

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

Sulla risoluzione numerica delle equazioni del "guscio piatto"

Il pannello paraboloidico con due lati adiacenti incastrati

P. CICALA, G. L. VENTURA e G. SINISCALCO, sulla base dei procedimenti presentati nella Parte I, determinano lo stato di tensione e di deformazione nel pannello paraboloidico a pianta quadrata, con vincolo completo su due lati adiacenti e con gli altri due lati liberi, sottoposto a carico simmetrico. I calcoli svolti per il carico uniforme mostrano l'applicabilità pratica della teoria di prima approssimazione.

Introduzione. - PARTE QUARTA

Si riferirà in questa nota su una serie di ricerche concernenti lo stato di tensione e deformazione di un pannello sottile con superficie media appartenente ad un paraboloide iperbolico, delimitata da un quadrilatero sghembo che si proietta in pianta secondo un quadrato. La pendenza massima della superficie sul piano orizzontale si suppone piccola, sì che la teoria del guscio piatto sia applicabile. In questo ambito di approssimazione, gli elementi geometrici del pannello, oltre allo spessore h , sono la lunghezza L dei lati e l'innalzamento kL^2 di uno dei vertici sul piano che contiene gli altri tre.

Si supporrà che due lati contigui siano completamente incastrati, cioè vincolati in modo che risultino ivi impediti le tre componenti di spostamento dei punti della superficie media e la rotazione del piano tangente ad essa. Gli altri due lati si considereranno completamente liberi. Il problema considerato ha notevole interesse tecnico. Infatti nelle coperture « a ombrello », di uso frequente, ciascuno dei quattro pannelli I-IV (fig. 25a) è vincolato su due lati adiacenti a due robuste travi AB , DE che riportano i carichi all'incrocio C a cui fa capo il pilastro che sostiene la struttura. Lungo i lati esterni i pannelli non sono liberi, essendovi disposta una trave di orlo. Se questa fosse molto

rigida, si creerebbe nei pannelli uno stato membranale, di facile calcolo. Il problema studiato vale quindi ad esaminare la situazione limite opposta, in assenza di tale rinforzo, e in condizioni di carico simmetriche rispetto alle AB , DE , per le quali i lati vincolati di ciascun pannello subiscono un incastro praticamente perfetto.

Il problema in esame presenta notevole importanza anche sotto altri punti di vista. Le condizioni di vincolo completo o di orlo libero sono assai facilmente realizzate per via sperimentale. Di fatti è stato costruito un modello in ottone che permetterà controlli sperimentali della teoria. Sulle esperienze tuttora in corso si riferirà in seguito. Inoltre i risultati ottenibili mediante la teoria del guscio piatto per il problema in questione serviranno ad un controllo della entità degli errori inerenti all'applicazione delle soluzioni « di strato limite » del pannello paraboloidico poco svergolato ⁽¹⁾. Quelle soluzioni permettono un calcolo assai più rapido che la teoria del guscio piatto e si prestano assai meglio che questa alla deduzione di risultati generali immediatamente applicabili.

D'altra parte quelle soluzioni, in combinazione con le membranali

e inestensionali, non sono sufficienti per l'attuazione delle condizioni al contorno: in prossimità dei vertici del pannello, per certe situazioni di vincolo, si trovano componenti di spostamento o di tensione che non è possibile portare a coincidere coi valori ivi prescritti. L'analisi effettuata mediante la teoria del guscio piatto elimina queste discordanze e quindi può servire ad una valutazione degli errori residui dell'altra, più semplice, teoria. Purtroppo nella presente ricerca si è dovuto rinunciare ad una adeguata precisione numerica, per accelerare la conclusione dei calcoli intrapresi e quindi non si è potuto svolgere il controllo desiderato. Tuttavia i risultati, pur se affetti da una certa imprecisione numerica, permettono una interessante visione del comportamento del pannello paraboloidico ed una valutazione sufficientemente approssimata delle sollecitazioni massime. Le elaborazioni numeriche effettuate serviranno di base per la prosecuzione dell'indagine.

Le condizioni di equilibrio.

Si considererà il pannello di paraboloide iperbolico a pianta quadrata (fig. 25) con incastro completo lungo i lati $x = 0$, $y = 0$ e libero sui lati $x = L$, $y = L$, in condizioni di carico simmetriche

⁽¹⁾ G. L. VENTURA, P. CICALA, *Stati di tensione nei pannelli paraboloidici sottili poco svergolati*, « Atti della Accademia delle Scienze di Torino », Vol. 97, 1963.

rispetto al piano diagonale $x = y$. Il pannello viene suddiviso in 9×9 maglie uguali. Per la supposta simmetria gli spostamenti normali w saranno rappresentati da una colonna w_s di 45 elementi, 9 relativi alle maglie situate sulla diagonale $x = y$ e 36 per le maglie fuori diagonale; questi ultimi valori saranno moltiplicati per 2, come s'è fatto nei casi precedenti. Con l'usata notazione, si scriverà

$$w_s = M_{9s} A \quad (39)$$

dove A è la colonna dei coefficienti incogniti; la colonna i della matrice M_{9s} è formata dalla colonna w_s corrispondente ad una

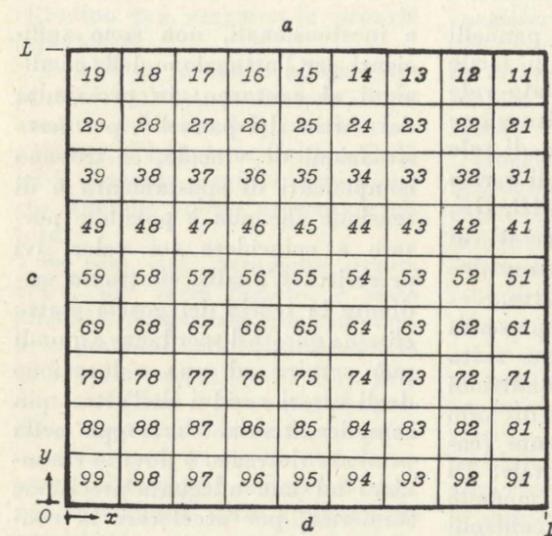


Fig. 25

delle funzioni f_i ($i = 1, 2, \dots, m$) assunte a rappresentare gli spostamenti. Si osserva che è facile scegliere funzioni in modo che siano verificate le condizioni di vincolo

$$\begin{aligned} f_i = f'_i = 0 \text{ per } x = 0, \\ f_i = f'_i = 0 \text{ per } y = 0 \end{aligned} \quad (40)$$

le derivate rispetto a x e y essendo indicate rispettivamente con punto o apice.

Maggiori complicazioni si presentano per soddisfare alle condizioni relative agli orli liberi. Si adotteranno pertanto funzioni che rispettano le (40) soltanto; conseguentemente per la scrittura delle condizioni di equilibrio, in sostituzione delle equazioni di Galerkin adottate nei casi prima conside-

rati, si farà uso dell'equazione dei lavori virtuali, includendo così nello stesso calcolo le condizioni di equilibrio indefinite e ai limiti. Se si assumono spostamenti virtuali dati da $u = v = 0$, $w = f_i$ si ha l'equazione

$$Ehs_n^2 \int [(w'' f_i'' + w'' f_i'' + 2w' f_i') + \nu(w'' f_i'' + w'' f_i'' - 2w' f_i')] dx dy - 2hk \int \tau f_i dx dy = \int p f_i dx dy \quad (41)$$

Il primo degli integrali a I membro rappresenta il lavoro interno di flesso-torsione della piastra. Sostituendovi gli sviluppi (16) degli spostamenti w , se ne deduce un'espressione lineare omo-

media, che, secondo la (5), subisce solo lo scorrimento $-2x' w = -2k f_i$. Sostituendo, per questo termine e per il lavoro esterno contenuto a II membro, gli integrali con sommatorie si ritrova la (17) che riscriviamo

$$Es_n^2 (M_{8'} + \nu M_{8''}) A = \frac{L^2}{81h} M_{9s} (2hk \tau_s + P_s) \quad (44)$$

Per le funzioni f_i si sono adottati prodotti di polinomi in x per polinomi in y del tipo generale

$$F_k(t) = 1 - \frac{P_{2k} - P_{2k-2}}{P_{2k}^0 - P_{2k-2}^0} (k=1, 2, \dots) \quad (45)$$

essendo P polinomi di Legendre di prima specie dell'argomento t/L e indicandosi con P^0 i valori relativi a $t=0$. Le funzioni F_k così definite e le derivate $F'_k = dF_k/dt$ si annullano per $t=0$; inoltre esse soddisfano alla condizione di ortogonalità

$$\int_0^L F'_k F'_l dt = 0 \text{ per } k \neq l \quad (46)$$

Questa proprietà apporta sensibili semplificazioni nel calcolo delle espressioni (42) e (43) e soprattutto migliora la costituzione della matrice dei coefficienti dando incremento agli elementi diagonali. Secondo la (45) si ha

$$\begin{aligned} F_1 &= t^2/L^2 \\ F_2 &= 6t^2/L^2 - 5t^4/L^4 \\ F_3 &= 15t^2/L^2 - 35t^4/L^4 + 21t^6/L^6 \\ F_k &= 2k(2k-1) \frac{t^2}{2!L^2} - \\ &- (2k-2)2k(2k-1)(2k+1) \frac{t^4}{4!L^4} + \\ &+ (2k-4)(2k-2)2k(2k-1) \\ &(2k+1)(2k+3) \frac{t^6}{6!L^6} - \dots \end{aligned}$$

Gli sviluppi (16) sono stati limitati a $m=6$ funzioni:

$$\begin{aligned} f_1 &= F_1(x) F_1(y) \\ f_2 &= F_1(x) F_2(y) + F_2(x) F_1(y) \\ f_3 &= F_2(x) F_2(y) \\ f_4 &= F_1(x) F_3(y) + F_3(x) F_1(y) \\ f_5 &= F_2(x) F_3(y) + F_3(x) F_2(y) \\ f_6 &= F_3(x) F_3(y) \end{aligned} \quad (47)$$

Il secondo degli integrali a I membro della (41) proviene dal lavoro delle tensioni per la deformazione virtuale della superficie

5,156	-2,514	-15,543	15,467	20,419	21,333
-	182,53	328,03	-277,30	-437,96	-436,18
-2,667	-	1247,26	-783,97	-1250,30	-1819,71
-8	41,52	-	1713,97	3249,38	2649,46
-32	205,71	420,57	-	9086,00	6951,47
24	-237,33	-288	376,48	-	11818,5
32	-425,14	-274,29	567,27	287,58	-
64	-192	-256	-261,82	-116,36	-977,45

Fig. 26 - Matrici $M_{8'} L^2$ (dalla diagonale in su) e $M_{8''} L^2$ (dalla diagonale in giù).

Posto

$$\pi_k = \frac{2 \cdot 4 \cdot 6 \dots 2k}{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (2k-3)} \quad (k=2, 3, \dots), \pi_1 = 2$$

si trova, per $k=2, 3, \dots$,

$$\begin{aligned} \frac{1}{L} \int F_k^2 dt &= 1 + \\ &+ \frac{2\pi_k^2}{(4k-3)(4k-1)(4k+1)} \\ \frac{1}{L} \int F_k F_{k+1} dt &= 1 + \\ &+ \frac{(2k+2)\pi_k^2}{(2k-1)(4k-1)(4k+1)(4k+3)} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{L} \int F_k F_{k+i} dt = 1 \quad (i=2, 3, \dots)$$

Invece

$$\begin{aligned} \frac{1}{L} \int F_1^2 dt &= \frac{1}{5}, \quad \frac{1}{L} \int F_1 F_2 dt = \frac{17}{35}, \\ \frac{1}{L} \int F_1 F_{1+i} dt &= \frac{1}{3} \end{aligned}$$

Per le derivate si ha, oltre alla citata condizione di ortogonalità,

$$L \int F_k'^2 dt = \frac{\pi_k^2}{4k-1}$$

Per le derivate $F'' = d^2 F/dt^2$ si trova

$$L^3 \int F_j' F_k'' dt = (-1)^{j+k} (2j-1) \pi_j \pi_k \quad (j \leq k)$$

$$L \int F_j F_k'' dt = (-1)^{k+1} \pi_k - L \int F_j' F_k' dt$$

i limiti di integrazione essendo sempre 0 e L . Con l'aiuto di queste espressioni si calcolano rapidamente le matrici $M_{8'}$ e $M_{8''}$. Per $m=6$ esse sono riportate nella fig. 26.

Placido Cicala

da tale contrazione è indicata nella parte superiore della fig. 27. Nella parte inferiore è riportata la matrice reciproca M'_r (valori arrotondati). Essendo ambedue le matrici simmetriche, sono omessi i valori situati ad un lato della diagonale.

$$\tau_s = -4Ek M'_r w_s \quad (45)$$

e sostituendo nella (44) si ha l'equazione risultante corrispondente alla (20)

$$\begin{aligned} (M_{9s} M'_r M_{9s} + \frac{81s_n^2}{8L^2 k^2} M_8) A = \\ = \frac{1}{8Ehk^2} M_{9s} P_s \end{aligned} \quad (48)$$

La matrice prodotto contenuta in parentesi insieme con la M_8 fornisce i coefficienti del sistema nei fattori A per qualsiasi pannello paraboloidico a pianta quadrata.

Gerardo L. Ventura

Applicazioni.

È stato considerato in particolare il caso in cui il pannello paraboloidico, vincolato come sopra è detto, sia soggetto ad un carico verticale uniformemente distribuito con intensità p .

Poiché i valori numerici contenuti nelle matrici M_{9s} , M'_r , $L^2 M_8$ sono indipendenti dalle caratteristiche geometriche della struttura, la determinazione dei coefficienti A dipende solo dal parametro adimensionale $s_n^2/L^4 k^2$. I calcoli sono stati effettuati per i casi

$$81s_n^2/8L^4 k^2 = 0,001 \quad (49a)$$

$$81s_n^2/8L^4 k^2 = 0,006 \quad (49b)$$

che corrispondono, rispettivamente, a rapporti fra lo svergolamento $L^2 k$ e lo spessore di circa 30 nel primo e di circa 12,5 nel secondo caso. Il valore 12,5 può considerarsi come rappresentativo di pannelli molto spessi; il valore 30, corrispondente ad un pannello relativamente sottile, può essere superato in pratica: ma le approssimazioni usate renderebbero poco

21, ..., 29, 31, ..., 99. Nella contrazione per simmetria si sommano, ad es., le linee (e le colonne) 12 e 21 che, secondo la fig. 25 corrispondono a maglie simmetriche.

11	12	13	14	15	16	17	18	19	22	23	24	25	26	27	28	29	33	34	35	36	37
53	28	39	33	27	21	15	9	3	-15	-13	-11	-9	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.
	53	9	22	18	14	10	6	2	15	-2	11	9	7	5	3	1	-13	-11	-9	-7	-5
11	694	77	16	27	21	15	9	3	-28	4	-37	-18	-14	-10	-6	-2	26	9	18	14	10
12	-297	603	71	10	21	15	9	3	-11	-26	19	-24	-7	-5	-3	-1	-13	15	-22	-7	-5
13	-220	-66	557	65	4	15	9	3	-9	-9	-24	21	-22	-5	-3	-1	.	-13	26	-13	.
14	-104	-104	-67	541	59	-2	9	3	-7	-7	-7	-22	23	-20	-3	-1	.	-13	26	-13	.
15	-43	-64	-88	-71	536	53	-8	3	-5	-5	-5	-20	25	-18	-1	.	.	.	-13	26	.
16	-18	-33	-51	-86	-72	536	47	-14	-3	-3	-3	-3	-3	-18	27	-16	.	.	.	-13	.
17	-7	-17	-26	-46	-84	-69	545	24	-1	-1	-1	-1	-1	-16	14	.	.	.	.	.	.
18	-4	-10	-13	-22	-42	-76	-47	601	32	11	22	18	14	10	6	2	-13	-11	-9	-7	-5
19	-3	-8	-9	-12	-19	-32	-41	67	942	34	-4	9	7	5	3	1	13	-2	9	7	5
22	266	-433	215	66	-12	-26	-21	-15	-13	1292	56	3	14	10	6	2	-24	4	-31	-14	-10
23	85	-16	-192	152	56	1	-13	-13	-11	-316	782	52	-1	10	6	2	-9	-22	17	-20	-5
24	-1	-23	112	-196	135	52	6	-6	-6	-221	-105	751	48	-5	6	2	-7	-7	-20	19	-18
25	-19	-34	31	126	-202	131	54	12	3	-111	-98	-98	744	44	-9	2	-5	-5	-5	-18	21
26	-15	-30	-10	45	128	-202	134	63	26	-61	-56	-78	-97	745	40	-13	-3	-3	-3	-3	-16
27	-10	-21	-18	.	50	132	-194	148	86	-37	-34	-36	-68	-88	761	21	-1	-1	-1	-1	-1
28	-7	-14	-15	-9	8	58	143	-178	167	-24	-22	-17	-22	-52	-58	823	28	9	18	14	10
29	-5	-10	-11	-9	-2	17	72	151	-245	-17	-15	-8	-2	-6	58	1171	30	-4	7	5	.
33	93	73	-280	56	83	40	11	.	-3	182	-329	184	70	12	-5	-7	-6	48	1	10	.
34	43	49	-33	-144	52	56	36	16	9	63	-30	-135	141	71	29	13	9	-276	860	44	-3
35	11	15	15	23	-130	47	61	38	26	4	-21	97	-126	134	72	38	26	-218	-96	815	40
36	-1	-3	6	38	37	-127	47	64	50	-14	-20	36	120	-122	137	80	51	-98	-95	-88	813
37	-4	-8	-3	19	49	42	-125	51	74	-17	-17	8	58	131	-114	148	93	-40	-40	-72	-81
38	-4	-9	-6	5	27	54	44	-128	40	-14	-12	1	26	71	143	-104	150	-16	-11	-17	-55
39	-4	-7	-6	.	12	33	56	27	-206	-11	-9	.	16	40	84	144	-165	-6	2	8	4
44	35	53	-2	-131	-6	48	45	31	24	90	50	-250	51	92	67	42	29	195	-261	209	75
45	19	33	18	-32	-73	9	42	41	37	56	42	-35	-125	56	81	64	48	62	-5	-91	159
46	7	15	16	10	-8	-60	11	42	47	26	23	18	23	-104	57	79	65	8	-14	115	-86
47	1	4	8	14	21	2	-57	10	43	9	10	19	46	42	-99	54	74	-1	-10	44	139
48	-1	-1	2	9	21	27	2	-63	-7	1	4	13	35	59	45	-107	32	.	-1	20	67
49	-2	-3	.	5	15	26	26	-15	-118	-2	1	9	24	44	59	24	-177	2	6	17	37
55	14	30	23	-15	-60	-15	23	37	40	55	52	-6	-122	-4	58	66	57	85	64	-215	72
56	8	20	20	5	-22	-36	-2	25	38	38	40	19	-31	-67	14	53	58	55	48	-16	-99
57	3	10	13	11	3	-12	-28	.	22	22	26	23	13	-7	-53	12	42	31	29	27	37
58	.	4	7	10	11	8	-9	-32	-16	11	15	19	23	25	-1	-59	-10	18	19	27	52
59	-1	1	4	7	11	14	7	-21	-66	5	10	14	22	29	24	-18	-108	12	15	22	39
66	6	16	18	8	-13	-30	-12	11	26	34	39	25	-16	-59	-15	27	45	54	54	6	-103
67	3	11	14	10	-1	-15	-20	-5	9	24	30	25	6	-23	-37	-5	21	40	42	25	-21
68	1	6	9	9	6	-1	-11	-20	-16	15	20	21	15	3	-16	-36	-18	27	30	26	17
69	.	3	6	7	8	6	-2	-19	-39	9	14	16	17	14	3	-25	-64	18	21	23	25
77	2	9	12	10	2	-10	-17	-10	-1	20	26	22	10	-15	-33	-17	2	34	38	26	-10
78	1	6	9	9	5	-2	-11	-15	-15	14	18	18	13	-1	-19	-27	-21	26	29	24	8
79	1	4	6	7	6	2	-5	-16	-26	10	14	16	13	6	-7	-24	-40	19	22	21	15
88	1	5	7	7	5	-1	-8	-13	-16	10	14	15	12	1	-13	-24	-23	20	23	21	9
89	1	3	5	5	4	1	-5	-12	-18	8	11	12	9	3	-7	-20	-27	16	18	16	10
99	.	2	3	4	3	1	-3	-7	-12	6	7	8	6	3	-5	-13	-18	10	11	11	6

38	39	44	45	46	47	48	49	55	56	57	58	59	66	67	68	69	77	78	79	88	89	99	
.
-3	-1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
6	2	-11	-9	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-3	-1	22	7	14	10	6	2	-9	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	-11	13	-18	-5	-3	-1	18	5	10	6	2	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.	.
.	.	.	-11	22	-11	.	.	-9	11	-14	-3	-1	14	3	6	2	-5	-3	-1	.	.	.	
-13	.	.	.	22	-11	.	.	.	-9	18	-9	.	-7	9	-10	-1	10	1	2	-3	-1	.	
26	-13	.	.	-11	22	-11	.	.	-9	18	-9	.	-7	9	-10	-1	10	1	2	-3	-1	.	
-13	13	.	.	.	-11	11	.	.	.	-9	9	.	-7	9	-10	-1	10	1	2	-3	-1	.	
-3	-1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3	1	-11	-9	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-6	-2	22	7	14	10	6	2	-9	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-3	-1	-11	13	-18	-5	-3	-1	18	5	10	6	2	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.	.
-3	-1	.	-11	22	-11	.	.	-9	11	-14	-3	-1	14	3	6	2	-5	-3	-1	.	.	.	
-16	-1	.	.	-11	22	-11	.	.	-9	18	-9	.	-7	9	-10	-1	10	1	2	-3	-1	.	
-16	-1	.	.	-11	22	-11	.	.	-9	18	-9	.	-7	9	-10	-1	10	1	2	-3	-1	.	
23	-14	.	.	.	-11	11	.	.	.	-9	9	.	-7	9	-10	-1	10	1	2	-3	-1	.	
-14	12	.	.	.	-11	11	.	.	.	-9	9	.	-7	9	-10	-1	10	1	2	-3	-1	.	
6	2	-11	-9	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3	1	11	-2	7	5	3	1	-9	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
6	2	-20	4	-25	-10	-6	-2	18	5	10	6	2	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.	.
6	2	-7	-18	15	-16	-3	-1	-9	11	-14	-3	-1	14	3	6	2	-5	-3	-1	.	.	.	
-7	2	-5	-5	-16	17	-14	-1	.	-9	18	-9	.	-7	9	-10	-1	10	1	2	-3	-1	.	
36	-11	-3	-3	-3	-14	19	-12	.	-9	18	-9	.	-7	9	-10	-1	10	1	2	-3	-1	.	
19	-1	-1	-1	-1	-12	10	.	.	-9	9	.	.	-7	7	.	-5	5	-3	2	1	39	.	
881	.	24	7	14	10	6	2	-9	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
60	1248	.	26	4	5	3	1	9	-2	5	3	1	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.	.
14	15	1564	.	40	-1	6	2	-16	4	-19	-6	-2	14	3	6	2	-5	-3	-1	.	.	.	
42	32	-236	905	.	36	-5	2	-5	-14	13	-12	-1	-7	9	-10	-1	10	1	2	-3	-1	.	
82	51	-201	-69	851	.	32	-9	-3	-3	-12	15	-10	.	-7	14	-7	-5	7	-6	6	-1	-1	
157	89	-87	-81	-64	852	.	17	-1	-1	-1	-10	8	.	-7	7	.	-5	5	-3	2	1	49	
-73	160	-26	-27	-54	-41	906	.	20	5	10	6	2	-7	-5	-3	-1	.	.	.	.	.	.
155	-119	1	4	1	-12	76	1283	.	22	-4	3	1	7	-2	3	1	-5	-3	-1	.	.	.	
74	53	225	-221	240	94	36	26	1604	.	32	-3	2	-12	4	-13	-2	10	1	2	-3	-1	.	
86	67	78	22	-60	182	93	53	-203	938	.	28	-7	-3	-10	11	-8	-5	7	-6	6	-1	-1	
63	75	18	2	139	-59	174	97	-177	-39	887	.	15	-1	-1	-8	6	.	-5	5	-3	2	1	

essere sostituita con una colonna contenente i valori di

$$\int f_i p dx dy$$

le funzioni f_i essendo date dalle (47). Così, per $\nu = 0$, si trova che la matrice $(Ehs_n^2/pL^4)A$ è costituita

dai numeri

$$0,02221_1; 0,00466_6; 0,00061_6;$$

$$0,00096_9; 0,00011_3; 0,00002_9.$$

denfuhr (1), adoperando un procedimento di collocazione, con 35 fattori incogniti, trovarono il fattore numerico 0,03495. Un calcolo ancora più preciso di Huang e Conway (2) diede il fattore 0,03619; rispetto a questo il valore sopra trovato è in difetto del 4,3%. Con $\nu = 0,3$ il fattore risulta 0,0383, mentre Leissa e Niedenfuhr, con $\nu = 1/3$ hanno 0,0405.

Meno soddisfacente è il confronto

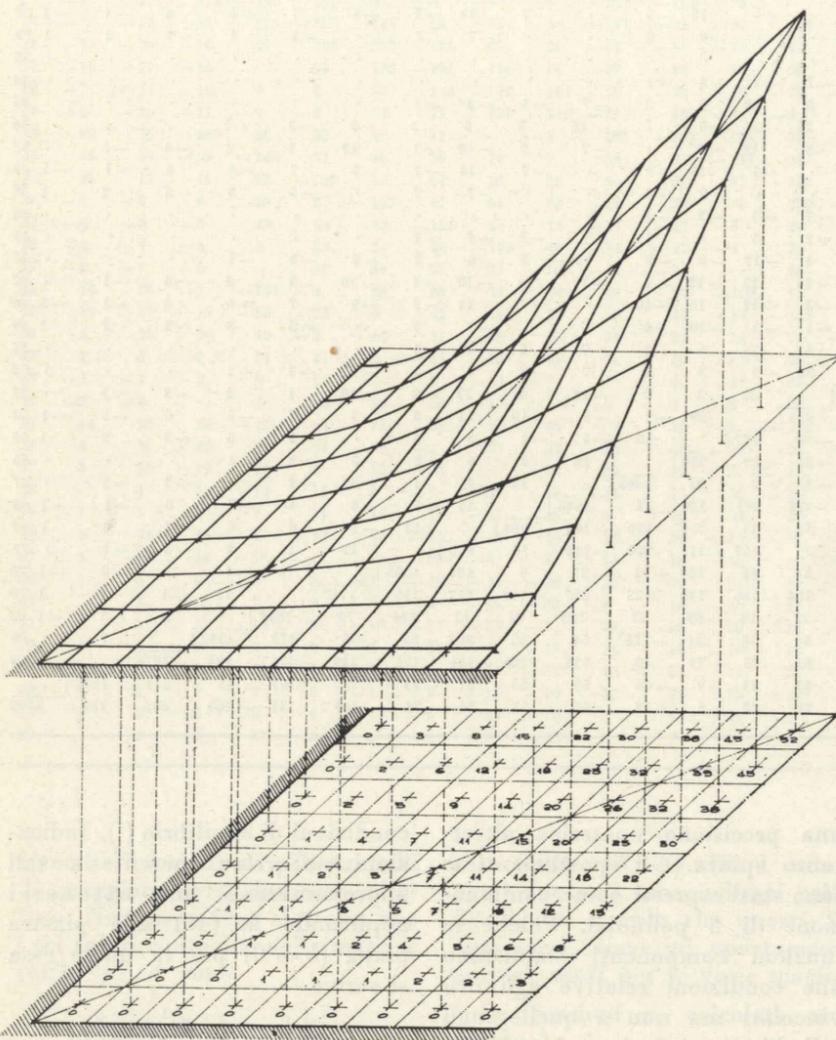


Fig. 28 - Rappresentazione prospettica degli spostamenti w nel caso (49b). I valori segnati rappresentano w in $(Ehs_n^2/pL^4) \cdot 10^4$.

Per $\nu = 0,3$ si trovano i valori

$$0,02617; 0,00468; 0,00060;$$

$$0,00089; 0,00019; -0,00002.$$

Quindi si trova lo spostamento massimo, nel vertice libero $0,03435pL^4/Ehs_n^2$ per $\nu = 0$. Per tale spostamento Leissa e Nie-

denfuhr (1), adoperando un procedimento di collocazione, con 35 fattori incogniti, trovarono il fattore numerico 0,03495. Un calcolo ancora più preciso di Huang e Conway (2) diede il fattore 0,03619; rispetto a questo il valore sopra trovato è in difetto del 4,3%. Con $\nu = 0,3$ il fattore risulta 0,0383, mentre Leissa e Niedenfuhr, con $\nu = 1/3$ hanno 0,0405.

(1) A. W. LEISSA, F. W. NIEDENFUHR, *Bending of a square plate with two adjacent edges free and the others clamped or simply supported*, « AIAA Journal », Vol. 1, N° 1, 1963.

