

Più numerose le copie e ognuna egualmente leggibile. Nuovi caratteri di nuovo accurato disegno; ne viene scrittura più nitida, più chiaro ordine alla pagina. La dattilografa sarà meno stanca alla fine della giornata; il carrello ritorna da sé, la mano non percuote la tastiera. L'intensità della battuta, grazie a un regolatore di pressione, si adegua senza aumento di fatica al numero voluto delle copie. Qui c'è un motore elettrico che lavora per voi.

Olivetti Lexikon Elettrica

Prezzo per contanti: L. 225.000

NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA

DEPURATORI ACQUE



ZEROLIT

IL DEPURATORE DI ACQUA

per lavorazioni e per caldaie più diffuso e perfetto

- DEPURATORI - FILTRI STERILIZZATORI DI ACQUA DEMINERALIZZATORI
- IMPIANTI PER PISCINE
- STERILIZZATORI A CLORO WALLACE & TIERNAN
- RESINE SCAMBIATRICI UNITED WATER SOFTENERS LTD. LONDRA

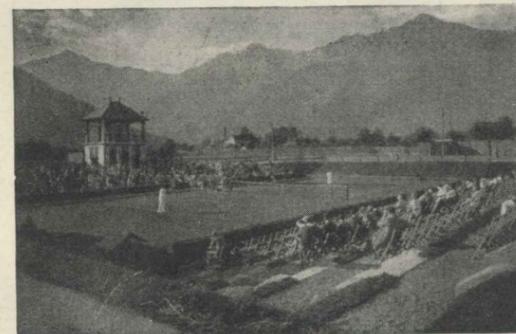
ING. CASTAGNETTI & C.

TORINO - VIA SACCHI N. 28 bis
OFFICINE IN TRINO VERCELLESE

MATERIALI PER CAMPI SPORTIVI

Ing. Guido De Bernardi

VIA MONTE DI PIETÀ 22 - TORINO - TEL. 521.568



MATERIALI PER CAMPI SPORTIVI

TENNIS IN TENNISOLITE

I terreni sportivi non ammettono improvvisazioni

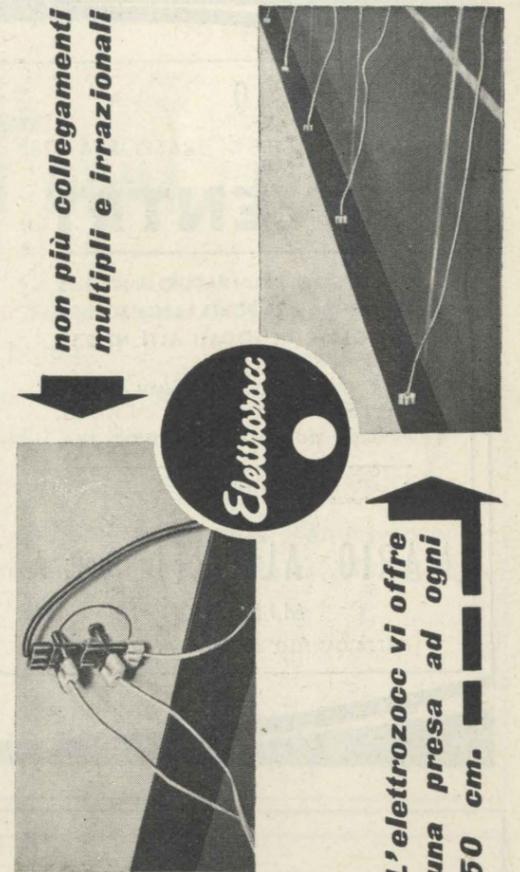
Nella progettazione dei lavori preparatori (movimenti di terra, bordini, recinzione metallica, impianto di innaffiamento ecc.) usufruite della nostra lunga esperienza valendovi della nostra assistenza e consulenza del tutto gratuita

Tutti i grandi Clubs italiani hanno i tennis in Tennisolite

PREVENTIVI GRATIS E SENZA IMPEGNO

NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA |

ECCO UN ASSILLANTE PROBLEMA FINALMENTE RISOLTO!



non più collegamenti multipli e irrazionali

Elettrozoc

L'elettrozoc vi offre una presa ad ogni 50 cm.

IN FORMA BRILLANTE E TECNICAMENTE PERFEZIONATA L'ELETTROZOC RISOLVE IL PROBLEMA DELLA ZOCCOLATURA IN QUALSIASI MATERIALE (LEGNO, MARMI, ARDESIA, ECC.) UNITAMENTE A QUELLO DELLE PRESE DI CORRENTE E DELLA DISTRIBUZIONE. PREVENTIVI SENZA IMPEGNO, SOTTOPONENDOCI PLANIMETRIE DEI LOCALI CON LE INDICAZIONI ATTINENTI (QUALITÀ DELLO ZOCCOLO, NUMERO DI PRESE, TIPI DI CIRCUITI ELETTRICI - A TENSIONE UNIFICATA, DIFFERENZIATA, CON MESSA A TERRA, ECC.).

SARIEN

Torino - Corso Re Umberto 42 - Tel. 527.131-2

Agenti nelle principali località

Spostamento rapido ed economico del vostro materiale?

AUTOCARRELLO

SOLLEVATORE - TRASPORTATORE

"COVENTRY"

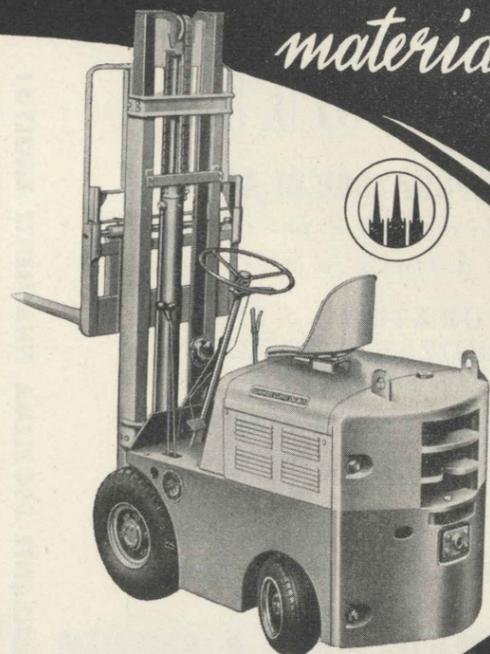
PUÒ OPERARE IN UN RAGGIO DI MT. 1.55
PASSARE DA UNA PORTA LARGA MT. 0.95
CIRCOLARE IN LOCALI ALTI MT. 2.10

PER IL MOVIMENTO DI QUALSIASI TIPO DI
MATERIALE CHIEDETE, SENZA ALCUN VOSTRO
IMPEGNO, INFORMAZIONI E LISTINI ALLA

Rappresentante esclusiva per l'Italia:

MARIO ALBERTI S. P. A.
MILANO

PIAZZA CASTELLO, 4 - TELEFONI: 875.841/2/3



Società Generale

MACCHINE EDILI - MILANO

- Impianti completi di frantumazione, lavaggio e selezione per industrie, cave, miniere.
- Vagli vibranti ad alta frequenza brevettato "Vibrogir".
- Rulli compressori a vibrazione - Costruzioni A.B.G., Bosingfeld - Lippe.
- Escavatori Menck e Hambrock - Amburgo.
- Caricatori, Ribaltabili (Dumper) "Muir-Hill" - Boydell & C. - Manchester.
- Pompe e Mulini originali "LINATEX".
- Rivestimenti antiabrasivi e anticorrosivi con gomma speciale "LINATEX".

Rappresentanti per il Piemonte:

Ingg. BERTOLAZZI & LEVI - C. Sommeiller 6 - Tel. 60.015 - Torino



DEFRIES - TITANO

Soc. p. Az.

*apparecchi
di
sollevamento*

MILANO - VIALE MONZA 14

★

Rappresentante

GOZZELLINO SEVERINO

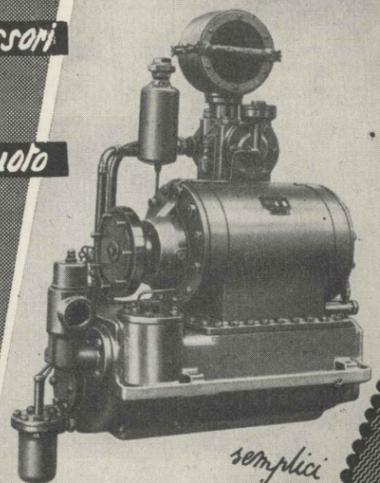
TORINO - VIA GROPPELLO 12 - TEL. 448.66

compressori

rotativi
pressione
da 0,5 a 8
a. i. m.

pompe a vuoto

vuoto sino
a 0,3 mm.
mercurio



*semplici
sicuri
economici*

**macchine
PNEUMOFORRE**

Torino

via sagra s. michele 66 - tel. 790.109 - 790.828

Industrie **ELFER** *s. p. a.* TORINO

REPARTO PROFONDO STAMPAGGIO

LAVORAZIONE A FREDDO E A CALDO - LAMIERA, FERRO, ACCIAIO, ALLUMINIO, OTTONE E INOX - COFANI, PARAFANGHI, SERBATOI PER AUTOVETTURE, CAMION E TRATTORI

REPARTO COSTRUZIONI METALLICHE

TRALICCI - CAPRIATE - SILOS - RINGHIERE - INFISSI RAZIONALI E SCATOLATI IN FERRO E METALLO - STRUTTURE PER MOTOCARRI - AUTOCARRI - TRATTORI

REPARTO AUTOACCESSORI

FARI - FILTRI ARIA, OLIO - SERBATOI OLIO - TAPPI - PARAU RTI PER AUTO

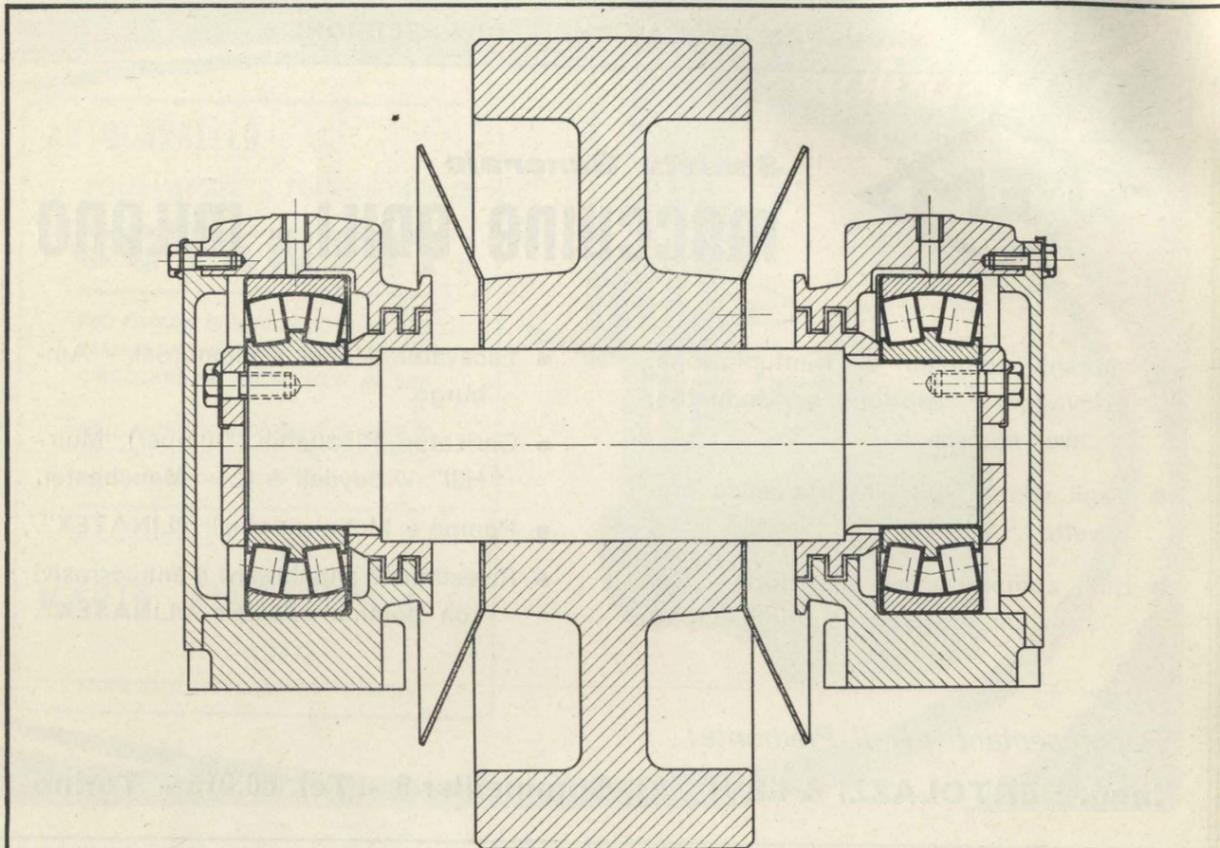
REPARTO CONTENITORI

BOMBOLE BREVETTATE SENZA SALDATURE PER GAS LIQUIDI USO CIVILE E AUTOTRAZIONE

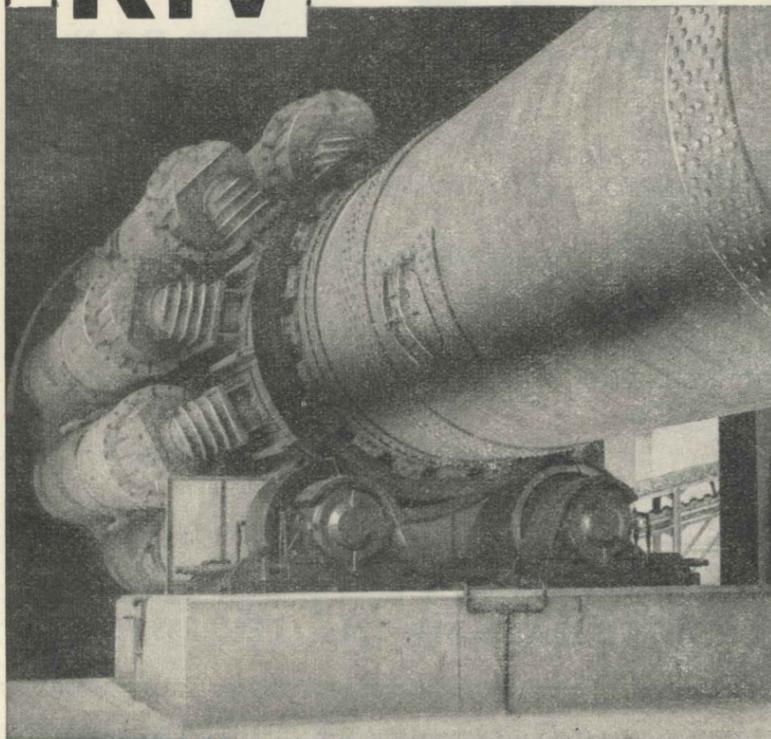
REPARTO MOTO

TELAJ - CAPOTTATURE - PARAFANGHI - SERBATOI PER MOTOCICLI E SCOOTERS

Stabilim. e Ammin. **VIA CARDINAL MASSAIA 124 - TEL. 299.966-7-8**



RIV



**RULLO PORTANTE
DI FORNO ROTATIVO PER CEMENTO**

Siccome i due supporti del rullo, che ha la fascia leggermente convessa per evitare fenomeni di avvitamento da parte dell'anello del forno, sono indipendenti, i cuscinetti relativi saranno a rulli a botte, orientabili. Essi devono essere ben protetti contro l'ingresso di polvere di cemento: a questo scopo, oltre alle protezioni a labirinto, il rullo è provvisto su ciascun lato di un disco centrifugatore che allontana la polvere stessa dai cuscinetti.

La velocità di rotazione del rullo è limitata e i cuscinetti perciò possono essere riempiti quasi totalmente di grasso lubrificante.

Tolleranze: Albero ISA k6
Alloggiamento ISA H8

**RIV CUSCINETTI
A ROTOLAMENTO**

BOSCO & C.

TORINO

FABBRICA ITALIANA APPARECCHI DI MISURA
E CONTROLLO IDRAULICO E TERMICO

controlli

misure

regolazioni

telecomandi

SCHEDARIO TECNICO

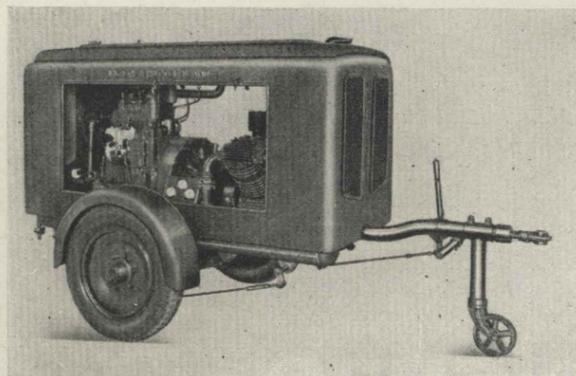
INDUSTRIE MECCANICHE E DI PRECISIONE

METRON

S. p. A. OFFICINE PIEMONTESE - TORINO

CONTACHILOMETRI - TACHIMETRI - OROLOGI -
MANOMETRI - INDICATORI LIVELLO BENZINA -
COMANDI INDICI DIREZIONE - MICROVITERIA E
DECOLTAGGIO

TORINO - Via Tirreno, 219 - Telefono 390.498



OVR OFFICINE GIUSEPPE PETTITI

CONSTRUZIONE CUSCINETTI A SFERE E REGGISPINTA

VENARIA (Torino) - Via Goito 2 - Telef. 559.056

Ing. ENEA MATTEI - MILANO

- COMPRESSORI FISSI
da 1 a 35 mc. al 1'
- MOTOCOMPRESSORI
da 1-2-4 Martelli
- UTENSILERIA PNEUMATICA

Rappr. per il Piemonte: Ingg. BERTOLAZZI e LEVI
TORINO - CORSO SOMMEILLER N. 6 - TELEFONO 60.015

MATERIALE SPECIALE PER EDILIZIA

La S.p.A. **Eternit** - Genova sarà lieta di inviare ai Sigg. Ingegneri ed Architetti che ne facciano richiesta, l'opuscolo di presentazione dei suoi nuovi "TUBI E RACCORDI DI AMIANTO-CEMENTO **Eternit** (m. d.) PER FOGNATURE STRADALI" che tanto successo hanno riscosso all'estero e ora stanno per venire immessi anche sul mercato italiano.

S. p. A. **Eternit** - Genova - Piazza della Vittoria 11 - Telefono 589.041-45

Filiale di Torino - Corso Re Umberto, 7 - Telefono 520.961

LASTRE PER COPERTURE E RIVESTIMENTI piane, ondulate,
alla romana, alla toscana, ecc.

TUBI PER FOGNATURE EDILIZIE E STRADALI

TUBI PER ACQUEDOTTI fino a 50 atm. di collaudo in stabilimento

CANNE PER FUMO E VENTILAZIONE

RECIPIENTI - VASI PER FIORI - MANUFATTI IN GENERE

VI NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA

MUTOR



trasportatori

- trasportatori
- a nastro
 - a rulli
 - a elementi metallici
(tipo Apron)
 - a piastre piane
 - a scosse
 - a carrelli
 - a coclea
- elevatori
- a tazze
 - a benna
 - a flusso continuo
- trasportatori aerei a catena
gru e carriponte



studio
e realizzazione della
meccanizzazione
dei trasporti interni
nelle industrie

meccanizzazione dei cicli produttivi
industriali - catene di montaggio

TORINO

CORSO BRAMANTE, 56

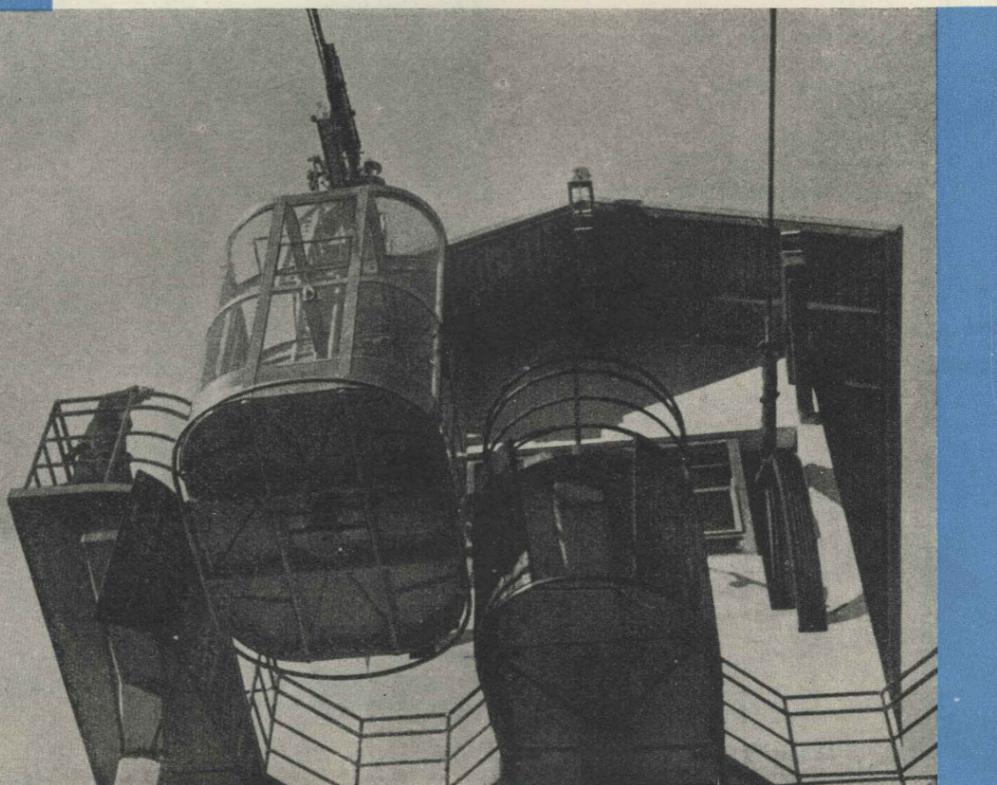
Tel. 693.767-8 • 697.057

OFFICINE METALLURGICHE

F. LLI MUSSO

IMPIANTI INDUSTRIALI

IMPIANTI SOLLEVAMENTO E TRASPORTO



FUNIVIE

GRU

TELEFERICHE

AGUDIO

CONCORSO per il marchio delle Cartiere Burgo

La Società per azioni Cartiere Burgo, avente come oggetto l'industria per la produzione della carta e della cellulosa, bandisce un concorso per il disegno di un marchio di fabbrica atto a individuare i suoi prodotti, nonché i documenti, gli atti della corrispondenza e simili.

Il marchio potrà essere costituito da una figurazione o da una sigla opportunamente caratterizzata o dalla combinazione di un segno figurativo con lettere dell'alfabeto.

Il marchio dovrà comunque presentare una semplicità di linee tale da consentirne l'agevole riproduzione mediante vernice e apposito mascherino su rotoli di carta, involucri della merce, recipienti, ecc. Il bozzetto del marchio, se eseguito ad uno o più colori, dovrà essere presentato anche con una riproduzione in nero.

Deve escludersi dal disegno ogni figurazione che rappresenti un albero di pino, di abete e piante analoghe, dato il larghissimo uso che vien fatto di tale emblema come distintivo dell'industria della carta e della cellulosa.

Al Concorso sono ammessi i residenti in Italia.

I bozzetti originali dovranno essere presentati sopra un supporto bianco avente le dimensioni di cm. 18 per cm. 24.

I bozzetti, anonimi e contrassegnati da un motto, accompagnati dal nome dell'autore e dal motto medesimo in busta chiusa (da aprirsi solamente dopo il responso della Commissione giudicatrice), dovranno pervenire in plico raccomandato alla Segreteria del Concorso, presso la sede delle Cartiere Burgo, in Torino, piazza Solferino 11, entro il 30 settembre 1957 e potranno anche essere consegnati direttamente presso la stessa Segreteria, che ne rilascerà ricevuta, entro le ore 18 del 30 settembre 1957.

Ogni concorrente ha facoltà di presentare separatamente bozzetti diversi.

Gli autori dei bozzetti accettano, con l'atto stesso della partecipazione al Concorso, tutte le clausole del presente bando.

Per particolari chiarimenti i concorrenti possono rivolgersi alla Segreteria del Concorso - piazza Solferino 11, Torino -, che terrà a loro disposizione una monografia e altri documenti illustrativi inerenti all'attività dell'industria.

La Commissione giudicatrice del Concorso è composta dai Signori:

Dott. Vittorio Favetti
Prof. Dott. Arch. Gino Levi Montalcini
Prof. Emilio Musso
Dott. Ing. Piero Bersano
Dott. Giovanni Ronca
Dott. Benedetto Dalmaistro

Le decisioni della Commissione giudicatrice sono inappellabili.

La proclamazione dei vincitori sarà fatta entro il 30 novembre 1957.

I premi verranno immediatamente corrisposti ai vincitori.

Secondo le decisioni della Commissione giudicatrice, verranno assegnati i seguenti premi:

1° premio L. 500.000;
2° premio L. 200.000;
3° premio L. 100.000.

I premi saranno indivisibili.

La Commissione giudicatrice, qualora non ritenesse di attribuire i premi stabiliti dal bando, avrà la facoltà di invitare gli autori dei bozzetti riconosciuti comunque meritevoli di considerazione a presentare una rielaborazione dei bozzetti medesimi per una seconda prova, suggerendo eventualmente essa stessa i criteri che dovranno osservarsi nell'apportare le modifiche.

La Società Cartiere Burgo con il conferimento dei premi acquista il diritto di disporre in modo pieno ed esclusivo dei bozzetti premiati e di fare apportare ad essi eventuali varianti ritenute opportune.

