correggere l'ammontare dei singoli prezzi unitari con fattori che rispecchino la situazione locale, l'andamento aziendale e le previsioni di variazioni future del mercato. Tali fattori correttivi vengono diversamente organizzati da programma e programma.

Nello studio di C. B. THOMPSEN, *Architecture and the computer*, apparso nell'opera citata in nota (4), si propongono i seguenti coefficienti correttivi dei prezzi unitari: *Area factor*, riporta l'indicazione generale alla situazione locale, *Escalation factor*, individua le variazioni nel periodo futuro avente interesse; *Copit factor*, comprende spese generali, profitti ed interessi dell'operatore; *Development factor*, individua fattori contingenti e particolari all'opera.

(21) ved. saggio citato in nota (20) ad esempio, un certo flusso lungo comunicazioni meccaniche verticali sarà ottenibile, in via di ipotesi, con batterie di impianti di diverse caratteristiche ed è interesse del progettista poter ottenere in tempi brevi il panorama delle prestazioni ottenibili con i diversi impianti ed i relativi

Questo viene ad essere lo spirito della ricerca: ottimizzare settorialmente in funzione economica una serie di problemi e consentire nel « montaggio » quelle correzioni di congruenza di cui siano consapevoli e tollerate le conseguenze in termini di costo.

Il terzo approccio sembra, sotto certi aspetti, più ambizioso del precedente, in quanto si propone di controllare, passo per passo, le conseguenze economiche delle scelte nel complesso della progettazione; di fatto, poiché sottopone a valutazione non progetti definiti ma solo successivi schemi di massima, risulta piuttosto un ausilio approssimato per orientare economicamente le scelte. L'operatore, richiamato il programma, fornisce su richiesta della macchina e per le varie « strutture » fondamentali del fabbricato (strutture portanti, chiusure esterne, setti interni, impianti, etc.) informazioni su parametri che il progettista può facilmente dedurre da un primo progetto di massima (22).

Completata l'analisi sull'insieme delle strutture, il progettista ha in mano elementi sufficientemente approssimati per procedere a modifiche e correzioni, controllandone con rapidità le conseguenze sui costi di costruzione. Non sfugge come tale pratica contenga, accanto ad una parte analitica, l'impiego di valutazioni sintetiche e come il risultato che può essere ottenuto sia in diretto rapporto alla attendibilità di dati, che, sulla scorta di personali applicazioni, ogni utente è riuscito ad organizzare.

Una proposta più avanzata nel settore è stata studiata presso il M.I.T. e propone un sistema complesso di impiego degli elaboratori nelle tecniche di valutazione dei costi.

Definito un certo progetto con i suoi parametri caratterizzanti (tipologia, ubicazione, dimensionamento parametrico) il sistema fornisce un « modello » della progettazione, fornendo indicazioni per

costi di impianto e di esercizio. Nel programma sono comprese domande che l'elaboratore rivolge all'utente per ottenere precise informazioni sul tipo di impianti richiesti e sulle necessità del servizio che si intende svolgere. Sulla base di queste indicazioni (numero piani, altezze, densità abitanti, area per piano, etc.) il computer fornisce la soluzione più economica e quelle che da tale ottimo si scostano per non più di una percentuale prefissata. Il progettista, conoscendo attraverso la macchina anche le condizioni di funzionamento dell'impianto (massimi tempi di attesa, condizioni d'affluenza, etc.) può così orientare, a seconda delle necessità architettoniche, la sua scelta su una rosa di soluzioni accettabili.

(22) ved. ancora il saggio citato in nota (20). Così per le tamponature esterne si fornisce il rapporto tra l'area coperta e le previste superfici di chiusura, la qualità di queste e il rapporto con le superfici vetrate: la macchina elabora per questa sezione i costi e li esprime in assoluto e rispetto l'unità di superficie utilizzabile.

una preliminare valutazione economica. Il progetto nasce in relazione a questo schema che fin dall'inizio si configura come completo, in modo che ogni settore risulta valutabile nella sua influenza sul costo. La capacità del sistema abilita non solo a modifiche di materiali di impiego, ma anche a correzioni dimensionali che, in modo automatico, comportano l'alterazione di tutte le dimensioni geometriche correlate (23).

Una nota infine sul progetto BUILD che, compreso nella seconda fase del programma ICES, sembra essere il più avanzato per la ricerca di procedimenti che impieghino gli elaboratori non solo in specifici settori della progettazione architettonica (24).