(2) M. K. HUANG, H. D. CONWAY, *Bending of a uniformly loaded rectangular*

considerabile è stato rilevato nel valore del momento d'incastro nel punto $x = 0, y = L$, per il quale si trova il valore $0,161pL^2$, mentre Leissa e Niedenfuhr hanno $0,296pL^2$. Anche se questo può essere alquanto superiore al valore esatto, poichè nel procedimento usato per calcolarlo il vincolo esistente sui lati incastrati non viene realizzato in modo continuo, certo è da ritenersi più prossimo al vero che quello qui ottenuto con 6 fattori incogniti. Appare dunque la opportunità di estendere gli sviluppi (39) ad un numero di termini $m > 6$, per una valutazione sufficientemente precisa degli sforzi di flessotorsione. Nel caso in cui si potesse sviluppare il calcolo con un numero m prossimo a 45, converrebbe valersi anche per le equazioni di equilibrio, della scrittura per differenze finite. Peraltro, per la determinazione degli spostamenti w e dello stato di tensione nella superficie media (legato attraverso la integrazione della equazione di congruenza alla derivata $\partial^2 w / \partial x \partial y$, per la quale gli scarti non sono così alti come nei momenti flettenti) i risultati ottenuti pur con $m = 6$ possono ritenersi sufficientemente approssimati.

Come mostra la fig. 29, le massime τ si raggiungono nella terza maglia diagonale presso l'estremo libero: in questa e nelle adiacenti si supera alquanto il valore dato dalla teoria membranale. Tensioni σ ancor più rilevanti si raggiungono nelle fibre di orlo nei punti dove queste sono vincolate, ossia nel punto $x = 0, y = L$ e nel suo simmetrico. Il rapporto σ/c vale qui 7,93 nel caso (49a) e 6,95 nel caso (49b) (1).

Mediante la teoria della nota citata (2) si risolve facilmente lo stato di tensione in una striscia di paraboloide appoggiata lungo le generatrici $x = 0, x = 2L$ (3),

plate with two adjacent edges clamped and the others either simply supported or free, « Journal of Applied Mech. », December 1952.

(1) Come mostra la fig. 2, per calcolare la tensione σ in un nodo della fibra marginale basta moltiplicare per 2 la somma delle τ nelle maglie compresa fra quel nodo e il vertice libero.

(2) Nota 1.

(3) Con spostamenti $w = v = 0$.

con l'orlo $y = L$ libero e soggetta ad un carico $p = p_0 \sin(\pi x/2L)$. Si trova che, in prima approssimazione, è

$$\tau = \frac{P_0}{2hk} (1 - e^{-2t} + \frac{2}{\sqrt{3}} e^{-t} \sin \sqrt{3}t)$$

dove

$$t = (L - y) K/2, \quad K = (\pi k/s_n L)^{1/2}$$

Le τ , nulle sull'orlo $y = L$, raggiungono per $t = 0,83$, un massimo che supera del 31% il valore $p_0/2hk$ della teoria membranale e poi vanno accostandosi a detto valore. Malgrado tale problema si scosti apparentemente molto da quello qui in esame, tuttavia da questa analisi assai schematizzata si traggono conclusioni concordanti con quelle fornite dal calcolo più complesso. Per effetto dell'orlo libero si crea un massimo nelle τ per $y = 0,76L$ nel caso (49a) e per $y = 0,67L$ nel caso (49b), ossia entro la terza fila di maglie. Sovrapponendo gli effetti dei due orli a, b si trova che la τ massima, lungo la diagonale del pannello, supera il valore c della quantità

$$\frac{4}{\pi} 0,6c \sin 0,76 \frac{\pi}{2} = 0,71c (*)$$

nel caso (49a) e di $0,66c$ nel caso (49b). Queste conclusioni sono confermate dai risultati riportati nella fig. 29. Inoltre, sempre secondo la medesima teoria, si hanno tensioni σ nelle fibre marginali che nel punto di ancoraggio raggiungono il valore $1,6 K L c = 8,1c$ nel caso (49a) e $10,9c$ nel caso (49b) (*). È naturale che i valori sopra trovati siano alquanto inferiori a questi, poichè essi sono determinati come tensioni medie su una striscia marginale di larghezza $L/18$, mentre la teoria menzionata misura il massimo, ben marcato, esistente sull'orlo. Si rileva dunque che l'analisi semplificata, in accordo col calcolo più preciso, segnala una concentrazione considerevole di tensioni σ che comprimono la fibra marginale se la pressione p spinge il vertice libero

(*) Questi risultati sono ottenuti tenendo conto, per le condizioni di orlo libero, del primo termine negli sviluppi in serie di Fourier.

verso il piano degli altri tre o la tendono, nel caso contrario. Si nota quindi l'opportunità di disporre un rinforzo lungo l'orlo, anche se da taluni progettisti possa considerarsi desiderabile la sua soppressione, per motivi estetici. Sarebbe ancora da considerare che tali tensioni nel vertice $x = 0, y = L$ e nel suo simmetrico si aggiungono agli effetti del momento di incastro che, per la piastra, assume qui valori importanti. D'altra parte però, per il pannello paraboloidico,

$(p_0 L^4 / Ehs_n^2) \cdot 2 (s_n / \pi k L^{2/3})$. Gli effetti dei due orli liberi si sovrappongono nel caso di vertice libero. Supponendo che essi si sommino semplicemente, si trovano spostamenti non lontani da quelli indicati nella fig. 29, molto inferiori a quelli di una piastra di pari spessore.

Il calcolo presentato indica, nei suoi aspetti essenziali, il comportamento del pannello paraboloidico con due orli incastrati. La precisione dei risultati potrà essere

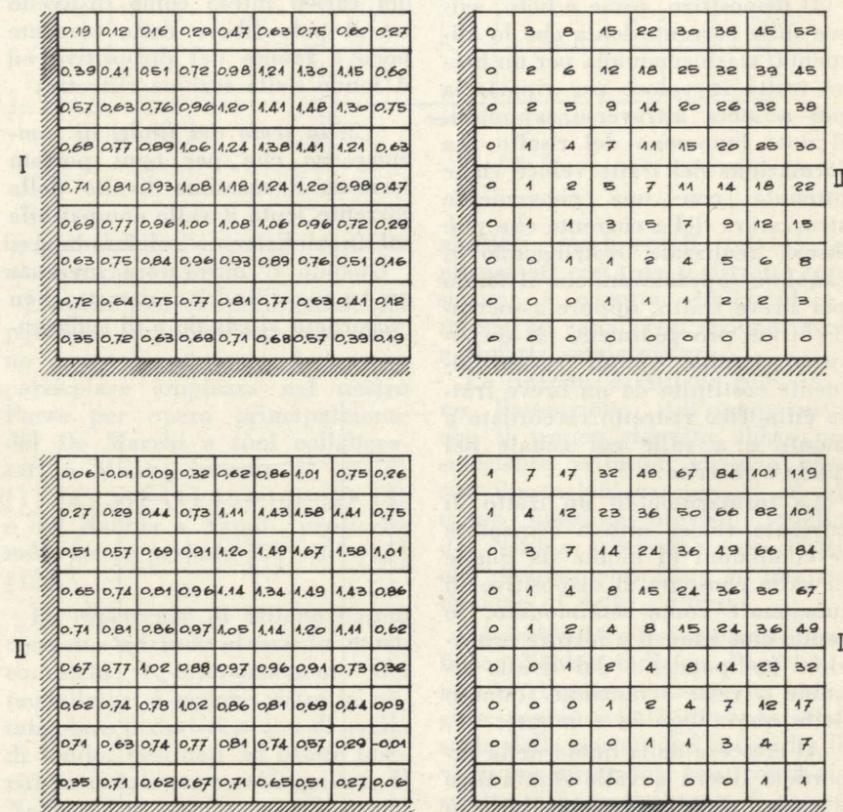


Fig. 29 - (I) Rapporti τ/c nel caso (49b) - (II) Rapporti τ/c nel caso (49a) - (III) Valori di $10^4(Ehs_n^2/pL^4)w$ nel caso (49b) - (IV) Valori di $10^5(Ehs_n^2/pL^4)w$ nel caso (49a).

anche se di moderato svergolamento, questi momenti risultano fortemente diminuiti rispetto al caso della piastra. Il calcolo svolto indica un momento nel punto anzidetto dato da $0,02pL^2$ nel caso (49b) e minore nell'altro.

Anche per quanto riguarda gli spostamenti la teoria citata fornisce utili dati orientativi. Lo spostamento nel punto $x=y=L$ della striscia di larghezza $2L$ vale (*)

vagliata quando si svilupperanno calcoli più accurati: per tale affinamento, nelle espressioni e nei valori numerici qui contenuti si troverà una valida base. Sarà soprattutto importante, in questa prosecuzione, controllare l'approssimazione delle espressioni di uso immediato a cui conduce la teoria delle soluzioni di strato limite.

P. Cicala - G. L. Ventura - G. Siniscalco

Misuratori a risalto per canali a sezione trapezia

GIOVANNI TOURNON esamina i risultati di una ricerca sul comportamento di vari tipi di misuratori a risalto a sezioni ristrette trapezie con sponde a 45°, inseriti in canali a sezione trapezia con sponde di eguale inclinazione, fornendo, in particolare, le relative scale delle portate e delle sommergenze limiti.

1) Premessa.

Da una quarantina d'anni ormai la misurazione delle portate fluenti a pelo libero si è arricchita di un dispositivo particolarmente utile nelle reti irrigue: il misuratore a risalto.

Il dispositivo, come è noto, agisce sulla corrente lenta che lo alimenta, trasformandola per un breve tratto in veloce per riportarla poi a lenta attraverso, appunto, il noto fenomeno del risalto. La formazione del tratto veloce viene ottenuta con una conveniente strozzatura della corrente che può essere realizzata restringendo il canale o sopraelevandone il fondo per breve tratto, oppure associando i due provvedimenti. Il dispositivo risulta quindi sostanzialmente costituito da un breve tratto cilindrico ristretto raccordato a monte e a valle col canale nel quale è inserito.

La formazione di un tratto di corrente veloce atto a svincolare le condizioni di monte da quelle di valle consente al dispositivo di funzionare come *semimodulo*, lo rende cioè idoneo a fornire erogazioni indipendenti dal livello liquido a valle e funzione soltanto delle quote liquide a monte.

Al crescere della quota della superficie libera a valle diminuisce il carico disponibile per il tratto di corrente veloce e per il risalto: questo si sposta progressivamente verso monte e si riduce di entità fino a risolversi in un'ondulazione della superficie libera quando si annulla il tratto di corrente veloce. Oltre questo limite, che si presenta per un particolare valore della quota della superficie libera nel canale di valle, il dispositivo risulta interessato ovunque da corrente lenta e perde perciò il carattere semimodulare. La quota della superficie libera rispetto al fondo del tratto ristretto oltre la quale, per la data portata, il dispositivo perde il carattere semimodulare, definisce la sommer-

genza limite del misuratore per la predetta portata.

A caratterizzare il funzionamento di un modellatore occorre quindi assegnare:

1) la scala delle portate che esprime la portata Q in funzione del carico inteso come dislivello tra il pelo libero della corrente poco a monte del dispositivo ed il fondo della sezione ristretta;

2) la scala dei limiti di sommergenza che per ogni portata fornisce il massimo livello della corrente lenta a valle compatibile col funzionamento semimodulare.

Quando il misuratore presenta un tronco cilindrico ristretto ben raccordato al canale e di sufficien-

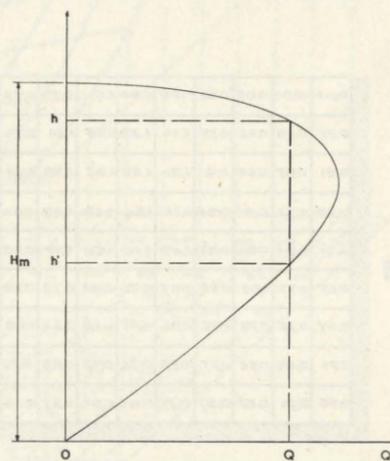


Fig. 1.

te lunghezza per consentire la linearità del moto nel passaggio dallo stato lento a quello veloce, la scala delle portate può in prima approssimazione essere determinata direttamente, supponendo che siano trascurabili le perdite di carico nel tratto compreso fra la sezione di misura e quella di controllo, e precisamente supponendo che all'intero tratto in parola competa il carico relativo allo stato critico nella sezione ristretta. Assegnata la forma della

sezione trasversale del tratto strozzato e ammessa la linearità del moto, ad ogni valore della portata Q competono, allo stato critico, l'altezza h_c che soddisfa la nota condizione:

$$Q = \sigma \sqrt{g \frac{\sigma}{l}}$$

(dove σ è l'area della sezione di profondità h_c ed l la relativa larghezza della superficie libera) ed il carico totale

$$H_c = h_c + \frac{Q^2}{2g \sigma^2} = h_c + \frac{\sigma}{2l}$$

che è il minimo compatibile col movimento lineare della assegnata portata.

La citata scala teorica delle portate si ricava, a norma delle ipotesi fatte, assegnando alla corrente nella sezione di misura il carico totale $H_m = H_c + a$, essendo a l'eventuale sopraelevazione del fondo del tratto ristretto sul fondo del canale di alimentazione.

La relazione di definizione del carico totale della corrente in una sezione, scritta per la sezione di misura del carico, comporta:

$$Q = \Sigma \sqrt{2g (H_m - h)}$$

dove Σ è la sezione del canale alta h . Il modo di variare di Q con h , per $H_m = \text{cost.}$, cioè la curva espressa dalla relazione precedente, presenta notoriamente l'andamento indicato in fig. 1. La generica portata Q può muoversi, compatibilmente con l'assegnato H_m , con l'altezza h allo stato lento o con l'altezza h' allo stato veloce. La prima è quella che interessa nel nostro caso, per cui il carico del misuratore relativo alla Q è $h_m = h - a$. La figura 2 riassume il procedimento sopra indicato per la determinazione della scala delle portate: i carichi h_{m1} e h_{m2} competono rispettivamente a Q_1 e Q_2 .

Le ipotesi ammesse dalla trattazione teorica, sommariamente richiamata, non risultano in pratica

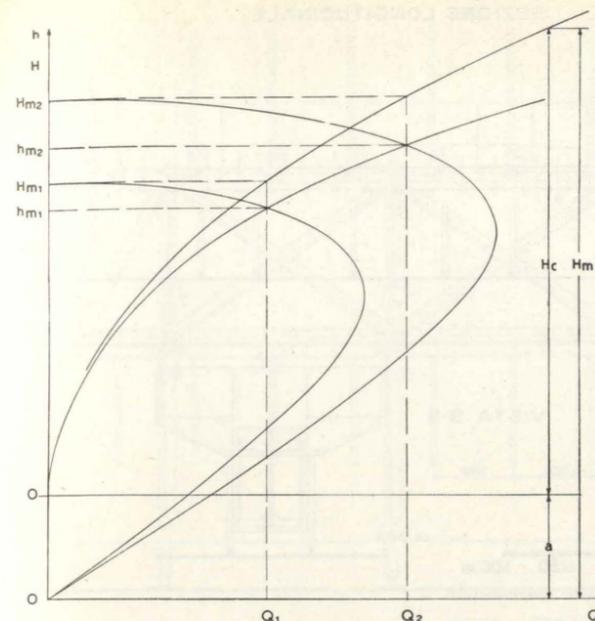


Fig. 2.

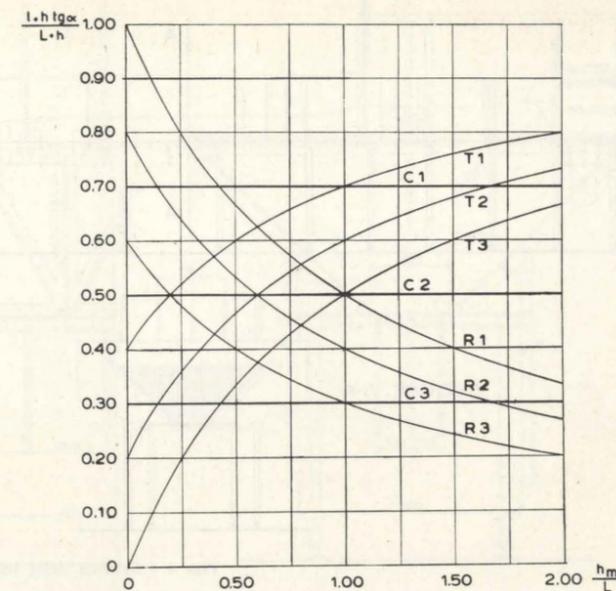


Fig. 3.

del tutto soddisfatte sia perchè le perdite di carico, sebbene modeste, non sono tuttavia del tutto trascurabili, sia perchè la corrente nel tronco ristretto può presentare curvature sensibili. Tuttavia le scale cui dà luogo la trattazione teorica presentano normalmente scostamenti di modesto rilievo rispetto alle scale effettive rilevabili sperimentalmente operando direttamente sul misuratore o su un suo modello.

Nei riguardi dell'altra scala, quella dei limiti di sommergenza, che con la precedente definisce il comportamento del modellatore, occorre invece far capo quasi esclusivamente alla indagine sperimentale.

In effetti si può direttamente stabilire soltanto che, per misuratori con tronchi cilindrici ristretti sufficientemente lunghi e convenientemente raccordati col canale a valle, la sommergenza limite corrisponde a quote della superficie libera non inferiori a quelle della corrente allo stato critico nella sezione ristretta. Detta h_c l'altezza critica della corrente di portata Q nella sezione ristretta si può cioè ritenere soltanto che la relativa sommergenza limite h_{vl} non sia inferiore a h_c ; ma il preciso legame fra h_{vl} e h_c può essere fornito soltanto dall'esperienza.

Le prime applicazioni di modellatori a risalto si ebbero sulle reti

irrigue dell'India e della California intorno al 1920.

L'esame teorico-sperimentale del processo idraulico cui essi danno luogo è stato condotto con particolare ampiezza nel nostro Paese per opera principalmente del De Marchi e suoi collaboratori a Milano intorno al '36-'41 [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] e del Nebbia a Napoli, pressochè nello stesso periodo [9] [10] [11] [12].

Le esperienze di Milano hanno condotto ad individuare in modo completo il comportamento dei modellatori a sezione ristretta rettangolare provvisti o non di soglia di fondo, destinati ad essere inseriti in canali pure rettangolari. Il Nebbia ha esaminato dal punto di vista teorico, in particolare, il comportamento di misuratori con area σ della sezione ristretta esprimibile a mezzo del carico h da una relazione del tipo $\sigma = a h^n$ inseriti in canali di forma analoga alla strozzatura, cioè con area Σ esprimibile dalla relazione $\Sigma = b h^n$. Per i misuratori a fondo

piano il rapporto $\frac{\sigma}{\Sigma}$ fra le aree della sezione ristretta e del canale, relative alla stessa altezza e che il Nebbia indica come « rapporto caratteristico », risulta qui indipendente da h . Lo stesso Autore ha fornito pure una serie di

risultati sperimentali relativi a misuratori con tronco ristretto con sezione a cunetta semicircolare, inseriti in canali con sezione pure a cunetta semicircolare.

Le ricerche di Milano richiamano l'attenzione sull'opportunità che il tronco ristretto abbia un sufficiente sviluppo rispetto alle sue dimensioni trasversali ed al carico massimo previsto; quelle del Nebbia accennano agli effetti che possono conseguire ad una riduzione di detto sviluppo.

In particolare il compianto professor Nebbia indicava l'opportunità di rilevare con apposita indagine sperimentale l'influenza sulla scala delle portate del raccordo di valle per misuratori con tronco ristretto di breve sviluppo. È da osservare a questo riguardo che, quando il tronco ristretto ha breve sviluppo, la corrente che lo interessa assume curvature rilevanti a concavità verso il basso e non presenta in nessuna sezione la distribuzione idrostatica della pressione, richiesta dalla linearità del moto. Ne consegue che il passaggio di una assegnata portata per il tronco ristretto del modellatore può avvenire con un carico totale sul fondo inferiore al minimo richiesto dallo stato critico e quindi con un carico nella sezione di misura minore di quello fornito dalla scala teorica ricavata come sopra indicato.

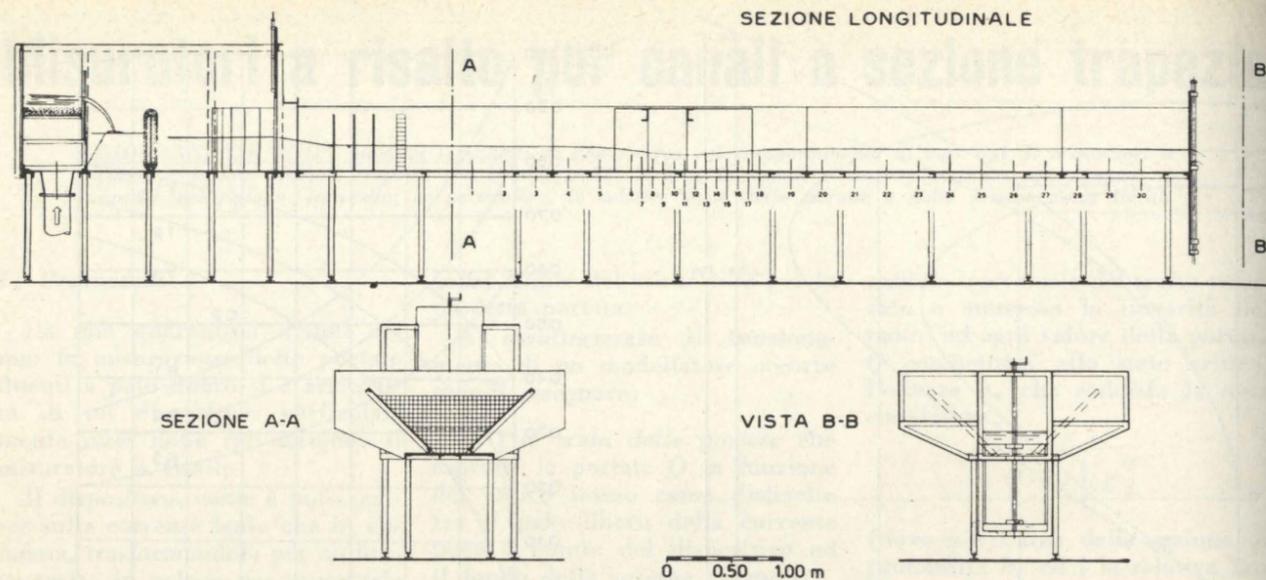


Fig. 4 - Schema della installazione sperimentale.

La curvatura dei filetti liquidi della corrente nel tratto ristretto agisce così in senso contrario alle perdite di carico e un misuratore con tronco ristretto di breve sviluppo può anche richiedere a pari portata un carico minore di quello indicato dalla indagine teorica che presuppone perdite nulle e sezione di controllo con distribuzione idrostatica delle pressioni. E, come notava il Nebbia, è ancora da rilevare che la scala di un modellatore con breve tronco ristretto può risentire della forma del raccordo di valle in quanto questo possa influire sulla pendenza della superficie libera della corrente nel tratto ristretto e quindi sulle curvature della corrente.

Scopo della nostra indagine è stato quello di individuare le caratteristiche idrauliche, particolarmente le scale delle portate e dei limiti di sommergezza, di misuratori da inserire in canali a sezione trapezia e di raccogliere contemporaneamente qualche elemento in merito alle osservazioni precedenti circa i misuratori aventi tronco ristretto di breve sviluppo.

La ricerca, svolta col contributo del C.N.R., ha avuto inizio alcuni anni or sono col programma di esaminare il comportamento di misuratori a sezione ristretta trapezia o rettangolare destinati ad essere inseriti in canali a sezione trapezia, particolarmente in canali con sponde a 45°.

Nella ricerca in parola, si è data la precedenza ai misuratori a fondo piano, che sono parsi di particolare interesse, sia per loro semplicità costruttiva, sia per alcune favorevoli caratteristiche di funzionamento, quale quella di evitare possibili formazioni di depositi immediatamente a monte del restringimento.

Ad ogni valore del carico corrisponde per uno stesso misuratore un particolare valore del rapporto r fra le aree relative alla sezione ristretta ed al canale.

Con riferimento al caso generale di un misuratore con sezione ristretta trapezia di base l e con sponde inclinate dell'angolo α sulla verticale inserito nel canale trapezio di base L e con sponde a 45°, tale rapporto espresso da:

$$r = \frac{l + h \operatorname{tg} \alpha}{L + h} = \frac{l}{L} \left[\frac{1 + \frac{h}{L} \operatorname{tg} \alpha}{1 + \frac{h}{L}} \right]$$

risulta indipendente da h , e pari a $\frac{l}{L}$ (come per i misuratori a sezione ristretta rettangolare, inseriti in canali rettangolari), quando l'inclinazione α delle sponde della sezione ristretta trapezia soddisfa la condizione $\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{L}$.

Per valori di $\operatorname{tg} \alpha$ diversi da $\frac{l}{L}$ il rapporto di strozzamento varia con h : aumenta per $\operatorname{tg} \alpha > \frac{l}{L}$; diminuisce per $\operatorname{tg} \alpha < \frac{l}{L}$.

Le situazioni previste dal programma sperimentale possono essere distinte a questo riguardo in tre gruppi. Al primo gruppo (gruppo T) appartengono misuratori a sezione ristretta trapezia con sponde a 45° come quella del canale cioè con $\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{L}$ e quindi con r crescente al crescere di h ; al secondo gruppo (gruppo R) appartengono misuratori a sezione ristretta rettangolare, cioè con $\operatorname{tg} \alpha = 0$, e quindi con r decrescente al crescere di h ; infine al terzo gruppo (gruppo C) appartengono misuratori con sezioni ristrette tali da soddisfare la condizione $\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{L}$ e quindi tali da avere un rapporto di strozzamento r indipendente da h .

Di ciascun gruppo (T , R , C) fanno parte vari tipi di misuratori caratterizzati da diversi valori del rapporto $\frac{l}{L}$.

I valori prescelti per il rapporto $\frac{l}{L}$ dei misuratori T sono stati 0,4, 0,2, 0; quelli dei misuratori R sono stati i complementari: 0,6, 0,8 e 1, così che le rispettive curve degli r in funzione di $\frac{h}{L}$ ri-

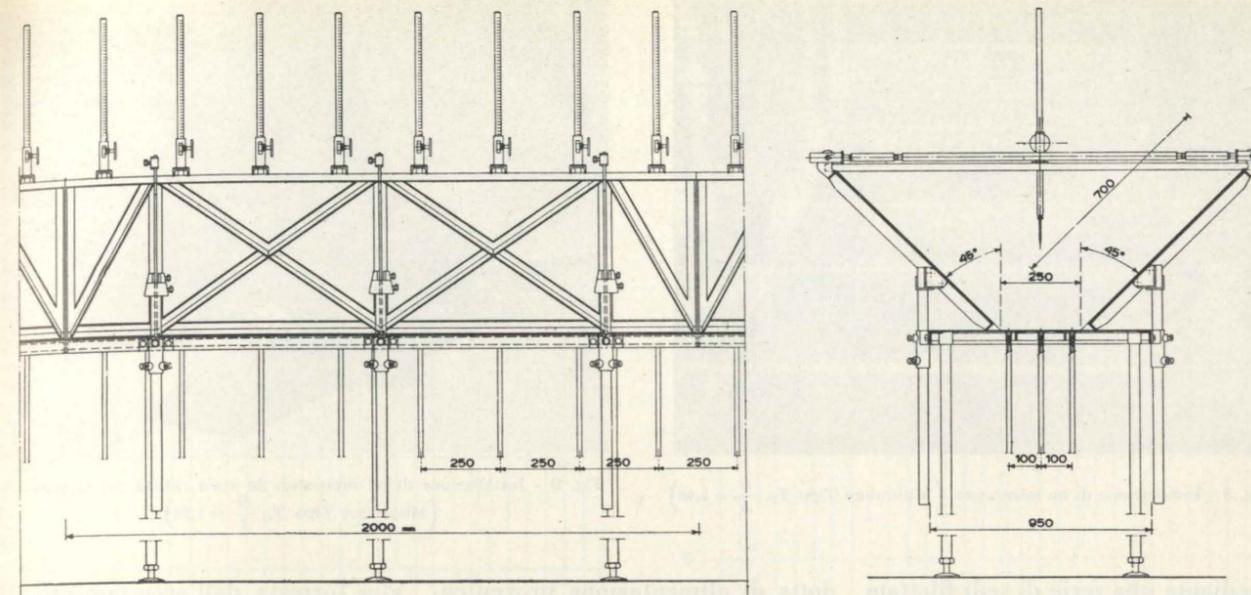


Fig. 5 - Vista e sezione del canale di prova.

sultano simmetricamente disposte rispetto al valore $r = 0,5$ (v. figura 3).

Al gruppo C appartengono misuratori con rapporto costante e pari rispettivamente a 0,7, 0,5, 0,3.

Ciascuno dei predetti tipi comprende poi misuratori differenti per la lunghezza D del tronco cilindrico ristretto e per la presenza di raccordi tanto a monte che a valle oppure soltanto a monte.

Allo stato attuale, è ultimata la sperimentazione dei misuratori T ed R ed è in corso quella sui misuratori del gruppo C . I risultati della ricerca riguardante i misuratori del gruppo T , che da sola ha comportato l'esame di una ventina di diverse disposizioni sperimentali ed il rilevamento di al-

cune centinaia di profili liquidi e di altrettanti diagrammi di pressione sul fondo, formano l'oggetto della presente nota.

II) Installazione e modalità sperimentali.

L'installazione sperimentale è schematicamente rappresentata in fig. 4.