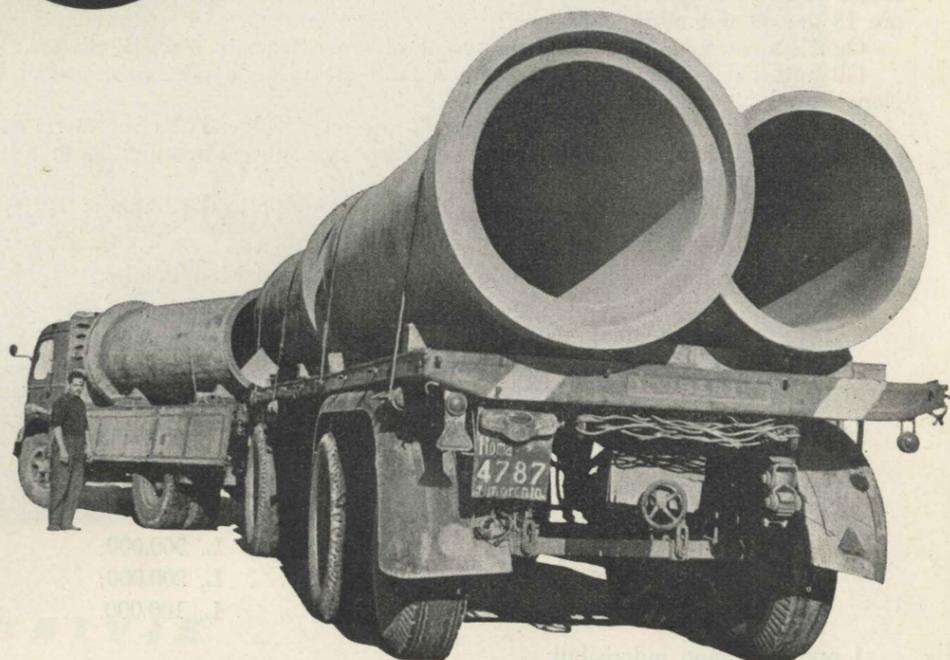
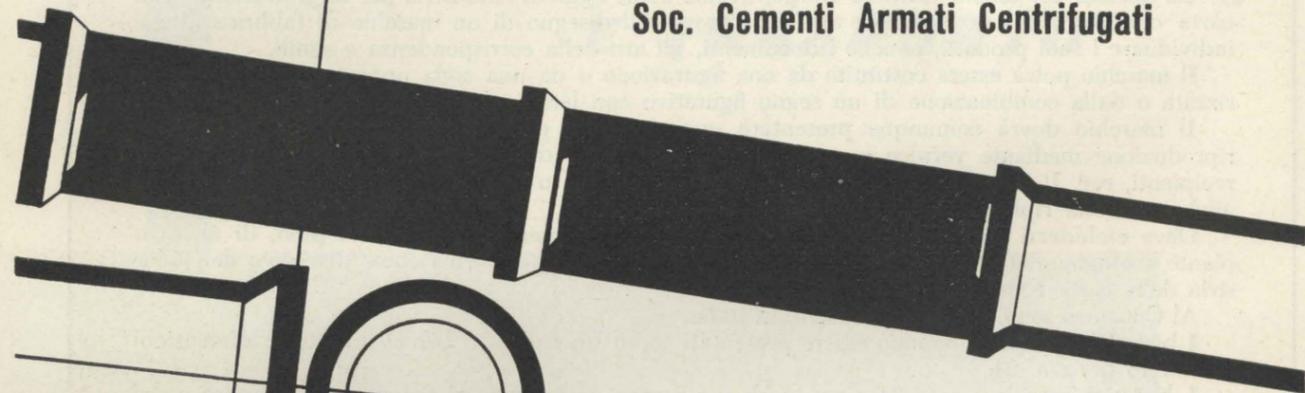
Il marchio prescelto per l'uso sarà registrato a sensi di legge.

I bozzetti non premiati dovranno essere ritirati a cura degli autori entro il 31 dicembre 1957 presso la sede delle Cartiere Burgo in Torino. I bozzetti non ritirati nel termine predetto saranno distrutti.



SCAC *

Soc. Cementi Armati Centrifugati

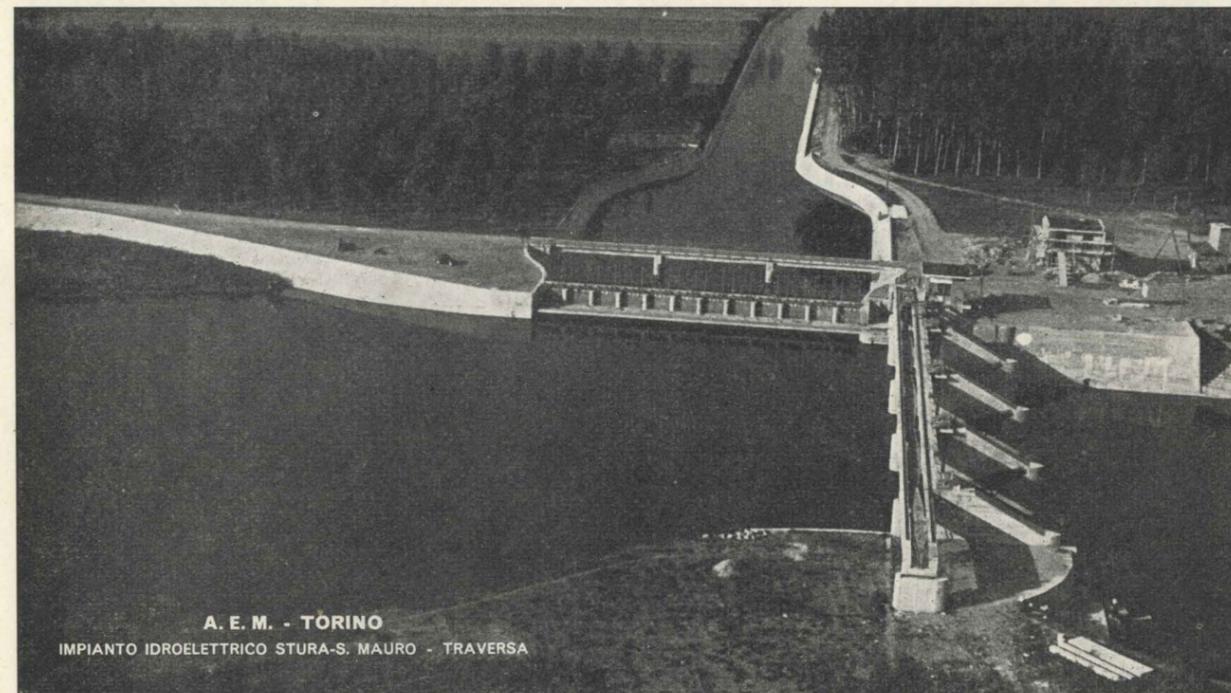


tubi SCAC precompressi

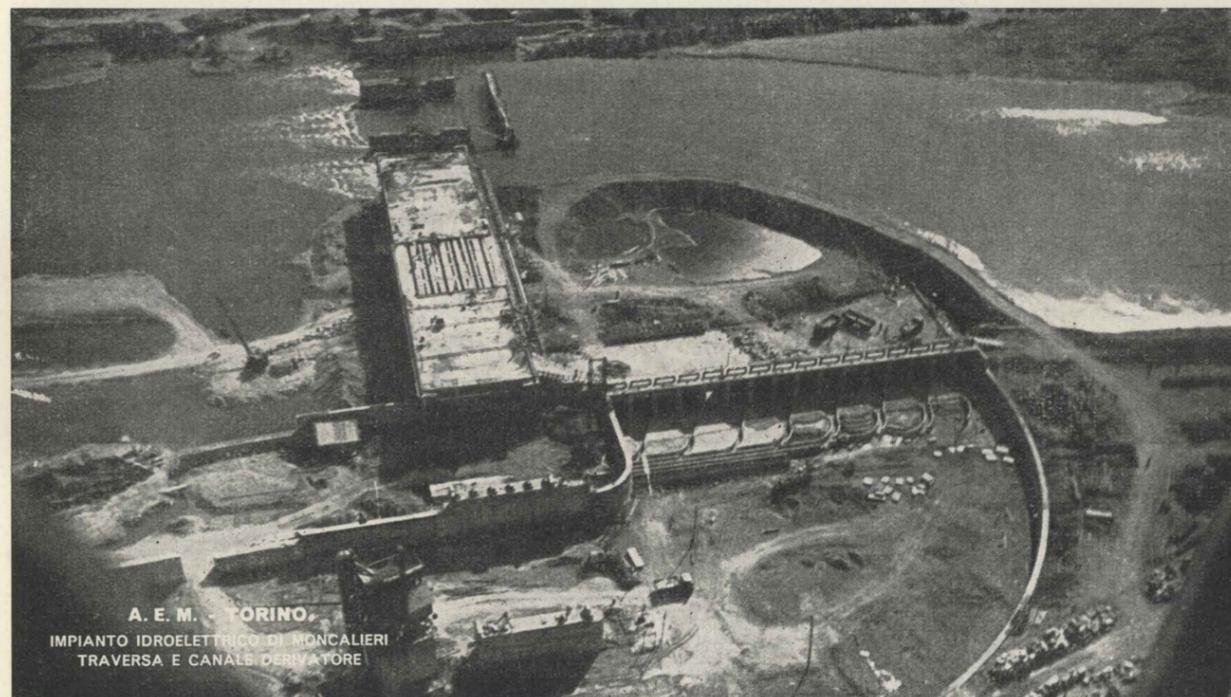


corso Italia, 3

Milano



A. E. M. - TORINO
IMPIANTO IDROELETTRICO STURA-S. MAURO - TRAVERSA



A. E. M. - TORINO
IMPIANTO IDROELETTRICO DI MONCALIERI
TRAVERSA E CANALE DERIVATORE

IMPRESA COSTRUZIONI

Ing. E. Recchi

TORINO - VIA ROMA 254 - TELEFONI: 49.330 - 45.324

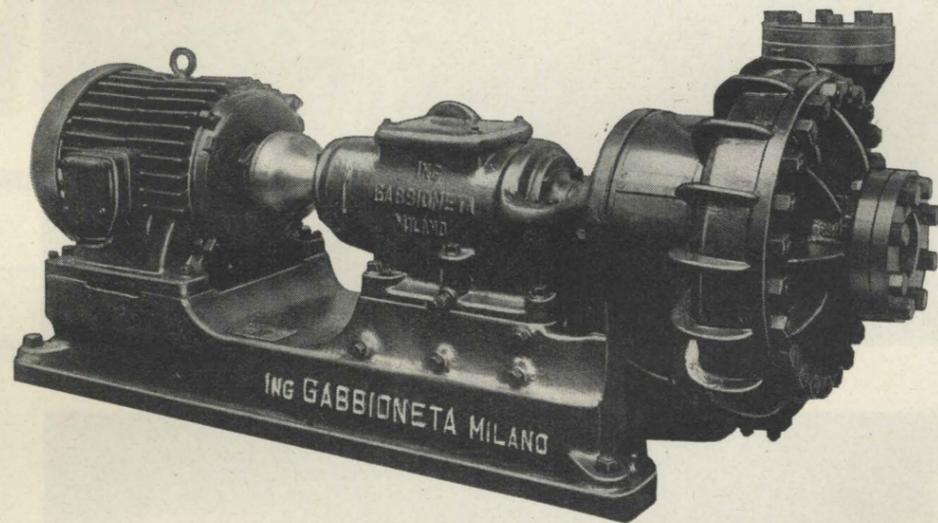
POMPE GABBIONETA

VIA PAISIELLO, 10
Telefoni 279.791 - 221.463

MILANO

Stabilimento a SESTO S. GIOVANNI
Tel. di Milano 289.221/222/223/894/249/535

MOSTRA DI POMPE A MILANO: IN VIA PAISIELLO, 10



ELETTROPOMPE

Pompe a cinghia e a cingoli per uso industriale, agricolo e domestico.

IMPIANTI COMPLETI

per estrarre, sollevare e distribuire ACQUA.

POMPE PER CIRCOLAZIONE DI ACQUA SURRISCALDATA.

POMPE IN ACCIAIO INOX E LEGHE SPECIALI PER L'INDUSTRIA CHIMICA.

AGITATORI, MESCOLATORI E MOLINI COLLOIDALI.

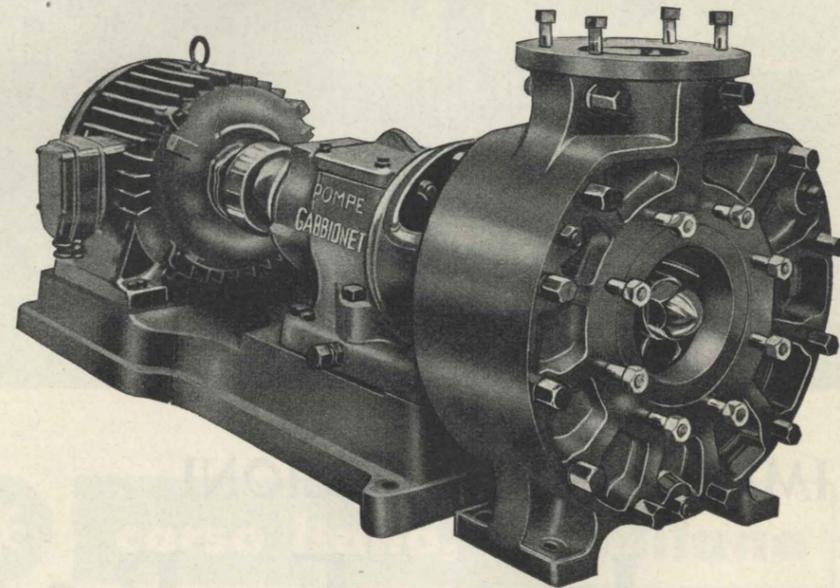
POMPE AD ELICA

per Esaurimenti, Irrigazioni e piccole Bonifiche.

Infissione,
Dissabbiamento. Spurgo e Arricchimento di POZZI.

QUADRI

ed Apparecchiature Elettriche.

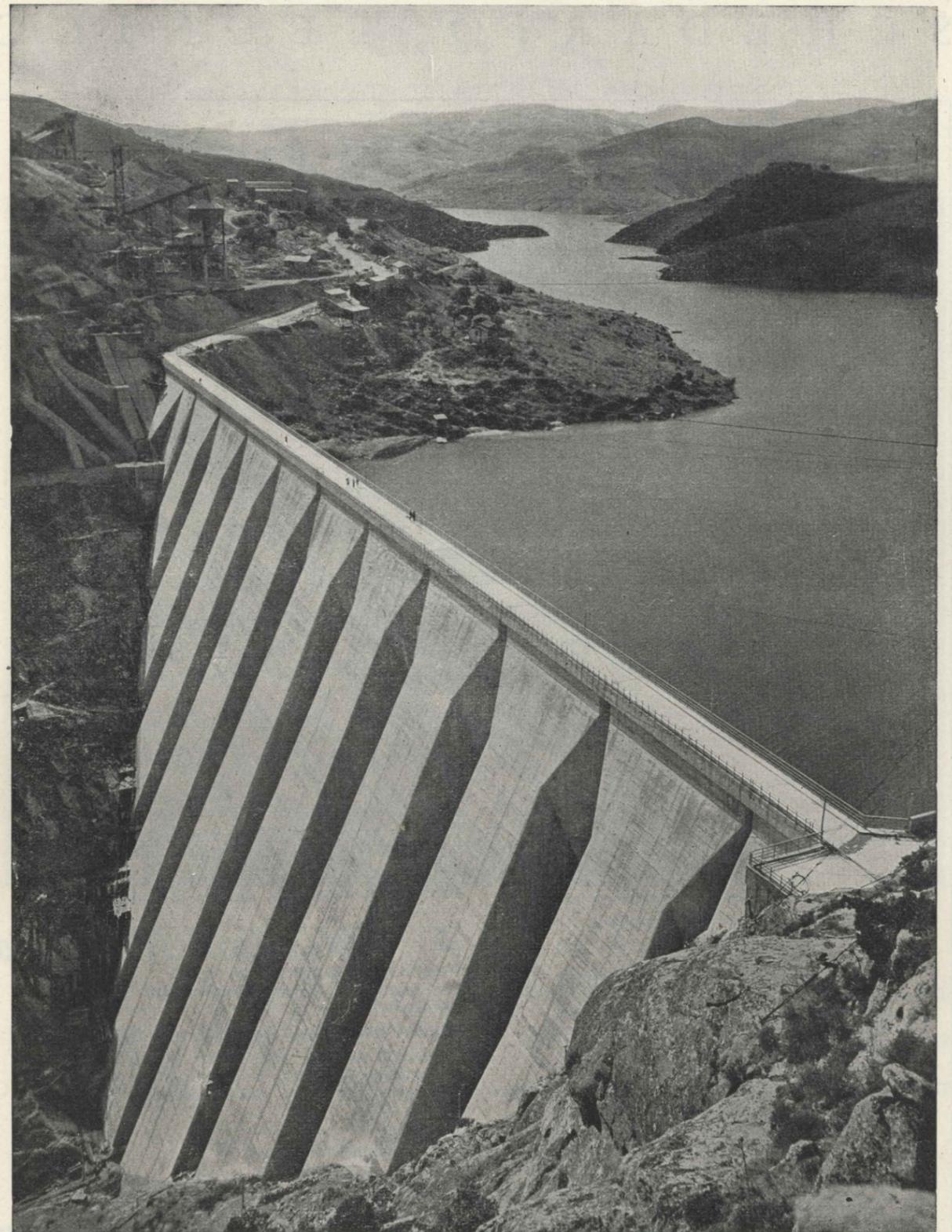


TUBI, ACCESSORI IDRAULICI E RACCORDI ESEMPLARI PER TUBAZIONI.

NOLEGGI DI MATERIALE OTTIMO, CON PIENA GARANZIA DI BUON FUNZIONAMENTO.

RIPARAZIONI COSCIENZIOSE.

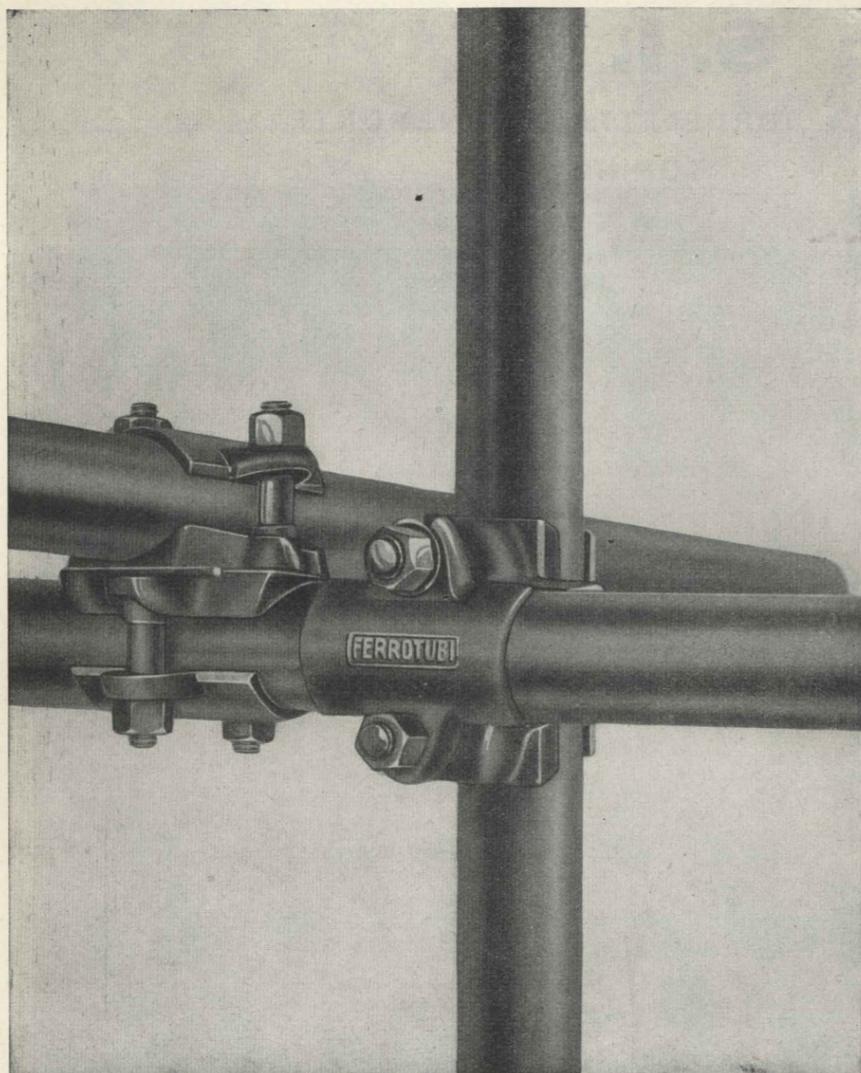
ENTE SICILIANO DI ELETTRICITA' - DIGA DI ANCIPA



COSTRUZIONI IDROELETTRICHE - STRADALI - FERROVIARIE - CIVILI - INDUSTRIALI - CEMENTI ARMATI

IMPRESA ING. **LODIGIANI** SOC. PER AZIONI

ROMA - PIACENZA - MILANO - Sede: MILANO Via Senato 8 - Telefono 790.733-4-5



N/S BREVETTI:

ITALIANI: N. 8101 E 8102
DEL 25 - 6 - 1946

SVIZZERI: N. 19506 DEL 30-1-1947
N. 19753 DEL 7-2-1947

STRUTTURE TUBOLARI SMONTABILI

MATERIALE OCCORRENTE PER I PONTEGGI TUBOLARI

Per un ponteggio normale di fabbrica, adatto per un sovraccarico di 200 Kg./mq. occorrono, per ogni mq. di facciata:

- Kg. 10 di tubi \varnothing 48,25 x 3,25 di spessore (peso Kg. 3,587 ml.)
- N. 1,35 giunti ortogonali (peso cad. Kg. 1,600)
- N. 0,25 spinotti (peso cad. Kg. 0,550)
- N. 0,06 basette (peso cad. Kg. 1,350)

FERROTUBI

SOCIETÀ PER AZIONI

Direzione
Ufficio Commerciale
Amministrazione

MILANO

VIA LANZONE, 4
Telefoni: 877.351/2/3/4

Stabilimento
Ufficio Tecnico
Deposito

MILANO

VIA MONTECUCCOLI, 20
Telefoni: 457.141/2/3

Agenzie con Deposito

ANCONA LA SPEZIA PIACENZA
BARI LIVORNO REGGIO EMILIA
BOLOGNA MODENA ROMA
CATANIA NAPOLI SESTRI LEVANTE
FIRENZE PADOVA TORINO
GENOVA PARMA VERONA

Uffici di Rappresentanza

BOLZANO
BRESCIA
COMO
REGGIO CALABRIA
TRIESTE
VARESE

Agenti per Torino e Piemonte **CASTIGLIONE & CASSANO** VIA ROSMINI 12 - TEL. 682.164

XVI NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA

IMPRESA UMBERTO GIROLA MILANO

DIGA DI PIAN TELESSIO di 380.000 mc. in costruzione per la
AZIENDA ELETTRICA MUNICIPALE DI TORINO

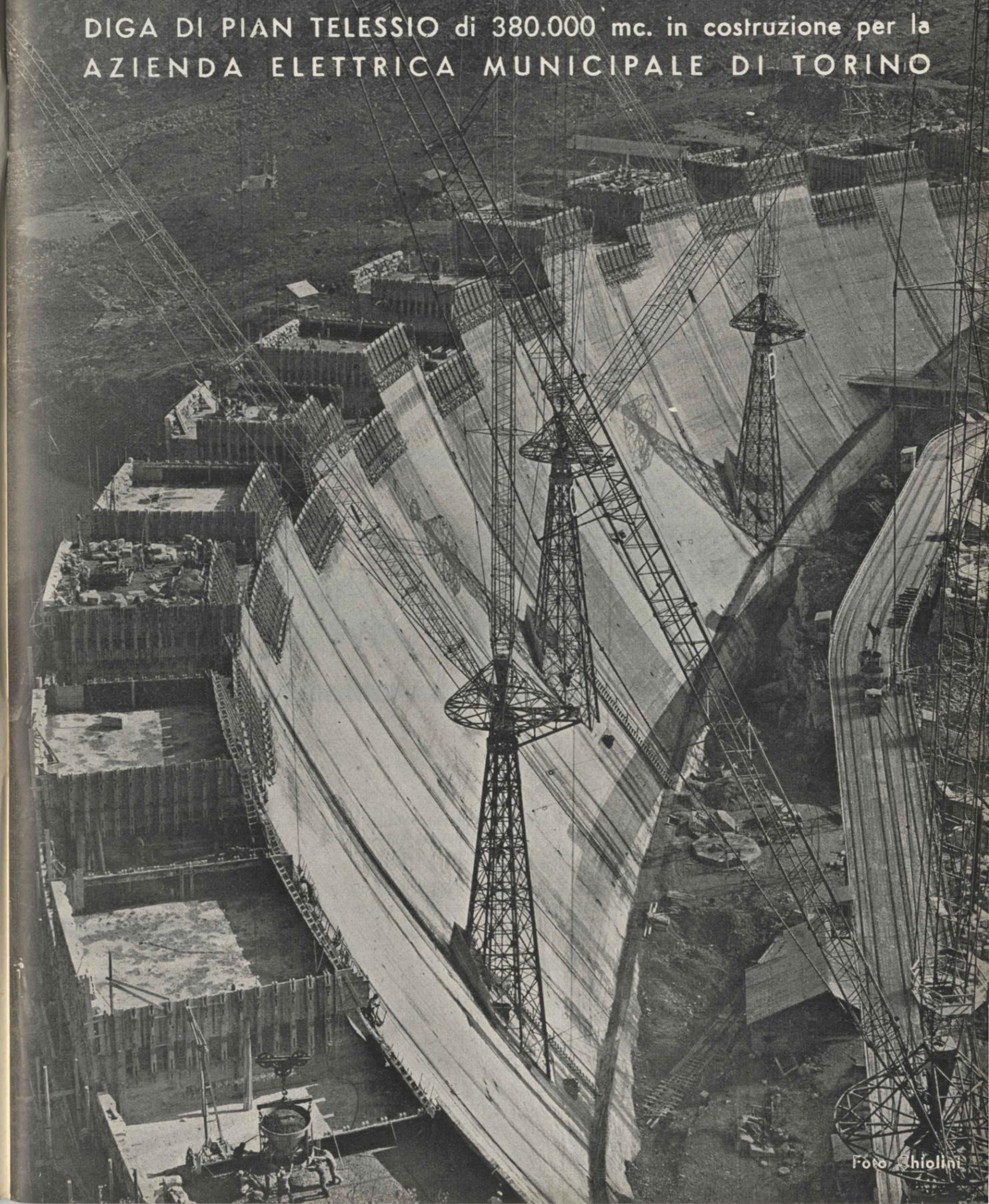


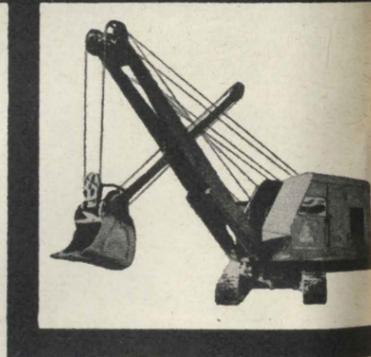
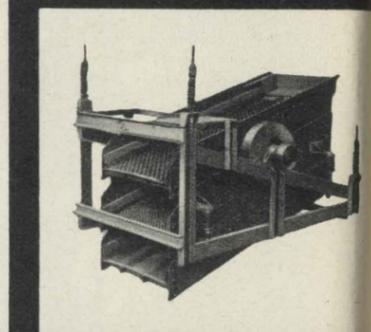
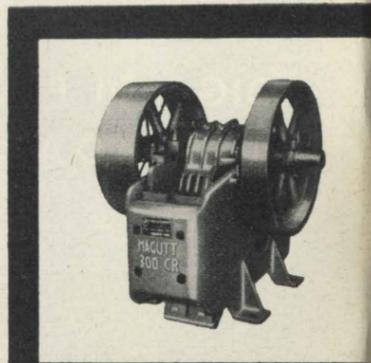
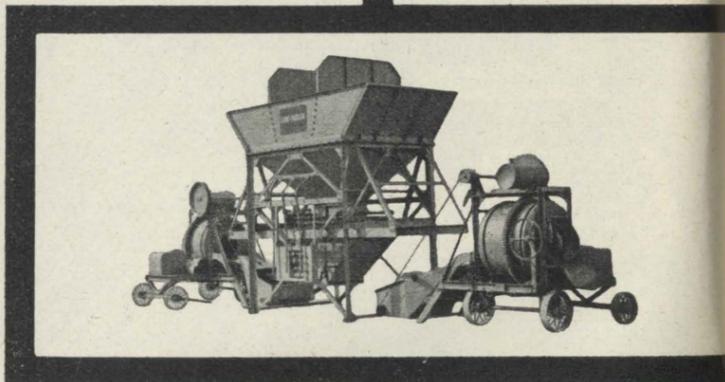
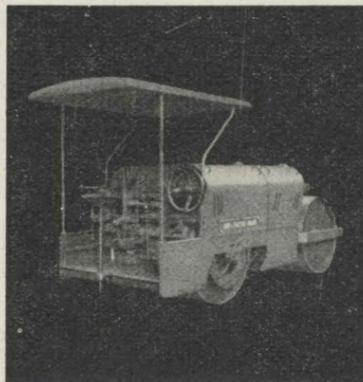
Foto Ghilini

SCHEDARIO TECNICO

Tutte le macchine

per costruzioni

per: **escavazione
frantumazione
vagliatura
lavatura
betonaggio
sollevamento e
trasporto, ecc.**



Loro e Parisini S.p.A.