Il programma abilita alla descrizione esplicita di un complesso edilizio nelle sue caratteristiche volumetriche, distributive, strutturali e di scelta dei materiali e deve essere inteso come processo di coordinamento per applicazioni di altri programmi settoriali (STRUDEL, COGO, etc.). In tal modo si può intravedere la possibilità di controllare, con l'aiuto di computer, la progettazione edilizia, valutando le conseguenze in ogni settore connesse alle scelte che vengono operate.

Attilio Bastianini

(23) R. I. KRAUSS - T. H. MYER, *Computer-aided cost estimating Techniques*, opera citata in nota (4). G. H. DIETZ - J. R. MYER (a cura di), *Computer aided Cost estimating techniques for architects*, Report PB 174-098, Institute for Applied Technology, Washington. Il sistema consiste in due gruppi di dati ausiliari, memorizzati sulla scorta di esperienze, studi e normative sulle costruzioni, relativi il primo a informazioni generali che consentono la creazione di un « modello » della progettazione richiesta, e il secondo a dati sui costi delle costruzioni. Informazioni generali sulla richiesta progettazione, espresse in modo codificato ed avente riscontro nei dati memorizzati, consentono la creazione di un progetto di prima approssimazione completo, che il sistema è in grado di collegare ai dati di costi per una prima valutazione.

Tralasciando di esaminare il processo di « predizione » del progetto, le maggiori difficoltà si incontrano fondamentalmente nello stabilire un « linguaggio » logico capace di esprimere all'elaboratore l'organizzazione e la geometria dei fabbricati e, seppure in misura minore, nel metodo per eseguire le valutazioni.

Al primo problema si è cercato di rispondere descrivendo i fabbricati come reti di ambienti. A questi sono collegati, come attributi, tutte le « entità » a loro volta in grado di definire il possibile costo. Nella fase di valutazione per ogni elemento geometricamente definito, la macchina richiama e valuta i costi relativi alle diverse entità, mantenendo i dati disponibili per somme di settore e per controlli di incidenza su presunti dimensionamenti.

(24) L. C. TEAGUE, *Research in Computer Applications to Architecture*, opera citata in nota (4). L. C. TEAGUE - A. M. HERSHDOFFER, *BUILD, an integrated System for building design*, ASCE Structural Engineering Conference, Seattle, 1967, American Society of Civil Engineers, New York. L. C. TEAGUE - B. L. GERKEN - W. F. SOMMERFELD, *A user's guide to BUILD*, M.I.T., Department of Civil Engineering, Cambridge, 1967.

# Alpina S.p.A.

CAPITALE INTERAMENTE VERSATO L. 600.000.000

MILANO Via G. G. Winckelmann, 1 - Tel. 42.25.285/6

## PROGETTI CONSULENZE

Impianti idroelettrici

Impianti termoelettrici

Impianti idraulici, marittimi, acquedotti

Impianti di trasformazione, trasporto e distribuzione di energia elettrica

Impianti di telecomunicazioni

Costruzioni civili e industriali

Costruzioni stradali e autostradali

Impianti ferroviari in superficie e sotterranei

Ricerche operative

L'Alpina dispone di un attrezzato laboratorio geotecnico e prove materiali



“La luce ha lo stile che si addice ad ogni ambiente”

**LAMPADARI** OLTRE 2000 MODELLI DAL CLASSICO ALLO SVEDESE ATTENDONO UNA VOSTRA VISITA

**ELETTRODOMESTICI, RADIO, TV** (Sconti speciali ai Soci)

**L'ELETTRICA**

TORINO - Piazzetta Madonna degli Angeli, 2 - Tel. 553.979 - 531.477

**ING. TURBIGLIO & GARIGLIO**

TORINO - VIA GATTINARA 11 - TEL. 87.75.96-87.34.95

**IMPIANTI A CONVEZIONE  
RADIATIONE**

civile ed industriale ad acqua calda

Acqua surriscaldata a vapore

Centrali termiche

Condizionamento dell'aria

Essiccatoi

**IMPIANTI IDROSANITARI**

Direttore responsabile: **AUGUSTO CAVALLARI-MURAT**

Autorizzazione Tribunale di Torino, n. 41 del 19 Giugno 1948

STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE - TORINO