Da una vasca a livello costante tramite una condotta di 200 mm di diametro, la portata perviene ad un cassone di calma e di qui al canale destinato al contenimento dei misuratori. Questo canale (v. figg. 5, 6, 7, 8), studiato in modo da consentire la formazione di sezioni trapezie di varia larghezza alla base e varia inclinazione delle sponde, è stato usato con larghezza alla base di 25 cm e sponde

a 45° per tutte le esperienze, salvo per alcune, intese a verificare il comportamento di modellatori simili, per le quali la larghezza è stata ridotta a 12,5 cm (v. fig. 9).

Esso è costituito da elementi piani di 2,00 e di 1,00 m di lunghezza, in lamiera di acciaio, rinforzati da nervature e zincati galvanicamente. L'orizzontabilità del fondo è assicurata da appositi piedini di regolazione di cui sono muniti gli elementi di sostegno.

La tenuta in corrispondenza dei giunti trasversali e tra le sponde e il fondo è stata garantita a mezzo di guarnizioni e di mastici di adatte caratteristiche.

Un robusto piastrone munito di una luce a forma trapezia provvede al collegamento del canale con il cassone di alimentazione e,

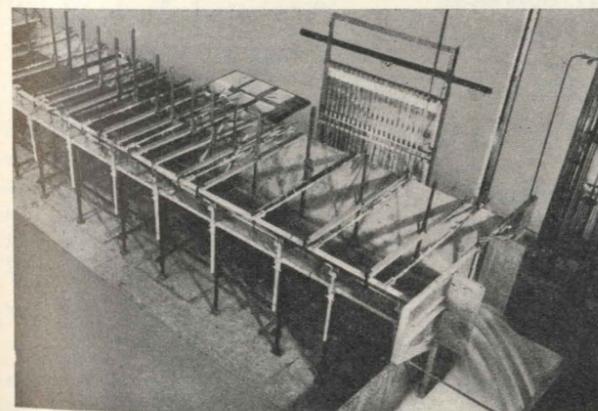


Fig. 6 - Veduta del canale di prova.

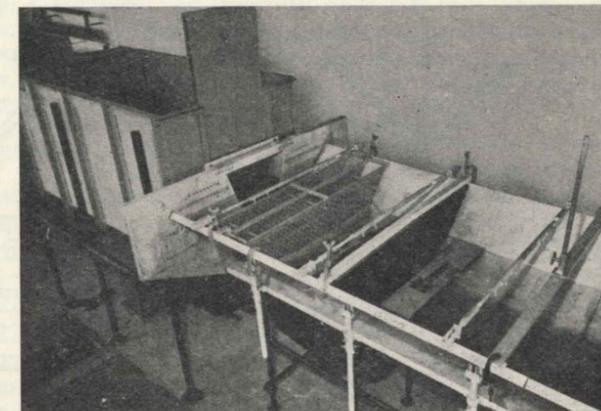


Fig. 7 - Dispositivi di alimentazione e di calma.

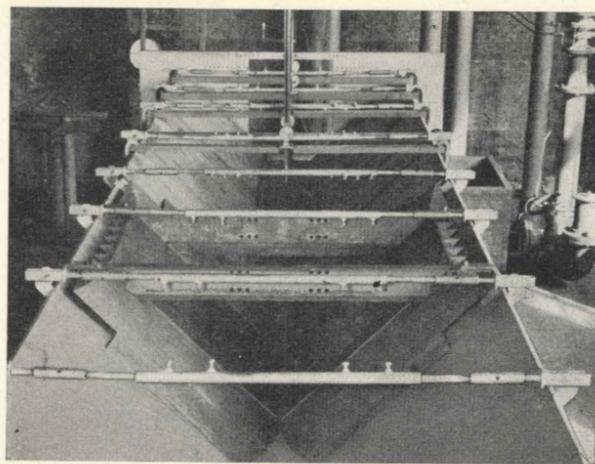


Fig. 8 - Installazione di un misuratore (Misuratore Tipo T₃, $\frac{D}{L} = 2,40$)

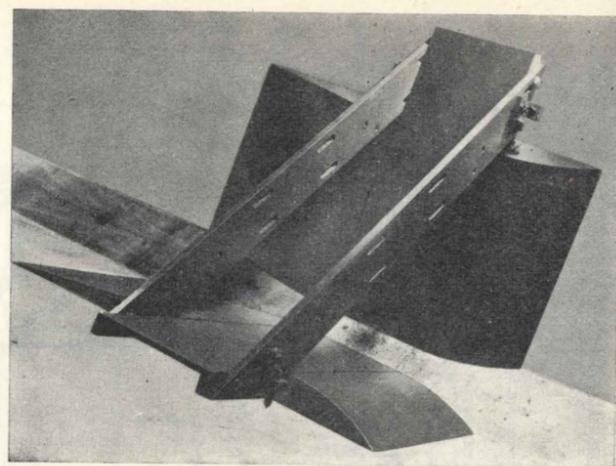


Fig. 9 - Installazione di un misuratore in scala ridotta nel rapporto $\frac{1}{2}$ (Misuratore Tipo T₁, $\frac{D}{L} = 1,20$)

mediante una serie di sedi filettate a tenuta idraulica, al bloccaggio degli elementi iniziali del canale stesso.

La sezione terminale del canale è dotata di una soglia tracimabile che poteva assumere quote diverse per la regolazione dei livelli.

L'installazione dei misuratori era predisposta a cavallo di una sezione ubicata a circa tre metri dall'inizio del canale.

Il tronco ristretto era costituito da due piastre metalliche nervate, registrabili a mezzo di appositi dispositivi di regolazione e di fissaggio alle sponde del canale.

I raccordi erano realizzati in legno di cirmolo, con rinforzi metallici intesi a garantirne l'indeforabilità.

La misura delle portate veniva effettuata per mezzo di un venturimetro tarato installato sulla con-

dotta di alimentazione proveniente dalla vasca a livello costante.

Il venturimetro era corredato di due manometri differenziali ad acqua, di cui uno destinato alla misura diretta su scala millimetrata dei dislivelli piezometrici superiori ai 45 cm, l'altro alla misura dei dislivelli compresi tra i 45 cm ed i 2 cm a mezzo di aste graduate provviste di noni per la lettura del 1/20 mm.

Le portate corrispondenti a dislivelli piezometrici inferiori a detto limite venivano misurate volumetricamente allo scarico.

È stato così possibile raggiungere una buona precisione di misura, valutabile intorno all'1%, in tutto il campo delle portate utilizzate nelle prove.

Al tranquillamento della corrente in arrivo provvedevano tre successive lamiere forate disposte all'inizio del canale ed una gri-

glia formata dall'accostamento di brevi condotti a sezione quadrata, in lamierino di acciaio.

La sperimentazione di un misuratore consisteva essenzialmente nel rilevamento del carico nella sezione di misura, dei profili della corrente a regime e delle corrispondenti pressioni sul fondo lungo l'intero dispositivo e nel canale per diverse portate (da 6 a 12) con minimi intorno ai 3 e massimi intorno ai 90 l/s.

A tale scopo erano state predisposte numerose prese di pressione sul fondo del canale a gruppi di tre allineate ortogonalmente all'asse. In corrispondenza delle prese di pressione erano installate in asse del canale le aste graduate a movimento micrometrico per il rilievo dei peli liberi.

Per ciascuna portata si è provveduto ai rilevamenti predetti in due diversi regimi di funziona-

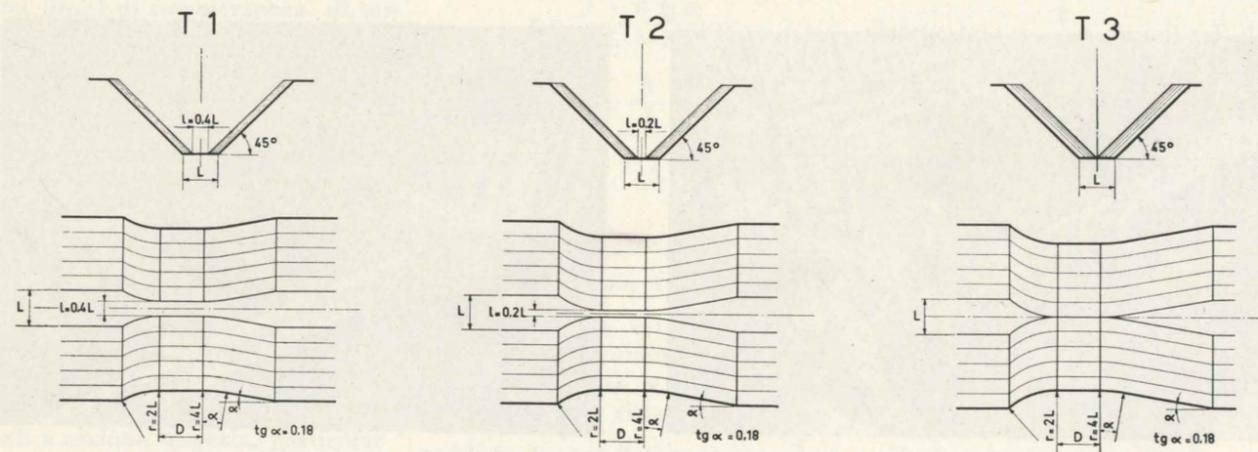


Fig. 10 - Caratteristiche geometriche dei raccordi.

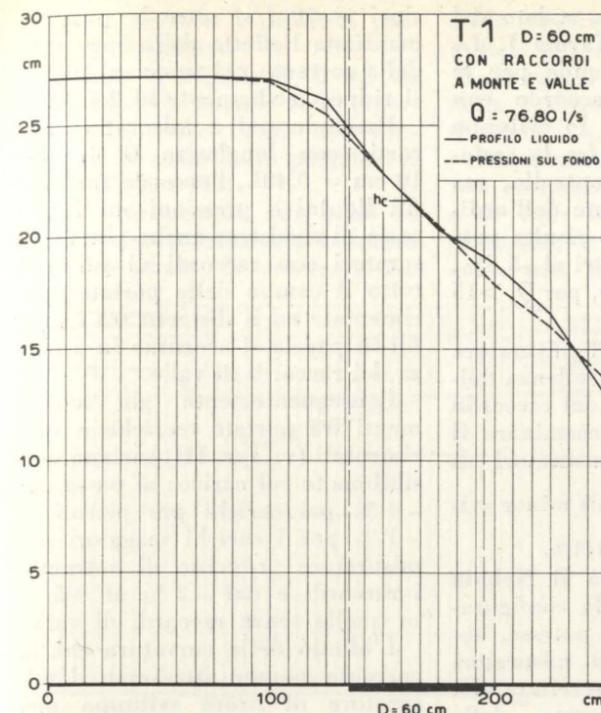


Fig. 11.

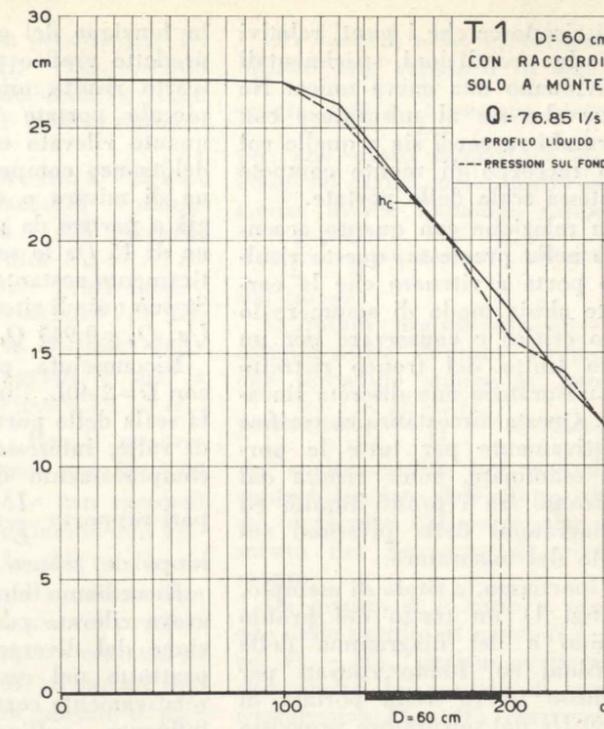


Fig. 12.

mento: a efflusso sicuramente libero cioè con soglia tracimabile, disposta al termine del canale, completamente abbassata ed al limite di sommergenza cioè con soglia tracimabile disposta in modo da determinare nella sezione di misura, come suggerito dall'indagine del De Marchi, un incremento di carico Δh_m corrispondente, sulla scala teorica delle portate, ad una variazione di portata del 0,5 per cento.

L'altezza limite di sommergenza è stata misurata in una sezione del canale a valle del misuratore dove la corrente aveva sicuramente i caratteri propri della linearità.

III) Risultati sperimentali.

I misuratori del gruppo T, (cioè quelli con tronco ristretto a sezione trapezia con sponde a 45° inseriti nel canale trapezio di eguale inclinazione di sponde) che abbiamo sottoposto a prova sono stati nove raggruppabili in tre tipi diversi per la larghezza l della base del tronco ristretto, cioè per il valore del rapporto $\frac{l}{L}$.

Ciascuno dei tre tipi predetti comprende tre misuratori definiti nel seguente prospetto, che fornisce, accanto ai valori del rapporto

$\frac{D}{L}$, tra la lunghezza del tronco ristretto e la larghezza di base del canale, anche le indicazioni circa i raccordi:

Misuratori Tipo T₁, $l/L = 0,40$

$D/L = 2,40$ { con racc. a monte e a valle
con raccordi solo a monte

$D/L = 1,20$ { con racc. a monte e a valle
con raccordi solo a monte

$D/L = 0,40$ { con racc. a monte e a valle
con raccordi solo a monte

Misuratori Tipo T₂, $l/L = 0,20$

$D/L = 2,40$ { con racc. a monte e a valle
con raccordi solo a monte

$D/L = 1,20$ { con racc. a monte e a valle
con raccordi solo a monte

$D/L = 0,40$ { con racc. a monte e a valle
con raccordi solo a monte

Misuratori Tipo T₃, $l/L = 0,00$

$D/L = 2,40$ { con racc. a monte e a valle
con raccordi solo a monte

$D/L = 1,20$ { con racc. a monte e a valle
con raccordi solo a monte

$D/L = 0,40$ { con racc. a monte e a valle
con raccordi solo a monte

I raccordi adottati risultano definiti in fig. 10: quelli di monte comportano superfici a curve di livello coincidenti con archi di cerchio di raggio $r = 2L$ tangenti alle corrispondenti curve di livello del tronco ristretto; quelli di valle presentano un primo tratto a curve di livello coincidenti con archi di cerchio di raggio $r = 4L$

ancora tangenti alle corrispondenti curve di livello del tronco ristretto e un successivo tratto piano a curve di livello formanti l'angolo $\alpha = \arctg 0,18$ con le corrispondenti curve di livello delle sponde del canale.

Da un tipo di misuratore all'altro i raccordi differiscono pertanto solo per il diverso sviluppo della superficie cilindrica di monte e della superficie piana di valle conseguente al diverso valore della larghezza l della strozzatura.

a) Misuratori Tipo T₁ ($\frac{l}{L} = 0,40$).

Scale delle portate.

Esponiamo anzitutto i risultati raccolti operando col primo dei tre misuratori appartenenti a questo tipo, quello avente il maggior sviluppo D del tronco ristretto ($D = 2,40L$).

La scala delle portate è stata determinata operando sia col modellatore provvisto di entrambi i raccordi di monte e di valle, sia con quello provvisto del solo raccordo di monte.

I risultati sono riuniti nella Tavola I, dove è pure indicata con linea a tratti la scala teorica delle portate, ricavata per via grafica, secondo il procedimento indicato nella premessa.

Si riconosce che i punti relativi alle due condizioni sperimentali individuano una curva unica. Ne segue che sia al misuratore con entrambi i raccordi sia a quello col solo raccordo di monte compete la stessa scala delle portate.

In relazione con quanto accennato nella premessa, questo risultato porta a ritenere che la corrente abbia modo di assumere lo stato critico e conservare per un certo tratto del tronco ristretto del misuratore una discreta linearità. Questa circostanza si verifica effettivamente per tutte le portate esaminate, come risulta dal confronto fra i profili liquidi ed i diagrammi delle pressioni sul fondo del misuratore.

Riportiamo, a titolo di esempio, in fig. 11 un tratto del profilo liquido e del diagramma delle pressioni sul fondo rilevati per l'efflusso libero della portata di 76,80 l/s dal misuratore provvisto di raccordi tanto a monte che a valle, ed in fig. 12 il profilo e il diagramma delle pressioni relative all'efflusso libero di una portata pressochè identica dal misuratore sprovvisto dei raccordi di valle.

Appare evidente come nei due casi si realizzi nel tratto ristretto del misuratore, nell'intorno della sezione alta quanto l'altezza critica h_c della portata, una buona coincidenza tra profilo liquido e diagramma delle pressioni sul fondo.

Circa la posizione della sezione di controllo con altezza h_c e distribuzione idrostatica delle pressioni, l'esame dei profili liquidi relativi alle diverse portate sperimentate porta a riconoscere che per le portate più piccole essa si verifica in prossimità della sezione terminale del tronco ristretto e che al crescere delle portate si sposta rapidamente verso monte per poi mantenersi a circa metà del tratto ristretto per portate superiori ad una decina di l/s.

Le perdite di carico nel tronco suddetto si riflettono naturalmente sulla scala sperimentale delle portate, determinando a pari carico l'efflusso di portate inferiori alle teoriche. Gli scostamenti percentuali $\Delta Q = \frac{Q_s - Q_t}{Q_t}$ fra portate sperimentali e teoriche sono riportati

in funzione del carico a lato del predetto grafico di Tavola I. Lo scarto risulta più grande per le piccole portate in accordo con quanto rilevato circa lo sviluppo del tronco compreso fra la sezione di misura e di controllo, ma già a partire da portate dell'ordine di 15 l/s lo scarto risulta praticamente costante, pari al -5,5%. Si può quindi ritenere, per $Q_s > 15$ l/s, $Q_s = 0,945 Q_t$.

Riconosciuta, per il misuratore con $D=2,40L$, l'indipendenza della scala delle portate dal raccordo di valle, interessava esaminare il comportamento di misuratori di pari rapporto $\frac{l}{L}$ ma di minor sviluppo del tronco ristretto.

Ricordiamo che già il Nebbia aveva rilevato come la configurazione del divergente potesse, soprattutto nel caso di misuratori relativamente corti, esercitare una influenza sull'andamento delle scale delle portate ed auspicato apposite esperienze al riguardo.

Abbiamo compiuto a questo proposito due serie di prove su due misuratori dello stesso tipo ma con lunghezze ridotte del tratto ristretto.

Il primo caratterizzato da una lunghezza pari alla metà della precedente ($D=30$ cm invece di 60) e l'altro con lunghezza pari ad $1/6$ ($D=10$ cm).

Col primo ($D=30$ cm = 1,20 L) abbiamo constatato che la presenza dei raccordi di valle comporta ancora, in tutto il campo delle portate sperimentate, un sufficiente accordo tra profili liquidi e pressioni sul fondo, mentre in assenza dei raccordi di valle detta concordanza viene a cessare a partire da portate dell'ordine di una trentina di l/s.

La predetta circostanza si riflette naturalmente sulla relativa scala delle portate (v. Tav. II): questa concorda con quella propria del misuratore provvisto di entrambi i raccordi fino a portate di circa 30 l/s e poi se ne distacca, fornendo a pari carico portate leggermente superiori. Lo scostamento tra portate teoriche e sperimentali risulta, per il misuratore con raccordi di monte e di valle, dell'ordine del 4%, mentre per quello senza raccordi di valle lo scostamento per le portate supe-

riori ai 30 l/s, oltre le quali si manifesta l'effetto della curvatura della corrente nel tronco ristretto, si riduce mediamente al 2,5%.

Passando poi a misuratori più corti, con lunghezze D di soli 10 cm = 0,40L, l'accordo tra profili liquidi e pressioni sul fondo cessa di sussistere anche per i misuratori con raccordi di valle in tutto il campo delle portate sperimentate ed il distacco tra i profili in parola si accentua in assenza dei raccordi di valle.

Conseguentemente gli scostamenti fra portate teoriche e sperimentali (v. Tav. III) variano sensibilmente col carico: si passa dal -4% per i carichi più piccoli al -1% per i carichi maggiori nel misuratore provvisto di entrambi i raccordi e dal -2% al +5% in quello senza raccordi di valle.

L'effetto della curvatura che la corrente assume attraverso il misuratore di breve sviluppo può quindi anche consentire il passaggio di portate sensibilmente più elevate di quelle cui darebbe luogo, a pari carico, lo schema teorico, che ammette perdite nulle nel tronco iniziale convergente e distribuzione idrostatica delle pressioni nella sezione alta h_c .

Lo schema teorico risulta sufficientemente rispecchiato nell'effettivo processo idraulico soltanto nel misuratore con sviluppo D del tronco ristretto pari a 2,40L, (provvisto o non di raccordo di valle) e in quello con sviluppo pari alla metà del precedente ($D=1,20L$) purchè provvisto di entrambi i raccordi di monte e di valle.

Sommergenze limiti e perdite di carico.

Ogni prova ad efflusso libero era immediatamente seguita dal rilevamento del profilo liquido e delle pressioni sul fondo relativamente alle condizioni di sommergenza limite.

A titolo di esempio riportiamo in fig. 13 il profilo liquido ed il diagramma delle pressioni sul fondo rilevati per l'efflusso in condizioni di sommergenza limite della portata di 76,80 l/s dal misuratore T_1 con $D=60$ cm e con raccordi di monte e di valle. Dalla figura si rileva come l'altezza h_{vl} si riferisca ad una sezione in cui la

corrente presenta i caratteri propri della linearità.

I valori sperimentali di h_{vl} in funzione delle portate sono riportati nelle stesse figure che contengono le scale delle portate (v. Tavole I, II e III).

Per i misuratori nei quali lo schema teorico risulta abbastanza bene rispettato la sommergenza

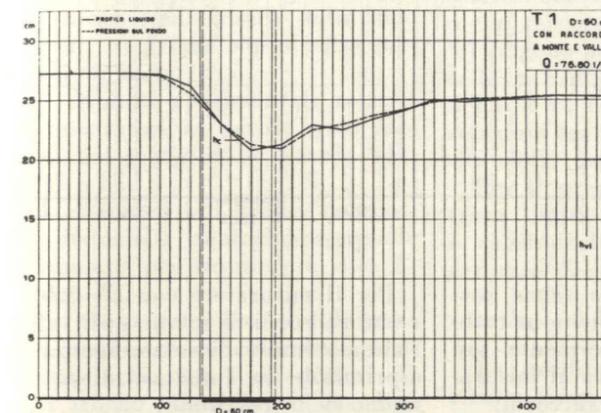


Fig. 13.

limite h_{vl} risulta esprimibile in funzione dell'altezza h_c della sezione di controllo a mezzo di relazione del tipo: $h_{vl} = h_c \left(m - n \frac{h_c}{L} \right)$, almeno a partire da quella portata (relativamente modesta come si è visto) oltre la quale la posizione della sezione di controllo praticamente non muta.

Per il misuratore con $D=2,40L$ e con raccordi di monte e di valle la predetta relazione diventa:

$$h_{vl} = h_c \left(1,27 - 0,11 \frac{h_c}{L} \right).$$

Per il misuratore con $D=2,40L$ ma senza i raccordi di valle:

$$h_{vl} = h_c \left(1,27 - 0,17 \frac{h_c}{L} \right).$$

Infine per il misuratore con $D=1,20L$ e con raccordi di monte e di valle:

$$h_{vl} = h_c \left(1,23 - 0,13 \frac{h_c}{L} \right).$$

In condizioni limiti di sommergenza i misuratori danno luogo alla minima perdita di carico compatibile con la semimodularità.

Indicato con H_m il carico totale della corrente nella sezione di misura del carico e con H_{vl} il corrispondente carico totale nella sezione di misura della sommergenza, detta perdita risulta pari ad $H_m - H_{vl}$.

Essa può considerarsi costituita

dalla somma della perdita $H_m - H_c$ e della perdita $H_c - H_{vl}$, essendo H_c il carico totale della corrente nella sezione del tronco ristretto di altezza h_c .

Per il misuratore con $D=2,40L$, con entrambi i raccordi di monte e di valle o con i soli raccordi di monte, la perdita $H_m - H_c$ risulta una frazione praticamente costante di H_c al variare delle portate e pari a circa il 2% di H_c .

Per il misuratore con $D=1,20L$ e con raccordi di monte e di valle, $H_m - H_c$ risulta ancora una frazione praticamente costante di H_c al variare delle portate e pari a circa l'1,7% di H_c .

Per i predetti misuratori anche la perdita di carico $H_c - H_{vl}$ risulta ancora una frazione praticamente costante di H_c al variare delle portate.

Per il misuratore con $D=2,40L$ e con raccordi di monte e di valle la perdita $H_c - H_{vl}$ risulta pari a circa il 3,5% di H_c .

Per il misuratore con $D=2,40L$ ma senza i raccordi di valle il valore di $H_c - H_{vl}$ sale a circa il 5,5% di H_c . Infine per il misuratore con $D=1,20L$ e con raccordi di monte e di valle $H_c - H_{vl}$ risulta pari a circa il 6% di H_c .

Notiamo come la predetta costanza del rapporto $\frac{H_c - H_{vl}}{H_c}$ per un dato misuratore al variare delle portate non concorda con quanto rilevato nelle esperienze di Milano sui misuratori a fondo piano con entrambe le sezioni, di misura e di controllo, rettangolari, per i quali il rapporto $\frac{H_c - H_{vl}}{H_c}$ risulta crescente con l'aumentare della portata cioè del carico.

Le stesse esperienze hanno dimostrato che $\frac{H_c - H_{vl}}{H_c}$ a parità di carico è tanto più piccolo quanto maggiore è il rapporto di strozzamento $\frac{l}{L}$ del misuratore.

Ora mentre nelle esperienze di Milano tale rapporto di strozzamento pari a $\frac{l}{L}$ restava costante

per uno stesso misuratore al variare del carico, nelle nostre esperienze invece l'analogo rapporto $r = \frac{l+h}{L+h}$ aumenta all'aumentare del carico.

È quindi presumibile che nel campo sopra definito l'aumento che dovrebbe subire la perdita percentuale $\frac{H_c - H_{vl}}{H_c}$ al crescere del carico risulti, per così dire, controbilanciato dall'effetto opposto derivante dal correlativo aumento del rapporto di strozzamento.

Da quanto si è detto a proposito delle perdite di carico $H_m - H_c$ ed $H_c - H_{vl}$, deriva ovviamente che anche la perdita di carico complessiva $H_m - H_{vl}$ corrisponde ad una frazione praticamente costante di H_c o di H_m , al variare delle portate.

Per il misuratore T_1 con $D=2,40L$ con entrambi i raccordi di monte e di valle la perdita totale $H_m - H_{vl}$ risulta di poco superiore al 5,5% di H_m , mentre per il misuratore con $D=2,40L$ ma senza i raccordi di valle e per il misuratore con $D=1,20L$ con entrambi i raccordi di monte e di valle, $H_m - H_{vl}$ risulta di poco inferiore all'8% di H_m .

b) Misuratori Tipo T_2 ($\frac{l}{L}=0,20$). Scale delle portate.

Anche per questo tipo di misuratori si è proceduto a prove con lunghezze del tronco cilindrico $D=60, 30, 10$ cm con e senza raccordi di valle.

I risultati sperimentali riguardanti questa serie di prove sono raccolti nei grafici delle Tavole IV, V e VI.

Tali grafici consentono considerazioni analoghe a quelle svolte a proposito dei misuratori del tipo T_1 .

In particolare trovano conferma le precedenti considerazioni riguardanti l'influenza della lunghezza del tronco ristretto sulle modalità del processo idraulico avente sede nei misuratori.

Si constata infatti (v. Tav. IV) anche per questo tipo di misura-

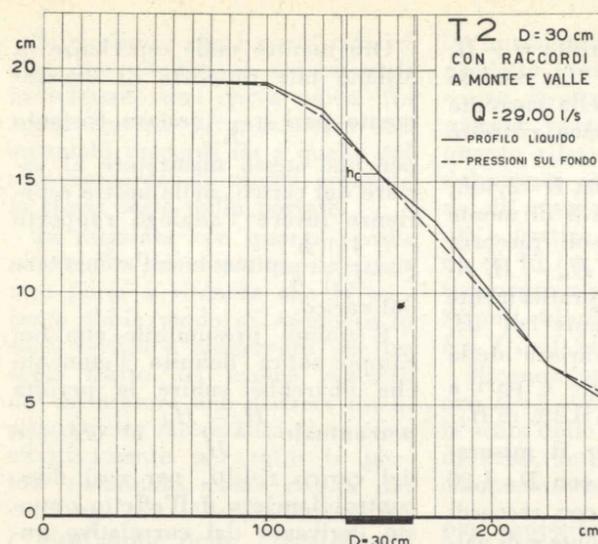


Fig. 14.