Milano Via Savona 129
telef. 470.101 - 470.134 (15 linee)
Napoli Via S. Maria del Pianto
Roma Via Lega Lombarda 34 - 36

Agenzia di Torino:

Sig. **GIOVANNI SCEVOLA** - Corso Galileo Ferraris 77 - Telefono 580.090

XVIII NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA

ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867
(Aderente all'Associazione italiana della Stampa tecnica, scientifica e periodica)



**SOCIETÀ
PER AZIONI
UNIONE
CEMENTI**

**MARCHINO
& C.**

≡

**CASALE
MONFERRATO**

NUOVA SERIE . ANNO XI . N. 5 . MAGGIO 1957

SOMMARIO

RASSEGNA TECNICA

Da pag. 174 a pag. 216 del presente fascicolo sono raccolte memorie di partecipanti al V° Congresso di Idraulica attinenti alle MISURE IDRAULICHE. Altri argomenti trattati nel Congresso saranno pubblicati in giugno (I MODELLI) e in settembre (ARGOMENTI VARI).

G. VALLAURI - Misura meccanica del lavoro d'isteresi del ferro in un campo rotante	pag. 165
G. BENINI - Ricerche sperimentali sui molinelli eseguite in vasca di taratura	» 174
L. BREZZI - Prelevatore idrometrico a fessura verticale	» 182
S. DANNECKER - Indagine statistica sui risultati di tarature venturimetriche sperimentali effettuate su impianti del gruppo «SME» dal 1939 al 1956	» 186
G. MACHNE - Misure di portata attraverso il rilievo delle sovrappressioni che si generano nelle curve con deviazione di 90°	» 196
F. PADERI - Misuratore di portata a chiamata di sbocco	» 203
G. PEZZOLI - Un metodo per la misura delle velocità superficiali in laboratorio	» 207
M. TONINI - Misure di portata con il metodo chimico al bicromato di soda	» 213

COMITATO DI REDAZIONE - *Direttore:* Cavallari-Murat Augusto - *Membri:* Bono Gaudenzio; Brunetti Mario; Codegone Cesare; Cravero Roberto; Dardanelli Giorgio; Pozzo Ugo; Laguidara Rocco; Oglietti Giovanni; Riccio Giorgio; Zignoli Vittorio - *Segretario di Redazione:* Carmagnola Piero.

COMITATO AMMINISTRATIVO - *Direttore:* Lapidari Giacomo - *Membri:* Barbero Francesco; Dezzutti Mario; Goffi Achille; Mosso Nicola; Russo-Frattasi Alberto.

Redazione, Amministrazione, Abbonamenti, Pubblicità
PALAZZO CARIGNANO - TORINO - PIAZZA CARIGNANO 5 - TEL. 46.975
Pubblicazione mensile inviata gratuitamente ai Soci della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino. — Per i non Soci: abbonamento annuo L. 3.500. — Prezzo del presente fascicolo L. 500.

SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE — GRUPPO III

NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA XIX

STRAMAX

Radiazione diffusa a minima inerzia
Riscaldamento - Raffrescamento
Protezione acustica
(sistema brevettato)

Organizzazione Internazionale,
con propri Laboratori Scientifici
per studi e ricerche a Zurigo
e con Sedi in Austria,
Francia, Germania,
Italia, Inghilterra, Olanda,
Spagna e Svizzera



LICENZIATARIO:
PIEMONTE E LAZIO

Studio ed esecuzioni impianti:

g. SARTORIO ef.®
IMPIANTI TERMICI - RADIAZIONE - CONDIZIONAMENTO
VENTILAZIONE - IDRAULICI SANITARI

TORINO
SEDE: C. RACCONIGI, 26
TELEF. 70.149 - 73.649
C. C. I. A. TORINO N. 51921

ROMA
FILIALE: VIA ARDEA, 18
TELEFONO N. 754.787
C. C. I. A. ROMA N. 28401

"SHUNT"

SISTEMA BREVETTATO
CANNE - COMIGNOLI
PER LA VENTILAZIONE
DEGLI AMBIENTI

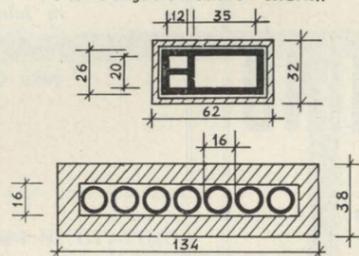
La canna "SHUNT" sostituisce le canne singole di ogni appartamento che occupano troppo spazio nelle moderne case di abitazione.

Con le canne "SHUNT" ogni appartamento di ogni piano ha la propria canna di ventilazione che si estende solo per l'altezza del piano stesso, e sbocca in un condotto generale per tutta l'altezza del fabbricato. Tali canne sono formate da elementi prefabbricati.

Le dimensioni delle canne "SHUNT" sono tali da assicurare il tiraggio per case di qualunque altezza. Alla sommità delle canne "SHUNT" viene posto un comignolo ad alto potere di aspirazione.

Ogni caso costituisce un problema speciale, e una soluzione soddisfacente è possibile solo se bene considerata da competenti.

Confronto tra le dimensioni del sistema a canne singole e il sistema "SHUNT".

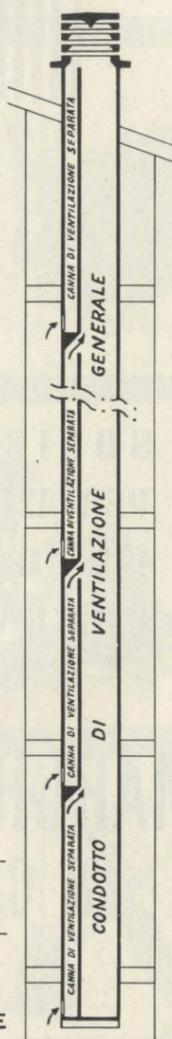


CONCESSIONARIO
ESCLUSIVO PER IL PIEMONTE
(PROVINCIA DI NOVARA ESCLUSA)

g. SARTORIO ef.®
IMPIANTI TERMICI - RADIAZIONE - CONDIZIONAMENTO
VENTILAZIONE - IDRAULICI SANITARI

TORINO
SEDE: C. RACCONIGI, 26
TELEF. 70.149 - 73.649
C. C. I. A. TORINO N. 51921

ROMA
FILIALE: VIA ARDEA, 18
TELEFONO N. 754.787
C. C. I. A. ROMA N. 28401



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

Misura meccanica del lavoro d'isteresi del ferro in un campo rotante

GIANCARLO VALLAURI nel 1953, in occasione del settantesimo anno d'età, ebbe su « Atti e Rassegna Tecnica » l'omaggio dei discepoli che a Lui dedicarono gli articoli preparati per un fascicolo su argomenti relativi all'Elettrotecnica. Oggi, che l'insigne Maestro è mancato, si ritiene utile onorarne la memoria ripubblicando un lavoro che, tra i più significativi della Sua attività di ricercatore, intitolato « Misura meccanica del lavoro d'isteresi del ferro in un campo rotante ». Premettiamo le conclusioni che Egli ha raccolto in poche righe in uno studio, di poco precedente, dal titolo « Magnetizzazione del ferro per effetto di due campi ortogonali », in quanto riteniamo che per una conoscenza migliore dell'opera del Vallauri in quell'epoca, i due lavori possono ritenersi inscindibili. « L'intendimento che ha guidato il corso delle presenti ricerche è stato quello di ricondurre l'origine di una determinata categoria di fenomeni magnetici ed in ispecie dei fenomeni di magnetizzazione sotto l'azione di due campi ortogonali, ai fenomeni fondamentali meglio noti di isteresi in un campo alternativo ed in un campo rotante. Nello svolgimento delle ricerche è stato possibile completare metodicamente lo studio dei primi ed ampliare la conoscenza dei secondi, in quanto principalmente si è di nuovo constatata la completa distinzione fra le due forme tipiche di isteresi, e si è rilevata l'esistenza dell'angolo di ritorno o più in generale la tendenza, che ha la magnetizzazione a tornare indietro di un certo angolo, quando cessi l'azione che l'ha fatta ruotare stabilmente in un determinato senso ».

1. Generalità⁽¹⁾. — Il fenomeno della dissipazione di energia che accompagna la magnetizzazione variabile nei materiali ferro-magnetici, denominato dall'Ewing *isteresi*⁽²⁾, fu per lungo tempo studiato solo nel caso della magnetizzazione alternativa, variabile cioè in grandezza ed in senso, ma non in direzione. Per la magnetizzazione alternativa il Warburg⁽³⁾ dimostrò che il lavoro di isteresi per unità di volume e per ciclo è misurato dall'area del ciclo medesimo, disegnato in coordinate: intensità di magnetizzazione I e campo H ; e lo Stein-

metz⁽⁴⁾ propose una formula empirica, secondo la quale, nel caso di cicli simmetrici, cioè per H variabile fra due massimi eguali ed opposti, il lavoro di isteresi w_a per unità di volume e per ciclo è legato al valor massimo dell'induzione B dalla relazione

$$w_a = \eta B^{1,6},$$

ove η si può ritenere, entro limiti non molto ampi, una costante caratteristica del materiale cui si riferisce.

Nel campo delle applicazioni elettrotecniche, la magnetizzazione alternativa si verifica, ad esempio, nei nuclei dei trasformatori statici; laddove nelle macchine quelle parti, che sono soggette a magnetizzazione variabile, si trovano d'ordinario nella successione del tempo sotto l'azione di campi magnetici, dei quali varia

non solo la grandezza, ma anche la direzione. Lo studio dell'isteresi in questo caso diviene assai più complesso⁽⁵⁾ ed è opportuno intraprenderlo sperimentalmente dall'esame di un caso tipico, che si può metter di fronte a quello dell'isteresi in un campo alternativo, e cioè dallo studio dell'isteresi in un campo rotante, del quale resti immutata la grandezza.

L'esistenza dell'isteresi in un campo rotante si deve rivelare mediante la presenza di una coppia, che tende ad opporsi alla rotazione del campo, e questa coppia si produce se nella rotazione il vettore I resta indietro rispetto al vettore H di un *angolo di ritardo* ϵ . La coppia per unità di volume è allora $H I \sin \epsilon$, il lavoro per uno spostamento elementare

⁽¹⁾ Il presente studio è stato eseguito nel laboratorio di Elettrotecnica della R. Scuola Politecnica di Napoli. L'autore sente il dovere di rinnovare qui l'espressione della sua viva gratitudine al prof. Luigi Lombardi (ristampa dello studio del 1909, comparso sugli Atti dell'Associazione Elettrotecnica Italiana, volume XIII, fasc. 1).

⁽²⁾ *Proceeding of the Royal Society*, N. 216, anno 1881, pag. 22.

⁽³⁾ *Annalen der Physik* XIII, anno 1881, pag. 140.

⁽⁴⁾ *Elektrotechnische Zeitschrift*, anno 1891, p. 62, anno 1892, pagg. 43, 55, 136, 519 e seg.

⁽⁵⁾ Per le relazioni analitiche fondamentali, vedi: G. VALLAURI, *Magnetizzazione del ferro per effetto di due campi ortogonali*. Atti dell'A.E.I., volume XIII, anno 1909, fasc. 1, § 7.

$d a$ è $d w_r = H I \sin \varepsilon d a$, quello per un ciclo

$$w_r = \int_0^{2\pi} H I \sin \varepsilon d a,$$

e se il materiale è isotropo, essendo H costante debbono risultare costanti anche I ed ε , onde

$$w_r = 2 \pi H I \sin \varepsilon.$$

2. *Cenno su l'ipotesi molecolare dell'Ewing.* — La possibilità, che l'isteresi in un campo rotante segua una legge affatto diversa da quella dell'isteresi in un campo alternativo⁽⁶⁾, fu suggerita dall'ipotesi dell'Ewing⁽⁷⁾. Secondo essa ogni molecola di un materiale ferromagnetico è un magnete permanente, i cui movimenti non sono ostacolati da alcuna causa, all'infuori delle azioni newtoniane esercitate dagli altri magneti elementari. Per effetto di tali azioni reciproche le molecole si orientano così da formare aggruppamenti o catene molecolari, dotate di una certa stabilità.

In base a questa ipotesi, che, meglio delle precedenti di Poisson, di Weber e di Maxwell, può servire a una interpretazione dei fenomeni del magnetismo, le molecole, sotto l'azione di un campo esterno, sono sollecitate ad orientarsi nella direzione di questo, sia inflettendosi dalla loro posizione iniziale, senza rompere i primitivi aggruppamenti (movimenti reversibili o elastici), sia rompendo in varia misura, a seconda dell'intensità del campo, le catene molecolari preesistenti e disponendosi secondo nuovi aggruppamenti (movimenti irreversibili o anelastici). Percorrendo un ciclo chiuso di variazione, il lavoro compiuto per provocare questa seconda specie di movimenti non è più recuperato e dà luogo al fenomeno dell'isteresi.

Una delle conseguenze più notevoli dell'ipotesi dell'Ewing, e

⁽⁶⁾ Si dirà in seguito più brevemente, ma meno correttamente, isteresi alternativa e isteresi rotante anche in luogo dei rispettivi lavori di isteresi.

⁽⁷⁾ EWING, *Contributions to the Molecular Theory of Induced Magnetism. Proceedings Roy. Soc.*, vol. 47, anno 1890, pag. 342.

che fu dapprima considerata come un'obiezione contro di essa, è la scomparsa dell'isteresi nei campi rotanti di grandissima intensità. Infatti, mentre nella magnetizzazione alternativa, scendendo il campo H da un valor massimo a zero, le molecole divengono man mano libere di ricostituire i loro vari aggruppamenti, che il campo risalendo da zero al valor massimo opposto dovrà scindere; nella magnetizzazione rotante, se il campo è così intenso da rendere trascurabili le azioni reciproche dei magneti elementari, questi saranno tutti e in ogni istante diretti secondo il campo e nessun aggruppamento molecolare potrà formarsi, così che non sarà necessario spendere del lavoro per far ruotare la magnetizzazione. In altri termini, essendo tutti i magneti elementari diretti secondo H , la direzione di I coinciderà con quella di H e l'angolo di ritardo ε sarà nullo e nullo perciò il lavoro di isteresi $w_r = 2 \pi H I \sin \varepsilon$.

3. *Riassunto delle precedenti ricerche.* — La prima conferma sperimentale di queste previsioni teoriche si trova nei lavori di F. G. Baily⁽⁸⁾ il quale adopera un piccolo fascio di dischetti di ferro o di acciaio di diametro cm. 1,75, immersi nel campo di un elettromagnete rotante. La coppia totale, tendente a far ruotare l'indotto, si misura per riflessione dalla torsione di una molla e, trascurata la coppia di attrito nelle punte dell'asse, si detrae quella dovuta alle correnti parassite calcolandola in base ad una ipotetica distribuzione del flusso nei dischetti. Le velocità di rotazione, comprese tra 1000 e 3400 giri al l', non possono essere minori perchè la coppia diventa instabile. L'induzione è misurata balisticamente con una spirale avvolta su l'indotto e raggiunge al massimo il valore $B = 20000$. L'isteresi

⁽⁸⁾ F. G. BAILY, *Hysteresis of iron and steel in a rotating magnetic field. The Electrician*, vol. 33, anno 1894, pag. 516 e *Philosophical Transactions of the Roy. Soc. of London*, vol. 187 A, anno 1896, pag. 715.

alternativa è misurata per le piccole induzioni balisticamente e per le grandi con metodo calorimetrico, sopra saggi dello stesso materiale. Le due forme di isteresi risultano diverse: quella alternativa sempre crescente fino a divenir costante per la saturazione e pari a quasi 30000 erg (per cm.³ e per ciclo) per il ferro, quella rotante maggiore della prima fino a B poco oltre 15000, presentante un massimo di 15000 erg per $B = 16000$ circa e poi rapidamente decrescente.

A. Grau ed R. Hiecke⁽⁹⁾, sperimentando con un apparecchio simile a quello del Baily su un solo dischetto, segato da una sbarra di ferro e spingendosi fino a induzioni di poco inferiori a 16000, riscontrano nell'isteresi rotante un massimo (compreso tra 11000 e 12000 erg) verso $B = 13000$. Senza confrontare sperimentalmente questi risultati con l'isteresi alternativa, gli A. ritengono in base a considerazioni teoriche che: 1) la massima isteresi rotante si abbia per un valore della magnetizzazione pari a $\frac{2}{\pi}$ volte

quello di saturazione; 2) la massima isteresi rotante sia eguale alla massima isteresi alternativa, 3) per basse induzioni l'isteresi rotante sia doppia dell'isteresi alternativa.

R. Beattie e R. C. Clinker⁽¹⁰⁾ operando per le maggiori induzioni su un solo dischetto, sospeso a un filo di torsione nel campo di un elettromagnete rotante, e separando la coppia dovuta alle correnti parassite mediante misure a diversa velocità, trovano per il ferro un lavoro di isteresi rotante massimo (di poco superiore a 13000 erg) per $B = 16000$ circa e discendente fino a zero per $B =$

⁽⁹⁾ A. GRAU und R. HIECKE, *Magnetisierung nach zwei Dimensionen und Hysteresis im Drehfelde. Sitzungsberichte der K. Akademie der Wissenschaften in Wien*, Abtheilung II, anno 1896, pag. 933. Per l'esame delle misure statiche descritte in questo lavoro, vedi: G. VALLAURI, loc. cit.

⁽¹⁰⁾ R. BEATTIE and R. C. CLINKER, *Magnetic hysteresis in a rotating magnetic field. The Electrician*, vol. 37, anno 1896, pag. 723.

$= 24000$. Le induzioni sono misurate balisticamente; manca un confronto diretto con l'isteresi alternativa. R. Beattie⁽¹¹⁾ misura con eguale procedimento l'isteresi rotante nel nickel e nel cobalto, ricavando delle curve che presentano un andamento analogo a quello del ferro.

F. F. Martens⁽¹²⁾ facendo ruotare dei dischetti orizzontali nel campo terrestre e misurando magnetometricamente I ed ε , rileva che per campi deboli ε è tanto maggiore quanto più dolce il ferro e va crescendo con la magnetizzazione.

A. Dina⁽¹³⁾ sperimenta su un anello di ferro costituito da una bobina di 2635 spire di filo di diametro cm. 0,0235, e mediante avvolgimenti fatti sopra di esso misura l'isteresi alternativa sia staticamente, sia con corrente monofase. L'isteresi in un campo rotante è misurata con ingegnosi artifici mediante il riscaldamento dell'anello, fatto ruotare entro il campo induttore di una dinamo. Le misure, estese fra $B = 7000$ e $B = 18000$ danno per l'isteresi alternativa con corrente monofase valori sempre maggiori che per quella misurata staticamente. L'isteresi rotante risulta maggiore di quella alternativa statica fino a $B = 10000$ e inferiore per valori maggiori, ma le differenze non raggiungono il 10%. Concordi qualitativamente con quelli del Dina, in quanto non constatano differenze notevoli fra le varie forme di isteresi, sono anche i risultati delle ricerche di L. Bloch riportati all'Arnold⁽¹⁴⁾.

⁽¹¹⁾ R. BEATTIE, *The Hysteresis of nickel and cobalt in a rotating magnetic field. Philosophical Magazine & Journal of Science*, serie VI, vol. I, anno 1901, pag. 642.

⁽¹²⁾ F. F. MARTENS, *Die magnetische Induction horizontaler, im Erdfelde rotirender Scheiben. Annalen der Physik*, neue Folge, vol. 60, anno 1897 I, pag. 61.

⁽¹³⁾ Rendiconti dell'Istituto Lombardo di scienze e lettere, 29 marzo e 5 aprile 1900 e 18 luglio 1901. Anche: A. DINA, *Ueber rotirende Hysteresis. Elektrotechnische Zeitschrift*, anno 1902, pag. 41.

⁽¹⁴⁾ E. ARNOLD, *Die Gleichstrommaschine. J. SPRINGER*, Berlin, 1906, 2ª ed., vol. I, pag. 632.

M. Schenkel⁽¹⁵⁾ fa ruotare un fascetto di dischi di diametro cm. 3,5 nel campo fisso di un elettromagnete. La rotazione avviene su due assi concentrici, comandati l'uno mediante puleggia e fune (con un dinamometro di trasmissione), l'altro mediante una sospensione bifilare. Facendo ruotare gli assi in senso concorde o in senso opposto, si possono, dalle coppie misurate, eliminare quelle di attrito, e con esperimenti a varie velocità anche quelle dovute alle correnti parassite. L'isteresi apparisce massima per una induzione (misurata balisticamente), di $B = 16000$ e per $B = 23000$ è ridotta a circa l'8%. Manca un confronto con l'isteresi alternativa dello stesso materiale.

F. Bauwens⁽¹⁶⁾, determinando in una dinamo per corrente continua, funzionante a vuoto, la posizione delle spazzole, per la quale fra esse non vi è differenza di potenziale, rileva l'angolo di spostamento dell'asse magnetico dovuto alla rotazione e constata che esso, passando B da 1000 a 11000 va continuamente diminuendo. La dipendenza di tale angolo di spostamento dalla velocità risulta incerta per l'azione delle correnti parassite. L'A. studia qualitativamente lo stesso fenomeno anche con gli spettri magnetici.

W. Wecken⁽¹⁷⁾, sperimentando sopra anelli di acciaio, di ferro laminato e di ghisa, misura l'isteresi alternativa nel modo ordinario e quella rotante facendoli girare nell'interno di un solenoide intorno al loro asse, disposto perpendicolarmente a quello del solenoide. L'isteresi rotante apparisce superiore a quella alternativa e la differenza va crescendo

⁽¹⁵⁾ M. SCHENKEL, *Beitrag zur Kenntniss des Verhaltens der rotirenden Hysteresis. Elektrotechnische Zeitschrift*, anno 1902, pag. 429.

⁽¹⁶⁾ F. BAUWENS, *Die Winkel-Verschiebung der magnetischen Axe im stromlosen Anker bei Rotation. Doctor-Dissertation. H. KAATZER*, Aachen, 1904.

⁽¹⁷⁾ W. WECKEN, *Vergleichende Untersuchungen über lineare und drehende Hysteresis. Doctor-Dissertation*, Braunschweig, 1905 (*Beiblätter der Annalen der Physik*, vol. 30, anno 1906, pag. 701).

con l'intensità della magnetizzazione, ma non oltrepassa nei limiti delle esperienze il 20%.

I. Hermann⁽¹⁸⁾ adopera un fascio di anelli di lamiera per dinamo con un avvolgimento collocato in una serie di fori, aperti lungo un cerchio egualmente distante dall'interno e dall'esterno. Mandando in questo avvolgimento una corrente monofase, si sottopone il ferro ad una magnetizzazione alternativa, con una distribuzione

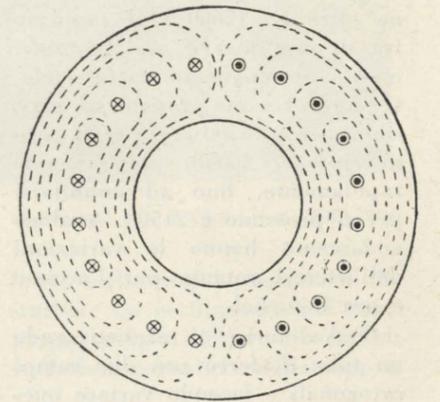


Fig. 1

dell'induzione analoga a quella in fig. 1, mentre con un sistema di correnti polifasi si ottiene di far ruotare quella distribuzione di induzione, in modo che resti approssimativamente la stessa in ogni istante. Le due forme di isteresi son misurate col wattometro e non si riscontrano differenze sensibili fra di esse.

P. Weiss e V. Planer⁽¹⁹⁾ sperimentano con un campo rotante orizzontale creato da un elettromagnete di grande potenza e misurano, mediante la torsione di una molla, la coppia prodotta su di un dischetto di ferro dolce di diametro cm. 2 e volume cm.³ 0,0454. La misura della magnetizzazione è fatta col metodo bali-

⁽¹⁸⁾ J. HERMANN, *Versuche über die Eisenarbeit im Dreh- und Wechselfelde. Elektrotechnische Zeitschrift*, anno 1905, pag. 747.

J. HERMANN, *Versuche über Eisenverluste im Dreh- und Wechselfelde. Verlag von Ferdinand Enke*, Stuttgart, 1909.

⁽¹⁹⁾ P. WEISS et V. PLANER, *Hystèresé dans les champs tournants. Journal de Physique*, serie 4ª, tomo VII, anno 1908, pag. 5.

stico, non per inversione della corrente magnetizzante o per rotazione di 180° , ma per introduzione ed estrazione del saggio dalla spirulina connessa con il galvanometro balistico. L'isteresi rotante si misura ponendo il disco orizzontale, quella alternativa ponendolo verticale. La coppia dovuta alle correnti parassite si calcola dalla differenza dei valori ottenuti alle velocità di 90 e di 160 giri al l'. L'isteresi rotante risulta maggiore di quella alternativa fino a oltre $B=15000$ e il rapporto fra di esse non è mai costante, ma va continuamente decrescendo. L'isteresi rotante presenta un massimo (circa 16400 erg) per B poco inferiore a 16000, poi discende rapidamente, fino ad annullarsi per B prossimo a 21500. Analoghi andamenti hanno le variazioni dell'isteresi rotante per l'acciaio e per il nickel.

G. Vallauri⁽²⁰⁾, magnetizzando un tubo di ferro con due campi ortogonali e facendo variare questi così da creare un campo rotante, calcola dai valori di I e di ϵ dedotti coi metodi statici il lavoro di isteresi rotante $w_r = \int_0^{2\pi} H I \sin \epsilon d\alpha$, e lo confronta con quello di isteresi alternativa, misurato col metodo balistico. Le due forme di isteresi risultano diverse; il loro rapporto va continuamente decrescendo; l'isteresi rotante presenta un massimo di circa 17000 erg per $B=13200$.

4. *Esame delle precedenti ricerche.* — Dall'esame delle precedenti ricerche si rileva che, tralasciando per ora quelle del Martens e del Bauwens, che non si occupano particolarmente dell'isteresi, le altre si possono dividere in due gruppi, a seconda che non provano una sostanziale differenza fra l'isteresi alternativa a quella rotante, o che constatano invece per le due forme di isteresi due leggi di variazione affatto diverse, ed in ispecie per l'isteresi rotante la presenza di un massimo, oltre il quale essa decresce.

⁽²⁰⁾ Loc. cit.

Al primo gruppo di sperimentatori appartengono il Bloch, il Dina, il Wecken e l'Hermann; ma esaminando le loro ricerche si può obiettare, che in esse il campo rotante conserva bensì la sua figura, così che la distribuzione del flusso risulta in ogni istante la stessa, ma per ogni molecola il campo rotante varia continuamente di grandezza e la magnetizzazione radiale è in genere affatto diversa da quella tangenziale⁽²¹⁾. Ne segue che l'isteresi misurata è un misto di isteresi alternativa e di isteresi rotante, e dalla forma e dalle dimensioni dei saggi si può desumere come la prima debba, in generale, prevalere e condurre quindi ad una legge di variazioni poco diversa da quella della pura isteresi alternativa.

Al secondo gruppo di sperimentatori appartengono tutti quelli che hanno ricondotto la determinazione dell'isteresi rotante alla misura meccanica di una coppia. I risultati sono qui, nelle linee generali, concordi, pur presentando nei dettagli sensibili discrepanze. Anche a queste misure possono muoversi alcune obiezioni, che sembrano però meno sostanziali. Infatti l'uso di piccolissime quantità di ferro impone misure assai delicate di coppia, rende difficile la determinazione delle dimensioni del saggio e molto incerta la misura dell'induzione B ⁽²²⁾. Inoltre la leggerezza degli equipaggi mobili impone di ricorrere a velocità notevoli per avere una coppia stabile, e quindi di calcolare e detrarre grandi coppie di correnti parassite, ciò che rende incerti i valori ottenuti per l'isteresi alle grandi saturazioni. A questa obiezione sfuggono le misure del Weiss e del Planer, nelle quali però è malsicuro il metodo adot-

⁽²¹⁾ Ad esempio, negli orli interni degli anelli del Dina e del Wecken e in ambedue gli orli degli anelli dell'Hermann, la magnetizzazione radiale è pressochè nulla e quella tangenziale raggiunge come altrove il valor massimo, onde si ha quivi pura isteresi alternativa.

⁽²²⁾ Ciò è da R. Beattie e da R. C. Clinker (loc. cit.) apertamente dichiarato.

tato per la misura dell'isteresi alternativa, in quanto che nella posizione del disco normale al campo (nonostante il grande aumento del coefficiente di smagnetizzazione) la magnetizzazione trasversale del ferro non è certo nulla, così che si ha in parte magnetizzazione rotante; e l'inconveniente si accentua nei campi più intensi, là dove il confronto fra le due forme di isteresi diventa più interessante. A talune ricerche si può rimproverare l'assenza di un confronto con l'isteresi alternativa ricavata per lo stesso materiale. Infine in tutte (principalmente per la piccolezza dei saggi) è mancato un mezzo per accertarsi della uniforme distribuzione dell'induzione nel saggio, ossia dell'esistenza di un campo rotante puro (cioè di intensità costante) per ogni molecola. E nella maggior parte dei casi, per la notevole distanza fra le espansioni polari e il saggio (adottata per diminuire le attrazioni) è lecito supporre un andamento dell'induzione come in figura 2, per effetto del quale la magnetizzazione lungo il diametro $A A'$, normale al campo, è più intensa che in tutte le altre posizioni, così che per una molecola

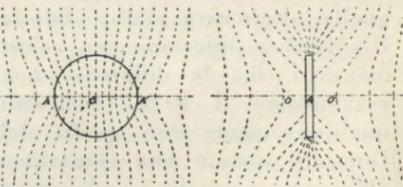


Fig. 2

qualunque, risultando la magnetizzazione tangenziale maggiore di quella radiale, il campo rotante non può più ritenersi di grandezza invariabile.

La questione dell'isteresi rotante apparisce dunque come ancora controversa o almeno degna di studio. E questo può essere condotto variamente, a seconda che si tentino vie diverse da quelle finora battute, come si è fatto nella precedente ricerca sopra citata; o che si ripetano le misure meccaniche di coppia mirando ad evitare le obiezioni ora formulate,

come si è cercato di fare nel presente studio; o che infine si ricorra a misure analoghe a quelle del Dina, del Wecken o dell'Hermann, modificando le condizioni sperimentali così da avvicinarsi più da presso al caso della pura isteresi rotante.

5. *Materiale per la misura meccanica del lavoro di isteresi rotante.* — Il campo rotante viene mantenuto da un elettromagnete appositamente costruito e montato di sbalzo (in luogo della puleggia) su l'asse di un motore a corrente continua da 1,5 HP eccitato in derivazione. Il circuito magnetico consta di una traversa di base di sezione cm.^2 37,8, di due nuclei cilindrici di cm.^2 28,3 e di due espansioni polari di cm.^2 21,0, connesse da due traverse di bronzo (fig. 3)⁽²³⁾. Il circuito magnetizzante, che fa capo a due anelli su cui strisciano due spazzole, consta di 1210 spire di filo da mm.^2 6. Il motore è alimentato da una batteria di accumulatori per evitare ogni oscillazione nella velocità e questa è misurata dalla differenza di potenziale a vuoto di una piccola macchina dinamo-elettrica con eccitazione rigorosamente costante e connessa con puleggia e fune al motore (fig. 4); la taratura, per riportare a valori della velocità le letture fatte al millivoltmetro (opportunitamente zavorrato), si esegue contando i giri sia direttamente, sia col contagiri, ed è ripetuta di frequente nel corso delle misure.

Le espansioni polari terminano con profilo circolare e con spessore opportunamente rastremato, abbracciando uno spazio cilindrico di diametro cm. 8,15 e di spessore cm. 2,10, in questo possono venir collocati dei piccoli indotti lunghi cm. 2,00 e costituiti ciascuno da una cinquantina di dischetti di lamiera di ferro per dinamo, di vari diametri fra cm. 7,5 e cm. 8,0. I dischi hanno al

⁽²³⁾ Quanto alle forme e alle dimensioni più razionali per gli elettromagneti: G. ZINDEL, *Weiss' Elektromagnete für Laboratoriumszwecke*, E. T. Z., anno 1909, pag. 446.

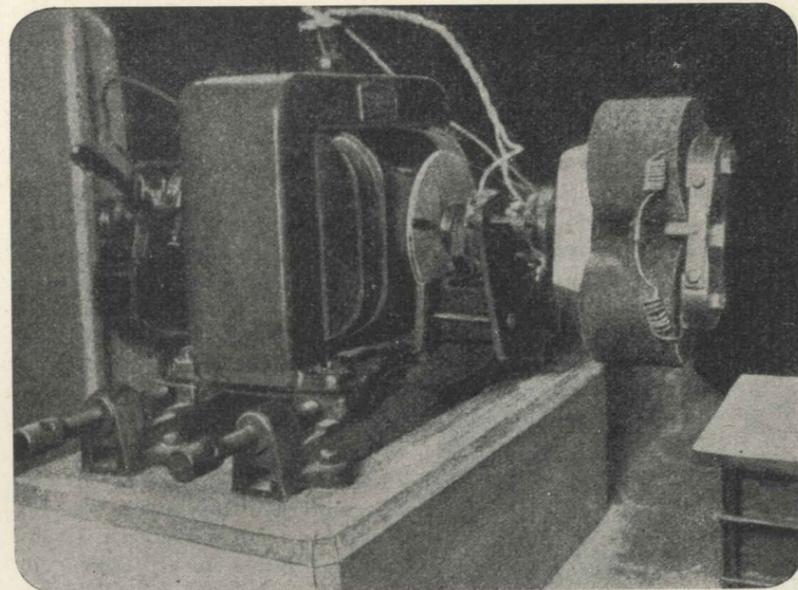


Fig. 3 (tratto dagli Atti dell'A.E.I., vol. XIII, 1909)

centro un piccolo foro di cm. 0,5 per montarli su adatte asticelle di acciaio, sono isolati con carta uno dall'altro e hanno uno spessore (ricavato dalle dimensioni superficiali e dal peso specifico di alcuni saggi) di mm. 0,332.

Impiegandosi una quantità relativamente considerevole di ferro (circa 70 cm.^3) si è potuto misurare direttamente la coppia con un apparecchio e bilancia (fig. 5), al quale si è data un'inerzia notevole, affinché le misure, anche a ve-

locità molto piccole, non siano disturbate da oscillazioni dell'equipaggio mobile, dovute ad eventuali variazioni periodiche della coppia.

6. *Prove e misure preliminari.* — L'equipaggio mobile della bilancia, montato dapprima su due punte verticali, poi fra due punte orizzontali (come è rappresentato in fig. 5), non ha potuto essere impiegato in queste condizioni, tranne che per i valori più deboli dell'induzione, poichè al cre-

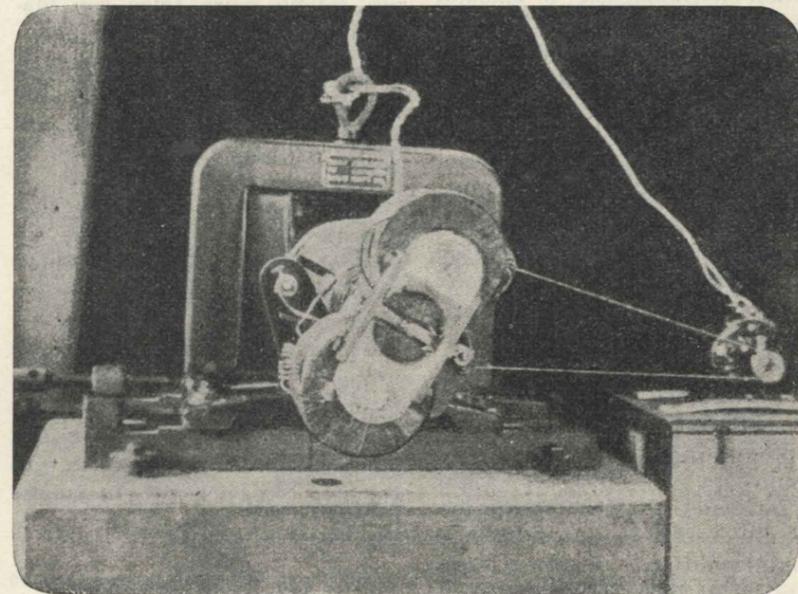


Fig. 4 (tratto dagli Atti dell'A.E.I., vol. XIII, 1909)

scere di questa, nonostante la più accurata centratura delle espansioni polari e dell'indotto, si sviluppano delle attrazioni, alle quali quei sistemi di montaggio non possono rigidamente resistere. Perciò, pur adottando un interfero abbastanza largo con l'impiego definitivo di dischi di diametro cm. 7,6, è stato necessario di far poggiare l'equipaggio mo-

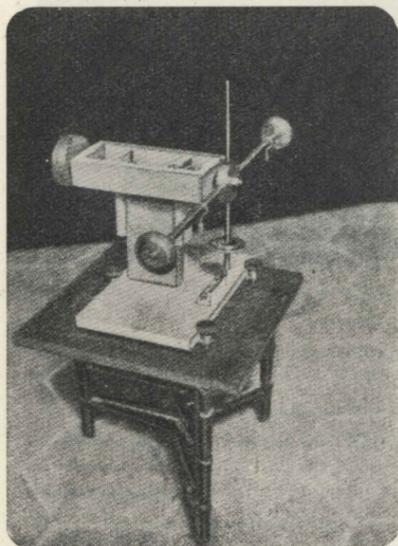


Fig. 5

(tratto dagli Atti dell'A.E.I., vol. XIII, 1909)

bile non su punte, ma su due piccoli perni, dei quali quello rivolto al motore penetra in un cuscinetto, interposto fra i due rocchetti dell'elettromagnete e affidato, mediante un pezzo ad U, alle traverse di bronzo che connettono le espansioni polari (fig. 3 e 4). Si ha in questo modo, per effetto del peso dell'equipaggio mobile, accresciuto dalle attrazioni magnetiche, una coppia d'attrito abbastanza grande, che deve esser sottratta dalla coppia totale misurata, e ciò annulla in gran parte la maggiore esattezza conseguita limitando a valori assai deboli le coppie di correnti parassite, grazie all'impiego di velocità molto moderate.

La misura dei valori che assume l'induzione nel ferro del saggio, in funzione della corrente magnetizzante, è fatta balisticamente con un galvanometro di grande sensibilità e di lunga durata di oscillazione, connesso con una spirale

di filo sottile, avvolta su l'indotto in un piano diametrale. Le deviazioni del galvanometro risultano le stesse sia che si proceda per inversione della corrente magnetizzante, sia che si faccia rapidamente ruotare di 180° l'induttore o l'indotto. Solo per i campi più intensi si hanno nel primo caso deviazioni leggermente minori, per il tempo non trascurabile assorbito dalla variazione di flusso nel circuito magnetico, che è per la massima parte di ferro massiccio. La taratura del galvanometro balistico si fa con un campione di induzione mutua Siemens, di cui il secondario è stabilmente inserito nel circuito galvanometrico. Il calcolo dell'induzione si esegue in base alla sezione effettiva di ferro e all'area abbracciata dalla spirale, tenendo conto del flusso che passa nell'aria (24).

L'indotto adoperato in questa ed in tutte le successive misure consta di 46 dischi di diametro cm. 7,6 aventi un peso netto di ferro gr. 536,6 e un volume di cm.³ 69,05.

Sempre a causa delle dimensioni considerevoli del saggio, si è potuto, per la prima volta in queste misure, accertarsi della uniforme distribuzione del flusso nel ferro e perciò della maggiore o minore approssimazione con cui si riproduce il fenomeno dell'isteresi rotante pura (cioè con magnetizzazione costante). Se l'induzione è distribuita uniformemente, il flusso uscente da ogni elemento di perimetro dell'indotto è proporzionale alla sua proiezione su di un piano perpendicolare al campo magnetizzante; o, in altri termini, dando alla spirale avvolta su l'indotto diverse posizioni angolari e invertendo la corrente magnetizzante, la deviazione del galvanometro balistico deve essere proporzionale al seno dell'angolo formato dalla spirale con la direzione del campo. Le curve che danno la grandezza del flusso concatenato con la spirale, in funzio-

(24) Per questi calcoli occorre la curva di induzione media $B=f(H)$ per la quale vedi § 8 e fig. 9.

ne di tale angolo, sono state tracciate (fig. 6) per 3 valori dell'induzione. Da esse si rileva come, modificando opportunamente la sagoma delle espansioni polari, è stato possibile avvicinarsi notevolmente all'andamento sinusoidale teorico; in fatti le 3 curve disegnate hanno coefficienti di forma 1,14, 1,14 e 1,13, mentre, come è noto, la sinusoidale ha 1,11.

Infine, essendo ancora montato l'equipaggio mobile su due punte

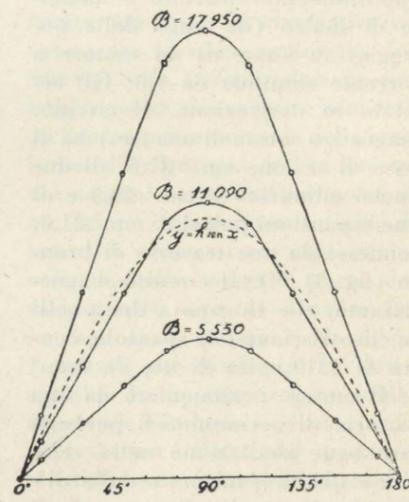


Fig. 6

fixe e coi vari pesi disposti in modo da avere la massima sensibilità, è stato possibile accertarsi che, anche a velocità notevolmente maggiori di quelle adoperate nelle esperienze, la coppia dovuta al movimento dell'aria prodotto dall'elettromagnete, è affatto trascurabile.

7. Misure di coppia e separazione del lavoro di isteresi. — Le misure di coppia si eseguono applicando alcuni piccoli romani di vario peso alle braccia orizzontali graduate della bilancia. Le serie di misure, fatte nei due sensi di rotazione, comprendono ciascuna 20 valori, per induzioni variabili da un minimo di 1300 a un massimo di 20,000. Tra una misura e la successiva la corrente viene interrotta per qualche tempo, onde non dover tener conto delle variazioni di temperatura. Si è infatti riscontrato che dopo un quar-

to di rotazione nelle condizioni più sfavorevoli (312 giri al l' e $B=20,000$) il riscaldamento del cuscinetto è appena sensibile e quello dell'indotto non lo è affatto. Prima di applicare stabilmente la corrente la si inverte più volte. Misure eseguite con correnti crescente o decrescente non presentano differenze sistematiche. In ogni condizione sperimentale si eseguono tre serie di misure a tre velocità di 104, 208 e 312 giri al l', così che le medie si riferiscono a una velocità di 208 giri. Le medie generali dei valori sperimentali hanno servito a tracciare la curva della coppia totale (fig. 7), che non ostante il crescere rapido delle coppie di correnti parassite e di attrito, presenta essa stessa un massimo ben marcato.

Ammettendo la proporzionalità delle perdite per correnti parassite al quadrato della frequenza n (numero dei cicli in l'), oltre che al quadrato dello spessore della lamiera δ (espresso in cm.) e dell'induzione B (25), si hanno, dalla differenza fra le coppie totali misurate a 312 e a 104 giri al l', le coppie di correnti parassite corrispondenti al valor medio 208 della velocità. Si riscontra in modo soddisfacente l'andamento parabolico della curva di queste ultime coppie in funzione di B , e si ricava il coefficiente medio β da porsi nell'espressione

$$w = 2 \beta \delta^2 n^2 B^2,$$

che rappresenta l'energia (espressa in erg) spesa per correnti parassite e riferita all'unità di volume e di tempo. Nell'espressione si è posto il coefficiente 2 per tener conto che, a pari induzione massima, la perdita per correnti parassite è in un campo rotante doppia che in un campo alternativo, e per ottenere così un valore di β confrontabile con quelli di altri sperimentatori. Risulta $\beta = 0,000,228$, che è assai prossimo al valore 0,000,224 dato da Ep-

(25) G. VALLAURI, *Lamiere di ferro-silicio per macchine elettriche*. Atti dell'A.E.I., anno 1908, fasc. v, § 8, nota 17.

stein (26); con esso si è tracciata la curva della coppia di correnti parassite della fig. 7.

Per separare la coppia d'attrito si è avuto ricorso a due vie. Di queste la prima consiste nell'utilizzare la proporzionalità della coppia d'attrito nei perni al loro diametro e perciò nel ripetere le misure di coppia con diametri diversi (mm. 2,4, 2,8 e 3,8) e dalle loro differenze ricavare la coppia di attrito. Ma non essendo risul-

spostando con moto dolce ed uniforme il romano lungo il braccio orizzontale della bilancia; la posizione che misura la coppia di primo distacco si individua bene, perchè, appena determinatosi il movimento, diminuendo l'attrito, l'indice della bilancia, prima immobile, percorre subitamente alcune divisioni della graduazione. Questa misura può farsi per tutti i valori dell'induzione perchè, avendo cura di mandar la cor-

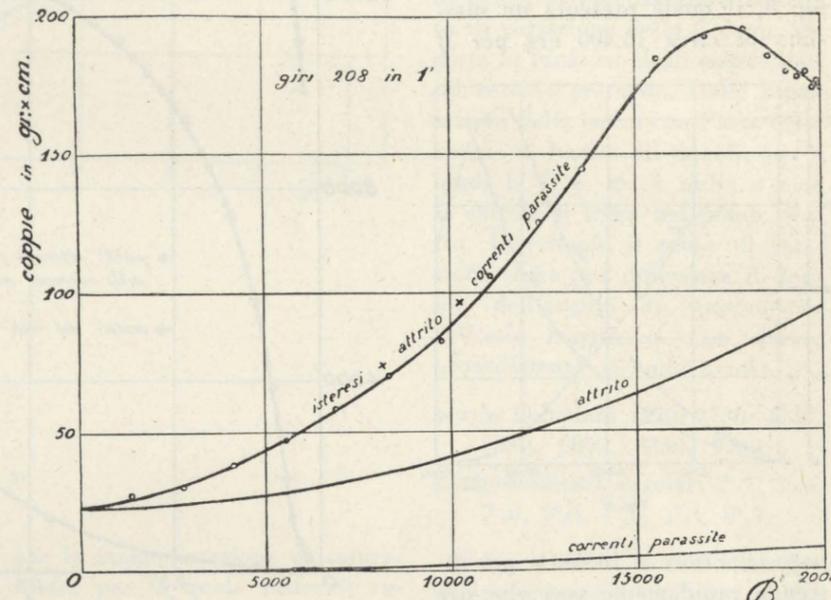


Fig. 7

tata soddisfacente la proporzionalità tra le variazioni di coppia totale e quelle del diametro dei perni, si è preferito seguire una seconda via, consistente nel ricavare la coppia d'attrito in moto da quella di primo distacco. Una serie di misure della sola coppia di attrito, fatta variare mediante l'aggiunta di pesi di piombo all'equipaggio mobile, ha permesso di stabilire che il rapporto fra l'attrito di primo distacco e quello in moto è, nel caso in esame, abbastanza costante ed eguale in media a 1,52; e che l'attrito in moto, nei limiti delle velocità adoperate, è indipendente dalla velocità. L'attrito di primo distacco si determina facilmente

(26) G. VALLAURI, *Lamiere ecc.*, loc. cit., § 12.

rente nell'elettromagnete fermo e di invertirla più volte, si può aver la certezza che al primo distacco non si oppongano coppie di isteresi e di correnti parassite, ma solo quella d'attrito e dividendo questa per 1,52 si ha la coppia d'attrito in moto. I valori così ottenuti soddisfano abbastanza bene ad una legge parabolica $y = a + b B^2$, com'era prevedibile, perchè la pressione nei perni risulta di una parte costante dovuta al peso e di una variabile proporzionalmente a B^2 dovuta alle inevitabili attrazioni magnetiche per difetto di centratura. Le costanti a e b sono state dedotte dai valori sperimentali mediante le formule della teoria dei minimi quadrati, e con esse si è tracciata la curva della coppia di attrito nella fig. 7.

Detratta dalla coppia totale la somma delle coppie d'attrito e di correnti parassite, e calcolato dalla coppia di isteresi C in gr. cm., relativa a tutto il volume di ferro V del saggio, il lavoro d'isteresi rotante w_r , per ciclo e per cm.³, espresso in erg

$$w_r = \frac{2\pi g}{V} C = 89,3 \cdot C,$$

si è costruito il diagramma dell'isteresi rotante $w_r = f(B)$ della fig. 8, il quale presenta un massimo di circa 10.400 erg per B

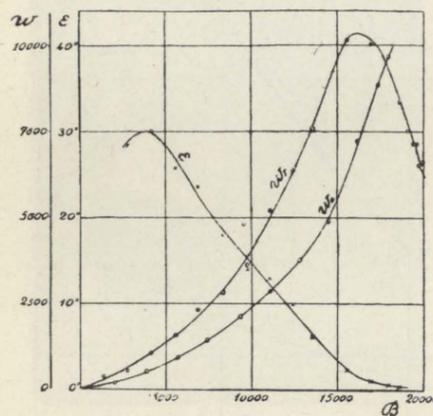


Fig. 8

poco superiore a 16.000 e poi discende rapidamente così che per $B=20.000$ non si hanno che 6.300 erg.

8. *Confronto con l'isteresi alternativa.* — Per confrontare l'isteresi alternativa, si è misurata quest'ultima balisticamente sopra un fascio di 60 anelli, punzonati dalla stessa lamiera da cui sono stati ricavati i dischi. Gli anelli hanno diametro interno di 8 cm. ed esterno di 11 e su di essi è avvolta una spirale secondaria di 100 spire di filo da mm.² 0,07 ed una primaria di 824 spire di filo da mm.² 0,79. Le misure balistiche sono state eseguite con gli apparecchi e con i procedimenti già altrove descritti ed i risultati calcolati con i metodi ivi indicati⁽²⁷⁾.

La curva di induzione media è

⁽²⁷⁾ G. VALLAURI, *Magnetizzazione ecc.*, loc. cit., §§ 4 e 5.

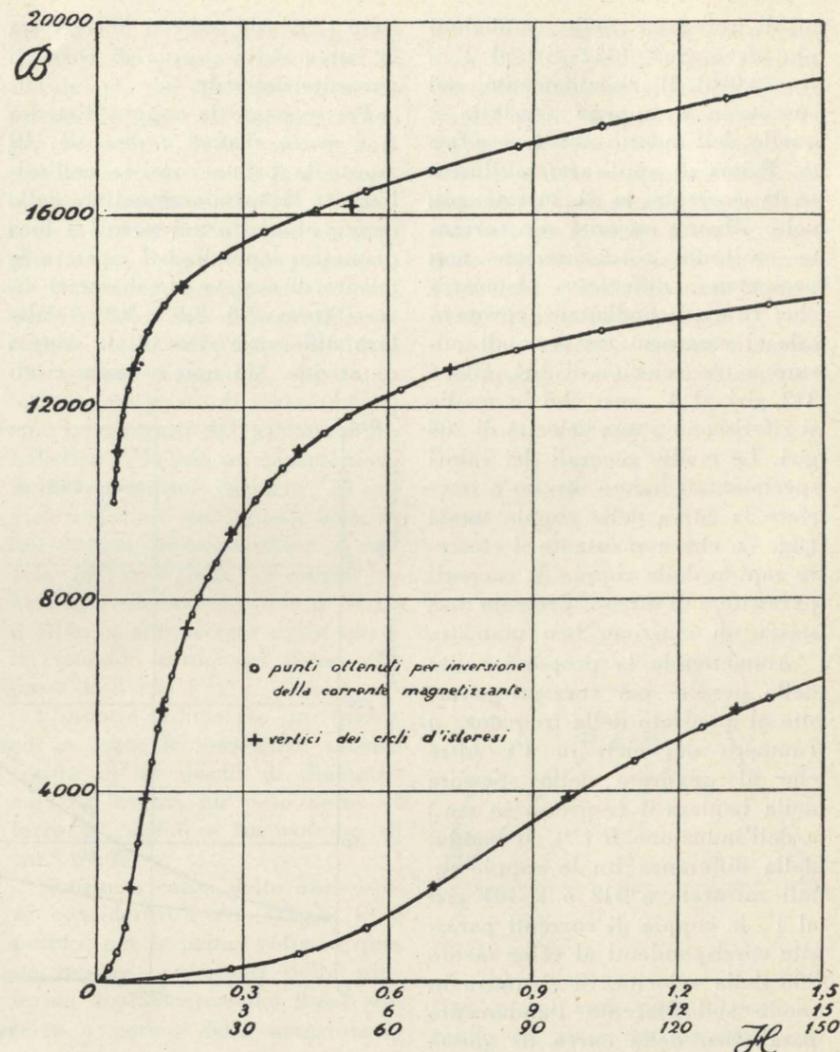


Fig. 9

stata ottenuta per inversione della corrente magnetizzante, cioè che, come è noto, conduce a dei valori dell'induzione alquanto superiori a quelli ricavati facendo variare la corrente in modo meno brusco⁽²⁸⁾. Le differenze non sono tuttavia molto sensibili come si rileva dalla posizione, rispetto alla curva ottenuta per inversione (fig. 9), dei vertici dei cicli di isteresi. Di essi solo i due ultimi, corrispondenti rispettivamente a campi di 52,6 e di 101,5 gauss, sono sensibilmente al di sotto della curva (1,5 % e 2,2 %).