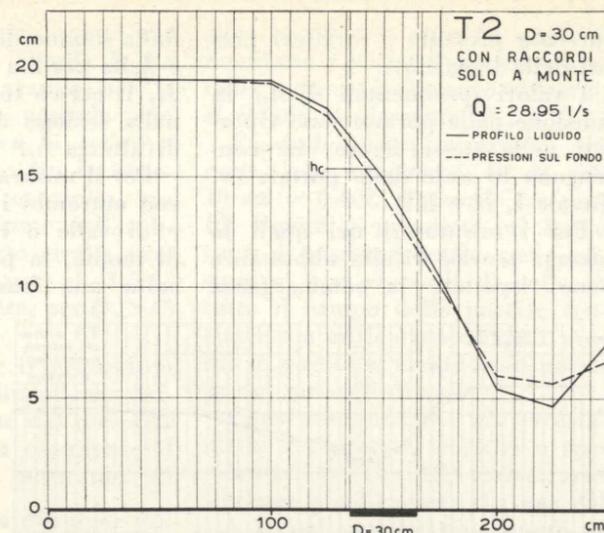


Fig. 15.

tore che con la massima lunghezza $D=60$ cm, la scala delle portate praticamente non muta a seguito dell'allontanamento dei raccordi di valle. Gli scostamenti tra portate sperimentali e portate teoriche risultano ancora (per $Q_s > 10$ l/s) pressochè costanti e pari a circa il $-5,5\%$.

Per $D=30$ cm il misuratore T_2 presenta per altro un comportamento leggermente diverso da quello dell'analogo misuratore tipo T_1 . Infatti, mentre per il misuratore T_2 con $D=30$ cm e raccordi a monte ed a valle si constata ancora un sufficiente accordo tra profili liquidi e pressioni sul fondo in quasi tutto il campo delle portate sperimentate, per quello senza raccordi di valle gli scostamenti tra profili liquidi e pressioni sul fondo risultano già sensibili per portate dell'ordine di una decina di l/s.

A titolo d'esempio in figg. 14 e 15 riportiamo i profili liquidi ed i diagrammi delle pressioni sul fondo relativi a due prove effettuate entrambe con portate di circa 29 l/s, l'una con raccordi di monte e di valle e l'altra senza raccordi di valle.

Appare evidente come in quest'ultima il predetto scostamento tra profondità e pressioni sul fondo nel tratto interessato dall'altezza critica risulti già rilevante, nonostante l'entità relativamente modesta della portata in gioco.

Di tali circostanze si risentono al solito gli effetti nelle scale delle portate: si constata infatti (v. Tav. V) che la scala delle portate

relativa al misuratore senza raccordi di valle si mantiene in tutto il suo sviluppo leggermente più bassa di quella relativa al misuratore con entrambi i raccordi.

Gli scostamenti tra portate teoriche e portate sperimentali risultano ancora pressochè costanti e dell'ordine del $3,5\%$ per il misuratore con $D=30$ cm e raccordi di monte e di valle mentre per il misuratore senza raccordi di valle risultano leggermente variabili con Q e tendenti, per le portate maggiori, a valori pari a circa il -2% .

Anche per i misuratori tipo T_2 si constata poi che per la lunghezza più ridotta del tronco cilindrico ($D=10$ cm) gli scostamenti tra portate sperimentali e portate teoriche risultano sensibilmente variabili con i carichi, passando dal -3% per i carichi bassi al -1% per i carichi alti. Variazioni notevolmente maggiori determina poi l'allontanamento del raccordo di valle.

Sommergenze limiti e perdite di carico.

Le altezze limiti di sommersenza relative ai vari misuratori del tipo T_2 figurano nei corrispondenti grafici delle Tavole IV, V e VI.

Anche per i misuratori del tipo T_2 i cui comportamenti realizzano abbastanza fedelmente lo schema teorico valgono ancora le constatazioni fatte per gli analoghi misuratori del tipo T_1 a proposito delle relazioni tra h_{vl} ed h_c ed a proposito delle perdite di carico.

Per il misuratore con $D=2,40L$ e con raccordi di monte e di valle l'altezza limite di sommersenza è esprimibile in funzione di h_c a mezzo della relazione:

$$h_{vl} = h_c \left(1,26 - 0,10 \frac{h_c}{L} \right).$$

Per il misuratore con $D=2,40L$ ma senza i raccordi di valle vale la relazione:

$$h_{vl} = h_c \left(1,26 - 0,15 \frac{h_c}{L} \right).$$

Infine per il misuratore con $D=1,20L$ e con raccordi di monte e di valle:

$$h_{vl} = h_c \left(1,22 - 0,11 \frac{h_c}{L} \right).$$

Per i predetti misuratori le perdite di carico $H_m - H_c$ ed $H_c - H_{vl}$ risultano ancora frazioni praticamente costanti di H_c al variare delle portate.

Per il misuratore con $D=2,40L$ e con raccordi di monte e di valle la perdita $H_m - H_c$ ammonta a circa il 2% di H_c e la perdita $H_c - H_{vl}$ a circa il 4% di H_c .

Per il misuratore con $D=2,40L$ ma senza i raccordi di valle la perdita $H_m - H_c$ ammonta ancora a circa il 2% di H_c e la perdita $H_c - H_{vl}$ a circa il 7% di H_c .

Infine per il misuratore con $D=1,20L$ e con raccordi di monte e di valle la perdita $H_m - H_c$ risulta pari a circa l' $1,8\%$, mentre la perdita $H_c - H_{vl}$ ammonta ancora a circa il 7% di H_c .

Pertanto la perdita complessiva $H_m - H_{vl}$ ammonta a poco meno del 6% di H_m per il misuratore con $D=2,40L$ e con raccordi di monte e di valle ed a circa il

9% per il misuratore con $D=2,40L$ ma senza i raccordi di valle e per il misuratore con $D=1,20L$ con raccordi di monte e di valle.

c) Misuratori Tipo T_3 ($\frac{l}{L} = 0$).

Scale delle portate. I misuratori tipo T_3 sono stati sperimentati ancora con modalità del tutto analoghe a quelle seguite per i misuratori tipo T_1 e T_2 , essendosi proceduto a prove con lunghezze del tronco cilindrico $D=60, 30, 10$ cm con e senza raccordi di valle.

I risultati sperimentali relativi ai misuratori in parola sono raccolti nei grafici delle Tavole VII, VIII e IX.

L'esame di tali grafici comporta deduzioni analoghe a quelle formulate per misuratori tipo T_1 e tipo T_2 .

Si rileva per altro, a differenza di quanto precedentemente constatato, che per i misuratori T_3 con tronco cilindrico di massima lunghezza $D=60$ cm l'allontanamento dei raccordi di valle si riflette, sia pure in modesta misura, sulle scale delle portate. L'assenza del raccordo di valle determina qui a pari carico un incremento dell'ordine dell' 1% della portata. Di tale circostanza si trova al solito riscontro nell'andamento dei profili liquidi e dei corrispondenti diagrammi delle pressioni sul fondo relativi alle predette modalità di prova.

Si constata infatti che nelle prove con $D=60$ cm e con raccordi di valle gli scostamenti tra i due diagrammi nell'intorno della sezione di altezza pari alla critica risultano trascurabili, in tutto il campo delle portate sperimentate, mentre senza i raccordi di valle detti scostamenti risultano già sensibili per portate superiori ad una decina di l/s.

Gli scostamenti tra portate sperimentali e portate teoriche per il misuratore T_3 con $D=60$ cm e con raccordi di monte e di valle risultano mediamente del $-5,5\%$, mentre per l'analogo misuratore ma senza raccordi di valle gli scostamenti risultano mediamente del $-4,5\%$.

Per $D=30$ cm la variazione della scala delle portate conseguente all'allontanamento dei raccordi di valle diventa dell'ordine del 4% e per $D=10$ cm sale a valori di circa il 7% .

Sommergenze limiti e perdite di carico.

Le altezze limiti di sommersenza relative ai vari misuratori tipo T_3 sono riportate al solito nei corrispondenti grafici delle Tavole VII, VIII e IX.

Anche per l'unico misuratore del tipo T_3 per cui si verifica una sufficiente rispondenza tra l'effettivo comportamento e lo schema teorico (misuratore con $D=2,40L$ e con raccordi di monte e di valle) valgono ancora le constatazioni fatte per gli analoghi misuratori dei tipi T_1 e T_2 a proposito delle relazioni tra h_{vl} ed h_c ed a proposito delle perdite di carico.

Per il predetto misuratore l'altezza limite di sommersenza h_{vl} è esprimibile in funzione di h_c a mezzo della relazione:

$$h_{vl} = h_c \left(1,18 - 0,24 \frac{h_c}{L} \right).$$

La perdita di carico $H_m - H_c$ risulta ancora pari a circa il 2% di H_c e la perdita di carico $H_c - H_{vl}$ ammonta a circa il $5,5\%$ per cento di H_c .

Pertanto la perdita di carico complessiva $H_m - H_{vl}$ ammonta a poco meno del $7,5\%$ di H_m .

IV) Conclusioni.

I risultati relativi ai misuratori esaminati sono sicuramente validi per modellatori simili portati a funzionare in condizioni analoghe cioè con portate corrispondenti, secondo la legge di Froude, a quelle delle prove compiute.

Ne abbiamo del resto avuta conferma, se pur era necessaria, operando sui misuratori tipo T_1 e T_3 ridotti rispetto a quelli della serie normale, nel rapporto $1/2$ inseriti naturalmente in un canale con base $L/2$.

Occorre però avvertire che le diverse situazioni esaminate con i diversi modelli, o con lo stesso modello al variare del carico, non risultano mai simili tra loro e quindi il materiale raccolto non può dar luogo ad una sintesi rigorosa.

Risultano per altro possibili alcune considerazioni di carattere generale.

Le esperienze hanno anzitutto indicato l'opportunità di non ridurre lo sviluppo D del tronco ristretto a valori inferiori ad $1,20L$.

Per misuratori siffatti e muniti di raccordi a monte ed a valle, qualora ci si accontenti dell'approssimazione di qualche percento, come è, ad esempio, normalmente lecito nelle misure delle acque irrigue, la portata relativa ad un assegnato carico si può ritenere pari al 95% della corrispondente portata teorica, indipendentemente dal rapporto $\frac{l}{L}$

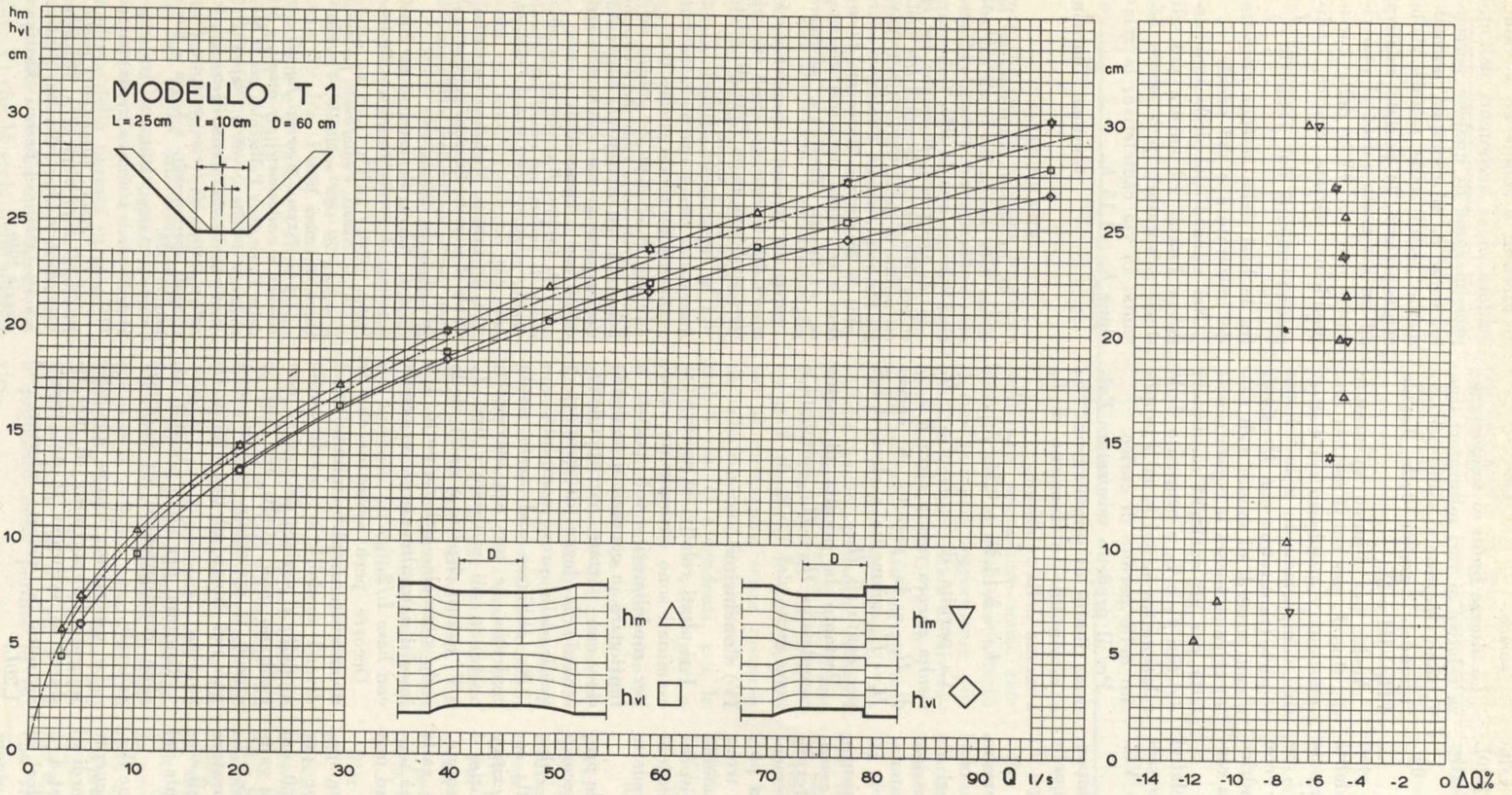
fra le basi della sezione ristretta del misuratore e del canale.

Nei riguardi poi della sommersenza limite, ed ancora per gli stessi misuratori, può essere assunta, in via cautelativa, la relazione $h_{vl} = 1,15 h_c$.

Giovanni Tournon

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. DE MARCHI, *Dispositivi per la misura della portata dei canali con minime perdite di quota*, Parte I, «L'Energia Elettrica», gennaio 1936.
- [2] F. CONTESSINI, *Dispositivi per la misura della portata dei canali con minime perdite di quota*, Parte II, «L'Energia Elettrica», maggio 1936.
- [3] M. MARCHETTI, *Movimento di correnti a pelo libero attraverso strozzature*, «L'Energia Elettrica», novembre 1936.
- [4] G. DE MARCHI, *Dispositivi per la misura della portata dei canali con minime perdite di quota*, Parte III, «L'Energia Elettrica», marzo 1937.
- [5] D. CITRINI, *Misuratori a risalto. Rassegna di alcuni tipi finora adottati*, «L'Energia Elettrica», ottobre 1939.
- [6] G. DE MARCHI, *La misura delle acque d'irrigazione*, «Atti del Convegno d'istruzione professionale per dirigenti di Consorzi d'irrigazione e di aziende agricole irrigue», Milano 1940.
- [7] D. CITRINI, *Ricerche su un misuratore di portata per canali con piccola perdita di quota*, «La Ricerca Scientifica», 1941.
- [8] D. CITRINI, *Modellatori a risalto - Guida al progetto*, Edizione del Centro di Studi per le applicazioni dell'ingegneria all'agricoltura, Milano 1941.
- [9] G. NEBBIA, *Venturimetri per canali a sezione di forma generica*, «Acqua e Gas», novembre 1936.
- [10] G. NEBBIA, *Venturimetri per canali a sezioni di tipo monomio*, «Acqua e Gas», dicembre 1936.
- [11] G. NEBBIA, *Correnti liquide permanenti e venturimetri per canali*, «Atti della Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia», vol. I, Napoli 1937.
- [12] G. NEBBIA, *Venturimetri per canali a sezione di forma generica. Primi risultati sperimentali*, «Acqua e Gas», maggio 1938.
- [13] F. ARREDI, *Misuratori a risalto a scala lineare*, «L'acqua», aprile e maggio 1942.
- [14] D. CITRINI, *Misuratori a risalto - Resoconto dello studio di A. BALLOFFET, Afadores de resalto*, «Ciencia y tecnica», gennaio 1949, «L'Energia Elettrica», maggio 1949.



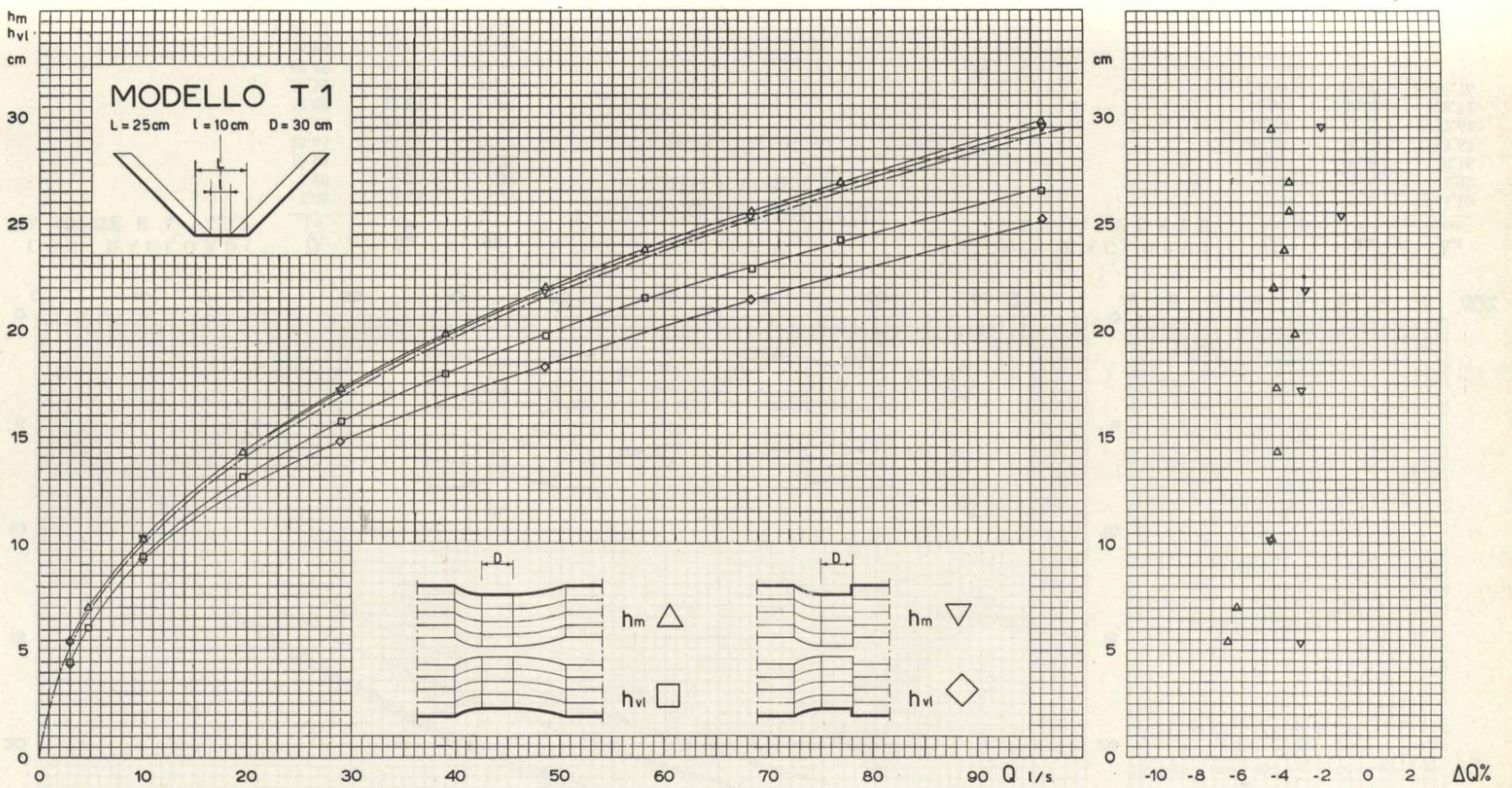
CON RACCORDI
A MONTE E A VALLE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
3,08	5,70	4,42
4,83	7,27	5,99
10,02	10,39	9,26
19,65	14,41	13,23
29,00	17,34	16,33
39,05	19,98	18,95
48,70	22,07	20,47
58,20	23,92	22,30
68,30	25,71	24,06
76,80	27,16	25,30
96,05	30,15	27,87

Tav. I.
VALORI SPERIMENTALI
MISURATORE T_1
 $D = 60 \text{ cm} = 2,40L$

CON RACCORDI
SOLO A MONTE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
4,85	7,12	5,93
19,65	14,41	13,27
39,10	19,95	18,60
58,10	23,90	21,90
76,85	27,17	24,51
96,05	30,07	26,63



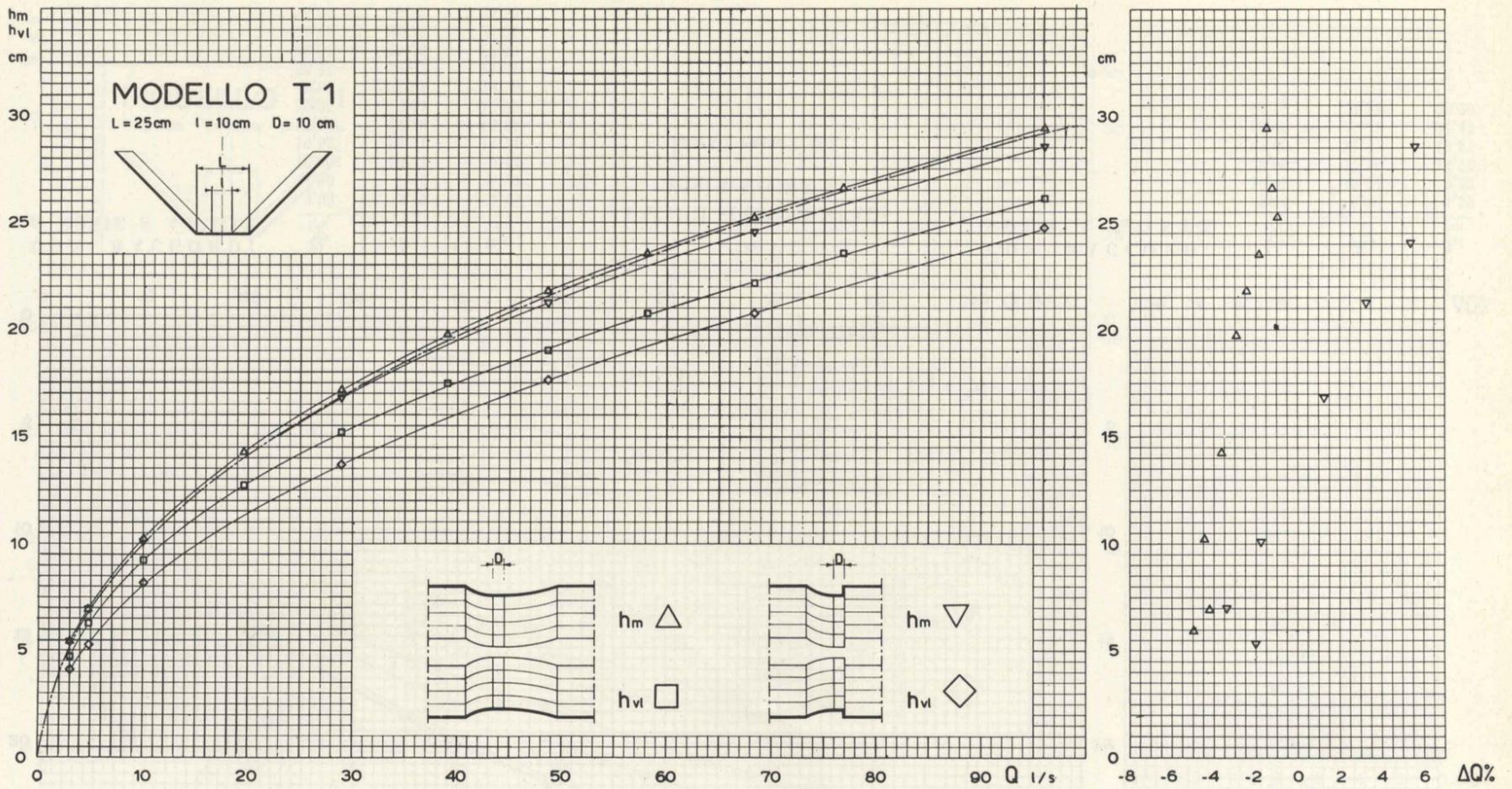
CON RACCORDI
A MONTE E A VALLE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
3,08	5,49	4,46
4,80	7,02	6,09
10,00	10,21	9,44
19,65	14,31	13,14
29,02	17,28	15,75
39,05	19,84	17,98
48,63	22,01	19,76
58,15	23,77	21,51
68,37	25,56	22,90
76,82	26,92	24,25
96,05	29,82	26,54

Tav. II.
VALORI SPERIMENTALI
MISURATORE T_1
 $D = 30 \text{ cm} = 1,20L$

CON RACCORDI
SOLO A MONTE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
3,04	5,38	4,39
10,05	10,24	9,28
28,95	17,16	14,77
48,60	21,84	18,27
68,30	25,31	21,43
96,15	29,51	25,20



CON RACCORDI
A MONTE E A VALLE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
3,08	5,45	4,73
4,80	6,96	6,30
10,03	10,22	9,23
19,65	14,26	12,72
39,05	19,76	17,49
48,63	21,80	19,01
58,12	23,54	20,75
68,35	25,24	22,17
76,85	26,62	23,55
96,05	29,40	26,13

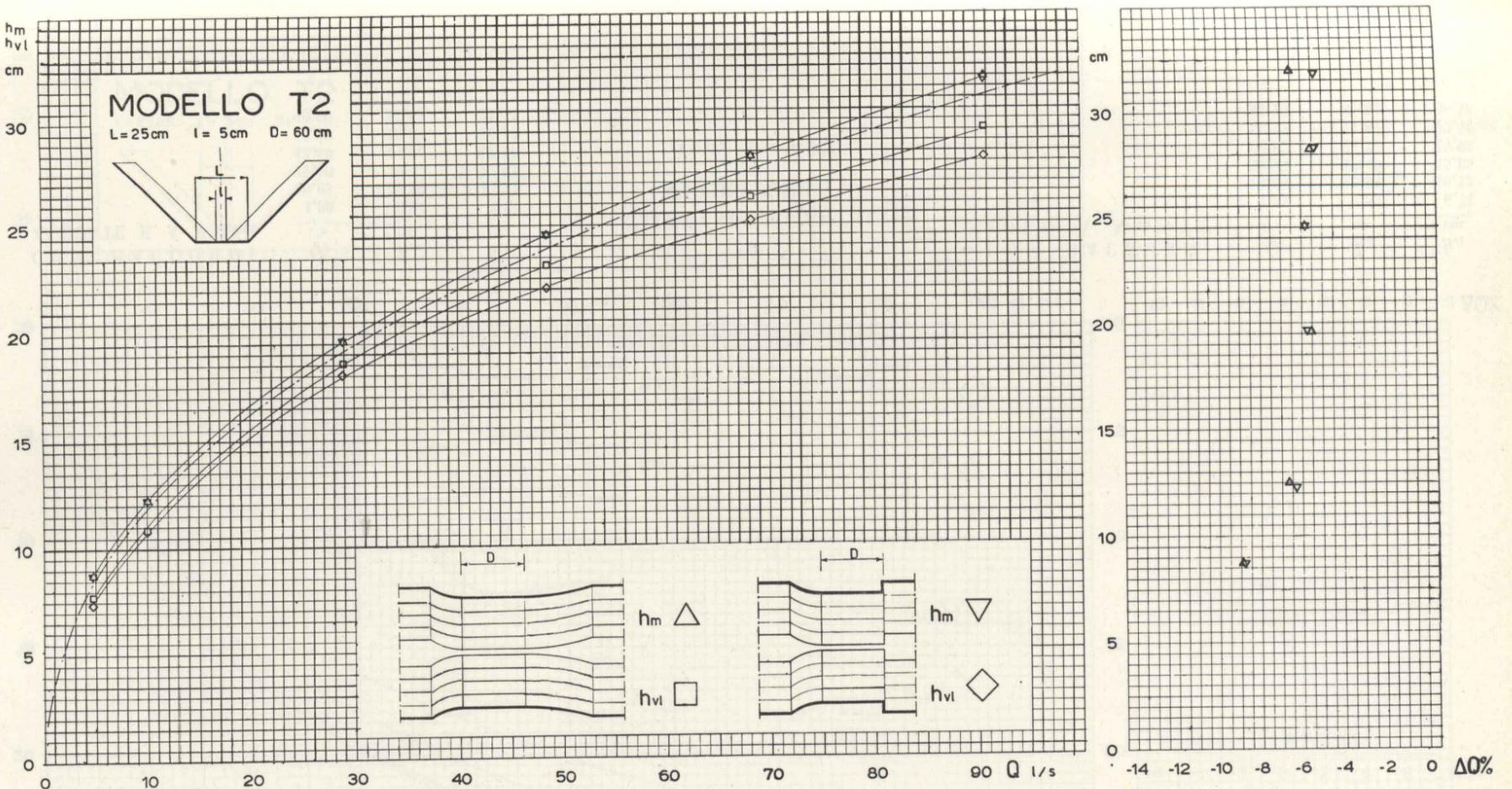
Tav. III.