I cicli di isteresi alternativa sono stati descritti in numero di 10

⁽²⁸⁾ G. VALLAURI, *Lamiere ecc.*, loc. cit., § 5.

(fig. 10); i valori massimi del campo e dell'induzione per ciascuno di essi, insieme con il lavoro di isteresi alternativa w_a , espresso in erg e dedotto dalla misura planimetrica dell'area dei cicli, sono raccolti nella seguente tabella:

H	B	w_a
0,694	2005	175
0,972	3860	518
1,319	5710	936
1,804	7420	1441
2,707	9360	2132
4,16	11090	2866
7,29	12800	3755
17,35	14490	4895
52,6	16170	7248
101,5	17390	8829

Con questi valori si è costruito il diagramma dell'isteresi alternativa $w_a = f(B)$ della fig. 8. Confrontandolo con quello dell'isteresi rotante w_r , si rileva come il rapporto $\frac{w_r}{w_a}$, che per le piccole

Si può pertanto, con i valori ricavati sperimentalmente, calcolare $\sin \varepsilon$ ed ε e costruire il diagramma $\varepsilon = f(B)$, il quale presenta un massimo per $B=4000$ circa, e poi va continuamente decrescendo e tende al valore zero

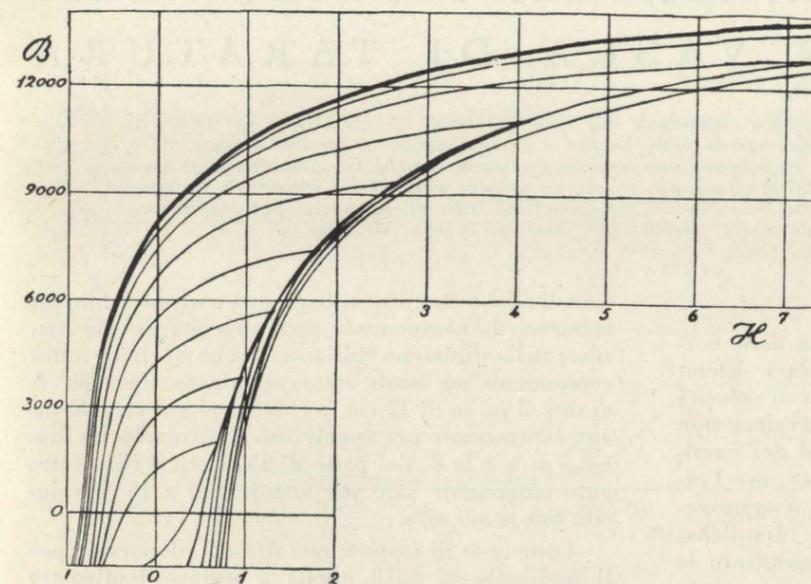


Fig. 10

induzioni (< 4000) è eguale o anche leggermente superiore a 2, va poi continuamente decrescendo e passa per il valore 1 per $B=17800$.

9. *Angolo di ritardo.* — Sebbene un saggio ricavato da una singola lamiera di ferro non possa ritenersi come isotropo⁽²⁹⁾, nel caso presente, sia perchè l'indotto è costituito da buon numero di dischi orientati a caso, sia per la quasi perfetta simmetria delle curve della fig. 6, si può ritenere che le condizioni di magnetizzazione siano in ogni istante le stesse e il lavoro di isteresi possa esprimersi con la formula $w_r = 2\pi HI \sin \varepsilon$, o anche con un errore assai inferiore, nei limiti delle misure, all'1 %:

$$w_r = \frac{1}{2} HB \sin \varepsilon.$$

⁽²⁹⁾ G. VALLAURI, *Lamiere ecc.*, loc. cit., nota 4.

per la magnetizzazione di saturazione, per la quale l'isteresi rotante si annulla.

Con l'esistenza dell'angolo di ritardo ε si spiega lo spostamento dell'asse magnetico dell'indotto per effetto della rotazione del campo, ciò che nelle presenti misure si è potuto assai bene constatare. A tal uopo si è affidato l'indotto non più all'equipaggio mobile della bilancia, ma ad un asse, che può ruotare in appositi cuscinetti e porta un indice scorrevole su di un cerchio graduato fisso⁽³⁰⁾. In un piano diametrale dell'indotto si è avvolta una spirale, i cui capi sono connessi con le armature di un condensatore attraverso un circuito che comprende un contatto istantaneo montato su l'asse del motore.

⁽³⁰⁾ Si è impiegata questa disposizione anche per le misure di flusso in funzione dell'angolo, descritte nel § 6.

Questo contatto si chiude perciò solo nell'istante, in cui l'elettromagnete occupa una determinata posizione, che è sempre la stessa. Orientando l'indotto, e perciò la spira avvolta su di esso, in diverse posizioni, si può caricare il condensatore alle varie differenze di potenziale istantanee create nella spira per la rotazione dell'elettromagnete, e, scaricando il condensatore attraverso un galvanometro balistico, si può tracciare la curva di variazione della f. e. m. indotta in funzione degli angoli letti sul cerchio graduato. Dalle intersezioni della curva con l'asse delle ascisse si hanno gli angoli, per i quali la f. e. m. è nulla e cioè la spirale si trova nel piano neutro. Invertendo il senso di rotazione si ha per differenza il doppio dell'angolo di spostamento dell'asse magnetico. Con questo procedimento si sono avuti:

per le induzioni 1320, 2730, 4130, 5550, 6880, 8330, 9760;

gli spostamenti angulari 2°, 1, 3°, 6, 7°, 0, 5°, 5, 1°, 8, 1°, 1, 0°, 9.

Come si rileva, la variazione degli spostamenti è analoga a quella dell'angolo di ritardo, al quale appunto il fenomeno dello spostamento dell'asse magnetico dell'indotto deve attribuirsi. In ambedue i casi il massimo valore si ha all'incirca per $B=4000$.

10. *Conclusioni.* — I risultati delle presenti misure, notevolmente concordi con quelli resi noti da alcuni fra i precedenti sperimentatori, sono una conferma del fatto che l'isteresi in un campo rotante segue una legge di variazione in funzione della magnetizzazione affatto diversa da quella dell'isteresi in un campo alternativo, e che in specie essa presenta un massimo, al di là del quale, crescendo ancora la magnetizzazione, il lavoro di isteresi diminuisce rapidamente.

Giancarlo Vallauri

DA PAG. 174 A PAG. 216 DEL FASCICOLO DI MAGGIO 1957, SONO RACCOLTE MEMORIE DI PARTECIPANTI AL V° CONGRESSO DI IDRAULICA ATTINENTI ALLE MISURE IDRAULICHE. Altri argomenti trattati nel Congresso saranno pubblicati in Giugno (I Modelli) e Settembre (Argomenti vari)

RICERCHE SPERIMENTALI SUI MOLINELLI ESEGUITE IN VASCA DI TARATURA

GIUSEPPE BENINI riferisce su esperienze riguardanti due fenomeni legati alla precisione dei molinelli idrometrici: il grado di esattezza raggiungibile nella taratura e l'errore dovuto a correnti oblique. Si è riscontrato che nella taratura si può raggiungere una notevole precisione, ma che tale precisione non sempre si è mantenuta, in controlli eseguiti in un secondo tempo, per velocità inferiori a 0,50-0,60 m/s. Le esperienze sulle correnti oblique hanno mostrato l'ottimo comportamento delle eliche autocomponenti, mentre le eliche normali non possono essere correttamente usate per correnti inclinate più di 5°.

1. Generalità.

Nella pratica delle misure di portata delle correnti liquide hanno notevole importanza i sistemi di misura che si basano sulle indicazioni di velocità date dal molinello idrometrico. Questo avviene non solo per la determinazione delle portate dei fiumi, ad esempio a scopo di indagine idrologica, ove l'errore relativo di alcune unità per cento è ammissibile, ma anche nei collaudi di macchine idrauliche, ove, per ovvie ragioni, si cerca di raggiungere la massima precisione. Ed infatti la maggior parte delle norme di collaudo delle macchine idrauliche, in vigore nelle varie Nazioni, considera il sistema di misura di portata basato sull'impiego dei molinelli tra i più attendibili.

Mi è sembrato perciò di un certo interesse esaminare due fenomeni legati alla precisione di tale strumento: il grado di esattezza raggiungibile nella taratura e l'errore dovuto alla presenza di correnti che investono obliquamente il molinello, e portare così, per questi due argomenti, un modesto contributo sperimentale in base a prove fatte nel nuovo impianto di taratura per molinelli dell'Istituto di Idraulica e Costruzioni idrauliche dell'Università di Padova¹ (Centro Veneto di Ricerche Idrauliche del C.N.R.).

L'esame si è limitato a molinelli di un solo tipo, quello denominato correntemente « tipo V », perché è il tipo più adoperato nelle misure ove è richiesta una notevole precisione. Sono stati esaminati: il molinello n. 6513 sia con l'elica n. 1 (passo 25 cm) sia con quella n. 2 (passo 50 cm), e il molinello n. 8287, dotato di eliche autocomponenti,

¹ Il nuovo impianto di taratura degli strumenti idrometrici ha cominciato a funzionare nel giugno 1955. Esso è posto in un fabbricato autonomo, adiacente al Laboratorio, ed è dotato di una canaletta lunga m 50,85 (lunghezza utile fra i due fine corsa m 41,80), larga m 2,00 e profonda m 3,00. L'apparato motore ed il sistema di registrazione sono rimasti quelli del vecchio impianto, salvo lievi modifiche, e, per la loro descrizione, si rimanda a: SCIMEMI E., *Il Laboratorio di Idraulica nel R. Istituto Superiore di Ingegneria di Padova e le sue ricerche*, « L'Energia Elettrica », XII, 1935, p. 645; e RAMPONI F. [12].

cioè di eliche che, investite da una corrente obliqua, misurano la componente della velocità di tale corrente nella direzione dell'asse. Anche di eliche autocomponenti ne sono state esaminate due: la A avente il passo di 12 cm, e che esercita il suo effetto autocomponente per angoli fino a 45° e velocità fino a 2,5 m/s, e la F, del passo di 25 cm ed il cui effetto autocomponente vale per angoli fino a 15° e velocità fino a 5,0 m/s.

Come aste di sospensione furono adoperate: per il molinello n. 6513 quella a sezione lenticolare 20 x 40 mm, con l'ausilio dell'attacco posteriore; per il molinello n. 8287 l'asta rotonda del diametro di 32 mm con l'attacco posteriore per l'elica A, e l'asta rotonda del diametro di 20 mm, inserita nel corpo del molinello, per l'elica F, in quanto questi due ultimi tipi di aste sono prescritti per ottenere un completo effetto autocomponente (fig. 1).

2. Esperienze sull'esattezza della taratura.

Per dare a queste prove un significato aderente alla realtà, esse furono eseguite con le stesse modalità con cui vengono effettuate le normali tarature

Fig. 1 - I molinelli sperimentati: a sin. il molinello 6513 con le eliche normali e a destra il molinello 8287 con le eliche autocomponenti.

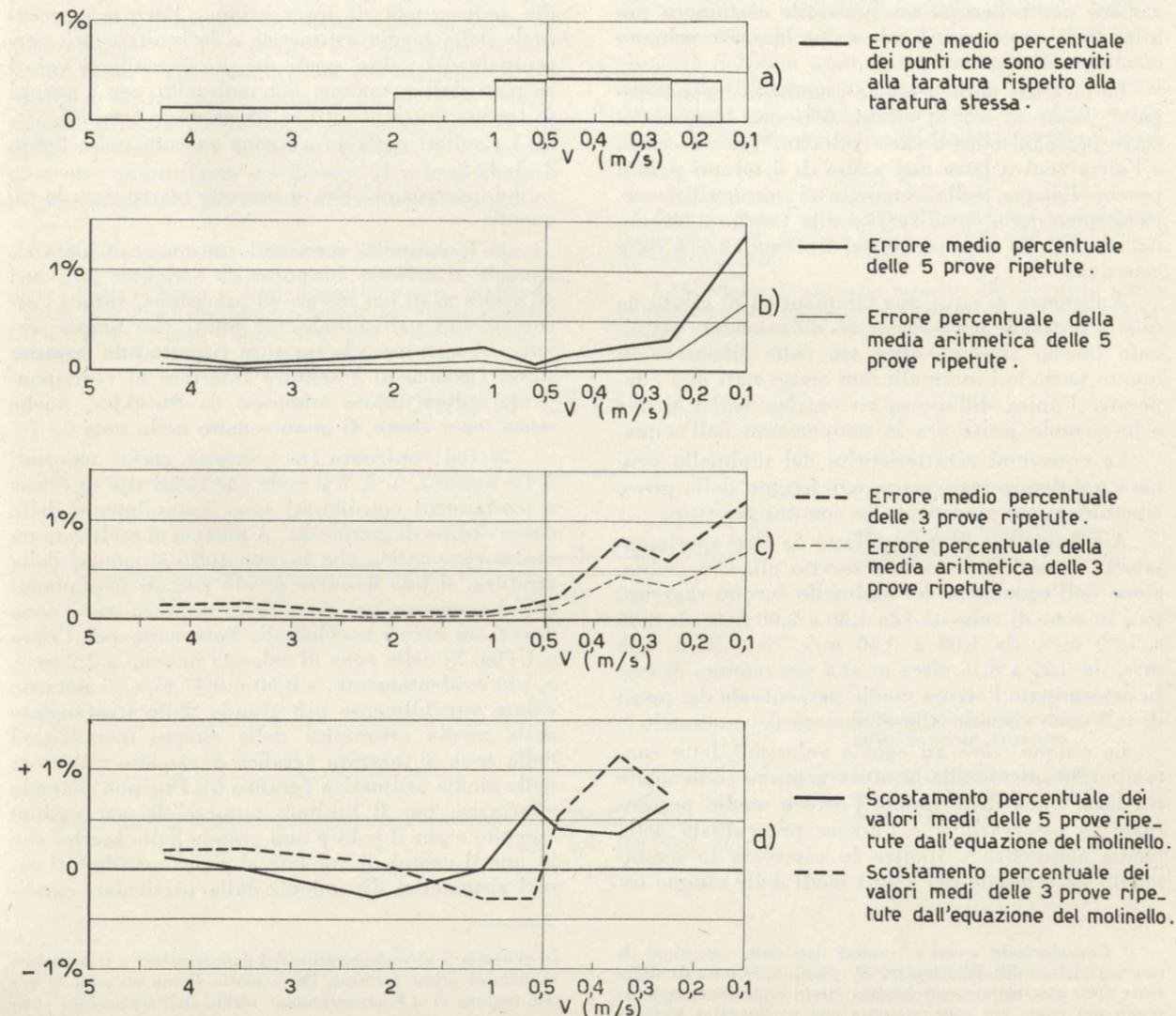
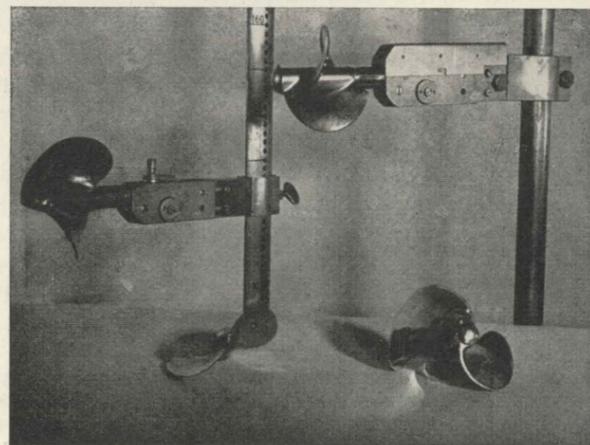


Fig. 2 - Risultati delle esperienze sull'esattezza della taratura per il molinello 6513 El. 1.

di molinelli, e gli strumenti usati furono presi fra quelli di proprietà dell'Istituto. Il molinello 6513 appartiene all'Istituto da circa 20 anni ed è stato spesso adoperato, mentre il molinello 8287, acquistato da circa un anno e mezzo, è stato poco usato.

Le equazioni dei molinelli furono espresse da una a più rette del tipo $v = a n + b$, come viene di solito fatto, e non da curve, le quali, pur rappresentando meglio l'andamento dei punti della taratura alle piccole velocità, non sono comunemente usate per le maggiori complicazioni che presentano. Analogamente le costanti delle rette furono determinate non col metodo dei minimi quadrati, che è piuttosto laborioso, ma con la consueta rappresentazione grafica, sia col sistema $v-n$, sia con quello $\Delta v-n$ ².

Nelle ricerche sull'esattezza della taratura dei molinelli è stato generalmente assunto come criterio

di esattezza lo scostamento dei punti che hanno servito a determinare la curva di taratura dalla curva di taratura stessa. Il campo di velocità sperimentato è stato diviso in diverse zone, per ognuna delle quali fu dato l'errore mediano (media dei valori assoluti degli scostamenti), in valore percentuale o in vera grandezza. In base alle sue prove, del resto in accordo con quelle di altri Autori, Strickler [6] ha stabilito un criterio di valutazione dei molinelli: possono considerarsi molinelli atti a misure di precisione quelli i cui errori mediani percentuali, definiti come sopra, sono inferiori a 0,20 % nel campo 4,00 - 2,00 m/s, a 0,30 % nel campo 2,00 - 1,00 m/s, a 0,45 % nel campo 1,00 - 0,50 m/s e a 0,70 % nel campo 0,50 - 0,25 m/s.

² Per l'esame dei vari metodi di determinazione delle costanti dell'equazione di taratura dei molinelli, si rimanda a: OTT L. A., *Theorie und Konstantenbestimmung des hydro-metrischen Flügels*, Julius Springer, Berlin, 1925.

Anche le prove qui riportate sono basate sugli scostamenti dei punti della taratura dalle loro rette caratteristiche, però sono state aggiunte altre osservazioni per vedere se era possibile esaminare più a fondo la questione. A tale scopo le prove vennero condotte nel seguente modo.

Le tarature delle 4 eliche esaminate furono eseguite, come al solito, effettuando una trentina di corse per ogni elica a varie velocità. Tra una corsa e l'altra veniva fatta una pausa di 5 minuti primi, perchè l'acqua della canaletta si tranquillizzasse. Però nove delle corse servite alla taratura furono, nel corso della taratura stessa, ripetute altre 4 volte ciascuna.

A distanza di circa una cinquantina di giorni da queste prove, le nove corse più diffusamente esaminate furono ripetute altre tre volte ciascuna. In questo periodo i molinelli non erano stati mai adoperati: l'unica differenza riscontrata tra le prime e le seconde prove era la temperatura dell'acqua.

Le equazioni caratteristiche del molinello vennero poi determinate senza tener conto delle prove ripetute, come avviene nelle comuni tarature.

A somiglianza di quanto fatto da altri sperimentatori, i punti che avevano servito alla determinazione dell'equazione del molinello furono raggruppati in zone di velocità (da 4,30 a 2,00 m/s, da 2,00 a 1,00 m/s, da 1,00 a 0,50 m/s, da 0,50 a 0,25 m/s, da 0,25 a 0,15 circa m/s) e per ognuna di esse fu determinato l'errore medio percentuale dei punti di tali zone rispetto alle equazioni del molinello³.

Le cinque corse ad eguale velocità⁴ fatte contemporaneamente alla taratura vennero confrontate tra loro, onde determinare l'errore medio percentuale di osservazione e l'errore percentuale della media aritmetica⁵. Inoltre fu osservato lo scostamento percentuale dei valori medi delle cinque os-

³ Considerando « veri » i valori dati dalle equazioni di taratura del molinello rispetto ai punti sperimentali delle varie zone considerate, perchè una stessa equazione, interessando più zone, era stata ottenuta con un maggior numero di punti, l'errore medio sopra riportato è dato dalla radice quadrata della somma dei quadrati degli scostamenti percentuali (rispetto alle equazioni di taratura) diviso per il numero m delle osservazioni. Si è preferito assumere l'errore medio, come definito sopra, invece dell'errore mediano, usato in prevalenza dagli altri sperimentatori. A questo proposito è da tener presente, per un esatto confronto, che il valore dell'errore medio supera o, al massimo, eguaglia, il valore dell'errore mediano. Per una distribuzione degli errori conforme alla legge di Gauss risulta che il rapporto fra errore medio ed errore mediano è uguale a $\sqrt{\pi/2} = 1,25$ circa. (Vedasi ad es. BOAGA G., *Trattato di Geodesia e Topografia*, vol. I, p. 268, Cedam, Padova, 1948).

⁴ Poichè le velocità delle cinque prove che sono state chiamate « ad eguale velocità » pur essendo fra loro molto vicine, non erano effettivamente identiche (differenze di solito inferiori all'1%), è stato necessario, per un esatto confronto, riferire il numero dei giri al secondo ad un'unica velocità, che è stata la velocità media v_m delle cinque prove. L'espressione per trasformare il numero di giri trovato nella prova generica n_i nel numero di giri n_r riferito alla velocità media v_m , che discende dal confronto delle espressioni

$$v_i = an_i + b \text{ e } v_m = an_r + b, \text{ è: } n_r = \frac{n_i}{\frac{v_i}{v_m} + \frac{b}{an_r} \left(\frac{v_i}{v_m} - 1 \right)}$$

servazioni dai corrispondenti valori ricavati dall'equazione del molinello.

Analogamente furono determinati l'errore medio percentuale di osservazione, l'errore percentuale della media aritmetica e lo scostamento percentuale dei valori medi dai corrispondenti valori ricavati dall'equazione del molinello per i gruppi di tre osservazioni fatti in un secondo tempo⁶.

I risultati delle prove sono raccolti nelle figure 2, 3, 4, 5.

Le osservazioni che si possono trarre sono le seguenti:

1) I molinelli esaminati possono considerarsi, secondo il criterio proposto da Strickler [6], atti ad essere usati per misure di precisione. Infatti l'errore medio percentuale dei punti che hanno servito a determinare la taratura rispetto alla taratura stessa (grafico a) è sempre inferiore al corrispondente valore limite ammesso da Strickler, anche senza tener conto di quanto detto nella nota 3.

2) Dal confronto fra i diversi grafici riportati nelle figure 2, 3, 4, 5 si vede che i vari tipi di errori e scostamenti considerati sono generalmente dello stesso ordine di grandezza. Ammesso di escludere un errore sistematico che investa tutto il campo della taratura, si può dedurre da ciò che gli scostamenti che si osservano nel corso della taratura stessa sono dovuti ad errori accidentali. Solamente per l'elica n.1 (fig. 2) nelle zone di velocità intorno a 2,2 m/s, e, più evidentemente, a 0,60 e 0,47 m/s, si nota un valore sensibilmente più grande dello scostamento della media aritmetica delle cinque osservazioni dalla retta di taratura (grafico d) rispetto all'errore della media aritmetica (grafico b). Pur non potendo affermare, per il limitato numero di osservazioni eseguite e per il valore non grande dello scarto, che in questi campi di velocità si siano manifestati errori sistematici dipendenti dalle particolari condi-

In generale il secondo termine del denominatore è trascurabile rispetto al primo termine, che è molto vicino all'unità, e per tale ragione ci si è generalmente serviti dell'espressione sem-

$$n_r = \frac{n_i}{\frac{v_i}{v_m}}$$

applicando l'espressione completa solo per

le piccole velocità, nelle quali assume maggiore importanza detto secondo termine. In questi casi è stato più che sufficiente dare ad n_r del secondo membro un valore approssimato. Il confronto per la determinazione dell'errore medio e dell'errore della media aritmetica (di cui si dirà in seguito) è stato fatto sui valori così trovati di n_r , e in modo analogo si è proceduto nell'esame delle tre prove di cui si dirà in appresso.

⁵ In questo caso, trattandosi di scostamenti dalla media aritmetica, l'errore medio percentuale è stato determinato come radice quadrata della somma dei quadrati degli scostamenti percentuali dalla media aritmetica divisa per il numero delle osservazioni meno 1. L'errore percentuale della media aritmetica è dato dalla radice quadrata della somma dei quadrati degli scostamenti percentuali dalla media aritmetica divisa per l'espressione $m(m-1)$, essendo m il numero delle osservazioni.

⁶ La piccolezza degli scostamenti dalla media riscontrata nelle cinque prove ad eguale velocità ci ha indotto, per guadagno di tempo, ad eseguire la seconda serie di prove solo con tre osservazioni ad eguale velocità.

zioni di taratura⁷, tuttavia queste indicazioni forniscono un utile orientamento per future ricerche più complete.

3) Un fenomeno chiaramente visibile, anche se generalmente di lieve entità, è il maggiore scostamento dalla retta caratteristica del molinello della media delle tre prove fatte in un secondo tempo rispetto alla media delle cinque prove (grafico d), particolarmente per le basse velocità. È da escludere che questo fatto sia dovuto al minor numero di prove, perchè gli errori della media aritmetica

⁷ Date la profondità e la sezione del canale di taratura, è escluso che si tratti di zone ove si manifesti il fenomeno detto « Punta di Epper ». A tale proposito si veda: SEIFERT R. - LIEBS, *Zur Frage der Übertragbarkeit der Flügelgleichungen auf Wassermessungen*, « *Wasserkraft und Wasserwirtschaft* », 26^o Jahrg., 1931, p. 237.

di queste tre prove (grafico c) sono paragonabili a quelli corrispondenti delle cinque prove (grafico b). Così pure si ritiene che il maggiore scostamento non sia imputabile alle differenti temperature dell'acqua, perchè tali differenze sono state piccole⁸, la viscosità dell'olio usato per i molinelli è poco sensibile alle differenze di temperatura⁹, ed inoltre si sono notate variazioni della velocità sia in più sia in meno. È difficile poter individuare le cause di que-

⁸ Le differenze di temperatura dell'acqua sono state: 4°C 5/10 per l'elica n. 1 e 4°C 7/10 per l'elica n. 2 del molinello 6517; 4°C 1/10 per l'elica A e 0°C 6/10 per l'elica F del molinello 8287.

⁹ Da misure di viscosità, eseguite sull'olio usato per la lubrificazione dei molinelli sperimentati, è risultata una variazione della viscosità del 17% per una variazione di temperatura di 5°C.