VALORI SPERIMENTALI
MISURATORE T_1

$D = 10 \text{ cm} = 0,40L$

CON RACCORDI
SOLO A MONTE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
3,07	5,34	4,10
4,85	6,96	5,25
10,05	10,09	8,16
28,95	16,79	13,67
48,60	21,24	17,64
68,35	24,52	20,77
96,00	28,53	24,76



CON RACCORDI
A MONTE E A VALLE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
4,80	8,78	7,74
10,05	12,28	10,87
29,00	19,63	18,59
48,60	24,55	23,14
68,30	28,28	26,27
90,75	31,98	29,56

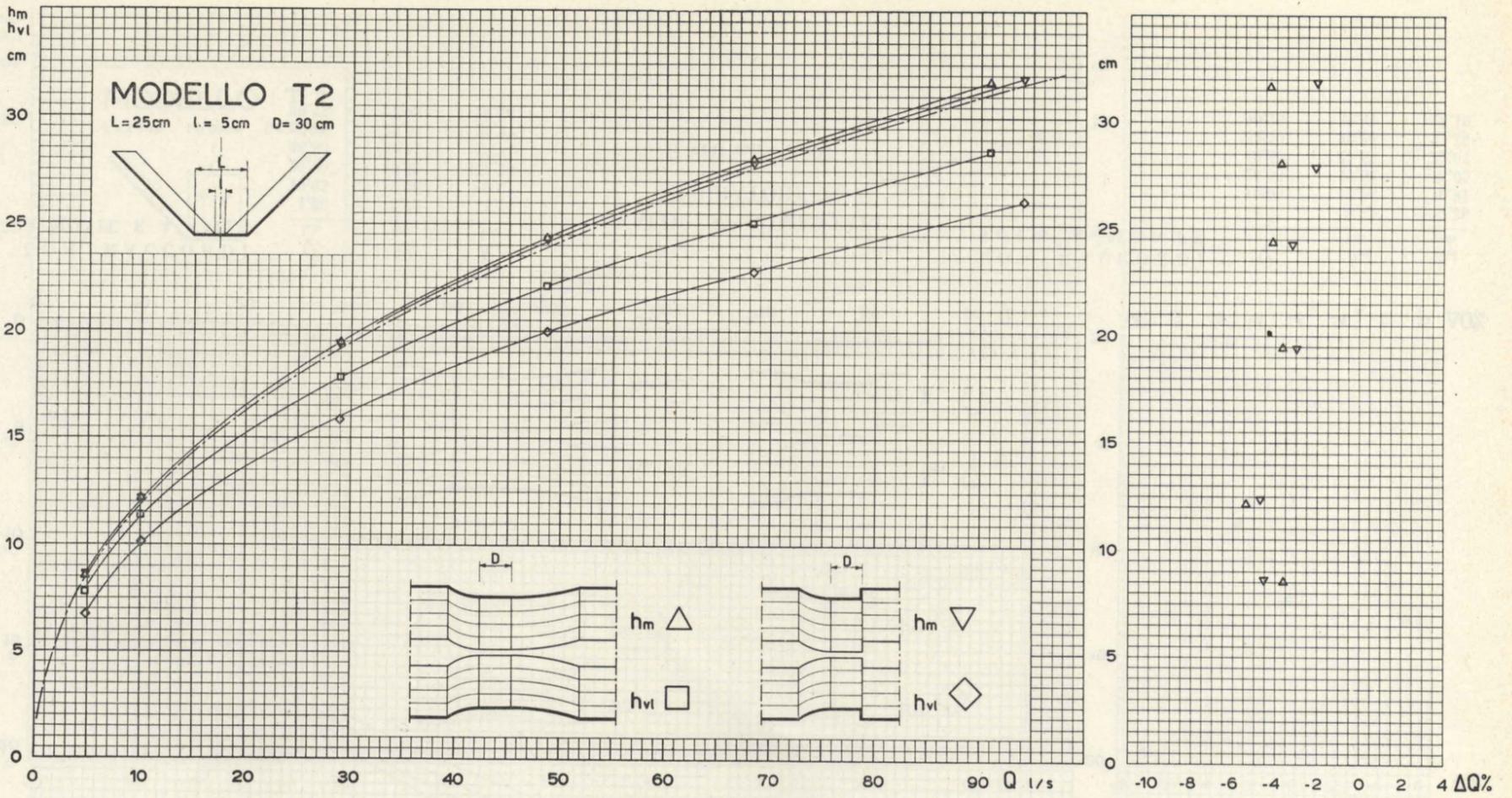
Tav. IV.

VALORI SPERIMENTALI
MISURATORE T_2

$D = 60 \text{ cm} = 2,40L$

CON RACCORDI
SOLO A MONTE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
4,75	8,74	7,36
10,05	12,26	10,81
28,95	19,63	18,05
48,60	24,55	22,07
68,30	28,26	25,18
90,75	31,81	28,19



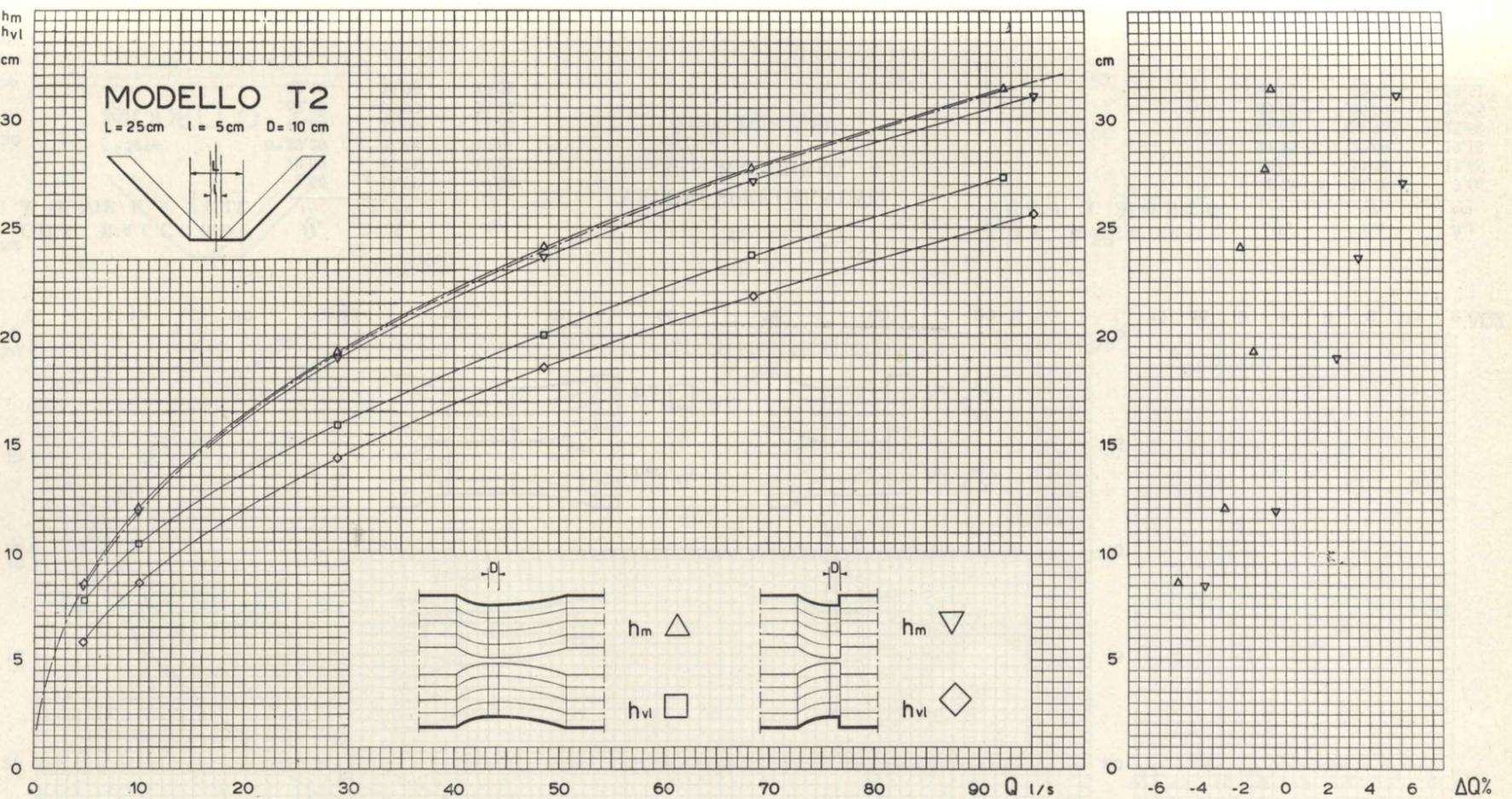
CON RACCORDI
A MONTE E A VALLE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
4,80	8,54	7,79
10,03	12,19	11,37
29,00	19,47	17,81
48,60	24,36	22,10
68,30	28,06	22,10
90,90	31,68	28,44

Tav. V.
VALORI SPERIMENTALI
MISURATORE T_2
 $D = 30 \text{ cm} = 1,20L$

CON RACCORDI
SOLO A MONTE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
4,85	8,63	6,74
10,08	12,18	10,12
28,95	19,40	15,85
48,67	24,27	19,98
68,32	27,87	22,77
94,10	31,84	26,10



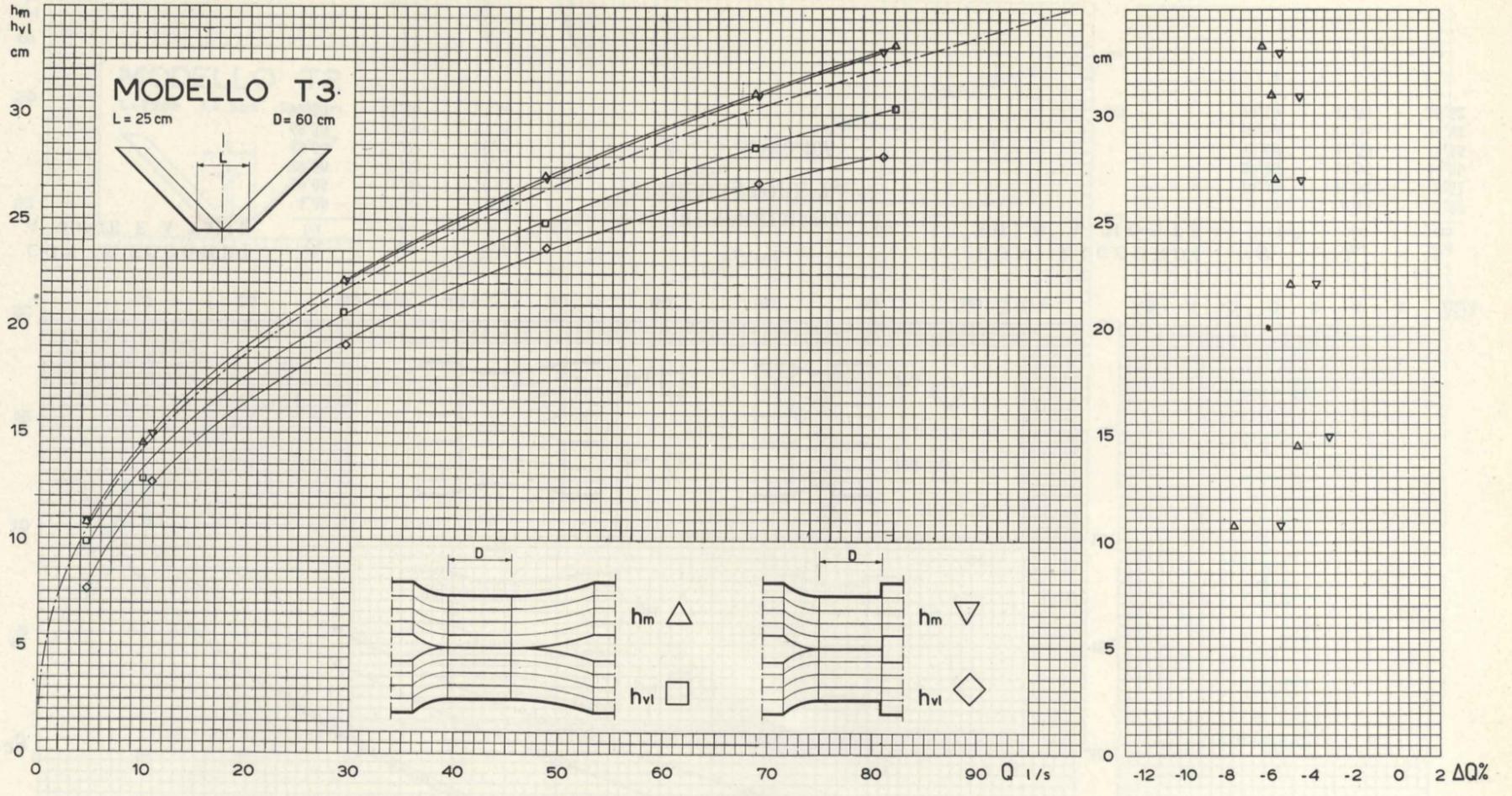
CON RACCORDI
A MONTE E A VALLE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
4,80	8,62	7,78
10,05	12,06	10,48
29,00	19,28	15,93
48,60	24,09	20,04
68,30	27,73	23,70
92,30	31,40	27,30

Tav. VI.
VALORI SPERIMENTALI
MISURATORE T_2
 $D = 10 \text{ cm} = 0,40L$

CON RACCORDI
SOLO A MONTE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
4,70	8,48	5,80
10,05	11,92	8,61
29,00	18,95	14,39
48,60	25,59	18,55
68,50	27,06	21,83
95,20	31,03	25,62



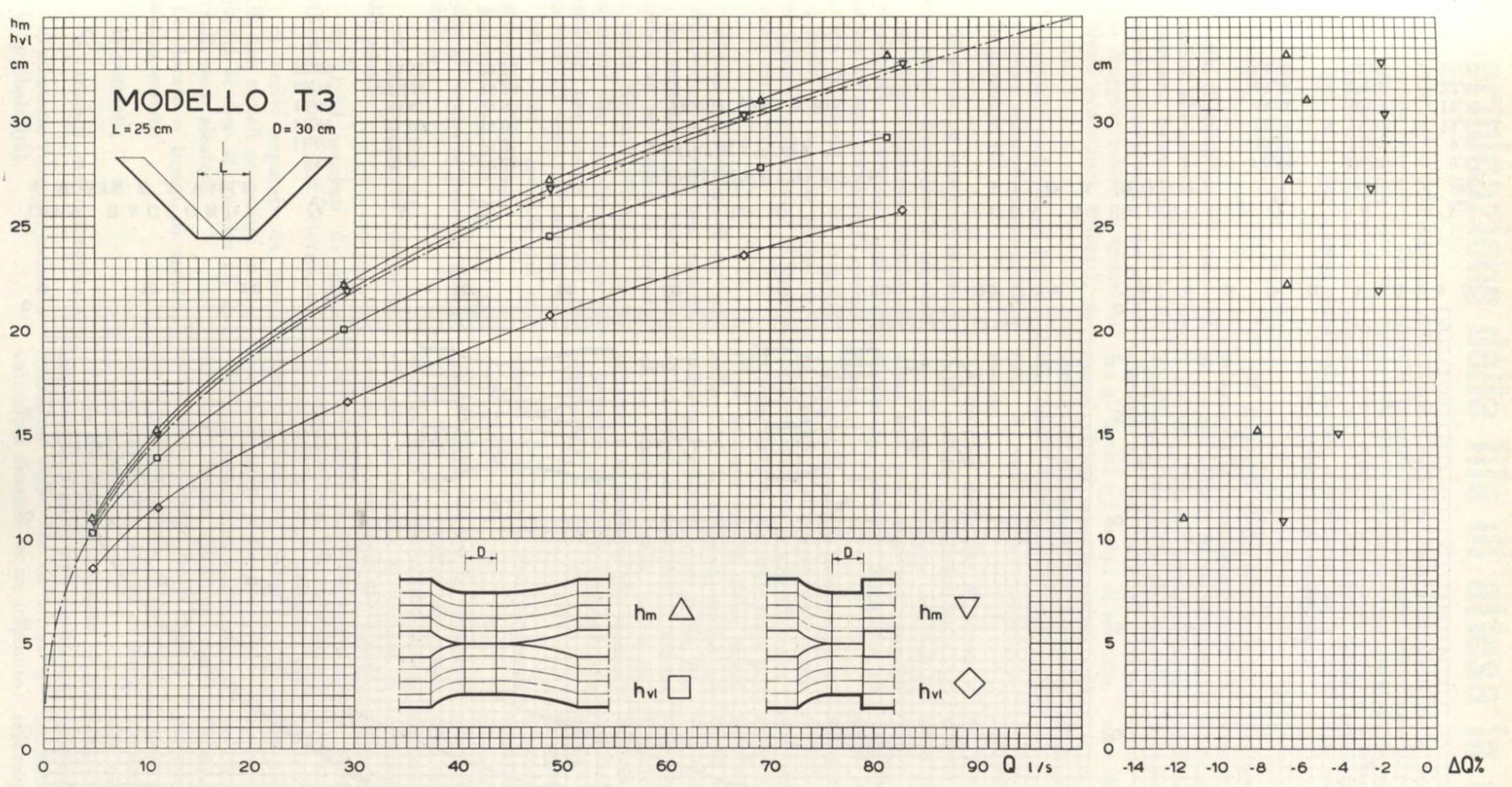
CON RACCORDI
A MONTE E A VALLE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
4,60	10,79	9,88
10,00	14,51	12,84
29,20	22,13	20,65
48,50	27,06	24,88
68,65	30,97	28,44
82,10	33,26	30,28

Tav. VII.
VALORI SPERIMENTALI
MISURATORE T_3
 $D = 60 \text{ cm} = 2,40L$

CON RACCORDI
SOLO A MONTE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
4,70	10,78	7,66
10,90	14,92	12,68
29,40	22,09	19,13
48,65	26,96	23,68
69,00	30,87	26,76
80,95	32,95	28,51



CON RACCORDI
A MONTE E A VALLE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
4,60	10,99	10,27
10,90	15,22	13,90
29,00	22,22	20,08
48,75	27,21	24,52
69,10	31,02	27,82
81,25	33,16	29,25

Tav. VIII.
VALORI SPERIMENTALI
MISURATORE T_3
 $D = 30 \text{ cm} = 1,20L$

CON RACCORDI
SOLO A MONTE

Q_s l/s	h_m cm	h_{vl} cm
4,70	10,83	8,59
11,00	15,03	11,46
29,35	21,93	16,59
48,85	26,79	20,74
67,50	30,30	23,60
82,75	32,76	25,72

Determinazione delle file di attesa in un magazzino

GIOVANNI JOB dopo una breve introduzione sui fenomeni delle file di attesa, descrive particolareggiatamente l'impianto in cui si verifica il fenomeno di code che deve essere studiato. Viene quindi definito il problema da risolvere, che consiste nella ricerca del minimo costo nell'attuazione di un servizio di carico, successivamente vengono illustrati i criteri seguiti nella soluzione che si è ottenuta mediante un procedimento di simulazione con l'impiego di un calcolatore elettronico. Vengono infine riportati i risultati conseguiti ed in base a questi ultimi sono indicate le alternative che, a seconda delle situazioni, consentono il raggiungimento del minimo costo.

Generalità.

Le file d'attesa o code sono dei fenomeni abbastanza comuni che si osservano frequentemente nella esperienza quotidiana e che acquistano maggior valore in numerosi problemi economici, militari, sociali ecc.

Le caratteristiche di un fenomeno d'attesa possono riassumersi in modo generale in:

1) arrivo di unità ad intervalli di tempo irregolari o regolari in un punto chiamato centro di servizio. Per esempio: arrivi di camion ad una stazione di carico; entrata di clienti in un magazzino; arrivi di navi in porto; ecc. Queste unità sono chiamate entrate od arrivi;

2) uno o più canali di servizio o stazioni. Una via, uno sportello, un venditore ecc. sono riconducibili ad un centro di servizio. Le unità devono attendere eventualmente che una stazione sia disponibile per essere servite; gli intervalli di tempo di servizio delle unità sono a seconda dei casi regolari od irregolari.

Entrando un po' più nel dettaglio gli arrivi si possono distinguere in:

- a) arrivi separati da intervalli uguali;
- b) arrivi separati da intervalli non uguali ma determinati;
- c) arrivi separati da intervalli non uguali conosciuti in probabilità si dice allora che gli intervalli sono aleatori.

Le durate o tempi di servizio possono essere:

- a) costanti;
- b) variabili ma determinate;
- c) aleatorie (dunque conosciute in probabilità).

Il formarsi delle file è determinato dalla irregolarità negli arrivi o nei servizi od in entrambi.

Le file d'attesa possono anche manifestarsi quando, pur essendo regolari gli intervalli di tempo fra gli arrivi e i tempi di servizio, questi ultimi sono superiori agli intervalli di tempo che separano due arrivi consecutivi nel qual caso la coda cresce indefinitamente.

L'insieme delle file di attesa e delle stazioni costituisce un sistema di attesa; la legge con cui le unità una volta arrivate vengono servite si definisce disciplina di attesa.

Le grandezze più interessanti di un sistema d'attesa ad una o più stazioni, con una o più file sono: la lunghezza media delle code pari al numero medio delle unità nella fila, il numero medio di unità nel sistema cioè nella fila ed in corso di servizio, il tempo medio di attesa nella fila e nel sistema, e se esistono più stazioni il numero medio di stazioni non occupate.

Aspetti economici dei fenomeni di attesa.

È intuitivo che per far diminuire le code ed i tempi di attesa bisogna non potendo modificare gli arrivi potenziare le stazioni di servizio o aumentarne il numero.

Questo fatto si traduce però in un maggiore costo di impianto ed in maggiori spese di gestione, per contro si riducono i costi per l'attesa delle unità nelle file.

Il più conveniente dimensionamento dei servizi risulterà quindi da un compromesso fra le due opposte tendenze quella cioè di fare grandi impianti e quella di farli invece modesti.

Nella trattazione seguente ci si propone di eseguire uno studio sul fenomeno delle file di attesa di automezzi dinanzi ad un impianto

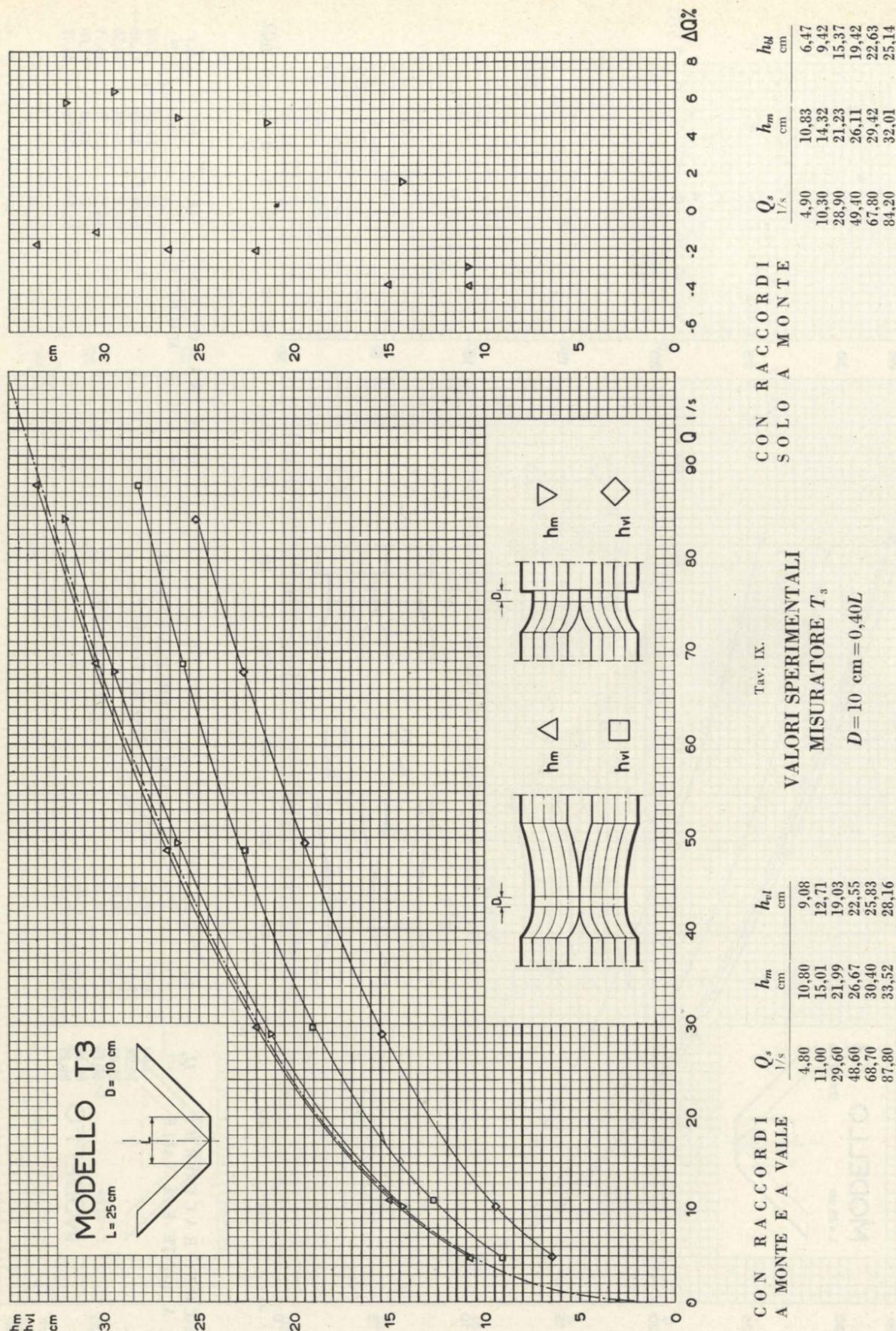
di insaccamento di fertilizzanti presso lo stabilimento di un grande complesso chimico, col metodo sperimentale mediante cioè una simulazione del fenomeno ricorrendo all'impiego di un calcolatore elettronico.

Definizione del problema.

1) Descrizione dell'impianto.

I prodotti da insaccare sono il nitrato ammonico (N.A.) ed il solfato ammonico (S.A.) che vengono consumati in eguale quantità.

L'impianto oltre che la stazione di insaccamento vera e propria comprende anche un magazzino dove i fertilizzanti in polvere vengono accumulati in attesa di essere posti in sacco. Dal magazzino i prodotti vengono inviati per mezzo di due grattatrici su grandi nastri convogliatori in continuo movimento e su questi giungono all'impianto di insaccaggio. Il fabbricato adibito a questa ultima operazione si compone di quattro piani. Dall'ultimo piano dove giungono sui nastri convogliatori i prodotti possono venire portati tramite nastri trasportatori di più piccola dimensione alle tramogge, poi alle bilance al secondo piano. Da queste nel piano immediatamente inferiore passano direttamente alle insaccatrici quindi su altri nastri trasportatori che li portano attraverso opportune bocche ai corridoi di carico. I nastri convogliatori sono due: uno per prodotto, la loro potenzialità è rispettivamente di 100 ton/h per N.A. e 120 ton/h per S.A. Da ciascuno di questi ultimi si dipartono 5 nastri trasportatori che vanno ad altrettante tramogge e il fertilizzante dopo di queste passa alle bilance e quindi alle insaccatrici. In corrispondenza di ogni insaccatrice si trova un nastro trasportatore che si dirà linea di insaccaggio.



Nel complesso esistono 10 linee di insaccaggio 5 per ciascun prodotto. Tutte e dieci le linee di insaccaggio possono mediante opportune combinazioni dei convogliatori scaricare su uno qualunque dei 5 corridoi, questo in pratica non si verifica mai perchè al

si aprono alla mattina alle 8 permettendo l'ingresso nel piazzale antistante la stazione di insaccaggio. Gli automezzi non appena entrati si dispongono su tre o quattro file a seconda dei corridoi liberi, quelli che arrivano in seguito scelgono una di queste file.

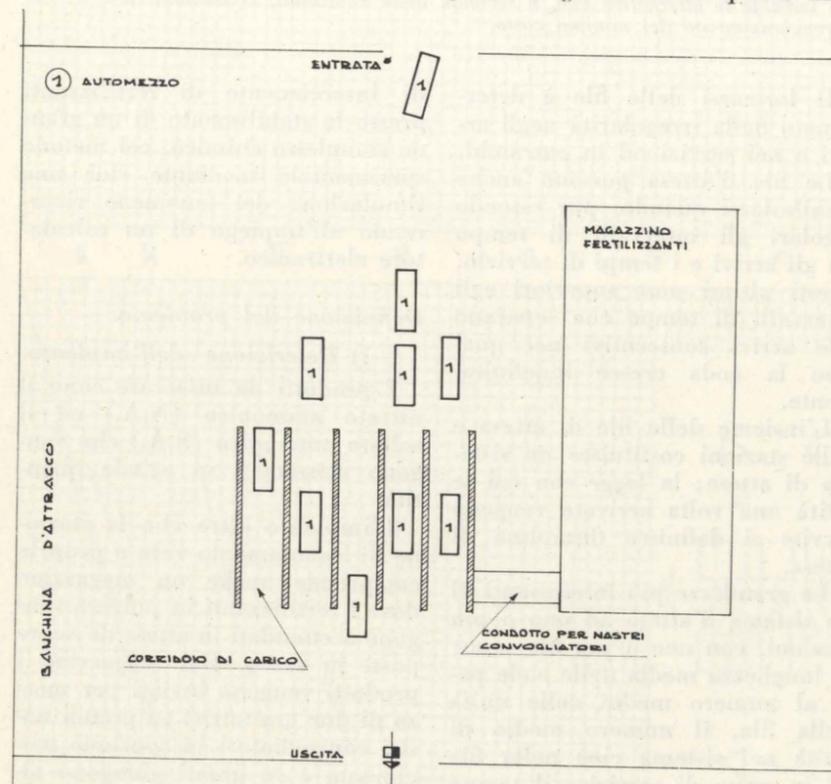


Fig. 1.

massimo un corridoio può per ragioni di spazio far funzionare quattro bocche di scarico.

2) Mezzi e modalità di trasporto.

Il trasporto dei fertilizzanti viene effettuato per via mare e per via terra mediante autotreni e vagoni ferroviari.

Il servizio via mare è continuo ed impegna due linee ed uno o due corridoi. Il prodotto spedito può essere indifferentemente il S.A. o il N.A. e viene portato alla banchina di attracco delle navi su speciali camioncini da 5 tonnellate.

Il trasporto mediante autotreni viene effettuato di giorno per 8 ore senza interruzione, quello mediante carri ferroviari di notte.

Per quanto riguarda gli automezzi i cancelli dello stabilimento

Una volta che un automezzo si è incanalato in una fila non può più cambiarla. I criteri adottati nella scelta della fila verranno precisati più avanti.

Alle ore 16 si chiudono i cancelli, da questo momento in poi vengono caricati solo gli autocarri che al momento della chiusura si trovano nel piazzale.

3) Arrivi degli automezzi.

Alla mattina prima dell'apertura dei cancelli si è già formata una coda di alcuni mezzi, gli arrivi durante la giornata avvengono con legge poissoniana con tasso di arrivo medio λg (numero di mezzi che arrivano nell'unità di tempo) che varia da 2,5 arrivi/h e 5 arrivi/h a seconda della stazione così come la lunghezza della coda iniziale varia tra 6 a 16 autocarri. La lunghezza della coda iniziale viene suddivisa in propor-

zione alla potenzialità di carico dei corridoi così come il numero di mezzi in arrivo durante la giornata.

4) I servizi.

La potenzialità teorica di una linea è di 500 sacchi da 50 kg. per ora. Da dati statistici si sa che in media una delle dieci linee è continuamente ferma per riparazioni. Possono distinguersi diversi tipi di guasti a seconda del punto dell'impianto in cui si verificano.

Possono rimanere danneggiate le grattatrici con interruzioni di diversa durata: dalle 5 alle 8 ore e di 1 ora soltanto.

Nel primo caso si ricorre all'impiego di pale meccaniche che sostituiscono parzialmente la grattatrice ed hanno una potenzialità di 50/60 tonn/h nel secondo si effettua la riparazione interrompendo la produzione. Ogni 10 giorni si verificano due di queste interruzioni che nell'80% dei casi hanno la durata di 1 ora, nel restante 20% la durata di 5-8 ore.

Vi sono interruzioni dovute ad intasamento delle insaccatrici di più breve durata il cui andamento è casuale.

TABELLA I

Tempi di servizio in minuti per il carico di un autocarro da 20 tonn. con una sola bocca funzionante

	$f^0/00$	$f^0/00$ cumulate
48	10	10
49	10	20
50	10	30
51	20	50
52	52	80
48	10	10
49	10	20
50	10	30
51	20	50
52	30	80
53	20	100
54	30	130
55	40	170
56	40	210
57	50	260
58	70	330
59	80	410
60	120	530
61	90	620
62	60	680
63	50	730
64	50	780
65	50	830
66	40	870
67	40	910
68	30	940
69	20	960
70	20	980
71	10	990
72	10	1000

$t_{medio} = 60,28$ $\mu = 0,995$

TABELLA II

Tempi di servizio in minuti per il carico di un autocarro da 20 tonn. con due bocche funzionanti.

	$f^0/00$	$f^0/00$ cumulate
25	1	1
26	10	12
27	19	31
28	16	47
29	66	113
30	277	390
31	149	535
32	68	607
33	215	822
34	62	884
35	77	961
36	39	1000

$t_{medio} = 31,56$ $\mu = 1,901$

TABELLA III

Tempi di servizio in minuti per il carico di un autocarro da 20 tonn. con tre bocche funzionanti.

	$f^0/00$	$f^0/00$ cumulate
18	5	5
19	31	36
20	202	238
21	236	474
22	274	748
23	183	931
24	69	1000

$t_{medio} = 21,56$ $\mu = 2,782$

I risultati di ripetuti cronometraggi riportati nelle tabelle (I, II, III) danno un'idea della distribuzione di frequenza dei tempi di servizio per autocarri da 20 tonn. caricati rispettivamente da 1,2 o 3 bocche di carico.

TABELLA RIASSUNTIVA DEI DATI

N. Convogliatori: 2	Potenzialità dei nastri convogliatori:
N. Linee di insaccaggio: 10 così adibite:	100 tonn/h 120 tonn/h
2 trasporto via mare	Potenzialità teorica di 1 linea di insaccaggio:
7 trasporto automezzi	500 sacchi da 50 kg. per h
1 fermo per riparazioni	Potenzialità pale meccaniche:
Totale 10	50-60 tonn/h
N. corridoi di carico così adibiti:	Durata interruzioni per guasti alle grattatrici:
1 o 2 per trasporto via mare	1 h nell'80% dei casi
4 o 3 per trasporto con automezzi	5-8 h nel 20% dei casi
N. bocche di scarico per corridoio: 10	Ora di apertura cancelli: ore 8
N. massimo di bocche di scarico funzionanti per corridoio: 4	Ora di chiusura cancelli: ore 16
	Tassi di arrivo orari: da 2,5 a 5
	Lunghezza coda iniziale di automezzi: da 6 a 16.

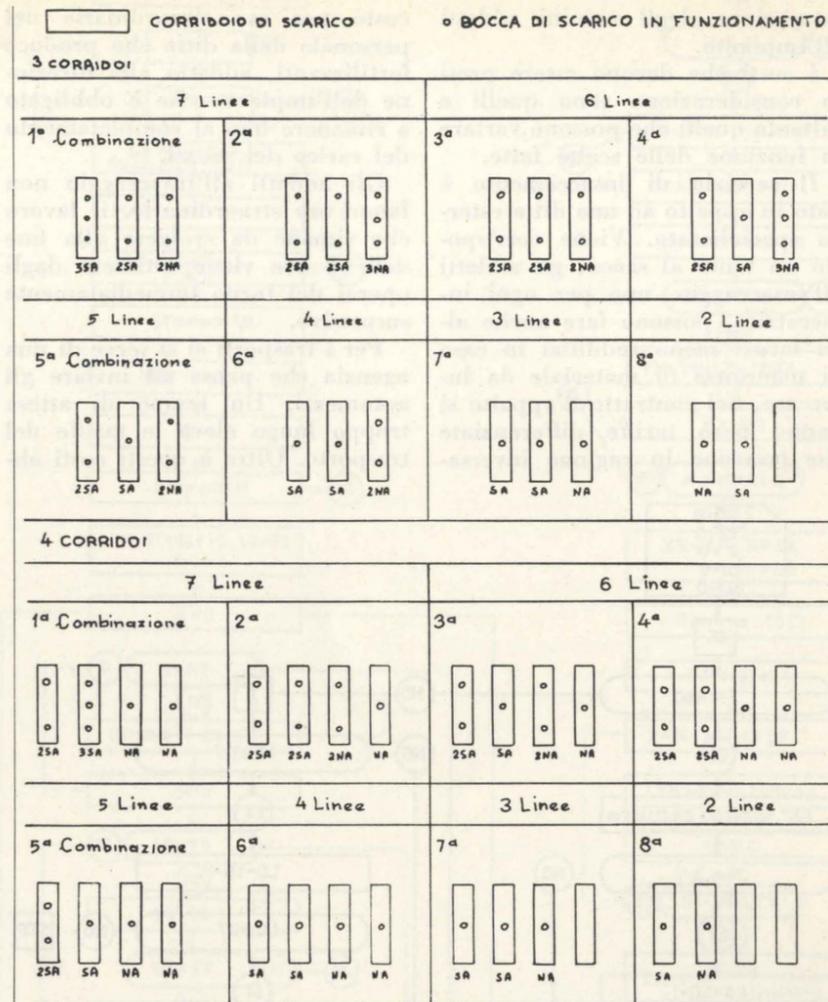


Fig. 2.

A chiarimento di quanto su esposto sono ripartiti una tabella riassuntiva dei dati e il disegno schematico dell'impianto (fig. 1).

Criteri di scelta del numero di linee da mettere in funzione mediante l'analisi dei costi.

La determinazione del numero ottimale di linee di insaccaggio da mettere in movimento si ottiene operando in ottemperanza a esigenze economiche. È facilmente intuibile che un difetto di linee di insaccamento porta all'allungarsi delle code con conseguente aumento del tempo di attesa dei mezzi e dell'aumento di ore straordinarie da effettuarsi per finire di caricare i mezzi alla fine della giornata.

Un eccesso di linee in movimento porta alla non completa

saturazione degli uomini addetti all'impianto.

I costi che devono essere presi in considerazione sono quelli e soltanto quelli che possono variare in funzione delle scelte fatte.

Il servizio di insaccamento è dato in appalto ad una ditta esterna specializzata. Viene corrisposto un tanto al sacco; gli addetti all'insaccaggio, uno per ogni insaccatrice, possono fare anche altri lavori meno redditizi in caso di mancanza di materiale da insaccare, nel contratto d'appalto si hanno però tariffe differenziate che crescono in ragione inversa-

costo per ora straordinaria del personale della ditta che produce fertilizzanti, addetto alla direzione dell'impianto che è obbligato a rimanere fino al completamento del carico dei mezzi.

Gli addetti all'insaccaggio non fanno ore straordinarie, il lavoro che rimane da svolgere alla fine delle 8 ore viene ultimato dagli operai del turno immediatamente successivo.

Per i trasporti ci si serve di una agenzia che pensa ad inviare gli automezzi. Un tempo di attesa troppo lungo eleva le tariffe del trasporto. Oltre a questi costi ab-

scontento per i notevoli ritardi con cui gli viene consegnata la merce, ritardi causati magari dall'attesa di alcune ore all'atto del carico che provoca il rinvio della partenza del mezzo di un giorno.

In definitiva, l'applicazione delle tariffe differenziate da parte dell'agenzia autotrasporti e dalla ditta che ha in appalto l'insaccaggio si traduce nel fatto che viene corrisposto per ogni ora di attesa di un mezzo un compenso fisso e così avviene per l'ora d'impiego dell'addetto all'insaccaggio. Il numero ottimale delle linee di insaccaggio N da mettere in funzione sarà quella che minimizzerà l'espressione (1)

$$T_{LA}(N) \times C_1 + T_{st}(N) C_2 \times n + N \times C_3 \times 8 + C_4(N)$$

dove

$T_{LA}(N)$ = tempo totale di attesa di mezzi nel sistema in ore

$T_{st}(N)$ = numero di ore straordinarie

C_1 = costo di attesa di 1 ora di un mezzo

C_2 = costo per ore straordinarie impiegate

C_3 = costo orario per addetto all'insaccaggio

$C_4(N)$ = costo che rappresenta il danno per perdita clienti

n = numero impiegati addetti alla direzione dell'impianto

N = numero di linee di insaccaggio da mettere in movimento.

Tracce del procedimento seguito nella soluzione del problema.

Disponendosi gli automezzi su più file il tasso medio di arrivo dinnanzi ad un corridoio di carico è quello che si ottiene ripartendo il tasso medio di arrivo globale in proporzione alla potenzialità di servizio del corridoio stesso.

Con analogo criterio si determina la lunghezza iniziale della coda dinanzi ad ogni corridoio.

In totale si hanno 10 linee: due di queste sono adibite ad un tra-

(1) Naturalmente si scarteranno per ovvie ragioni quelle soluzioni per cui il $T_{st}(N)$ risulti superiore alle 2-3 ore.

sporto via mare, una è permanentemente in riparazione, rimangono sette linee libere per il trasporto con automezzi.

Per ogni tasso di arrivo medio globale possono darsi più combinazioni di servizi.

Nel caso di pieno sfruttamento della potenzialità di servizio possono dirsi due casi:

5 linee per SA 2 per NA oppure

4 linee per SA 3 per NA

Essendo le richieste di SA e NA eguali valgono naturalmente le:

$$5SA + 2NA = 5NA + 2SA$$

$$4SA + 3NA = 4NA + 3SA$$

agli effetti del nostro studio, inoltre bisognerà scegliere fra le possibili disposizioni quelle più equilibrate.

In definitiva nel caso di 3 o 4 corridoi liberi vanno prese in considerazione le combinazioni riportate schematicamente in fig. 2.

Il problema può essere studiato prendendo in esame separatamente corridoi alimentati da 1, 2 e 3 bocche di scarico che chiameremo di I, di II e di III tipo.

Tutte le situazioni su riportate sono riproducibili combinando opportunamente questi tre tipi di corridoi.

Per ogni tasso di arrivo quindi e per ogni disposizione di linee di insaccamento verranno calcolati i tempi totali di attesa dei mezzi e il numero di ore straordinarie da effettuarsi per effetto delle code allo scadere delle otto ore lavorative.

Descrizione della simulazione (2).

Si simulano arrivi e servizi per la durata di un giorno riproducendo la situazione reale. Ripeten-

(2) Il problema può anche essere affrontato con metodi analitico-matematici considerando però che per il numero esiguo di arrivi di mezzi nella giornata il fenomeno preso in esame non riesce a raggiungere il regime permanente e che la distribuzione delle durate dei servizi non rientra nella classica distribuzione esponenziale negativa, ho ritenuto opportuno di non seguire la via analitico-matematica nella impostazione del problema la cui soluzione sarebbe risultata notevolmente pesante.

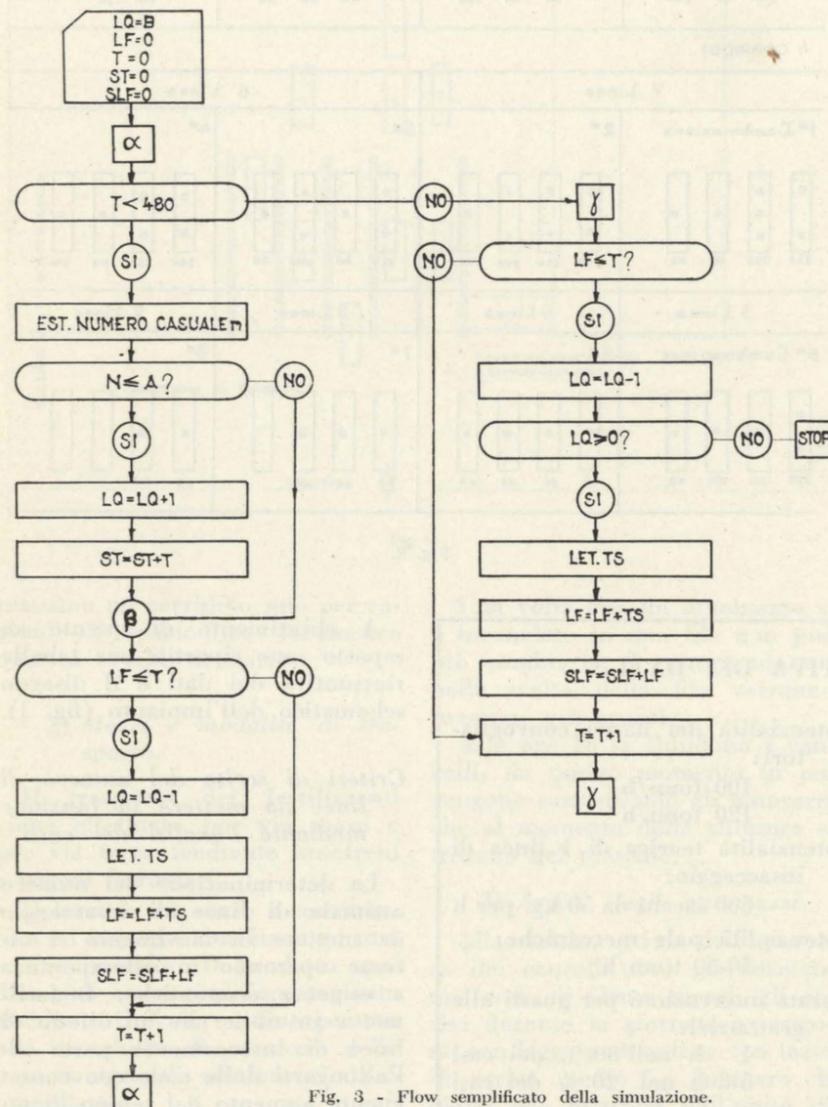


Fig. 3 - Flow semplificato della simulazione.

mente proporzionale alla percentuale di tempo impiegato in operazioni di insaccaggio rispetto al tempo totale.

Bisogna inoltre considerare il

bastanza facilmente valutabili se ne aggiunge un altro che è più difficile quantificare.

Questo è rappresentato dalla possibile perdita di un cliente

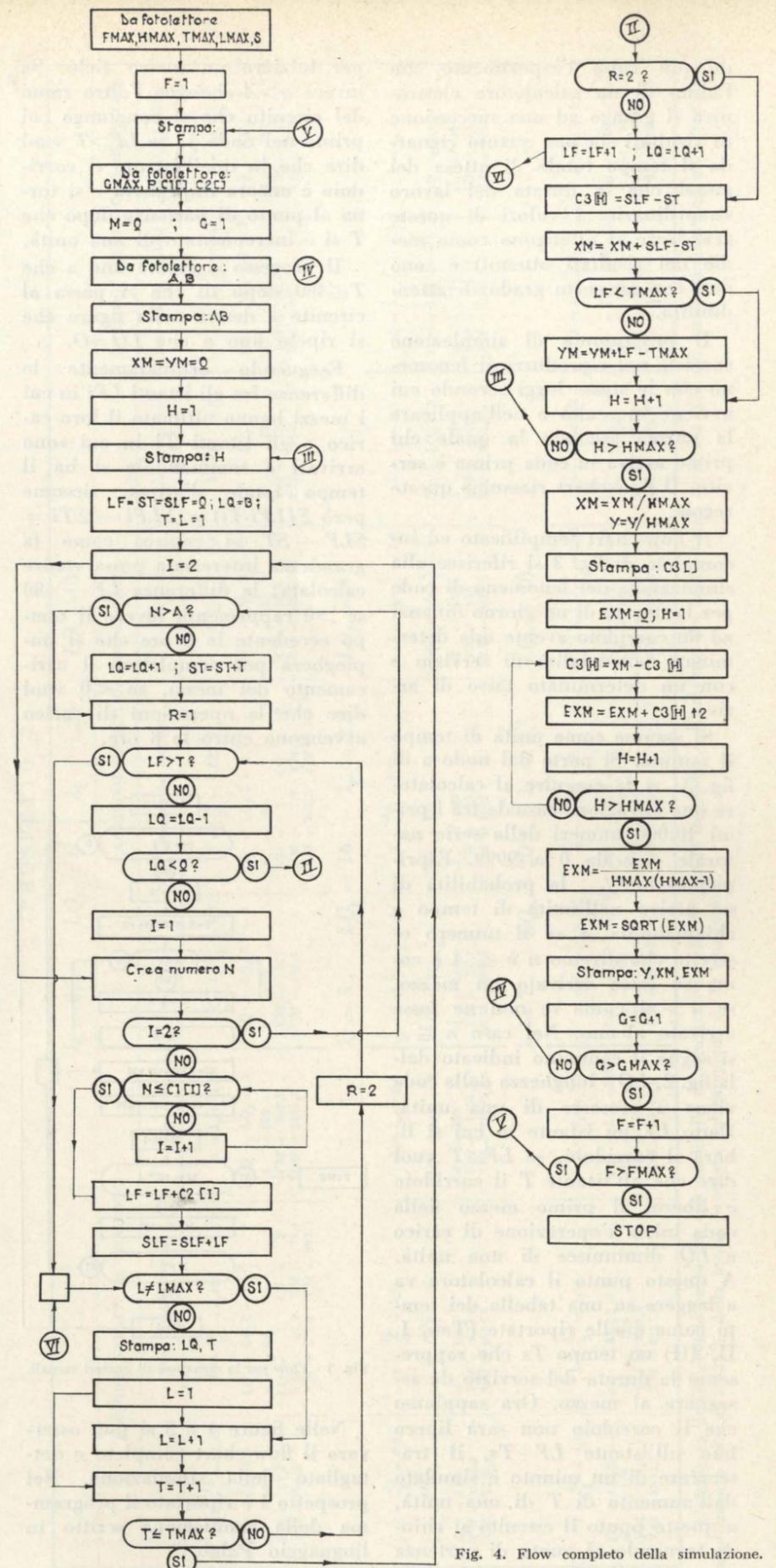


Fig. 4 - Flow completo della simulazione.

do più volte l'esperimento con l'aiuto di un calcolatore elettronico si giunge ad una successione di risultati sia per quanto riguarda il tempo totale di attesa dei mezzi che la durata del lavoro straordinario. I valori di queste grandezze si ottengono come medie dei risultati ottenuti e sono dati con un certo grado di attendibilità.

Il programma di simulazione consiste nel riprodurre il fenomeno con le stesse leggi secondo cui avviene in realtà e nell'applicare la norma secondo la quale chi primo arriva in coda prima è servito. Il flow-chart riassume queste regole.

Il flow-chart semplificato ed incompleto di fig. 3 si riferisce alla simulazione del fenomeno di code per la durata di un giorno dinanzi ad un corridoio avente una determinata potenzialità di servizio e con un determinato tasso di arrivo.

Si assume come unità di tempo il minuto. Si parte dal nodo α di fig. 3: si fa eseguire al calcolatore una estrazione casuale fra i primi 10.000 numeri della serie naturale cioè da 0 a 9999. Esprimendo in $\frac{1}{1000}$ la probabilità di un arrivo nell'unità di tempo e chiamandola A se il numero estratto che diremo n è $\leq A$ è come se fosse arrivato un mezzo, se $n > A$ come se non ne fosse arrivato alcuno. Nel caso $n \leq A$ si segue il cammino indicato dalla fig. 2, LQ = lunghezza della coda viene a crescere di una unità. Detto LF un istante in cui si libera il corridoio, se $LF \leq T$ vuol dire che all'istante T il corridoio è libero, il primo mezzo della coda inizia l'operazione di carico e LQ diminuisce di una unità. A questo punto il calcolatore va a leggere su una tabella dei tempi come quelle riportate (Tab. I, II, III) un tempo T_s che rappresenta la durata del servizio da assegnare al mezzo. Ora sappiamo che il corridoio non sarà libero fino all'istante $LF + T_s$, il trascorrere di un minuto è simulato dall'aumento di T di una unità, a questo punto il circuito si chiude tornando al punto di partenza

per iniziare un nuovo ciclo. Se invece $n > A$ si segue l'altro ramo del circuito che si congiunge col primo nel nodo β . Se $LF > T$ vuol dire che in quell'istante il corridoio è ancora impegnato e si torna al punto di partenza dopo che T si è incrementato di una unità.

Il processo si ripete fino a che $T \leq 480$ dopo di che si passa al circuito a destra nella figura che si ripete fino a che $LQ = 0$.

Eseguido ordinatamente le differenze fra gli istanti LF_i in cui i mezzi hanno ultimato il loro carico e gli istanti T_i in cui sono arrivati e sommandole si ha il tempo totale d'attesa, siccome però $\sum(LF_i - T_i) = \sum LF_i - \sum T_i = SLF - ST$ si capisce come la grandezza interessata possa venire calcolata; la differenza $LF - 480$ se > 0 rappresenta invece il tempo eccedente le 8 ore che si impiegherà per completare il caricamento dei mezzi, se < 0 vuol dire che le operazioni di carico avvengono entro le 8 ore.

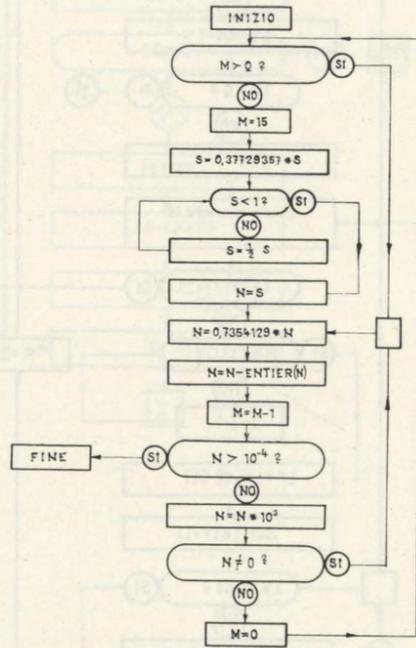


Fig. 5 - Flow per la creazione di numeri casuali.

Nelle figure 4 e 5 si può osservare il flow-chart completo e dettagliato della simulazione. Nel prospetto 1 è riportato il programma della simulazione scritto in linguaggio Palgo.

PROSPETTO 1

```

: P TAPE (1104); "=""
: ARRAY C1, C2, C3; (1,50); "=""
: INTEGER I (R)2(F, FMAX, G, GMAX, H,
HMAX, I, M, P)3(L, LMAX, B)4(LF, LQ, T, TMAX
ST, SLF); "=""
: FLOATING (S, N, YM, XM, EXM, A); "=""
0002: STRUCTURE (I); "=""
0003: STRUCTURE (NNum. tab.); I10; "=""
0004: STRUCTURE ((Coppia A, B); F10, 4; I10); "=""
0005: STRUCTURE (NNum. simulaz.); I12; "=""
0006: STRUCTURE (Lungh. coda T); "=""
0007: STRUCTURE (18; I14); "=""
0009: STRUCTURE ((YM=) F8, 1; [XM=] F8, 1;
[EXM=] F8, 1); "=""
0010: STRUCTURE (Valori sing. di X); "=""
0011: STRUCTURE (5F10, 1); "=""
: READ P TAPE: FMAX, HMAX, TMAX,
LMAX, S; "=""
: FOR F:=1 STEP 1 UNTIL FMAX DO; "=""
: BEGIN 1; "=""
: PRINT 0003: F; "=""
: READ P TAPE: GMAX, P, (C1[M], C2[M])M=
1, P; "=""
: M:=0; "=""
: FOR G:=1 STEP 1 UNTIL GMAX DO; "=""
: BEGIN 2; "=""
: READ P TAPE: A, B; "=""
: FOR H:=1 STEP 1 UNTIL 50 DO; "=""
: C3[H]:=0; "=""
: H:=1; "=""
0015: PRINT 0002; "=""
: H:=H+1; "=""
: IF H<5 THEN GO TO 0015; "=""
: PRINT 0004: A, B; "=""
: XM:=YM:=0; "=""
: FOR H:=1 STEP 1 UNTIL HMAX DO; "=""
: BEGIN 3A; "=""
: PRINT 0002; "=""
: PRINT 0002; "=""
: PRINT 0005: H; "=""
: PRINT 0002; "=""
: 0006; "=""
: LF:=ST:=SLF:=0; "=""
: LQ:=B; "=""
: T:=L:=1; "=""
0025: I:=2; "=""
: GO TO 0036; "=""
0029: IF N<A THEN GO TO 0032; "=""
: LQ:=LQ+1; "=""
: ST:=ST+T; "=""
0032: R:=1; "=""
0033: IF LF<T THEN GO TO 0045; "=""
: LQ:=LQ-1; "=""
: IF LQ<0 THEN GO TO 0054; "=""
: I:=1; "=""
0036: IF M<0 THEN GO TO 0039; "=""
: M:=15; "=""
: S:=0,37729257E+01*S; "=""
0037: IF S<1 THEN GO TO 0038; "=""
: S:=0,5E+00*S; "=""
: GO TO 0037; "=""
0038: N:=S; "=""
0039: N:=0,7254129E+01*N; "=""
: N:=N-ENTIER(N); "=""
: M:=M-1; "=""
: IF N<0,15-03 THEN GO TO 0040; "=""
: N:=N*0,15+04; "=""
: IF N=0 THEN GO TO 0039; "=""
: M:=0; "=""
: GO TO 0036; "=""
0040: IF I=2 THEN GO TO 0029; "=""
0042: IF N<C1[I] THEN GO TO 0043; "=""
: READ TAPE: A, B; "=""
: FOR H:=1 STEP 1 UNTIL 50 DO; "=""
: C3[H]:=0; "=""
: H:=1; "=""
0015: PRINT 0002; "=""
: H:=H+1; "=""
: IF H<5 THEN GO TO 0015; "=""
: PRINT 0004: A, B; "=""
: XM:=YM:=0; "=""
: FOR H:=1 STEP 1 UNTIL HMAX DO; "=""
: BEGIN 3A; "=""
: PRINT 0002; "=""
: PRINT 0002; "=""
: PRINT 0005: H; "=""
: PRINT 0002; "=""
: PRINT 0006; "=""
: LF:=ST:=SLF:=0; "=""
: LQ:=B; "=""
: T:=L:=1; "=""
0025: I:=2; "=""
: GO TO 0036; "=""

```

```

0029: IF N<A THEN GO TO 0032; "=""
: LQ:=LQ+1; "=""
: ST:=ST+T; "=""
: I:=I+1; "=""
: GO TO 0042; "=""
0043: LF:=LF+C2[I]; "=""
: SLF:=SLF+LF; "=""
0045: IF L LMAX THEN GO TO 0049; "=""
: PRINT 0007: LQ, T; "=""
: L:=1; "=""
: GO TO 0050; "=""
0049: L:=L+1; "=""
0050: T:=T+1; "=""
: IF T<TMAX THEN GO TO 0025; "=""
: IF T<TMAX THEN GO TO 0025; "=""
: R:=2; "=""
: GO TO 0033; "=""
0054: IF R=2 THEN GO TO 0058; "=""
: LF:=LF+1; "=""
: LQ:=LQ+1; "=""
: GO TO 0045; "=""
0058: C3[H]:=SLF-ST; "=""
: XM:=XM+C3[H]; "=""
: IF LF<TMAX THEN GO TO 0061; "=""
: YM:=YM+LF-TMAX; "=""
0061: END 3A; "=""
: XM:=XM/HMAX; "=""
: YM:=YM/HMAX; "=""
: PRINT 0002; "=""
: P INT 0002; "=""
: PRINT 0010; "=""
: P INT 0011: C3[1]; "=""
: EXM:=0; "=""
: FOR H:=1 STEP 1 UNTIL HMAX DO; "=""
: BEGIN 3B; "=""
: C3[H]:=XM-C3[H]; "=""
: EXM:=EXM+C3[H]*2; "=""
: END 3B; "=""
: EXM:=EXM/(HMAX*(HMAX-1)); "=""
: EXM:=SQRT(EXM); "=""
: PRINT 0002; "=""
: PRINT 0002; "=""
: PRINT 0009: YM, XM, EXM; "=""
: END 2; "=""
: H:=1; "=""
0070: PRINT 0002; "=""
: H:=H+1; "=""
: IF H<10 THEN GO TO 0070; "=""
: END 1; "=""
: STOP RUN; "=""

```

Risultati.