Molinello 6513 - Elica 2

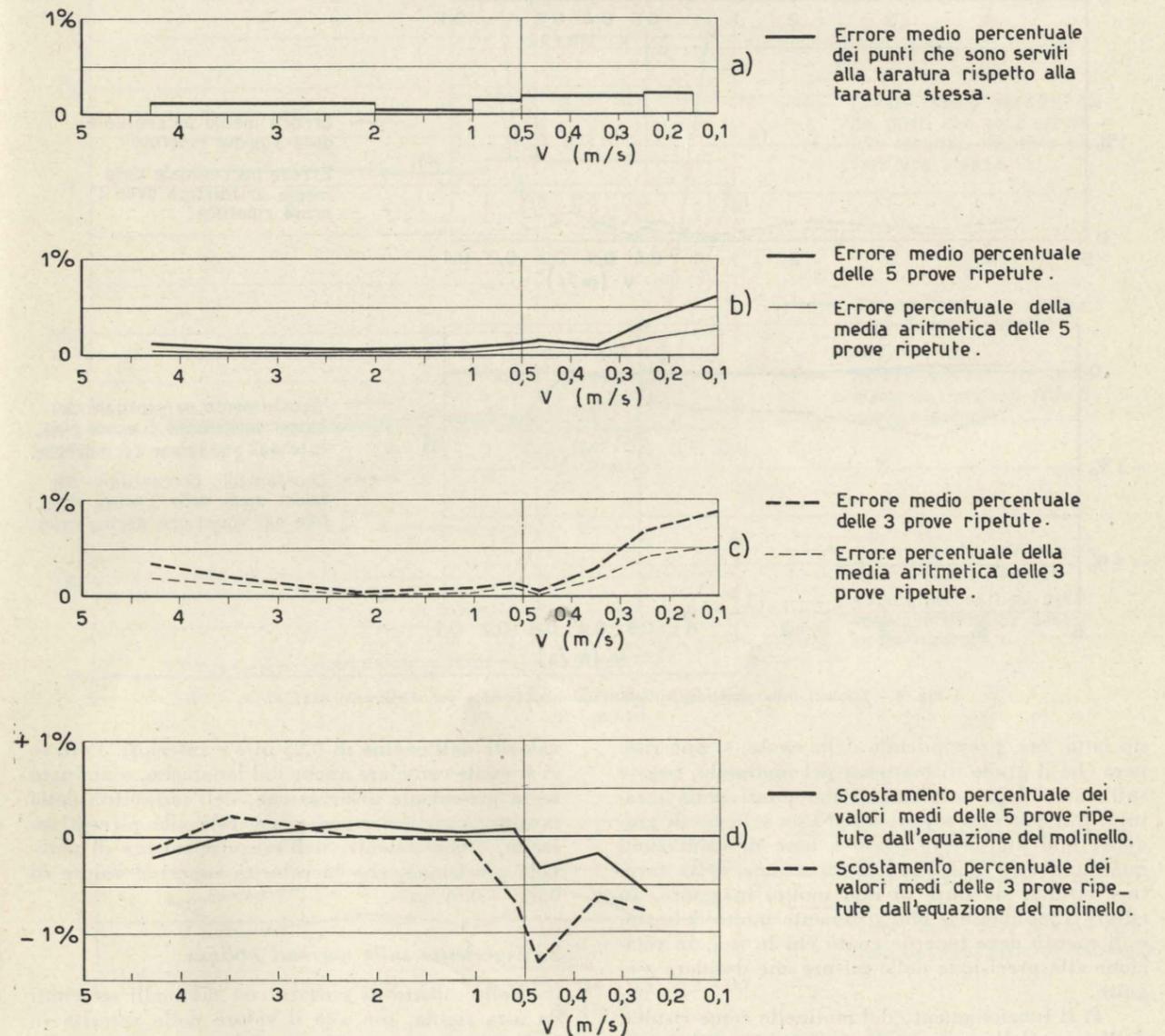


Fig. 3 - Risultati delle esperienze sull'esattezza della taratura per il molinello 6513 El. 2.

Molinello 8287— Elica A

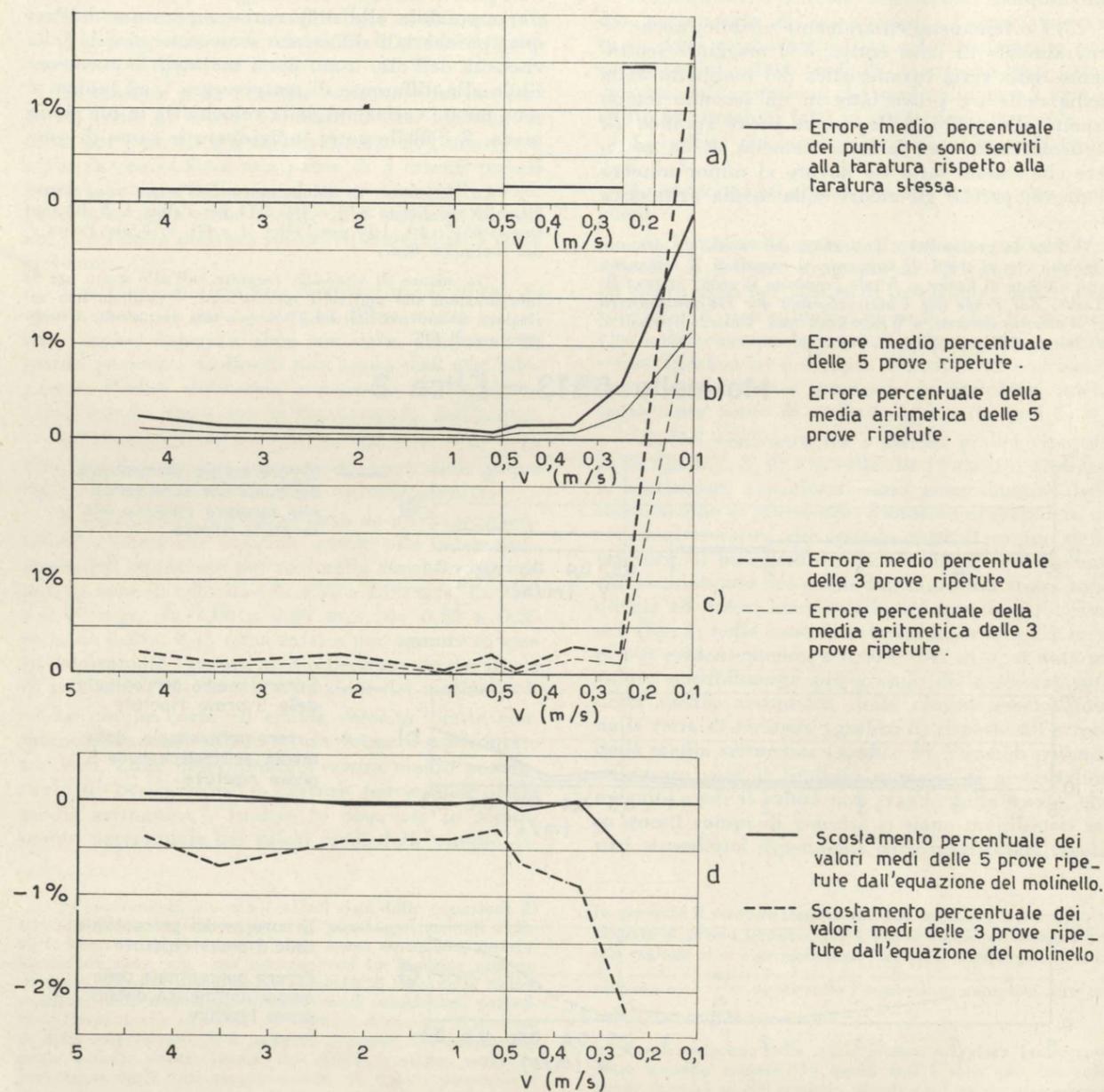


Fig. 4 - Risultati delle esperienze sull'esattezza della taratura per il molinello 8287 El. A.

sto fatto, ma, prescindendo dalle cause, si può ritenere che il grado di esattezza del molinello, basato sull'esame degli scostamenti dei punti della taratura, pur potendo rappresentare un criterio di giudizio, non può essere preso a base di valutazioni quantitative, e che l'indeterminazione della taratura risulta, sia pure di non molto, maggiore. In effetti il molinello è uno strumento molto delicato, e di questo deve tenerne conto chi lo usa, in relazione alla precisione delle misure che desidera eseguire.

4) Il funzionamento del molinello come risulta, dall'esame delle prove ripetute, è poco regolare per

velocità dell'ordine di 0,25 m/s e inferiori. Però se ci si vuole cautelare anche dal fenomeno, esaminato nella precedente osservazione, dell'instabilità della taratura, particolarmente sensibile alle piccole velocità, è conveniente, nell'eseguire misure di notevole precisione, che la velocità superi il valore di 0,50 — 0,60 m/s.

3. Esperienze sulle correnti oblique.

Nelle misure di portata con molinelli sostenuti da asta rigida, più che il valore della velocità in un punto, interessa conoscere la componente della

velocità nella direzione normale alla sezione di misura. Perciò si cerca sempre, per effettuare le misure di portata, una zona ove la direzione principale dei filetti fluidi sia normale alla sezione di misura. Quando questo, come talvolta accade, non è possibile, è necessario, per avere una corretta misura, che il molinello registri la componente della velocità nella direzione perpendicolare al piano della sezione di misura, cioè che il molinello registri una velocità $v = V \cos \alpha$, ove V è la velocità della cor-

rente obliqua, ed α l'angolo formato dalla direzione della corrente con l'asse del molinello.

Numerose esperienze sono state effettuate per il passato, per esaminare il comportamento dei vari tipi di molinelli di fronte alle correnti oblique e poter determinare la portata in corrispondenza a sezioni investite obliquamente dalla corrente.

Da queste prove è risultato che i normali tipi di molinelli ad elica, investiti da correnti oblique, forniscono dei valori in difetto, mentre quelli del

Molinello 8287— Elica F

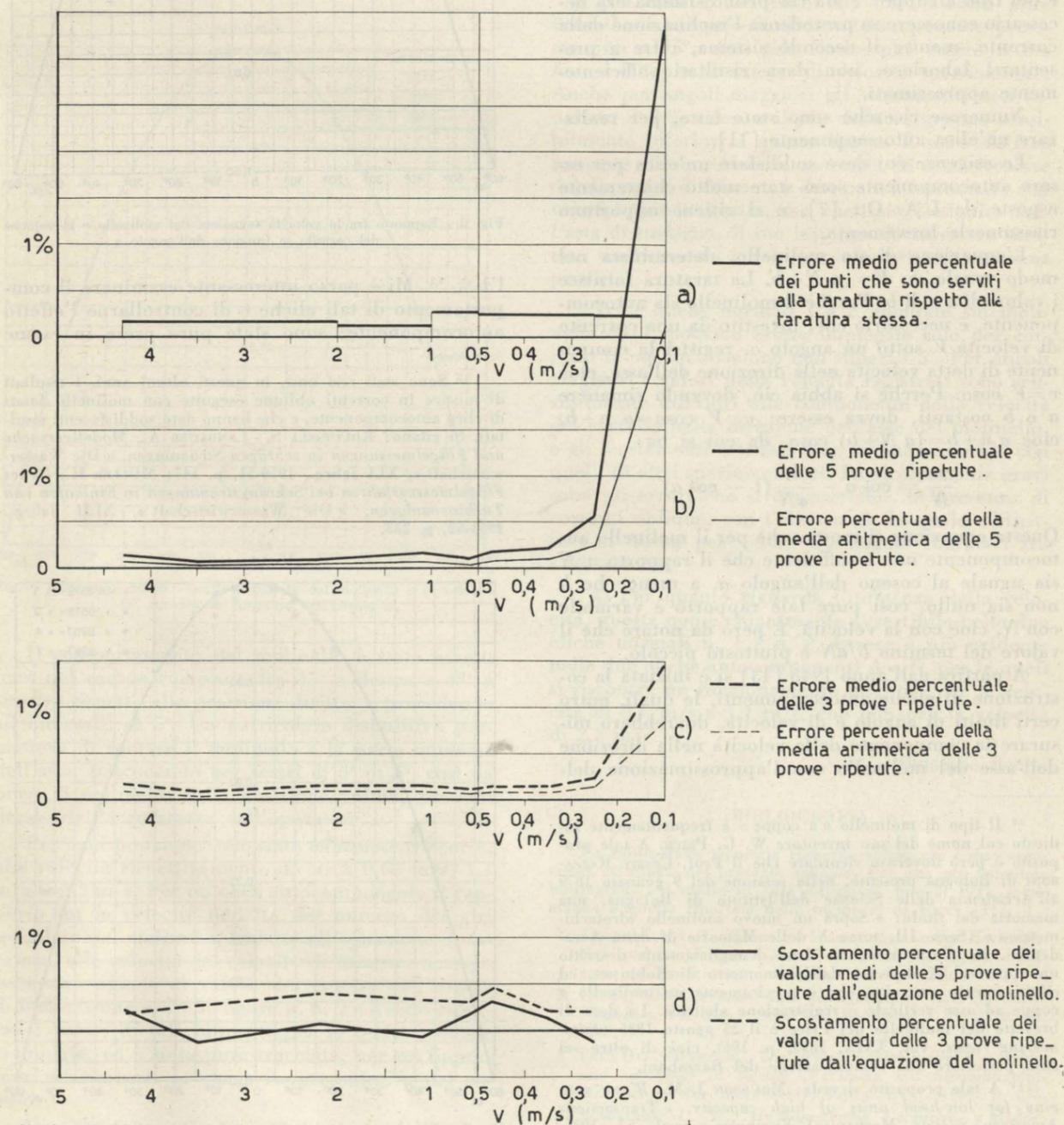


Fig. 5 - Risultati delle esperienze sull'esattezza della taratura per il molinello 8287 El. F.

tipo a coppe¹⁰, usati nell'America del Nord, danno valori in eccesso rispetto al valore della componente della velocità nella direzione dell'asse del molinello. Errori di minore entità, in eccesso per piccoli angoli e in difetto per gli angoli maggiori, si hanno con molinelli muniti di anello di guardia.

Per arrivare ad un valore sufficientemente esatto della portata nel caso di correnti oblique, si tentarono due strade: l'una consisteva nel determinare le equazioni di taratura dei molinelli sotto vari angoli [3], l'altra nell'eseguire due misure di portata con molinelli che si comportavano in modo diverso quando venivano investiti dalle correnti oblique, ad esempio con molinelli del tipo ad elica e del tipo a coppe¹¹. Ma col primo sistema era necessario conoscere in precedenza l'inclinazione della corrente, mentre il secondo sistema, oltre a presentarsi laborioso, non dava risultati sufficientemente approssimati.

Numerose ricerche sono state fatte, per realizzare un'elica autocomponente [11].

Le esigenze cui deve soddisfare un'elica per essere autocomponente sono state molto chiaramente esposte da L.A. Ott [7], e si ritiene opportuno riassumerle brevemente.

L'equazione di un molinello, determinata nel modo usuale, è: $V = aN + b$. La taratura fornisce i valori di a e di b . Perché il molinello sia autocomponente, è necessario che, investito da una corrente di velocità V sotto un angolo α , registri la componente di detta velocità nella direzione dell'asse, cioè $v = V \cos \alpha$. Perché si abbia ciò, dovendo rimanere a e b costanti, dovrà essere: $v = V \cos \alpha = aN + b$, cioè $aN + b = (aN + b) \cos \alpha$, da cui si ha:

$$\frac{n}{N} = \cos \alpha - \frac{b}{aN}(1 - \cos \alpha)$$

Questa equazione ci mostra che per il molinello autocomponente non è sufficiente che il rapporto n/N sia uguale al coseno dell'angolo α , a meno che b non sia nullo, così pure tale rapporto è variabile con N , cioè con la velocità. È però da notare che il valore del termine b/aN è piuttosto piccolo.

A partire dall'anno 1948 [13] si è iniziata la costruzione di eliche autocomponenti, le quali, entro certi limiti di angolo e di velocità, dovrebbero misurare la componente della velocità nella direzione dell'asse del molinello con l'approssimazione del-

¹⁰ Il tipo di molinello « a coppe » è frequentemente indicato col nome del suo inventore W. G. PRICE. A tale proposito è però doveroso ricordare che il Prof. Cesare RAZZABONI di Bologna presentò, nella sessione del 9 gennaio 1879 all'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, una memoria dal titolo: « Sopra un nuovo molinello idrotachimetrico » (Serie III, tomo X delle Memorie di detta Accademia). In questa memoria viene dettagliatamente descritto un apparecchio, derivato dall'anemometro di Robinson, ed effettivamente costruito, che è precisamente un molinello a coppe ad asse verticale e registrazione elettrica. La data di brevetto del molinello del Price è il 25 agosto 1885 (*Engineering News*, vol. XXIX, 1893, p. 196), cioè di oltre sei anni posteriore alla comunicazione del Razzaboni.

¹¹ A tale proposito si veda: MOUSSON J. M., *Water gauging for low-head units of high capacity*, « Transactions American Society Mechanical Engineers », vol. 57, 1935, p. 303.

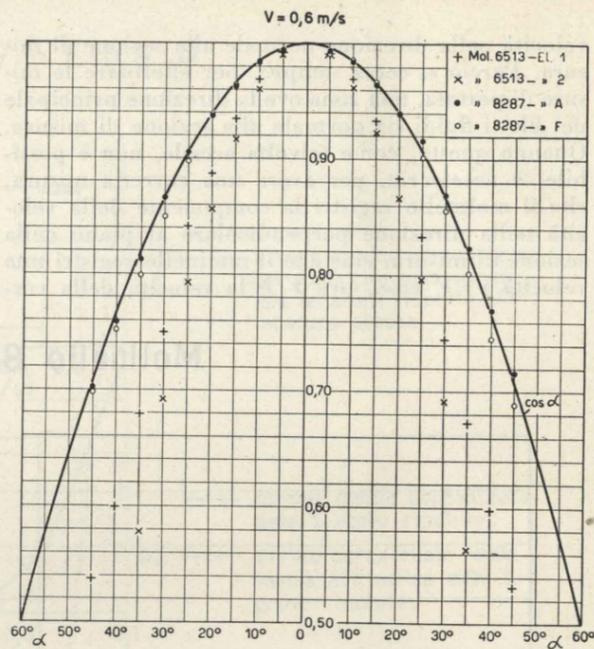


Fig. 6 - Rapporto fra la velocità segnalata dal molinello e la velocità del carrello in funzione dell'angolo α .

l'1%¹². Mi è parso interessante esaminare il comportamento di tali eliche e di controllarne l'effetto autocomponente; sono state pure prese in esame

¹² Sono stati resi noti, in questi ultimi anni, i risultati di misure in correnti oblique eseguite con molinelli dotati di elica autocomponente, e che hanno dato soddisfacenti risultati. Si citano: KOLUPAILA S. - LANDAUER A., *Modellversuche und Flügelmessungen in schrägen Strömungen*, « Die Wasserwirtschaft », XLI Jahrg., 1950-51, p. 147; MÜLLER H., *Neues Flügelmessverfahren bei Schrägströmungen in Einläufen von Turbinenanlagen*, « Die Wasserwirtschaft », XLII Jahrg., 1951-52, p. 233.

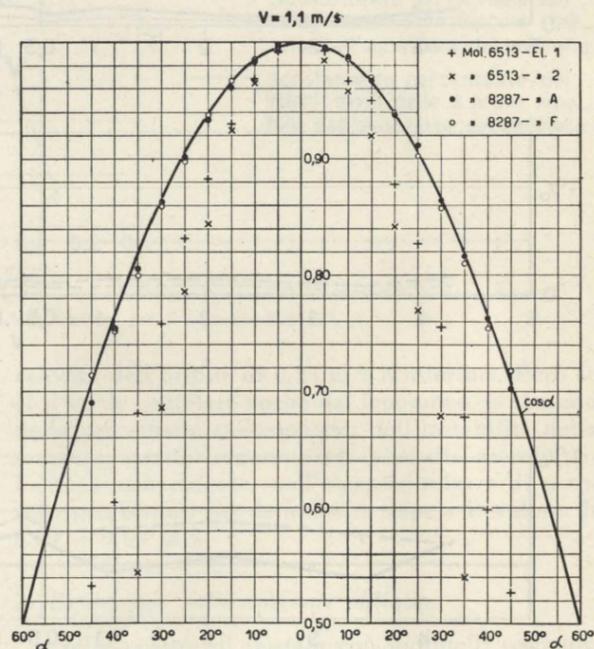


Fig. 7 - Rapporto fra la velocità segnalata dal molinello e la velocità del carrello in funzione dell'angolo α .

due eliche di tipo normale per avere un più immediato confronto dei vantaggi che le prime presentano rispetto alle seconde.

Le prove sperimentali sulle correnti oblique sono state eseguite, come buona parte degli sperimentatori, nella canaletta dell'impianto di taratura, facendo correre il molinello variamente inclinato sull'acqua ferma. Era mia intenzione eseguire pure una serie di prove in acqua corrente, in condizioni cioè identiche a quelle di impiego del molinello. Purtroppo, per varie difficoltà, non è stato ancora possibile effettuare tali prove, che mi riprometto di sviluppare in seguito.

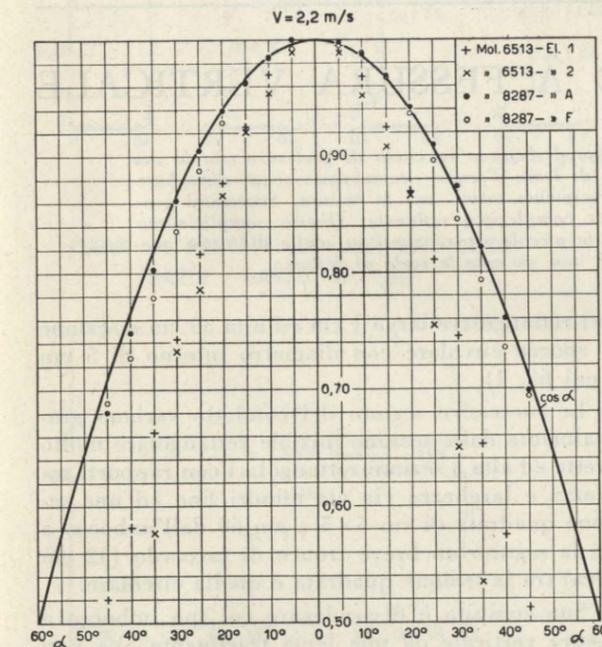


Fig. 8 - Rapporto fra la velocità segnalata dal molinello e la velocità del carrello in funzione dell'angolo α .

Il comportamento del molinello è stato esaminato nel campo compreso fra 45° a destra e 45° a sinistra rispetto alla posizione diritta, e procedendo ad intervalli di 5°. Un particolare dispositivo permetteva di ruotare il molinello e la parte immersa dell'asta, procedendo per scatti di 5° in 5°, così da porre il molinello nella posizione voluta, prescindendo dall'accuratezza dell'operatore.

Per ogni posizione sono state effettuate tre corse, alle velocità rispettivamente di circa 0,60 m/s, 1,1 m/s, e 2,2 m/s. Per un'elica autocomponente il rapporto fra la velocità dedotta dal numero dei giri segnalato dal molinello, in base all'equazione di taratura, e la velocità del carrello di taratura dovrebbe essere uguale al valore del coseno dell'angolo di inclinazione α . Nelle figure n. 6, 7 e 8 sono riportati i valori di tali rapporti per le quattro eliche esaminate, ed è stata pure tracciata, per un opportuno riferimento, la curva rappresentativa del coseno.

Le osservazioni che si possono trarre dall'esame dei diagrammi sono le seguenti.

1) L'elica A del molinello 8287 realizza, sia pure approssimativamente, l'effetto autocomponente previsto fino a angoli di 45°. Scostamenti maggiori dell'1% rispetto al valore corretto si hanno solo per alcuni angoli uguali o maggiori di 35°, e particolarmente per la velocità di 2,2 m/s, vicina alla velocità limite di impiego dell'elica. Nonostante questi scostamenti, tenendo anche presente che essi si manifestano per angoli notevoli, che difficilmente si presentano nel corso delle misure, si può concludere che tale elica rappresenta un notevolissimo progresso nel campo delle misure delle correnti oblique.

2) L'elica F del molinello 8287 assolve pure bene il suo compito di elica autocomponente previsto fino a 15°; anzi tale limite può essere esteso fino a 20° per il campo di velocità sperimentato. Anche per angoli maggiori gli scostamenti non superano il 5% circa, e il più delle volte sono sensibilmente inferiori a questo limite. È però da fare presente che quest'elica, sostenuta da asta circolare del diametro di 20 mm, è destinata a funzionare con velocità fino a 5 m/s, ma che, per l'esiguità dell'asta di sostegno, il suo impiego dovrà essere limitato molto spesso a velocità inferiori alla massima prevista.

3) Le eliche normali 1 e 2, montate sul molinello 6513, possono essere impiegate solo per correnti la cui inclinazione non superi i 5°. Per angoli maggiori i valori della velocità registrati sono sensibilmente inferiori alla componente della velocità del carrello nella direzione dell'asse del molinello, e gli scostamenti ottenuti sono in buon accordo con quelli di altri sperimentatori. Particolarmente gravi sono gli errori che si commettono, in presenza di correnti oblique, con l'elica n. 2, la quale addirittura si ferma per valori dell'angolo compresi fra i 40° e i 45°.

4) Per quanto riguarda l'influenza della velocità, questa non è chiaramente avvertibile nelle due eliche normali n. 1 e n. 2. Invece è più evidente nelle due eliche autocomponenti A e F, per le quali si riscontra un funzionamento migliore per le velocità di 0,6 m/s e 1,1 m/s, che non per la velocità di 2,2 m/s.

Giuseppe Benini

BIBLIOGRAFIA

La bibliografia riportata riguarda solamente i due argomenti esaminati nel presente articolo. Per una più completa bibliografia sui molinelli (211 citazioni), fino al 1937, si rimanda a quella riportata nella memoria di HENN [11].

1. TREVIRANUS L. G., *Über Verbesserungen in der Konstruktion und im Gebrauch des Woltmanschen Flügels*, « Allgemeine Bauzeitung », Bd. 26, 1861, p. 125.
2. LAUDA, *Der normal- und schiefgestellte hydrometrische Flügel*, « Öst. Mon.-Schr. öff. Baudienst », H. 38 u. 39, 1903.
3. EGER-DIX-SEIFERT R., *Die Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin (Versuche mit Stromflügeln)*, « Zeitschrift für Bauwesen », Jahrg. LVII, 1907, p. 253.
4. SANDSTRÖM L. W., *Hydrometrische Versuche*, « Madde-landen fran hydrografiska Byran », Stockholm, 1912.
5. KUNTSCHEN F., *Essais comparatifs dans les canaux de*

fuite de l'usine d'Amsteg, « Communications du Service des Eaux », n. 18, Première partie, Berne, 1926.

6. STRICKLER A., *Untersuchungen über hydrometrische Flügel*, « Communications du Service des Eaux », n. 18, III Teil, Berne, 1926.
7. YARNELL D. L. - NAGLER F. A., *Effect of turbulence on the registration of current meters*, « Transactions American Society Civil Engineers », vol. 95, 1931, p. 766, e discussioni, tra le quali particolarmente interessante quella di OTT L. A.
8. ROHWER C., *The rating and use of current meters*, « Technical Bulletin 3, Colorado Agricultural College », Colorado Experimental Station, Fort Collins, May 1933.
9. ANLAUFT F., *Hydrometrische Flügel bei schräger Anströmung*, « Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der

Technischen Hochschule München », Heft 5, p. 1, Verlag von R. Oldenbourg, 1932.