I calcoli eseguiti col calcolatore elettronico Elea 6001 per λg pari a 2,5; 5 e 7 arrivi ora e con lunghezza di coda LQ rispettivamente pari a 6, 16 e 20 automezzi hanno dato i risultati riportati nel prospetto 2 ottenuti come media dei risultati di 30 simulazioni.

λg = tasso di arrivo complessivo di autotreni

LQ_g = lunghezza coda iniziale complessiva in autotreni

$$\lambda_p = \lambda_{NA} = \lambda_{SA} = \frac{\lambda_g}{2}$$

= tasso di arrivo di autotreni che caricano SA o NA

$$LQ_p = LQ_{SA} = LQ_{NA} = \frac{LQ_g}{2}$$

= lunghezza coda iniziale di autotreni che caricano SA o NA

XM = tempo totale di attesa di autotreni dinanzi ad un corridoio in minuti primi

YM = tempo eccedente le 8 ore lavorative per completamento carico autotreni dinanzi ad un corridoio in minuti primi.

PROSPETTO 2

CORRIDOI SERVITI DA UNA BOCCA	CORRIDOI SERVITI DA DUE BOCCHE		CORRIDOI SERVITI DA TRE BOCCHE	
	$\lambda_g = 2,5$	$LQ_g = 6$	$\lambda_p = 1,25$	$LQ_p = 3$
Caso quattro corridoi	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 0,625$ $LQ = LQ_p \cdot 2 = 1,5$ A = 99 YM = 5,1 XM = 154,5	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 0,83$ $LQ = LQ_p \cdot 2/3 = 2$ A = 139 YM = 11,7 XM = 455,5	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 0,45$ $LQ = LQ_p \cdot 3/5 = 2$ A = 119 YM = 2,4 XM = 205	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 0,45$ $LQ = LQ_p = 3$ A = 199 YM = 5,7 XM = 637,1
Caso quattro corridoi	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 1,25$ $LQ = LQ_p \cdot 2 = 4$ A = 199 YM = 59,9 XM = 1662	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 1,6$ $LQ = LQ_p \cdot 2/3 = 5$ A = 269 YM = 136 XM = 3033,2	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 1,5$ $LQ = LQ_p \cdot 3/5 = 5$ A = 249 YM = 17,3 XM = 1081,7	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 2,5$ $LQ = LQ_p = 8$ A = 399 YM = 168,7 XM = 4938,1
Caso quattro corridoi	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 1,75$ $LQ = LQ_p \cdot 2/5 = 5$ A = 229 YM = 91,9 XM = 2095,8	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 2,32$ $LQ = LQ_p \cdot 2/3 = 6$ A = 389 YM = 345,1 XM = 6915,9	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 2,1$ $LQ = LQ_p \cdot 3/5 = 6$ A = 349 YM = 154,9 XM = 3483	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 3,5$ $LQ = LQ_p = 10$ A = 579 YM = 358,2 XM = 10056
Caso quattro corridoi	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 1,25$ $LQ = LQ_p \cdot 2 = 4$ A = 199 YM = 59,9 XM = 1662	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 1,6$ $LQ = LQ_p \cdot 2/3 = 5$ A = 269 YM = 136 XM = 3033,2	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 1,5$ $LQ = LQ_p \cdot 3/5 = 5$ A = 249 YM = 17,3 XM = 1081,7	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 2,5$ $LQ = LQ_p = 8$ A = 399 YM = 168,7 XM = 4938,1
Caso quattro corridoi	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 1,75$ $LQ = LQ_p \cdot 2/5 = 5$ A = 229 YM = 91,9 XM = 2095,8	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 2,32$ $LQ = LQ_p \cdot 2/3 = 6$ A = 389 YM = 345,1 XM = 6915,9	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 2,1$ $LQ = LQ_p \cdot 3/5 = 6$ A = 349 YM = 154,9 XM = 3483	$\lambda = \frac{\lambda_p}{2} = 3,5$ $LQ = LQ_p = 10$ A = 579 YM = 358,2 XM = 10056

L'ampiezza dell'intervallo entro cui con un livello di significatività del 5% cade la media dell'universo dei tempi totali di attesa XM dei mezzi dinanzi ad un corridoio è mediamente pari al 20-25% della media ottenuta dal campione di 30 simulazioni.

PROSPETTO 3

$\lambda_g = 2,5 \quad LQ_g = 6$

1ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 154,5 + 205 + 479,4 + 993,1 = 1832$	$T_{st} = 75,1$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 154,5 + 205 + 1146 = 1505,5$	$T_{st} = 11,2$
2ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 240,5 + 345,8 + 455,5 + 364,8 = 1406,7$	$T_{st} = 17,6$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 240,5 + 345,8 + 637,1 = 1223,5$	$T_{st} = 7,8$
3ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = (455,5 + 364,8) \times 2 = 1640,6$	$T_{st} = 17,6$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 240,5 + 345,8 + 1146 = 1732,4$	$T_{st} = 11,2$
4ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 240,5 + 345,9 + 479,4 + 993,1 = 2058,9$	$T_{st} = 75,1$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 455,5 + 364,8 + 637,1 = 1457,4$	$T_{st} = 17,6$
5ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 445,5 + 364,8 + 479,4 + 993,1 = 2282,8$	$T_{st} = 75,1$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 455,5 + 364,8 + 1146 = 1966,3$	$T_{st} = 17,6$
6ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = (478,4 + 993,1) \times 2 = 2945$	$T_{st} = 75,1$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 479,4 + 993,1 + 1146 = 2618,5$	$T_{st} = 75,1$
7ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 479,4 + 993,1 + 3481,3 = 4953,8$	$T_{st} = 300,3$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 479,4 + 193,1 + 3481,3 = 4953,8$	$T_{st} = 300,3$
8ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 3481,3 \times 2 = 6962,6$	$T_{st} = 300,3$
	Caso 3 corridoi	$3481,3 \times 2 = 6962,6$	$T_{st} = 300,3$

$\lambda_g = 5 \quad LQ_g = 16$

1ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 1081,7 + 694,6 + 4697,6 \times 2 = 11171,8$	$T_{st} = 399,6$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 1081,7 + 694,9 + 9031,1 = 10807$	$T_{st} = 446,8$
2ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 1662 \times 2 + 3033,2 + 2770,5 = 9127,7$	$T_{st} = 136$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 1662 \times 2 + 4938,1 = 8262$	$T_{st} = 168,7$
3ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = (3033,2 + 2770,5) \times 2 = 11607,4$	$T_{st} = 136$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 1662 \times 2 + 9031,1 = 12355$	$T_{st} = 446,8$
4ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 1662 \times 2 + 4687 \times 2 = 12718$	$T_{st} = 399,6$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 3033,2 + 2770,5 + 4938,1 = 10741,8$	$T_{st} = 168,7$
5ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 3033,2 + 2770,5 + 4697 \times 2 = 15197,7$	$T_{st} = 399,6$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 3033,2 + 2770,5 + 9031,1 = 14838,4$	$T_{st} = 446,8$
6ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 4697 \times 4 = 18788$	$T_{st} = 399,6$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 4697 \times 2 + 9031 = 18426$	$T_{st} = 446,8$
7ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 4697 \times 2 + 21795,6 = 31190,6$	$T_{st} = 1258,1$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 4697 \times 2 + 21795,6 = 31150,6$	$T_{st} = 1258,1$
8ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 21795,6 \times 2 = 43591,2$	$T_{st} = 1258,1$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 21795,6 \times 2 = 43591,2$	$T_{st} = 1258,1$

$\lambda_g = 7 \quad LQ_g = 20$

1ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 2095,8 + 3483 + 8947,8 \times 2 = 23474,4$	$T_{st} = 698,5$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 3483 + 2095,8 + 20348,9 = 25927,7$	$T_{st} = 810,4$
2ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 3531,4 \times 2 + 6915,9 + 4697,6 = 18676,3$	$T_{st} = 399,6$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 3531,4 \times 2 + 10026 = 17088,8$	$T_{st} = 358,2$
3ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = (6915,9 + 4697,6) \times 2 = 22227$	$T_{st} = 399,6$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 3531,4 \times 2 + 20438,9 = 27501,7$	$T_{st} = 810,4$
4ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 3531,4 \times 2 + 8947,8 \times 2 = 24958,4$	$T_{st} = 698,5$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 6915,9 + 4697,6 + 10026 = 21639,5$	$T_{st} = 399,6$
5ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 6915,9 + 4697,6 + 8947,8 \times 2 = 29509,1$	$T_{st} = 698,4$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 6915,9 + 4697,6 + 20438,9 = 32052,4$	$T_{st} = 810,4$
6ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 8947,8 \times 4 = 35791,2$	$T_{st} = 698,4$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 8947,8 \times 2 + 20348,9 = 38244,5$	$T_{st} = 810,4$
7ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 8947,8 \times 2 + 44471,1 = 62342,7$	$T_{st} = 1956$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 8947,8 \times 2 + 44471,1 = 62342,7$	$T_{st} = 1956$
8ª Combinazione	Caso 4 corridoi	$T_{ta} = 44471,1 \times 2 = 88842,2$	$T_{st} = 1956$
	Caso 3 corridoi	$T_{ta} = 44471,1 \times 2 = 88842,2$	$T_{st} = 1956$

Nella figura 6 è riportata la distribuzione di frequenza dei tempi totali di attesa X per ogni simulazione in corrispondenza a $\lambda = 2,5$ e $\mu = 2,782$, dove μ è il numero medio di autocarri serviti in un'ora da un corridoio di carico,

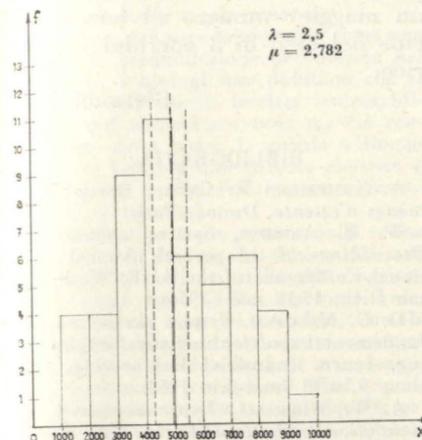


Fig. 6.

valore facilmente ricavabile dalle tabelle I, II, III, in questo caso si sono fatte eccezionalmente 50 simulazioni.

L'ascissa in corrispondenza alla linea a tratto e punto è la media XM le due verticali tratteggiate

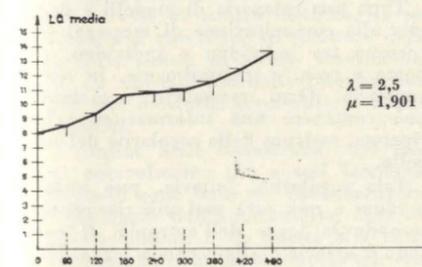


Fig. 7.

delimitano l'intervallo entro il quale con probabilità del 95 % cade la media dell'universo dei tempi totali di attesa X.

Nella figura 7 e 8 è riportato l'andamento del tempo della lunghezza della coda dei mezzi din-

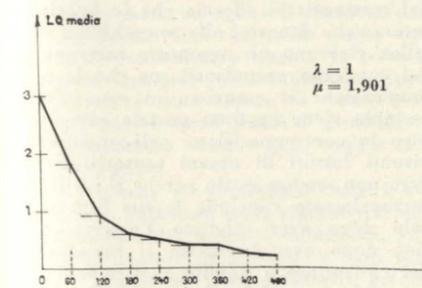


Fig. 8.

PROSPETTO 4

$\lambda_g = 2,5 \quad LQ_g = 6$

4 corridoi		3 corridoi	
2ª combinazione	$T_{ta} = 1406,7$	2ª combinazione	$T_{ta} = 12235$
3ª »	$= 1640,6$	4ª »	$= 1457,4$
1ª »	$= 1832$	1ª »	$= 1505,5$
4ª »	$= 2058,9$	3ª »	$= 1732,4$
5ª »	$= 2282,9$	5ª »	$= 1996,3$
6ª »	$= 2945$	6ª »	$= 2618,5$
7ª »	$= 4953,8$	7ª »	$= 4953,8$
8ª »	$= 6962,6$	8ª »	$= 6962,6$

$\lambda_g = 5 \quad LQ_g = 16$

2ª combinazione	$T_{ta} = 9127,7$	2ª combinaziine	$T_{ta} = 8262$
3ª »	$= 11607,4$	4ª »	$= 10741$
1ª »	$= 11719$	1ª »	$= 10807$
4ª »	$= 12718$	3ª »	$= 12355$
5ª »	$= 15997,7$	5ª »	$= 14834,8$
6ª »	$= 18788$	6ª »	$= 18426,3$
7ª »	$= 31190,6$	7ª »	$= 31190,6$
8ª »	$= 43591,2$	8ª »	$= 43591,2$

$\lambda_g = 7 \quad LQ_g = 20$

2ª combinazione	$T_{ta} = 18676,3$	2ª combinazione	$T_{ta} = 17088,8$
3ª »	$= 22227$	4ª »	$= 21639,5$
1ª »	$= 23474,4$	1ª »	$= 25927,7$
4ª »	$= 24958,4$	3ª »	$= 27501,7$
5ª »	$= 29509,1$	5ª »	$= 32052,4$
6ª »	$= 35791,2$	6ª »	$= 38244,5$
7ª »	$= 62342,7$	7ª »	$= 62342,7$
8ª »	$= 88894,2$	8ª »	$= 88894,2$

PROSPETTO 5

$\lambda_g = 2,5 \quad LQ_g = 6$

2ª combinazione	$T_{st} = 17,6$	2ª combinazione	$T_{st} = 7,8$
3ª »	$= 17,6$	3ª »	$= 11,2$
1ª »	$= 35,1$	3ª »	$= 11,2$
4ª »	$= 75,1$	4ª »	$= 17,6$
5ª »	$= 65,1$	5ª »	$= 17,6$
6ª »	$= 75,1$	6ª »	$= 75,1$
7ª »	$= 300,3$	7ª »	$= 300,3$
8ª »	$= 300,3$	8ª »	$= 300,3$

$\lambda_g = 5 \quad LQ_g = 16$

2ª combinazione	$T_{st} = 136$	2ª combinazione	$T_{st} = 168,7$
1ª »	$= 136$	4ª »	$= 168,7$
3ª »	$= 399,6$	1ª »	$= 446,8$
4ª »	$= 399,6$	3ª »	$= 446,8$
5ª »	$= 399,6$	5ª »	$= 446,8$
6ª »	$= 399,6$	6ª »	$= 446,8$
7ª »	$= 1258,1$	7ª »	$= 1258,6$
8ª »	$= 1258,1$	8ª »	$= 1258,1$

$\lambda_g = 7 \quad LQ_g = 20$

2ª combinazione	$T_{st} = 399,6$	2ª combinazione	$T_{st} = 358,2$
3ª »	$= 399,6$	4ª »	$= 399,6$
1ª »	$= 698,5$	1ª »	$= 810,4$
4ª »	$= 698,5$	3ª »	$= 810,4$
5ª »	$= 698,5$	5ª »	$= 810,4$
6ª »	$= 698,5$	6ª »	$= 810,4$
7ª »	$= 1956$	7ª »	$= 1956$
8ª »	$= 1956$	8ª »	$= 1956$

nanzi ad un corridoio di carico rispettivamente per $\lambda = 2,5$ e $\mu = 1,901$ e per $\lambda = 1$ e $\mu = 1,901$.

Sia la distribuzione di frequenze dei tempi X che la lunghezza della coda negli istanti considerati sono valori forniti dal calcolatore nel tabulato secondo le istruzioni

dategli nel programma; questi dati vengono stampati naturalmente in corrispondenza ad ogni copia λ e μ presa in esame.

Dal prospetto 2 è facile calcolare i tempi totali di attesa T_{ta} e di tempi per lavoro straordinario T_{st} sempre in minuti primi per

le combinazioni rappresentate schematicamente nella fig. 2.

Tali grandezze sono riportate nel prospetto 3.

Conclusioni.

Riportando in ordine crescente i T_{ta} ne risulta il prospetto 4, da esso si vede chiaramente come siano più convenienti le combinazioni più equilibrate, come era del resto intuitivo, ed anche come convenga servirsi a parità di bocche di scarico di tre corridoi piuttosto che di 4 nel caso di $\lambda g = 2,5$ e 5, mentre ciò non è sempre vero per $\lambda g = 7$.

Il prospetto 5 ci suggerisce invece che per quanto riguarda i tempi in ore straordinarie T_{st} per $\lambda g = 2,5$ è più conveniente la soluzione a tre corridoi mentre per $\lambda g = 5$ e 7 è più conveniente quella a 4 corridoi.

I risultati a cui si è giunti, della convenienza cioè di impiego di tre corridoi per tassi di arrivo più

bassi e di 4 corridoi per quelli più elevati, si possono interpretare qualitativamente con semplici considerazioni.

Infatti per tassi di arrivo modesti, non essendo consentito ai mezzi di spostarsi da una fila all'altra, può capitare abbastanza spesso che alcuni di essi siano costretti a sostare in una fila quando magari un altro corridoio è libero e rimane inattivo.

Questo fatto si traduce in una perdita di tempo ed in definitiva in una maggiore attesa dei mezzi.

È evidente che questo fenomeno è tanto più accentuato quanto più le bocche di scarico sono suddivise in un maggior numero di corridoi e cioè nel caso di 4 corridoi.

Viceversa quando i tassi di arrivo sono più grandi questo fenomeno ha meno probabilità di verificarsi perchè i corridoi sono quasi sempre impegnati, per contro diventa preponderante il fatto che, come si vede dalle tabelle I, II, III, i tempi di servizio per

corridoi con 3 o 2 bocche funzionanti non si riducono rispettivamente ad $1/3$ e ad $1/2$ del tempo di servizio di un corridoio ad 1 sola bocca, ma risultano leggermente superiori.

Ciò influisce negativamente sui tempi di attesa tanto più quanto più numerosi sono i corridoi con un maggior numero di bocche e cioè nel caso di 3 corridoi di carico.

Giovanni Job

BIBLIOGRAFIA

A. KAUFMANN R. CRUON, *Les phénomènes d'attente*, Dunod, Paris.

W. E. ALBERTS, *System simulation*, Proceedings of the seventh Annual National Conference of the AIIE, Washington D.C., 17-18 mai (1956).

D. G. MALCOLM, *System simulation. A fundamental tool for industrial engineering*, Journ. Industrial Engineering, volume 9, n. 3 (mai-jun 1958).

A. W. MARSHALL, *Experimentation by simulation and Monte-Carlo*, The Rand Corporation P-1174 (janvier 1958).

D. G. ED MALCOLM, *Report of Systems Simulation Symposium*, Waverly Press, Baltimore (1957).

PROBLEMI

Metodologia scientifica: elogio del dubbio

ENRICO PELLEGRINI esaminando alcuni principi enunciati dalla Cibernetica e le proposizioni esposte nella Logica del Potenzamento introduce un elemento di riflessione, costituito dal dubbio, che ne rende possibile l'accettazione, riportando gli uni e le altre sul piano dei limiti umani. Il dubbio, secondo l'Autore, vitalizza i problemi che, in una convinzione di certezza, finirebbero per sterilirsi; si suggerisce anche l'esplorazione di tale campo del pensiero fino ad ora poco conosciuto.

I

Quando i problemi si fanno complessi, quando, cioè, occorre tener conto di troppi vincoli e di troppe variabili e la mente umana, valendosi anche della scrittura, non può seguirli tutti, si suole tentare due vie per cercare di risolvere quello che ci si è proposti: una consiste nello sminuzzare i pensieri più vasti in proposizioni semplici, affrontandole poi una per una, l'altra è orientata verso la ricerca di una legge generale che comprenda e assorba i diversi casi particolari che diano impedivano la visione di una esatta soluzione.

La civiltà moderna non sembra avere una particolare predilezione per i ragionamenti complicati, anzi è facile riscontrare nel passato numerosissime opere che derivano da delicati e involuti discorsi; tuttavia è strutturata in modo da risentire di molti e diversi fattori contemporanei; anche se essi non si dimostrano decisivi, la condizionano in tutte le maniere.

Tanto la scienza che la filosofia si sono occupate attivamente di questo particolare aspetto della vita con la differenza che la prima, assai meno precisa e sot-

tile, è avvantaggiata da un impianto moderno più coerente a quei problemi e la seconda, che ha al suo attivo una pur lunga esperienza dialettica, rimane attardata da procedimenti che la tradizione non ha potuto del tutto abbandonare.

La cibernetica insegna, ad esempio, che il mondo può ritenersi costruito sulla base di « pattern », espressione inglese tradotta generalmente con il termine « modello », ma che comprende tutto ciò che si ripete in una successione di elementi o che è comune ad un insieme di oggetti, e che, pur non potendo identificarsi con esse, ha qualcosa delle parole: stampo, disegno di una carta da parati, tema in una composizione musicale, configurazione, categoria o struttura.

La identificazione di tali modelli è della massima importanza perchè in base ad essi risulta possibile semplificare notevolmente la maggior parte dei problemi, che, scomposti, saranno ragguagliati agli schemi anzidetti e più facilmente risolti. È pure evidente che tale proposizione può essere accettabile solo se ci si accontenta di una certa approssimazione perchè due oggetti, due situazioni e due pensieri possono presentarsi simili, ma

mai identici. D'altro canto è logico pensare che ogni semplificazione implichi, per forza di cose, un avvicinamento alla realtà tanto minore quanto più spinto risulti tale processo.

Tutta una categoria di modelli è dedicata alla comunicazione di messaggi che corrono tra individuo e individuo, tra uomo e cosa, e, naturalmente, in senso contrario. Ogni messaggio organizzato può contenere una informazione, che, ripetuta, assicura della regolarità del modello.

Tale regolarità, tuttavia, può andare perduta e non sarà mai più riacquistata secondo la legge dell'entropia. Il concetto è associato alla seconda legge della termodinamica con un procedimento di dilatazione di schemi, che tende a investire contemporaneamente diversi e lontani campi dello scibile.

Ne vien fatto un esempio assai convincente: nel trasferimento di un pensiero da una lingua all'altra il traduttore impiegherà frasi più generiche oppure altererà il significato del testo. In ogni modo qualcosa del messaggio verrà irrimediabilmente distrutto.

La cibernetica studia appunto il valore dei messaggi: si afferma che le figurine meccaniche danzanti alla sommità del carillon ricevono un messaggio meccanico dal congegno propulsore, ma che la comunicazione si esaurisce in esse. Tale esempio viene appunto portato come tipico in contrapposizione agli organismi viventi forniti di organi sensorii. Esso però non sembra esatto perchè il carillon in movimento conclude la sua funzione solo dopo aver diletto l'osservatore, cioè dopo aver trasmesso il messaggio del costruttore a uomini appartenenti a generazioni magari più giovani di qualche secolo. Anche questo è dunque un

messaggio complesso e a lunga scadenza.

Le macchine provviste di memoria, capaci cioè d'immagazzinare informazioni, hanno un comportamento analogo a quello degli esseri viventi: i messaggi esterni saranno utilizzati solo dopo un processo interno di trasformazione. Le prime, però, rappresentano per ora, per quanto possano essere complicate, solo degli organismi elementari nel confronto della più rozza mente umana.

Bergson definisce la memoria come una forma di accumulazione del passato nel presente; i biologi non dubitano che si tratti di una traccia lasciata irrevocabilmente nel sistema nervoso; ma ciò renderebbe senza senso la parola « dimenticare ». Tuttavia uno stimolo elettrico è in grado di modificare temporaneamente una fibra nervosa.

Secondo esperienze recenti della teoria chimica dell'eredità, lo schema di una « messa in codice » delle informazioni nelle varie parti delle macromolecole, che formano i nuclei cellulari, con la possibilità d'individuare alcuni caratteri del nuovo individuo lungo i cromosomi, si comporta con meccanismi affini a quelli della memoria, pur restando quella genetica assai diversa da quella nervosa.

In analogia alla teoria delle informazioni vien supposto dallo Schmitt che queste siano trasmesse come influsso nervoso ai neuroni, i quali ne fanno l'integrazione prima che i complessi macromolecolari vengano incisi in modo durevole. Da questi, una nuova trasmissione elettrica o nervosa porta le informazioni alla percezione.

Si fa dunque una distinzione fra memoria breve e memoria durevole; la prima corrisponderebbe al succedersi d'influssi nervosi di natura elettrica, la seconda a una ritenzione di struttura derivata dalla sintesi di alcune macromolecole. Lo smistamento delle informazioni fra le due memorie avverrebbe a mezzo di blocchi.

Il confine della conoscenza vien spostato notevolmente più avanti lasciando però vaste zone buie sul funzionamento del passaggio dall'informazione elettrica a quella chimica e da questa alla ritrasmissione elettrica. Sono proprio tali ombre che distinguono il pensiero degli uomini da quello delle più perfezionate macchine, nelle quali, per forza di cose, ogni congegno risulta chiaro.

Noi, che siamo abituati a lottare contro una infinità di pensieri, che modulano un unico ragionamento, cercando di classificarli e di ordinarli secondo un accettabile nesso logico, siamo alle volte sorpresi dalla straordinaria semplicità dei concetti formulati dalla cibernetica, tanto che ne deriviamo la sensazione di una rigidità sorda ad ogni sollecitazione della sensibilità. Così che molto spesso vien fatto di sottovalutare quanto la tecnica, proprio seguendo tali semplicissime proposizioni, è stata capace di creare e di domandarci a quali limiti si potrà giungere rendendo sempre più complessi i concetti-guida.

Ciò accade in contrapposizione a coloro che, entusiasti della cibernetica, della tecnica e dei processi industriali, vorrebbero portare ogni azione e ogni pensiero umano su quei parametri precludendo alla conoscenza i vasti settori del pensiero alimentati dalla intuizione.

Saremmo pertanto curiosi, come abbia-

mo detto, di conoscere e di poter controllare le applicazioni alla tecnica di principi molto più complessi, se ciò risulterà possibile senza generare un reale disordine negli schemi prefissati per la trasmissione dei messaggi d'informazione.

Una successione casuale di simboli al limite, non può infatti contenere alcuna informazione.

Il concetto di entropia, associata a quello di modello, esprime la quantità di disordine in una certa classe di modelli. Tanto più un tipo di struttura è probabile, tanto meno ordine contiene, perchè ordine significa mancanza di casualità.

Il probabilismo sembra tuttavia essere di gran lunga la parte più importante del nostro mondo quotidiano e le certezze forniteci dai cervelli elettronici s'inseriscono solo marginalmente e solo come fattore strumentale nella « scelta » che in ogni istante della vita attiva bisogna effettuare per fronteggiare gli eventi carichi di tutta la casualità di altre infinite scelte non previste.

La elaborazione delle informazioni secondo programmi preordinati cela delle identità dialettiche che si concludono in loro stesse secondo circuiti chiusi; il resto è disordine che, per la legge dell'entropia, non genera altro che disordine.

Tale pessimismo cosmico, legato alla evoluzione darwiniana, mette in evidenza la distruzione di un gran numero di modelli, da un lato, e la rarità della loro sopravvivenza, dall'altro. L'entropia, nel limitato orizzonte delle nostre azioni, non è tuttavia così drammatica; anche se siamo solo dei naufraghi in un pianeta ormai condannato, ciò non appare punto catastrofico nei confronti del singolo.

Nella teoria della evoluzione, l'apparente finalità del « modello » della specie sopravvive è determinata essenzialmente da un processo di erosione che salva soltanto quelle forme che sono coerenti al proprio ambiente. La estinzione dei titanoteri, ad esempio, è dovuta alla selezione naturale che li rese adatti solo ad un ristretto tipo di ambiente. Frobenius mise in evidenza la estrema fragilità degli esseri troppo specializzati.

La vita delle comunità può avvenire solo attraverso la comunicazione dei singoli membri ad essa appartenenti; appare positivo il fatto che ognuno sia posto sul livello intellettuale indispensabile per comprendere l'importanza di un problema comune e quindi la necessità di agire socialmente.

La funzione prestabilita, se conduce alla efficienza delle formiche, risulta fondamentalmente incompatibile con la struttura dei vertebrati, esseri cioè a scheletro interno, che permette loro un processo di accrescimento e di acquisizione di esperienza senza passare attraverso uno stadio larvale, che prelude l'apparizione di un individuo già completo, cioè fornito solo di esperienza atavica.