10. BOURGEAT R. - DEULLIN J. - CAHUZAC D., *Recherches expérimentales sur l'étalonnage des moulinets en eau calme*, « Revue générale de l'Hydraulique », n. 12, 1936, p. 659 e n. 13, 1937, p. 23.
11. HENN W., *Grundlagen der Wassermessung mit hydrometrischen Flügel*, « V.D.I. Forschungsheft 385 », Juli-August 1937.
12. RAMPONI F., *La taratura dei molinelli idrometrici nel Laboratorio di idraulica della R. Università di Padova*, « L'Energia Elettrica », vol. XV, 1938, p. 459.
13. KOLUPAILA S., *Recent developments in current-meter design*, « Transactions American Geophysical Union », vol. 30, 1949, p. 916.

PRELEVATORE IDROMETRICO A FESSURA VERTICALE

LORENZO BREZZI riferisce sull'impiego di un apparecchio di lamiera in grado di prelevare con la sua fessura verticale anteriore una sottile fetta, per così dire, di lama d'acqua stramazante senza disturbare il deflusso della rimanente acqua e di convogliarla ad un recipiente tarato per la misura. Successivi prelievi lungo lo stramazzo consentono di valutare la portata complessiva effluente. Questo semplicissimo apparecchio si impiega per misure di portate relativamente piccole stramazanti su soglie di forma qualunque, anche irregolari o naturali di cui non sia nota la scala di deflusso.

Nella presente memoria si riferisce di un semplicissimo apparecchio da noi impiegato per misure di portata in determinate condizioni (piccole portate su soglie stramazanti) in cui non era agevole l'impiego del mulinello idrometrico o di altri sistemi di misura.

L'apparecchio che abbiamo chiamato « prelevatore idrometrico a fessura » ci è stato suggerito

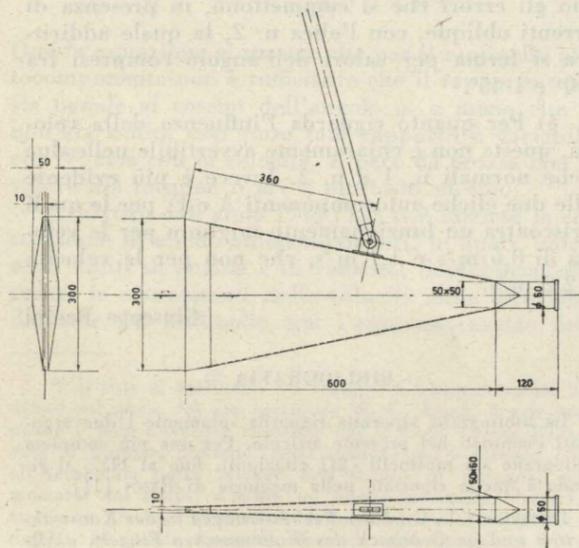


Fig. 1 - Prelevatore idrometrico a fessura verticale.

da un analogo apparecchio usato nel laboratorio di Idraulica dell'Università di Napoli (presa a canaletta) del quale abbiamo visto la possibilità di impiego pratico.

Esso consiste in un condotto in lamiera zincata lungo circa 70 cm con sezione di imbocco a spigoli

vivi rettangolare larga 1 cm ed alta 30 cm e sezione di sbocco circolare con diametro interno di 5 cm (vedi fig. 1).

Le successive sezioni del condotto variano gradualmente dalla sezione iniziale rettangolare molto stretta ed alta a sezioni rettangolari con rapporti tra altezza e larghezza via via minori fino ad una sezione quadrata di cm 5 x 5 a cm 60 dall'imbocco a cui fa seguito un breve tronco di raccordo (12 cm circa) tra la sezione quadrata e quella circolare.

Suo compito è di prelevare col suo imbocco a fessura verticale da una lama tracimante alta non più di 20 ÷ 25 cm, una fetta d'acqua se così si può dire larga 1 cm, e di convogliarla ad un recipiente tarato per la misura volumetrica.

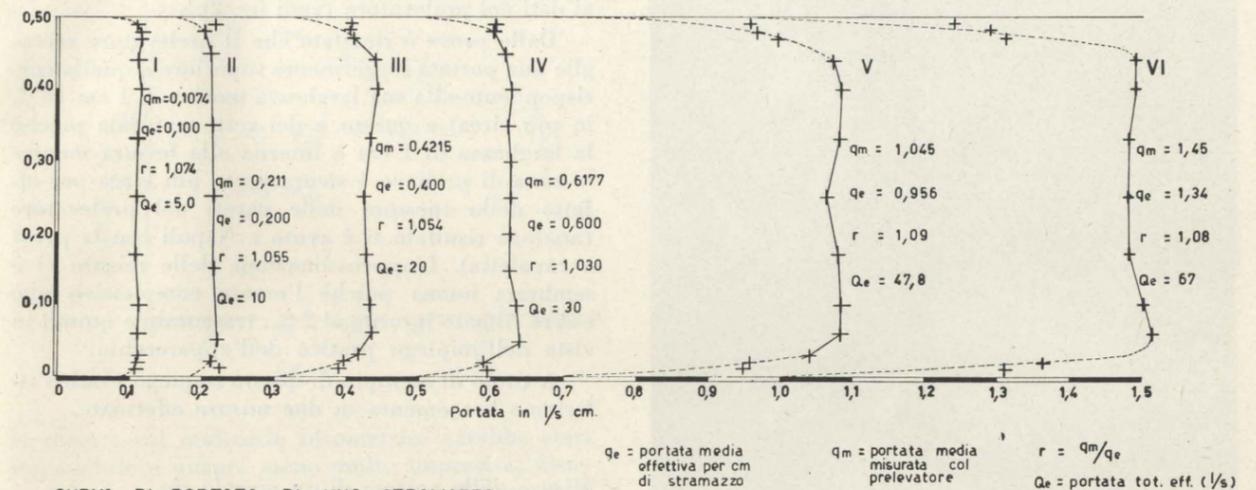
Il suo impiego è ovvio: dovendosi misurare la portata che passa, ad esempio, su una soglia stramazante si faranno un certo numero di prelievi in posizioni prestabilite lungo tutta la soglia; per ogni prelievo si misurerà nel recipiente tarato l'acqua che è stata raccolta in un determinato tempo e si calcolerà quindi la portata sfiorata per centimetro di soglia; si potrà infine portare su un grafico avente come base la larghezza dello stramazzo tutte le portate unitarie misurate e ricavarne quindi la portata complessiva con la planimetria, in modo analogo (ma più rapido poichè non è necessario tracciare le curve delle velocità nelle varie sezioni) a quanto si fa per le misure col mulinello.

Il campo di impiego del prelevatore a fessura è limitato dalle dimensioni pratiche dell'apparecchio e del recipiente tarato per la raccolta dell'acqua ed è subordinato alla esistenza di una soglia su cui sfiora la portata da misurare od alla possibilità di creare con tavole di legno o altro materiale la soglia stessa.

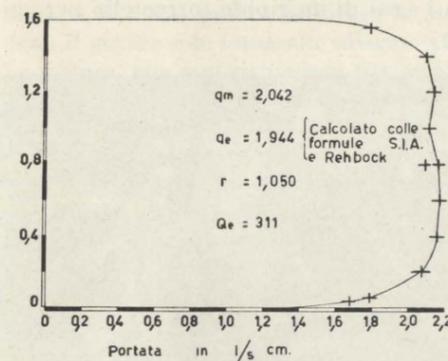
TARATURA DELL'APPARECCHIO

CURVE DI PORTATA DI UNA LAMA STRAMAZZANTE LARGA 50 cm.

Misure per la taratura del prelevatore sul canale di vetro dell'Ist. Idr. Politecnico di Torino



CURVA DI PORTATA DI UNO STRAMAZZO BAZIN LARGO m. 1,60



MAGGIOR PORTATA PRELEVATA DALL'APPARECCHIO SULLA LARGHEZZA DI 1 cm.

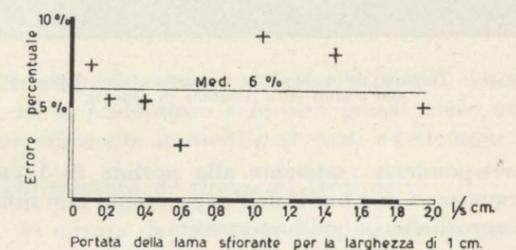


Fig. 2.

L'apparecchio da noi sperimentato, con fessura di 1 cm x 30 cm può prelevare fino a 2,5 l/s corrispondenti ad una portata per metro di stramazzo di 250 l/s.

L'acqua prelevata viene convogliata in un recipiente di 55 litri che pertanto si riempie in 22" a portata massima.

In tali condizioni l'errore di 1/5 di secondo nella misura del tempo corrisponde ad un errore dell'1% nella valutazione della portata; l'errore di 1 mm nella lettura del livello dell'acqua nel recipiente tarato corrisponde ad un errore di valutazione del volume d'acqua di un decilitro ed è quindi trascurabile nella misura delle maggiori portate (0,2%), nelle quali si vengono a raccogliere circa 50 l, diventa pari all'1% se ci si limita a raccogliere 10 l.

Da queste semplici considerazioni si è dedotto che la più opportuna capacità del recipiente di raccolta doveva essere di 50 ÷ 60 l e che il tempo di prelievo per portate piccole non dovesse essere inferiore ai 60".



Fig. 3 - Taratura del prelevatore a fessura al Laboratorio di Idraulica del Politecnico di Torino.

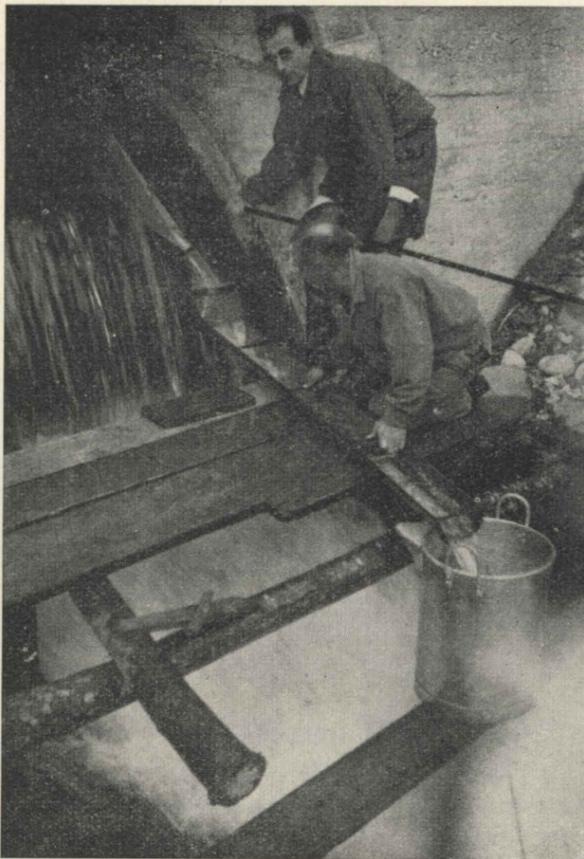


Fig. 4 - Taratura del prelevatore a fessura sullo stramazzo Bazin allo scarico della Centrale di Olivioni.

corrispondesse realmente alla portata di 1 cm di stramazzo e se i bordi dell'apparecchio non influenzassero l'efflusso sullo stramazzo.

Queste prove sono state effettuate al laboratorio di idraulica del Politecnico di Torino e sullo stramazzo di misura del canale di scarico della centralina di Olivioni della SIP (figg. 2, 3, 4).

Tutte le prove sono consistite nell'effettuare, nelle migliori condizioni possibili, dei prelievi d'acqua lungo uno stramazzo in diversi punti e per diverse portate note in precedenza. Supposto quindi che il prelevatore raccogliesse effettivamente la por-

CURVA DI PORTATA DI UN TORRENTELLO

Misura di portata su una soglia naturale sistemata

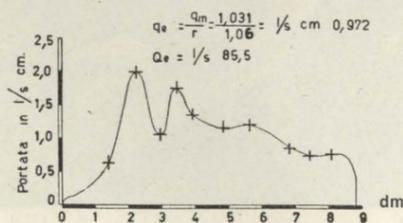


Fig. 5.

tata di 1 cm veniva tracciato il grafico delle portate prelevate e calcolata quindi la portata complessiva dello stramazzo; questo valore veniva confrontato con il valore noto della portata; dal confronto si ricavano dei coefficienti di correzione da applicare ai dati del prelevatore (vedi fig. 2).

Dalle prove è risultato che il prelevatore raccoglie una portata leggermente superiore a quella corrispondente alla sua larghezza teorica di 1 cm (6 % in più circa) e questo è del resto naturale poiché la larghezza di 1 cm è interna alla fessura mentre la zona di prelievo è sicuramente più larga per effetto dello spessore delle pareti del prelevatore (analogo risultato si è avuto a Napoli con la presa a canaletta). L'approssimazione delle misure ci è sembrata buona poiché l'errore complessivo può essere stimato intorno al 2 %, trascurabile quindi in vista dell'impiego pratico dell'apparecchio.

A titolo di esempio di questo impiego pratico riferiamo brevemente su due misure effettuate.

Misura della portata di un piccolo rio.

Si trattava di misurare una portata di 90 l/s, circa scorrente fra i sassi di un ripido torrentello per cui



Fig. 6 e 7 - Misura della portata di un torrentello per mezzo del prelevatore a fessura.

CURVA DI PORTATA DI UNO STRAMAZZO CON SOGLIA INCLINATA

Misura delle infiltrazioni nel canale di scarico dell'imp. di Demonte PCE

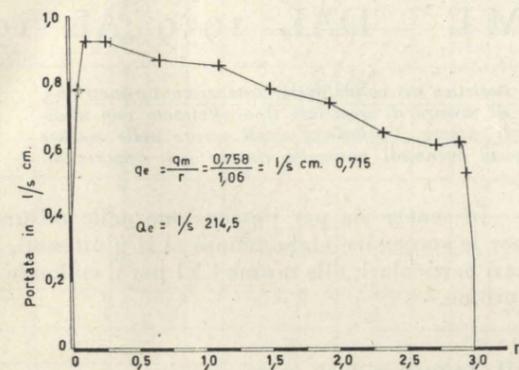


Fig. 8.

la misura col mulinello idrometrico sarebbe stata impossibile o quanto meno molto imprecisa. Sistemata con sassi e zolle una specie di soglia stramazante larga circa 90 cm su cui passava l'acqua del rio si sono fatti una decina di prelievi lungo la soglia e si è così potuto misurare la portata (si vedano il grafico e le fotografie allegate (figg. 5, 6, 7). La misura, che non richiedeva ovviamente una particolare precisione, è stata fatta in un tempo relativamente breve, meno di un'ora, (si perde un po' di tempo ad aspettare che si calmi l'acqua nel recipiente di raccolta per poterla misurare) mentre più laboriosa di quanto si pensasse è stata la ricerca del luogo più opportuno per la misura e la sua sistemazione; dovendo tornare una seconda volta tutto sarebbe più semplice; dovendo rifare più volte la misura converrebbe sistemare in modo un po' più stabile la soglia stramazante.

Misura delle infiltrazioni in un canale di scarico.

Il canale di scarico della centrale di Demonte della P.C.E. è scavato in alluvione senza rivestimento ed è più basso della falda freatica circostante; esso raccoglie quindi delle infiltrazioni che aggiungendosi all'acqua di scarico della centrale falsano le misure delle portate derivate, misure che vengono fatte col mulinello al termine del canale stesso in quanto è disagevole farle al suo inizio.

Per misurare quindi queste infiltrazioni che variano naturalmente in relazione al livello nel canale di scarico si è proceduto come segue:

Fermata la centrale si è chiuso il canale di scarico al suo termine con panconcelli fino ad un'altezza tale da creare nel canale stesso uno specchio liquido al livello corrispondente al normale funzionamento di regime. L'acqua che risorge nel canale sfiora sulla chiusura provvisoria (l'ultimo panconcello è fornito di una lama metallica) e può essere misurata col prelevatore a fessura.



Fig. 9 - Misura delle infiltrazioni nel canale di scarico della Centrale di Demonte.

La misura ha rivelato una portata delle infiltrazioni di l/s 220 circa. Essa è illustrata dal grafico allegato e dalla fotografia (figg. 8 e 9).

Si noti che la differenza di portata da un estremo all'altro della lama stramazante, dovuta al fatto che il ciglio di questa non era orizzontale ma inclinato di 3 cm sulla sua lunghezza (3 m), è in accordo con le leggi della fononomia.

Possibilità di impiego del prelevatore.

Oltre ai due esempi particolari riportati ci sembra che il prelevatore a fessura possa essere utilmente impiegato in molti casi quali ad esempio:

- taratura di stramazzi irregolari;
- misura di portata su briglie, scivoli ecc.
- controllo del funzionamento di sfioratori laterali siano essi sfioratori modulatori o di troppo pieno.

All'apparecchio potrebbe inoltre essere abbinato un misuratore di portata (mulinello, contatore, bocca tarata ecc.) così da dare direttamente la portata prelevata senza fare la misura volumetrica nel recipiente tarato, il quale, se da una parte è sicuramente più preciso, d'altra parte è un po' ingombrante e richiede un certo dislivello tra la soglia stramazante ed il fondo canale a valle su cui viene posato per raccogliere l'acqua.

L'applicazione di misuratori di portata consentirebbe inoltre la costruzione di prelevatori più grandi di quello da noi sperimentato con possibilità quindi di misurare lame stramazanti di maggiore altezza.

Ringrazio vivamente il geom. De Gemini Fernando per la sua intelligente collaborazione nelle prove di taratura dell'apparecchio e nelle altre misure.

Lorenzo Brezzi

INDAGINE STATISTICA SUI RISULTATI DI TARATURE VENTURIMETRICHE SPERIMENTALI EFFETTUATE SU IMPIANTI DEL GRUPPO "SME" DAL 1939 AL 1956

SILVIO DANNECKER espone i risultati di una indagine statistica sui valori delle costanti venturimetriche, riscontrati durante la taratura sperimentale degli organi di misura di qualsiasi tipo effettuato con mulinelli e manometri differenziali. Indica pure le modalità di misura, l'influenza degli errori nelle misure ed il metodo di calcolo impiegato per mettere in evidenza eventuali anomalie dovute agli apparecchi.

I. Premesse.

L'esistenza di numerose misure di portata effettuate durante il collaudo delle turbine degli impianti più recenti del gruppo SME, successivamente utilizzate anche per la determinazione sperimentale dei valori delle costanti di taratura dei venturimetri¹ delle macchine, ci hanno indotto a riesaminare tutte contemporaneamente, con un identico metodo di calcolo.

Poichè già con precedenti elaborazioni era stata notata, specialmente per alcune misure, una variabilità nel valore della costante e precisamente una tendenza ad aumentare con l'aumentare delle portate, si è voluto esaminare, per via teorica, se e quali ipotetici errori fossero in grado di dare luogo alla stessa anomalia. Successivamente, riscontrando che ciò poteva essere causato da errori sistematici costanti, si è cercato di mettere in evidenza, anche nelle tarature sperimentali, la suddetta anomalia con l'aiuto di un procedimento di calcolo che prevedesse l'esistenza di termini correttivi tali da compensare gli eventuali suddetti errori commessi nelle misure.

II. Esecuzione delle misure.

Le misure di portata sono state eseguite prevalentemente in canali all'aperto con batterie di mulinelli tipo OTT mod. V, montati su aste ovoidali 75 x 35. Su sei impianti le misure sono state fatte in condotta con due mulinelli dello stesso tipo operanti in due piani ortogonali (vedi tab. III n. 9 ÷ 13 e n. 19).

La registrazione delle velocità è stata fatta con cronografi multipli e la successiva elaborazione delle portate su carta millimetrata.

Le pressioni differenziali sono state rilevate prevalentemente con manometro differenziale a quadrante tarato in precedenza; in quattro casi sono state rilevate contemporaneamente anche con manometro differenziale a tubetti di vetro con mercurio (vedi tab. III n. 1 ÷ 8); in quattro altri casi sono state rilevate contemporaneamente con 2 manometri differenziali ubicati su 2 diversi organi di strozzamento (venturimetro e spirale) (tab. III n. 32 e 33, 35 ÷ 36, 37 ÷ 38, 39 ÷ 40). Le caratteristiche dell'organo di strozzamento, in corrispondenza del quale sono state rilevate le pressioni differenziali, risultano dalla tabella I.

¹ Per venturimetro, ove non diversamente precisato, si intende qualsiasi organo atto a generare una differenza di pressione in funzione della portata che lo attraversa.

In genere sia per l'esecuzione delle misure che per le successive elaborazioni ci si è attenuti, salvo casi particolari, alle norme CEI per il collaudo delle turbine.

III. Influenza degli errori di misura.

È opportuno far precedere alla descrizione del metodo di calcolo impiegato, un'indagine sull'influenza che hanno gli errori, nei rilievi di portata e di pressione differenziale, sul valore sperimentale della costante venturimetrica.

Tralasciando di esaminare l'influenza degli errori accidentali, perchè variabili senza alcuna legge, è opportuno prima di esaminarli, suddividere gli errori sistematici in tre categorie:

a) errori sistematici proporzionali alle misure di portata o di pressione differenziale;

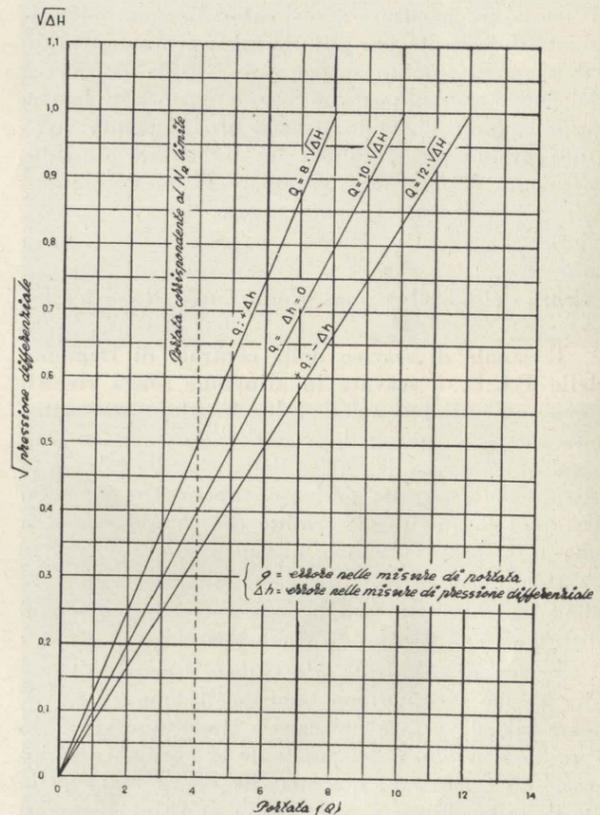


Fig. 1a - Influenza sul valore della costante venturimetrica di errori (q; Δh) proporzionali alle misure di portata e di pressione differenziale (Q; ΔH).

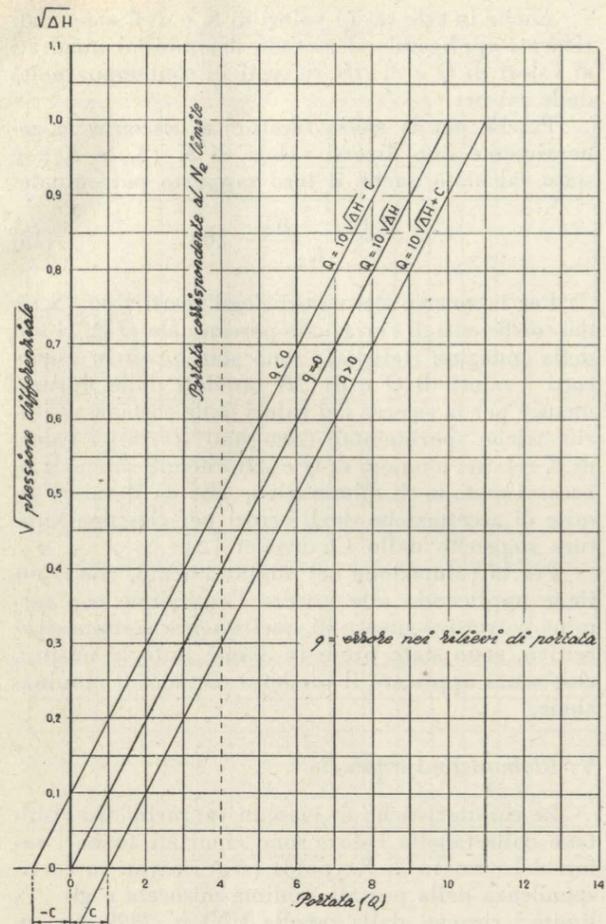


Fig. 1b - Influenza sul valore della costante venturimetrica di errori costanti (q) nelle misure di portata (Q).

b) errori sistematici costanti per tutta la serie di misure di portata;

c) errori sistematici costanti per tutta la serie di misure di pressione differenziale.

Nelle figg. 1a-b-c sono riportati schematicamente i 3 casi. Nel primo caso (fig. 1a) risulta che errori proporzionali alla portata influiscono in maniera direttamente proporzionale sul valore della costante venturimetrica, in maniera inversamente proporzionale alla radice quadrata dell'errore stesso se dovuti a rilievi di pressione differenziale; pertanto errori di questo tipo non sono in alcun modo individuabili. Solo per venturimetri rispondenti alle norme UNI, si potrebbe avere una indicazione qualitativa e quantitativa degli errori allorchè il divario fra costante teorica e costante sperimentale risultasse notevole².

Nel secondo caso (fig. 1b) risulta che un errore costante nei rilievi di portata non altera il valore della costante venturimetrica (coefficiente angolare) in quanto produce solo uno spostamento costante della retta che definisce l'equazione di taratura e di quantità facilmente valutabile.

² Infatti applicando i coefficienti sperimentali e le prescrizioni contenute nelle norme UNI queste forniscono anche gli errori probabili complessivi delle misure.

Nel terzo caso (fig. 1c) risulta che errori costanti nei rilievi di pressione differenziale alterano il valore della costante venturimetrica ed in maniera tanto maggiore quanto minore è la pressione differenziale rilevata. Questo caso però si può con buona approssimazione paragonare al precedente tenendo presente che generalmente il tratto di curva esaminato è sempre al disopra del Numero di Reynolds limite e che l'influenza di errori, nelle misure di pressione differenziali, è molto più piccola di quella dovuta ad analoghi errori di portata, sia perchè compaiono sotto il segno di radice, sia perchè all'atto pratico la misura in se stessa è molto più semplice e non è soggetta a successive elaborazioni come per le portate. (vedi appendice II).

Perciò anche in questo caso, tenuta presente la finalità statistica di quest'indagine, l'errore può essere messo in evidenza da un termine correttivo costante con la differenza che errori negativi di portata e positivi di pressione differenziale generano ambedue termini correttivi di valore negativo.

IV. Metodo di calcolo.

Tutti i metodi di calcolo per la determinazione della costante venturimetrica sperimentale partono dalla seguente espressione:

$$Q = a a \cdot \sqrt{2g\Delta H} = K \cdot \sqrt{\Delta H} \quad (1)$$

ricavata applicando il teorema di Bernoulli. (Vedi appendice I).