L'uomo è un eterno fanciullo nei confronti degli altri animali; la pubertà, che in tutti i viventi coincide con la fine del periodo di tutela, ne è assai ritardata. La sua capacità di apprendimento risulta quindi vastissima e determina la retroazione, cioè la possibilità di modificare un modello di comportamento confrontandolo periodicamente al lume della

esperienza passata con il risultato prefissato.

La fila delle formiche, per contro, avviata su di un percorso circolare, si muoverà senza fine sullo stesso tracciato; in loro non vi è possibilità di critica. La retroazione patrocina la reinserzione nel sistema dei risultati con un processo critico, che procede in senso inverso e che, come s'è detto, è capace di modificare il modello del suo comportamento.

Il principio del « tutto o niente », del quale parleremo fra poco, sembra dominare la scelta dei cervelli elettronici; essi sono in grado d'immagazzinare nelle loro memoria una quantità d'informazioni superiori a quante ne può, non dico contenere, ma « governare » la mente umana, però sono capaci ad operare una scelta, quindi a decidere, solo secondo un programma prestabilito. Si tende a raggiungere dei risultati già programmati risolvendo, cioè, dialetticamente delle identità.

Il cervello umano, per contro, possiede la curiosa prerogativa di dubitare, dono prezioso e sottile della Natura, derivato dalla secolare diffidenza degli esseri che vivono perennemente nel pericolo. Abbinato alla facoltà analogica del pensiero, del tutto carente nelle macchine ragionanti, il dubbio genera proposizioni nuove, estranee, ma realmente vive, nei confronti dei risultati previsti e programmati con i « pattern » cibernetici.

In effetti sembra opportuno mettere in evidenza proprio la capacità dell'uomo di « associare » due o più esperienze diverse, giacenti nella memoria, e di creare con esse dei « programmi » nuovi, cioè delle proposizioni logiche.

Lo stimolo a trasmettere un impulso avviene nelle macchine pensanti solo per la coincidenza di due messaggi con il riconoscimento di una identità. Per tale ragione risulta così importante per i costruttori di tali apparati lo sgretolamento del pensiero, la sua semplificazione in unità elementari e la loro messa in codice.

La mente umana compie invece gran parte del suo importante lavoro per « modulazione » analogica; risulta infatti facile constatare la « flessibilità » della immagine pensata e del pensiero formulato mentalmente; essi non rimangono incisi esattamente nel cervello, ma continuamente si muovono e si deformano sia secondo la volontà dell'uomo, che può farli agire e modificare, sia con criterio indipendente e per ora del tutto incontrollabile.

Secondo noi molte parole, quali « la immaginazione », « la fantasia », « la emozione », « la espressività », « la sensibilità », che pur sfuggono ad un controllo scientifico e ad una codificazione cibernetica, non sono nate a caso. Per il fatto stesso che abbiano avuto origine nel pensiero umano e un uso corrente nel linguaggio, corrispondendo per molti secoli a concetti precisi, esse meritano di essere riprese in esame, analizzate e studiate per identificare il loro reale contenuto, che ora, secondo la tecnica, sembra si vada completamente svuotando.

Al lume di queste considerazioni si prospetta con evidenza la funzione del tutto strumentale, anche se ad alto livello, delle macchine pensanti, che possono agevolare il ragionamento umano liberandolo dalla fatica di risolvere este-

nuanti operazioni marginali o di dettaglio, ma che attendono di essere governate e non di governare.

Pensiamo che tutto il settore del dubbio, che generalmente è considerato negativo agli effetti del progresso, sia da esplorare e da valorizzare, rappresentando una delle più elevate prerogative umane. Secondo noi proprio il meccanismo del dubbio mette in movimento i processi analogici che determinano il ritrovamento di schemi originali.

Anche la retroazione, identificata dalla cibernetica, può appartenere agli insetti, sebbene in modo rudimentale; essa infatti non è altro che un controllo e una riprova di risultati nel confronto di un programma già fissato. Se le formiche non possedessero tale facoltà sarebbe facilissimo distruggere l'intera loro specie predisponendo opportune trappole nelle quali cadrebbero una dopo l'altra senza obiezioni; cosa che evidentemente non succede.

Il dubbio o la facoltà di critica eliminano in noi la sicurezza assurda della macchina, anche se questa vien dotata d'istrumenti di autocorrezione, imponendo una revisione continua dei programmi, non in funzione della retroazione, ma con l'intento di fletterli per raggiungere « meglio » lo scopo previsto per la stessa via o per altre strade, sia per cercare nuovi scopi e per formulare dunque nuovi programmi. Sembra strano doverlo constatare e ammettere; ma tutte le virtù: forza, costanza, fedeltà, sicurezza, precisione, ecc. possono essere sostituite da macchine, mentre le debolezze: indecisione, dubbio, ambiguità, diffidenza, scaltrezza, ecc. restano perennemente umane e in definitiva si trasformano in elementi di forza per chi le possiede.

Gli stessi studiosi della strutturazione del pensiero stanno umanamente al di qua del vallo di certezze scientifiche da loro creato.

Nell'analisi biologica della conoscenza abbiamo appreso che gli impulsi nervosi viaggiano da fibra a fibra, in modo che ogni fibra afferente possa venir a contatto con « numerose » fibre efferenti ed una efferente con « diverse » afferenti.

Essi si trasmettono col carattere del « tutto o niente » a seconda che riescano o non riescano ad avere rispondenza nella fibra contigua. Si formano delle « soglie » che variano con la temperatura e in relazione a numerosi processi chimici del sangue e ad altri fenomeni. Su tale principio sono fatte le calcolatrici numeriche, che hanno possibilità di apprendimento e una grande esattezza. Esistono anche macchine analogiche, come il regolo calcolatore, la cui funzione è assai meno precisa e, entro certi limiti, puramente orientativa. Le macchine analogiche risultano contemporanee, se non anteriori, alle calcolatrici numeriche, ma esse non sono ancora state sviluppate in tutte le loro possibilità applicative, essendosi la tecnica orientata in altra direzione.

La teoria di Locke presenta la mente umana sotto la forma passiva di una lavagna sulla quale vengano scritte le esperienze; dalla loro insistenza e dalla loro vicinanza nascono le idee con una tendenza a coordinarsi fra loro e a diventare complesse. Questo modello sembra avvicinarsi, per la sua elementarità, più ai principi della calcolatrice numerica

che alla vera struttura della natura umana. Tutti gli enunciati logici che il pensiero è capace di esprimere costituiscono però, a mezzo di modelli, una infinità numerabile stabilendo che ogni ragionamento non rappresenta un processo continuo e inscindibile, ma risulta scomponibile in un certo numero di atti di pensiero, elementari, non riducibili e di tipo noto.

Abbiamo obiettato già a lungo su tale affermazione che, come s'è visto, non riguarda altro che un modesto settore di quelli che potremmo qualificare ragionamenti ausiliari o « sottoragionamenti », tuttavia ci sembra evidente la grande utilità pratica di analizzare e di catalogare questi tipi di pensieri, inquadrando in schemi prefissi semplici, il più possibile, e poco numerosi. Va da sé che alcuni schemi calzeranno a pennello, altri conterranno il ragionamento con un certo sforzo, altri, in fine, non serviranno come « pattern » proposto.

Sulla mensa, ad esempio, abbiamo tre istrumenti, il cucchiaino, il coltello e la forchetta che, in teoria, dovrebbero servirci per ridurre tutti i cibi in porzioni e per introdurli in bocca. Se il cucchiaino può essere adoperato da solo per quasi tutte le minestre in brodo e la forchetta per molte verdure, il coltello in genere serve di ausilio agli altri due. Se mangiamo spaghetti o pollo arrosto, pensiamo già che tali posate abbiano una forma inadeguata alla loro funzione; se sulla tavola saranno servite ostriche o ricci di mare, non preparati in precedenza, ci rendiamo conto che nessuno degli strumenti proposti può servirci.

Appare dunque chiaro che, fra gli infiniti pensieri che a noi si presentano, ben difficilmente due possono appartenere esattamente allo stesso schema. Anche se da un certo modello possono venir risolti, il risultato sarà migliore per l'uno che per l'altro e ciascun tipo di ragionamento conterà delle frangie marginali che resteranno tagliate fuori dai « pattern ».

Ai patiti della organizzazione del pensiero sembra che la casualità determinante le diverse forme di ragionamento sia del tutto deteriorata. Il pensiero avrebbe infatti, secondo loro, una struttura granulare.

Basterebbe dunque analizzare un numero tanto grande di pensieri logici da poterne ricavare tutte le unità di pensiero primordiali e, con queste, avvicinate in tutti i modi possibili secondo le regole del calcolo combinatorio, creare ogni ragionamento presente e futuro.

La cibernetica raccoglie dati e notizie all'esterno e all'interno dell'organo di governo, codifica tali dati in modo da renderli omogenei, confrontabili e perciò atti ad essere « ragionati », li manipola e li « ragiona », giunge ad una decisione sull'azione da intraprendere ed eseguisce l'azione stessa.

Il cervello artificiale, meccanico o elettronico, è capace di portare a termine tale processo con una rapidità e una esattezza infinitamente superiori a quelle degli uomini, su di un programma, per ottenere cioè un determinato scopo precedentemente stabilito, perchè non viene rallentata dal dubbio, che continuamente prospetta altre possibili soluzioni.

Naturalmente una notizia, che rimane allo stato di sensazione, non risulta

numerabile e di essa non se ne può tener conto nelle decisioni successive. Questo fatto appare molto importante perchè, se chiude un vasto settore della realtà alla investigazione cibernetica, lo apre ad un altro tipo d'indagine più discorsivo.

A noi sembra che la fluidità del pensiero umano sia del tutto positiva. A parte la indicibile noia di trovarci di fronte a ragionamenti sempre previsti, noti o preconstituiti, nati cioè da grani di pensiero elementari nelle loro diverse combinazioni, ci sembrerebbe di dover rinunciare altrimenti alla nostra autonomia di esseri ragionanti e di porre un limite alle nostre capacità creative; d'incominciare dunque a morire.

In una novella giovanile di Carlo Molino si legge di una organizzazione per avvicinare in ogni maniera tutte le parole del vocabolario, non escludendo, s'intende, le possibili ripetizioni. Lo scopo era di bloccare definitivamente ogni nuovo pensiero e ogni tipo di produzione letteraria. Da quelle macchine, in mezzo ad una quantità di scorie senza senso, venivano prodotti con impassibilità del tutto meccanica ora la ricetta di cucina, ora il pezzo di alta filosofia, ora un brano di letteratura poliziesca, ora un gioiello di poesia.

L'idea era molto attraente; adesso un cervello elettronico, carico di qualche decina di migliaia di notizie corrispondenti alle parole del vocabolario, potrebbe forse realizzarla. La stessa duttilità del linguaggio ed il suo continuo rinnovamento compromettono però tale visione di un universo concluso e stabilizzato perchè continuamente vengono create nuove parole per esprimere concetti nuovi. Si potrebbe obiettare che con opportune macchine saremmo in grado di bloccare tutte le parole possibili presenti, passate e future di ogni lingua agendo sulla totalità degli alfabeti.

Ma i vocaboli, col passare del tempo, cambieranno di significato; e poi sfuggirebbero ancora i pensieri visivi, che sono infiniti e infinitamente liberi da ogni costrizione.

L'importanza del dubbio quale generatore e propulsore di concetti nuovi diventa sempre più evidente, stretti come siamo dalla indifferente efficienza ed esattezza dei pensatori artificiali. La salvezza del pensiero umano sta nella sua continua capacità di sfuggire ad ogni strutturazione, pur ricercandola disperatamente, e di creare nuovi universi.

A noi sembra ad un tempo drammatica e affascinante la continua ansia degli uomini per ottenere una « certezza »; certezza che, ogni volta raggiunta, allontana ma non dirada le attraenti ombre della intuizione. Quando una realtà viene conquistata in modo definitivo, allora la sua fine ha inizio: la realtà muore. L'acquisizione di una certezza « totale » segnerà anche il principio del suo annullamento completo; ciò era stato anche intravisto dal dottor Faust.

Possiamo anche avvicinare questa nostra grande sete di conquistare tutte le realtà ad una precisa volontà di morte, che è già stata identificata nel nostro ciclo biologico; in un desiderio, cioè, di successiva pausa e di acquietamento.

La consapevolezza del dubbio, in un tormentoso prolungarsi della nostra realtà in trasformazione, appare prossimo al desiderio di vita, opposto al precedente,

contenuto pure nello stesso ciclo biologico.

II

La possibilità di dominare in modo totale il campo del pensiero è stata affrontata, per altra via, a mezzo di schemi più generali dalla logica del potenziamento. C'indagieremo di fare una riassuntiva, sebbene inesatta, esposizione di alcuni interessanti principi di questo procedimento, commentandoli brevemente.

Rileggendo la importante e mai ricordata abbastanza raccolta di saggi di Annibale Pastore, filosofo torinese, e del suo allievo Pietro Mosso, intitolata « La logica del potenziamento » ne ricaviamo i seguenti essenziali postulati sui quali si fonda la teoria delle equazioni logiche:

1) della risoluzione dell'ente in relazione;

2) della variazione relativa dell'ente (ogni ente varia in sé per effetto del solo variare degli enti con i quali è in relazione);

3) del potenziamento reciproco degli enti (ogni ente potenzia gli altri con i quali è in relazione, ed esso compare col grado del suo insieme potenziato).

La terminologia adoperata è diversa dalla precedente, ma si può facilmente raffrontare il significato delle proposizioni solo che non ci si voglia impuntare su di un criterio di esattezza, sempre opinabile.

Le equazioni logiche sono tanto avvicinabili a quelle matematiche che queste ultime sembrano essere comprese nelle precedenti come la più esplicita loro espressione.

Vien fatto un esempio: siano A e B due enti e sia $(A \sim B)^2$ il discorso, nel quale il simbolo \sim vale come somma logica, dallo sviluppo della formula secondo il processo matematico si avrà

$$(A \sim B)^2 = A^2 \sim B^2 \sim AB \sim BA$$

in cui A e B ne escono potenziati e completati dalle due relazioni discorsive AB e BA , che non sono tuttavia definibili senza un doppio tipo di operazione, una analitica o discorsiva, che si effettua per deduzione del discorso (chiamato D), e una sintetica o produttiva, che si effettua per intuizione logica dell'universo (chiamata U).

Siamo dunque di fronte ancora al precedente problema affrontato e impostato nella sua universalità con una chiarezza ed una esattezza magistrali. È tuttavia evidente che da tale formulazione non potranno nascere cervelli elettronici o macchine pseudopensanti, ma altri pensieri da menti umane.

La seconda proposizione, cioè quella che riguarda la variazione dell'ente in sé per il solo variare degli enti con i quali è in relazione, non sembra però completa. Secondo noi la variazione dell'ente in sé avviene anche per la impossibilità logica di mantenersi identico a se stesso: abbiamo parlato della modulazione conscia e inconscia sia dei pensieri che delle immagini.

Per tale ragione il potenziamento dell'ente avviene anche nella prima proposizione, cioè quella della risoluzione dell'ente in relazione, perchè appunto nella operazione di risoluzione esso viene avvicinato all'infinita variazione di se stesso rientrando nella terza proposizione, che assumerebbe dunque un valore uni-

versale, assorbendo le altre due, che si presentano solo come casi particolari semplificati.

La logica classica, fondata sul principio tautologico dei termini invarianti, permette di dedurre sillogicamente tra N termini indipendenti e costitutivi solo quanto era già contenuto nelle premesse; ciò accade anche nelle macchine pensanti. Le proprietà espresse dalle seguenti identità, in generale $a \cdot a = a$; $a \sim a = a$ per il prodotto e per la somma, non avevano corrispondenza nell'Algebra numerica, sebbene se ne facesse continuo uso nell'Algebra della logica.

Sembrava chiaro che l'oggetto esteriore non si sarebbe moltiplicato anche se lo avessimo pensato molte volte di seguito; di conseguenza neanche il concetto verrebbe a moltiplicarsi. Abbiamo già espresso il nostro dubbio che risulti possibile formulare sullo « stesso » oggetto lo « stesso » pensiero a diverse riprese facendone nascere ogni volta lo « stesso » concetto.

Questa sensazione d'irrepetibilità delle cose, del tutto moderna, pone in difficoltà l'accettazione delle relazioni dianzi segnate e riporta l'analisi cibernetica del pensiero ad un'approssimazione non scientifica, ma certo più umana, malgrado le sue affermazioni perentorie.

Dalle identità sopra espresse lo Jervons formulò nel 1883 la legge della semplicità o di tautologia e da questa mediante $a(a \sim b) = a$; $a \sim (ab) = a$ lo Schröder derivò la legge di assorbimento. Ora a noi sembra solo naturale che tali formule non siano possibili, ma esse preoccuparono lungamente gli studiosi.

Ne risultava infatti che, volendo applicare una logica di tale tipo al reale, ad una realtà che nel suo incessante muovere e trasformarsi presenta altri fatti e altre combinazioni, la espressione logico-formale diventasse inadeguata. Tutte le apparenti dimostrazioni alle due leggi si riducevano infatti ad una trasformazione descrittiva dei concetti ed apparivano logicamente insistenti.

Si era dunque costretti ad ammettere di trovarsi di fronte ad una concezione o ad una realtà extralogiche, dando origine alla teoria della irrazionalità del reale.

Per superare tale ostacolo occorre, e così fece il Pastore, scindere ogni combinazione logica, come s'è detto, nel discorso D , che rappresenta il sistema degli elementi posti sotto potenza, e nella forma U , nell'elemento formale, cioè, che ne determina il potenziamento. Con tale processo risultava possibile passare da un sistema di N enti costitutivi ad un altro di $N+1$ elemento e aumentare le combinazioni possibili degli enti logici col cambiamento di forma da un $D.U$ ad un altro $D.U$, dando origine ad un modello astratto, unico per tutte le scienze, capace di superare i limiti delle nostre possibili intuizioni empiriche, e arrivare quindi al pensiero del pensiero, come pensiero della relatività universale. Concetto molto convincente, ma che si dimostra ai limiti anch'esso inesatto o, per lo meno, incompleto; per tale via si dovrebbe giungere alla unicità del pensiero, con che essa verrebbe sbarrata automaticamente.

« Dobbiamo proporre la logica — afferma il Pastore — come attività produttrice dei due campi della realtà: il

campo tecnico e sistematico della necessità attuantesi per deduzione, e il campo ideologico della scelta attuantesi per intuizione ». Si può dunque ammettere la costituzione logica della realtà senza ammettere la sua costituzione razionalistica. Questo pensiero ci sembra attraente perchè apre infinite prospettive sia alla comprensione che alla elaborazione della realtà, limitando opportunamente le deprimenti affermazioni della cibernetica con una più ottimistica considerazione del pensiero umano.

Il Pastore afferma che quando sia completamente determinata la variazione dei sistemi di cui si conoscono gli enti, allora si può effettuare il passaggio da sistema a sistema, vale a dire la trasformazione. Secondo lui, cioè, si può passare da una deduzione D ad un'altra deduzione D solo quando si può passare dalla intuizione logica U alla intuizione logica di un nuovo U .

Una vera difficoltà è data dalla definizione della variazione dei sistemi, che sembra logicamente impossibile nella sua totalità, mentre appare reale, se contenuta entro certi limiti, in un « intorno », si potrebbe dire.

Nelle scienze, si sa, non facciamo mai un lavoro unicamente deduttivo; esso è sempre accompagnato da una operazione di ordine intuitivo appartenente alla logica in modo innegabile. Secondo noi, però, tale lavoro è pure accompagnato da un flusso di pensieri extralogici o fino ad ora incontrollabili, che non si possono trascurare.

« La espressione della proporzionalità tra i due D e D e i relativi U e U è una equazione logica generale che governa la trasformazione di tutti i sistemi possibili » ed afferma l'invariazione logica comune ai sistemi in trasformazione, conclude il Pastore. La grande importanza di tale affermazione appare subito; da essa nascerebbe anche la proposta che le equazioni logiche vengano usate come metodo d'investigazione teoretica e pratica, perchè, con la introduzione del potenziamento logico, si darebbe origine a risultati nuovi, mettendo in evidenza nuove relazioni.

Tutto ciò ha evidentemente valore quando venga individuato un « assoluto », operazione che sembra logicamente impossibile nel continuo fluire della realtà; tuttavia il Pastore abilmente stabilisce il concetto di trapasso da un $D.U$ ad un altro $D.U$ includendovi ogni possibile allargamento di universi, ma lasciando indefinite e inconcluse le zone perimetrali. L'assoluto logico, temperato dal dubbio umano, appare la meno cristallina, ma la più probabile delle soluzioni. D'altro canto si può anche intravedere l'inutilità di stabilire dei modelli astratti e perfetti quando se ne rende impossibile l'uso. La logica del potenziamento non ammette evidentemente queste flessioni umane, che ne comprometterebbero la struttura, e, malgrado il vivo interesse che può suscitare e la sua rigorosa impostazione teoretica, finisce per esaurirsi in se stessa, come abbiamo accennato, definendosi emanazione umana, come logica, ed extraumana nella sua intransigente perfezione.

« Costruire un concetto », dice Kant per la Matematica, « significa rappresentare (darstellen) la intuizione a priori che gli corrisponde ». Nella Fisica egli

pensa di costruire delle immagini a priori, chiamandone « schema » la regola.

Siamo vicini dunque al « pattern » cibernetic e alla impostazione della Gestalttheorie, che tuttavia si occupano di argomenti assai meno cristallini e più aderenti alla realtà umana.

Tale schema, infatti, non è il concetto dell'intelletto, né l'immagine empirica, ma appartiene al pensiero, cioè alla logica, e qui sta la reale differenza. Lo schema di Kant sarebbe dunque la intuizione della regola secondo cui può essere prodotto in oggetto intellettuale, un ente del discorso.

Secondo il Pastore altro è la immagine estetica, prodotto oggettivo dell'immaginazione, che vuol essere sensibilmente intuito quale sintesi figurata per se stante, altro è l'elemento formale che vuol essere intuito come regola secondo cui deve essere sviluppato il discorso.

Vediamo se potrebbe essere lecito conciliare gli estremi di questa distinzione. Per Kant il problema della origine della conoscenza supera da una parte il dommatismo razionalistico e dall'altra lo scetticismo ed afferma il principio della sintesi a priori, dove l'apriorità non significa né precedenza, né innatezza, ma spontaneità, originalità e indipendenza guidata dall'attività formale-formatrice dello spirito.

La teoretica delle sue forme trascendentali a priori ci offre lo spettacolo di un'attività incessantemente creatrice, ma incessantemente identica, senza che si possa sapere con quale diritto Kant abbia afferrato le forme uniche del potere sintetico produttore della realtà e ne abbia fissati i limiti per sempre. Ciò contrasta con quanto abbiamo qui sempre affermato e rasenta il dommatismo, poiché la conoscenza è un processo vivo e sempre perfezionabile; le stesse forme intuitive, suscettibili d'infinita varietà, sono comparabili col principio della infinita varietà dei modelli.

Il Pastore avvicina la forma intuitiva dell'universo (*U*) alla Gestalt senza subordinare la teoria della intuizione logica della Psicologia della forma, anzi creando una vera e propria logica della forma, e su questo certamente consentiamo. « L'intuizione della necessità dell'*U* sta alla deduzione della necessità della *D* come l'implicazione alla esplicazione. È una forma che può ammettere infinite varietà di forme ». Coestensiva alla funzione di scelta, una funzione *U* orienta e condiziona la possibilità del lavoro concettuale; essa non è vera che per la deduzione *D*, benché non sia da questa condizionata.

La collezione metodica dei fatti, ad esempio, siano essi risultati di esperienza fisica o mentale oppure relazioni vere e proprie — dice Pietro Mosso nell'opera citata — e il loro organamento razionale sistematico non possono avvenire senza una idea direttiva. La collezione dei fatti e l'idea si correggono vicendevolmente col progredire della raccolta, secondo un processo che supera, secondo noi, la retroazione, in quanto anche il programma ne risulta modificato, e può in certo modo confondersi con l'esperienza.

In seconda fase, con la legge, si spiegano e s'interpretano i fatti sistematicamente. Risulta possibile extrapolare dalla serie dei fatti collezionati una serie di altri fatti non sperimentati che ne determinano la autocorrezione e il passaggio da un *D.U* a un altro *D.U*. L'autocorrezione sembra cosa ovvia, sebbene risulti essenziale tale verifica; molto importante appare anche il principio di extrapolazione delle leggi.

La facoltà di extrapolare è la prima caratteristica della legge scientifica: dei quattro elementi — termine, discorso, universo e grado — di una realtà logica uno solo può variare indipendentemente dagli altri. L'universo di un discorso di *N* termini è la condizione generale dei termini e del discorso formando un vero e proprio spazio logico; in Architettura parleremmo di spazio esterno ed anche di ambiente condizionatore.

Il Mosso postilla ancora: « L'extralogico e il non-logico, rispetto ad una logica generale, costituiscono casi semplici distinti dal logico. La logica generale riassume quanto di originario possono presentare i corpi logici ed extralogici ». Questo allargamento dei confini della logica per includervi l'extralogico e il non logico, termini disturbatori e sfuggenti, sembra assurdo, perché con tale criterio ad un certo momento tutte le parole acquistano lo stesso significato e, se si giunge a tale universalità, si arriva anche alla inutilità di ogni ragionamento, di ogni definizione e si esaurisce anche ogni possibilità di discorso. « Allo stato della nostra conoscenza — prosegue — non possiamo ancora dire se il principio della contraddizione, quale ente logico, sia di natura strettamente sistematica o di natura logica generale ».

Saremmo portati a credere che il nostro concetto di dubbio possa apparentarsi efficacemente con questo, della contraddizione, senza tuttavia confondersi con esso.

Il Pastore fa osservare, a tale riguardo, che il principio della totale relatività delle formazioni logiche permetterebbe di dedurre che il principio di contraddizione è valido per il passaggio da un universo a un discorso e per lo sviluppo sistematico del discorso, non per la costruzione di termini-universo.

Nella indagine degli inizi, però, si allentano i legami della logica. Ogni sistema, osserva il Mosso, ha il suo inizio in un gruppo di eguaglianze, cioè di definizioni, che, come prima proposizione sistematica, non possono essere dimostrate con i mezzi del sistema, ma debbono essere ridotte, secondo la proprietà della propositio reciproca di Leibniz, ad una relazione tra idee primitive assunte come base del sistema medesimo.

Ecco la vera introduzione dell'extralogico nel logico. Se l'interno di un sistema può apparire coerente, i suoi limiti mostrano le incongruenze possibili mettendo in evidenza il perimetro della sua accettabilità.

Vien dunque lasciato sempre insoluto il criterio della scelta di un gruppo primitivo a preferenza di un altro, con la sola possibilità di constatazioni a posteriori della validità della scelta. Seppure

sia interessante il verificare se esista una libertà di scegliere, sembra ancor più importante sapere se la creazione degli enti logici rappresenti il frutto di una operazione logica, extralogica o non logica. Il Mosso ha riconosciuto che la libertà creativa non è arbitraria o caotica, ma, data la possibilità di sviluppare i sistemi con tecnica conforme alla logica, che essa è regolata da leggi, senza peraltro precisarle.

La giustificazione di una realtà extralogica dei principi con la logicità dei sistemi su di essi costruiti ha il sapore di un artificio dialettico per rendere comunque coerente una teoria; a noi sembrerebbe più umana l'ammissione di un margine dubitativo, evidentemente non immutabile, a tutta questa struttura, peraltro importantissima.

In linea generale crediamo sempre che commettano un peccato di orgoglio gli studiosi, quando vogliono dimostrare la perfezione e la universalità del loro pensiero; appare tanto più logico e convincente ammettere che ogni struttura spirituale organizzata dall'uomo, appunto per tale sua origine, abbia dei limiti reali, anche se indefiniti, e un numero indefinito e reale di punti opinabili!

Il Bergson a sua volta afferma che, rispetto alla teoria della conoscenza, esistono due maniere per conoscere una cosa, una intellettuale dichiarata superficiale, una intuitiva proclamata profonda. Nel secondo caso c'inseriamo nella cosa, anche se è in movimento, e coincidiamo con essa integralmente (intuizione, simpatia intellettuale, sintesi, coincidenza possessiva, ecc.).

Tuttavia il punto di vista astratto dell'intelletto e la conoscenza concreta della intuizione non sono così opposti fra loro, se si parte dalla cosa di per sé stante, cioè se si mantiene valido il postulato della invarianza della identità della cosa. Non si supera ancora in tutto il vecchio metodo della conoscenza.

Riflettendo, però, sulla origine del principio della invarianza della identità della cosa, che peraltro ha aumentato notevolmente la nostra potenza di conoscere e di agire, è facile rendersi conto che non mancano gli argomenti capaci d'infirmare questa primitiva orientazione intellettuale, sempre accettata senza critica, malgrado che gravi difficoltà siano da superare per giungere alla opinione opposta, cioè al principio della variazione relativa.

Il principio dello slancio vitale della intuizione ammette che tutta la realtà è mutabile, esso anzi vuol fondersi col flusso incessante delle cose.

Proprio su tale principio ci sembra che debba essere fondata la conferma della nostra conoscenza ponendo dei limiti variabili ai sistemi testé esposti, che hanno una grande ed effettiva possibilità strumentale solo se sono considerati come strutturali per « porzioni » di uno o più universi e non come espressione e definizione di una realtà totale. Si lascia così al dubbio quella parte di realtà, che al suo contatto subito si vitalizza, diventa dinamica e ricca generatrice di nuovi pensieri. Enrico Pellegrini