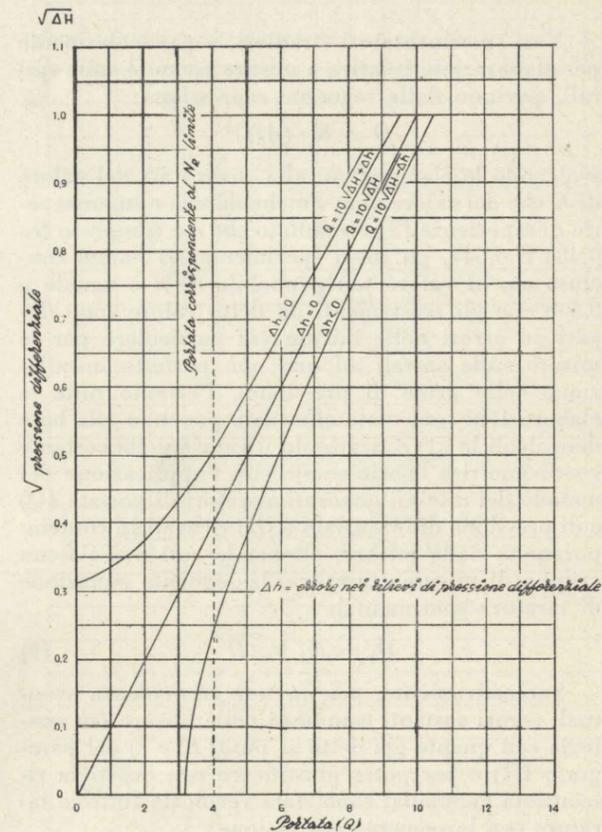


Fig. 1c - Influenza sul valore della costante venturimetrica di errori costanti (Δh) nelle misure di pressione differenziale (ΔH).

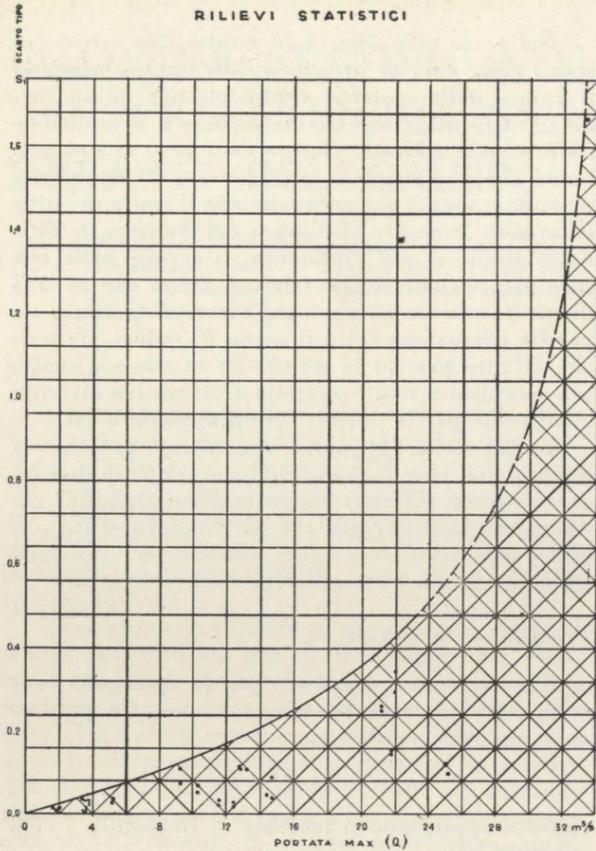


Fig. 2a.

Vari sperimentatori stranieri, e particolarmente per elaborazioni relative a misure eseguite sulle spirali, partono dalla seguente espressione:

$$Q = K \cdot (\Delta H)^n$$

svolgendo le elaborazioni alla ricerca sia del valore di K che del valore di n . Poiché da una numerosa serie di esperienze [3] è risultato che n è compreso fra 0,484 e 0,544, gli stessi sperimentatori hanno concluso che il valore più probabile di n è uguale a 0,5 e che gli scostamenti da detto valore sono dovuti ad errori nelle misure (in particolare per le misure sulle spirali ad una non perfetta installazione delle prese di pressione). Pertanto tutte le elaborazioni sono state effettuate ponendo alla base dei calcoli la (1) e ricavando il valore della costante venturimetrica sperimentale con l'applicazione del metodo dei minimi quadrati ai valori di portata (Q) e di pressione differenziale (ΔH) ricavati in contemporaneità dalle misure, ottenendo così per ciascun gruppo di misure (taratura) la seguente equazione di taratura sperimentale:

$$Q_1 = K_1 \sqrt{\Delta H} \quad (9)$$

Successivamente, per mettere in evidenza eventuali errori costanti commessi nelle misure (in analogia con quanto già detto ai punti b) e c) del paragrafo III) e per poter giustificare con questi la riscontrata anomalia, sono state verificate tutte le tarature con la seguente espressione:

$$Q_2 = K_2 \sqrt{\Delta H} + C \quad (14)$$

Anche in tale caso i valori di K e di C sono stati ricavati applicando il metodo dei minimi quadrati ai valori di Q e di ΔH ricavati in contemporaneità dalle misure.

Poiché per la stessa taratura si riscontrano generalmente due diversi valori di K (K_1 e K_2), è stato calcolato anche il loro rapporto percentuale.

$$\varepsilon = \frac{|K_1 - K_2|}{K_2} \cdot 100. \quad (15)$$

Per la ricerca dei valori degli scarti tipo (S_1) e dei coefficienti di variazione percentuale (V_1), ai fini della indagine statistica, sono stati presi in esame tutti i valori di Q e di ΔH ottenuti dalle misure, mentre per la ricerca dei valori delle costanti venturimetriche sperimentali sono stati scartati i valori di K relativi a valori di Q e ΔH ritenuti anomali in base al metodo di eliminazione che dà il valore limite di accettazione degli errori per ciascuna taratura suggerito dallo Chauvenet [2].

Per la valutazione del miglioramento, che si ottiene applicando alle misure l'equazione con termine correttivo invece di quella senza termine correttivo, sono state prese in esame tutte le misure, cioè senza applicare il predetto metodo di eliminazione.

V. Elaborazioni e tabelle.

Le caratteristiche di ciascun venturimetro risultano dalla tabella I dove sono riportati anche i valori del numero di Reynolds (N_R) ricavati in corrispondenza della portata minima misurata e gli N_R limite³ ricavati dalla tabella UNI n. 2329 per un uguale rapporto di strozzamento m .

Le elaborazioni delle varie misure sono state effettuate utilizzando la tabella II sulla quale è riportato anche un esempio di taratura.

Nella tabella III sono riportati i risultati delle singole elaborazioni effettuate per ciascuna taratura con il procedimento già esposto. Essa è suddivisa in 4 parti:

- valori degli scarti e dei coefficienti di variazione calcolati per l'indagine statistica;
- valori delle costanti venturimetriche calcolati previa eliminazione dei valori non accettabili e relativi valori di ε ;
- valutazione dei limiti di non accettazione;
- valutazione del miglioramento ottenuto con l'equazione di taratura con termine correttivo rispetto a quella senza termine correttivo (senza preventiva eliminazione dei valori anomali).

VI. Risultati delle elaborazioni.

Le elaborazioni delle osservazioni relative a 41 tarature permettono di riscontrare:

³ Per i venturimetri unificati si ammette che a parità di m , il coefficiente d'efflusso α rimanga costante per valori del numero di Reynolds superiori ai valori limiti. Detti valori valgono solo per venturimetri unificati (fino ad un diametro \varnothing 500 mm.) e sono stati presi come valori di riferimento non essendo possibile averne altri.

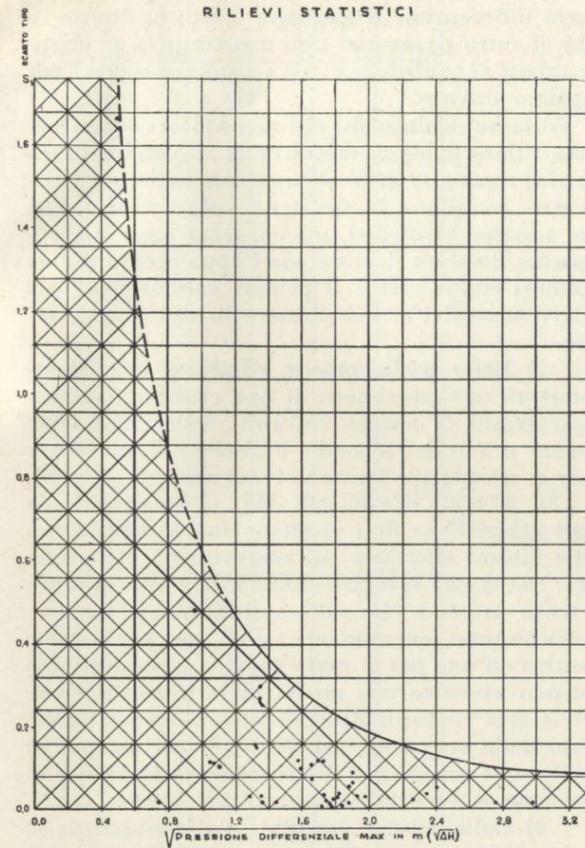


Fig. 2b.

1) Dal confronto dei coefficienti di variazione percentuale relativi alle due equazioni di taratura (9) e (14) appare un deciso miglioramento della (14) rispetto alla (9), cioè di quella che prevede il termine correttivo C , mediamente del 28% con un massimo del 280%. Ciò confermerebbe l'esistenza, in gran parte delle misure eseguite, di errori sistematici costanti rappresentati in valore e segno da C . Solo per sette tarature non si nota alcun miglioramento anzi un peggioramento medio del 5,5%; molto probabilmente ciò è accaduto per effetto di una sola misura che presentando un notevole scostamento dalla (9) dava luogo ad un valore di C di una certa entità, di conseguenza ricalcolando gli scarti rispetto alla (14) anche se esso diminuiva, tutti gli altri aumentavano considerevolmente per cui anche S_2 aumentava rispetto a S_1 .

2) La maggioranza delle equazioni di taratura venturimetriche presentano un termine correttivo C di valore non trascurabile e di segno prevalentemente negativo; il segno positivo per detto termine compare poche volte e, salvo tre casi, di cui uno particolare, per valori quasi sempre trascurabili.

3) Il valore medio statistico di ε risulta eguale a 1,77% con un massimo di 6,47%, inoltre, scindendo i casi in cui C è negativo o positivo, esso assume rispettivamente il valore medio -2,21% e +0,79% (vedi fig. 2e).

Tale valore può essere assunto come entità dell'errore sistematico e costante che altera le misure eseguite. Infatti, ammessa valida per il fenomeno

la legge $Q_1 = K_1 \sqrt{\Delta H}$ ed a seguito del significato più avanti attribuito al valore del termine correttivo C , il valore di ε acquista il significato di un « errore percentuale medio o deviazione media percentuale » nelle misure per effetto degli errori insiti nei rilievi di portata e di pressione differenziale e che risulta tanto maggiore quanto maggiormente le misure eseguite si scostano dalla legge suddetta per accostarsi all'analogia $Q_2 = K_2 \sqrt{\Delta H} + C$.

Il valore di ε rappresenterebbe pertanto l'errore percentuale di cui è affetto il valore della costante venturimetrica calcolata. Non vi è contraddizione allorché per la stessa taratura si riscontra un valore piccolo di ε ed un valore elevato di V_1 (vedere per esempio n. 16 tab. III), in quanto gli errori pur essendo grandi (e di conseguenza anche V_1), si possono compensare fra di loro e dare come risultato un valore abbastanza preciso della costante venturimetrica; necessariamente il caso inverso non è possibile (vedere fig. 2d).

Da notare inoltre che il valore statistico di ε riscontrato si avvicina molto alla tolleranza d'errore ammessa dalle varie norme sulle garanzie di rendimenti delle turbine (1 ÷ 2 unità percentuali).

4) Dalla rappresentazione grafica dei valori degli scarti tipo (S_1) in funzione di Q , $\sqrt{\Delta H}$ e K , ri-

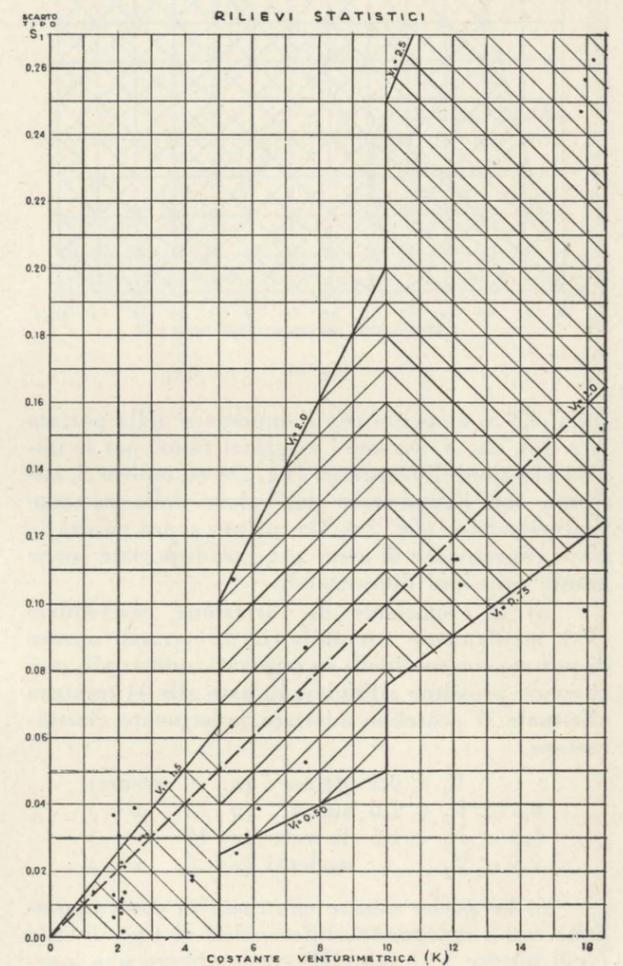
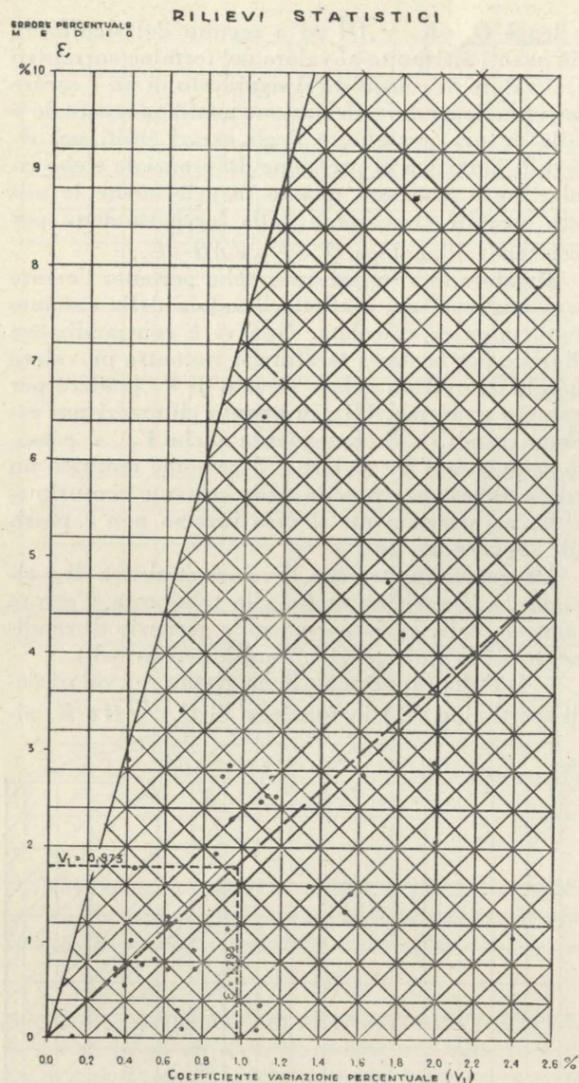


Fig. 2c.



sulta che S_1 aumenta con l'aumentare della portata (fig. 2a), che S_1 assume i maggiori valori per le minori pressioni differenziali (fig. 2b) ed inoltre S_1 aumenta con l'aumentare del valore della costante venturimetrica (fig. 2c). Da quanto sopra risulta la ovvia convenienza di avere per grandi portate anche grandi pressioni differenziali.

5) Il coefficiente di variazione percentuale (V_1), mediamente ottenibile con le normali misure di portata con mulinelli su impianti industriali, può ritenersi prossimo all'unità; in base alle 41 tarature effettuate si potrebbe adottare la seguente classificazione:

$V_1 < 0,5$	ottime	(n. 9 misure)
$0,5 < V_1 < 1,0$	buone	(» 14 »)
$1,0 < V_1 < 1,5$	discrete	(» 10 »)
$1,5 < V_1$	scadenti	(» 8 »)

6) Le poche misure effettuate in contemporaneità con 2 manometri differenziali di tipo diverso (vedi misure 1 ÷ 8 tab. III) rivelerebbero una maggior precisione per i rilievi effettuati con mano-

metro differenziale a mercurio a lettura diretta su tubi di vetro rispetto al tipo meccanico a quadrante; infatti al confronto V_1 ed ε risultano minori per il primo sistema.

Pertanto risulterebbe che non conviene prendere come valore finale il valore della costante venturimetrica risultante dalle elaborazioni nelle quali siano state introdotte le medie dei valori ricavati con due apparecchi diversi, ma converrà usare esclusivamente il valore ricavato con l'apparecchio che dà i minori errori e cioè il primo; naturalmente nei rilievi successivi si dovrà usare lo stesso apparecchio.

7) Dalle poche misure effettuate in contemporaneità su venturimetri di tipo classico e su analoghi organi di misura costituiti dalle prese sulle camere a spirale, secondo il sistema Winter-Kennedy di recente applicazione (vedi misure n. 32 ÷ 33, 35 ÷ 36, 37 ÷ 38, 39 ÷ 40, tab. III), si nota che i più bassi valori V_1 e di ε risultano in corrispondenza delle misure effettuate sui venturimetri del primo tipo. Ciò si può spiegare abbastanza facilmente ove si tenga presente che sulla spirale le prese piezometriche sono generalmente solo 2, una per il ramo positivo ed una per il ramo negativo; pertanto non potendo avvenire una media delle pressioni come per la gola venturimetrica di tipo classico e tenuto conto della maggiore turbolenza, le oscillazioni di livello sono maggiori e di conseguenza le letture di pressione differenziale risultano più incerte.

8) Dalle misure eseguite in contemporaneità su due diversi organi di strozzamento, venturimetro e spirale posti in serie (vedi tab. III misure n. 32 ÷ 33, 35 ÷ 36, 37 ÷ 38, 39 ÷ 40), si è notato che i valori massimi degli scarti, tali che su 3 dei 4 casi citati hanno portato all'eliminazione di una misura, compaiono sempre in corrispondenza dello stesso valore di portata fra quelle usate per il calcolo delle due differenti equazioni di taratura corrispondenti ai 2 suddetti organi di strozzamento. Quanto sopra è stato pure notato per le misure n. 1 ÷ 8 (tab. III) fatte sullo stesso organo di strozzamento ma con 2 apparecchi diversi. Ciò confermerebbe che gli errori più grandi sono dovuti ad errori nelle misure di portata piuttosto che in quelle di pressione differenziale.

9) Si può ritenere che il criterio di non accettazione di misura il cui scarto presenti una probabilità minore di 0,5 si adatti bene a questo tipo di misure in quanto, su di un totale di 236 misure relative a 41 tarature, i valori scartati sono risultati solo 14 (circa 6%).

Generalmente è stato sufficiente procedere ad un solo scarto prima di avere valori tutti omogenei; solo in un caso (tab. III n. 9) sono stati eliminati 2 valori.

Come già detto questo criterio è stato applicato solo ai risultati ottenuti con equazioni di taratura con termine correttivo (14). Infatti, allorché C assume valori di una certa entità (ε abbastanza grande), volendolo applicare alla (9) verrebbero certamente eliminati alternativamente i valori estremi della serie (per esempio prima un valore di K corrispondente ad una portata bassa e poi un valore di

TABELLA I

N	SAGOMA DEL VENTURIMETRO	D mm	d mm	m	L m	l m	Q m ³ /sec	N _R x 10 ⁵	N _{R₁} x 10
1 2	S. MANGO (CALORE) (SCALA 1:50) 	1499.55	1149.60	0.588			2.00	14.3	2.0
3 8	TRIANO (IV PESCARA) (SCALA 1:70) 	2900.00	2080.00	0.514		8.50	11.00	42.1	2.0
9 13	BOLOGNANO (II PESCARA) 	2100.00	1750.00	0.694			4.80	25.4	2.0
14 15	PIEDIMONTE (II MATESE) (SCALA 1:15) 	700.00	575.00	0.675	3.20	—	0.36	5.71	2.0

d mm	m	L m	l m	Q m ³ /sec	N _R x 10 ⁵	N _{R_e} x 10 ⁵
4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)
1149.60	0.588			2.00	14.3	2.0
2080.00	0.514	8.50	11.00	42.1	2.0	
1750.00	0.694	4.80	25.4	2.0		
575.00	0.675	3.20	—	0.36	5.71	2.0

N	SAGOMA DEL VENTURIMETRO		D mm	d mm	m	L m	l m	Q m ³ /sec	N _R x 10 ⁵	N _{R_e} x 10 ⁵
1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	
16	SUIO (GARIGLIANO) (SCALA 1:100)							11.13		
17	CASTROVILLARI (COSCILE) (SCALA 1:15)		750.00	650.00	0.751	3.75	—	1.00	14.8	2.0
18										
19	PRATA (LETE) (SCALA 1:20)		830.00	700.00	0.711	2.50	2.70	0.90	12.0	2.0

N	SAGOMA DEL VENTURIMETRO		D mm	d mm	m	L m	l m	Q m ³ /sec	N _R x 10 ⁵	N _{R_e} x 10 ⁵
1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	
20	VILLA S MARIA (SANGRO) (SCALA 1:300)		900.00	750.00	0.694	7.30	3.80	1.50		
25										
26	ACRI (MUCONE) (SCALA 1:300)		1100.00	900.00	0.669	5.50	4.00	1.40		
29										
31	MONTELUngo (VOLTURNO - GARIGLIANO) (SCALA 1:50)		2684.00	1485.00	0.306	15.00	7.00	6.08		
32										
33	MONTELUngo (VOLTURNO - GARIGLIANO) (SCALA 1:30)							6.08		

VENTURIMETRO	D mm	d mm	m	L m	l m	Q m ³ /sec x 10 ⁵	NR x 10 ⁵	NR _L x 10 ⁵
	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)
RIA (SANGRO) SCALA 1:300	900.00	750.00	0.694	7.30	3.80	1.50	18.5	2.0
ONE) (SCALA 1:300)	1100.00	900.00	0.669	5.50	4.00	1.40	14.1	2.0
VOLTURNO - GARIGLIANO) SCALA 1:50	2684.00	1485.00	0.306	15.00	7.00	6.08	24.8	1.3
(VOLTURNO - GARIGLIANO) 1:30	-	-	-	-	-	6.08	-	-

N	SAGOMA DEL VENTURIMETRO	D mm	d mm	m	L m	l m	Q m ³ /sec x 10 ⁵	NR x 10 ⁵	NR _L x 10 ⁵
		2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)
35	LUZZI (II MUCONE) (SCALA 1:40)								
37		1630.00	1100.00	0.455	8.40	2.80	4.24	28.90	1.80
39									
36	LUZZI (II MUCONE) (SCALA 1:25)						4.24		
38									
40									
41	MONTEMAGGIORE (VOLTURNO - GARIGLIANO) SCALA 1:50						9.80		

NOTE

- 1) Numero di riferimento dei rilievi (Tab. III).
- 2) Centrale ed impianto.
- 3) D=diametro della sezione maggiore.
- 4) d=diametro della sezione strozzata.
- 5) $m = \frac{d^2}{D^2}$ =rapporto di strozzamento.
- 6) L=lunghezza del tratto rettilineo a monte della strozzatura.
- 7) l=lunghezza del tratto rettilineo a valle della strozzatura.
- 8) Q=portata minima misurata
- 9) NR=numero di Reynolds in corrispondenza di Q.
- 10) NR_L=numero di Reynolds limite in relazione a m.

K corrispondente ad una portata alta) e così di seguito fino ad eliminare un numero eccessivo di valori che potrebbero sembrare anomali per la (9) ed invece non lo sono per la (14) proprio per la presenza di errori costanti.

È consigliabile inoltre che il criterio di non accettazione sia integrato da tutti quei rilievi che solo chi ha materialmente eseguito le misure può valutare.

VII. Significato del termine correttivo C .

Per giustificare l'esistenza del termine correttivo di cui al punto 2) del paragrafo precedente e per valutare l'importanza del suo segno, bisogna analizzare le cause che lo possano generare e che potrebbero essere le seguenti:

aa) influenza della variabilità del numero Reynolds alle varie portate;

bb) influenza della lunghezza del tratto rettilineo a monte e a valle dell'organo di strozzamento;

cc) influenza della maggiore contrazione della vena, in corrispondenza della sezione più contratta del venturimetro, ed eventuale distacco della vena in detto punto;

dd) errori sistematici nei rilievi di pressione differenziale;

ee) errori sistematici nei rilievi di portata come conseguenza di errori nei rilievi delle velocità e delle sezioni.

Analizzando i primi tre casi *aa)*, *bb)*, *cc)*, alla variabilità del N_R durante le misure, nel passare dalle basse alle alte portate (caso *aa)*, è difficile assegnare alcuna influenza in quanto tutte le misure prese in esame, e come risulta dalla tabella I, sono state effettuate in zone notevolmente al di sopra del valore limite ammesso per analogia anche dalle norme UNI (vedi tabella n. 2329) per eguali rapporti di strozzamento m ; per lo stesso motivo si può ritenere che le ridotte lunghezze dei tratti rettilinei di condotta che precedono o seguono i venturimetri (caso *bb)*, non possono dar luogo ad una anomalia come quella riscontrata. Anche una eventuale maggior contrazione della sezione contratta (caso *cc)* potrà portare a diversi valori delle costanti rispetto a quelli teorici ma pur sempre costanti perchè detta contrazione, al di sopra dei suddetti limiti, è indipendente dalla portata; così pure i casi di eventuale distacco della vena, per effetto di raccordi troppo brevi, dovrebbero essere facilmente rilevabili durante le misure attraverso fenomeni di instabilità nelle letture al manometro differenziale. All'atto pratico i casi *bb)* e *cc)* potrebbero essere paragonati al caso *a)* (fig. 1a) esaminato al paragrafo III e pertanto, anche se possono alterare il valore di K , non giustificerebbero l'esistenza del termine correttivo C .

Solo fra i due casi rimasti *dd)* *ee)* riteniamo possa trovarsi la principale causa che origina il termine correttivo C .

Infatti esaminando il comportamento dei manometri differenziali meccanici a quadrante e tenuto presente che normalmente le misure sono fatte in salita (per valori di Q crescenti), è molto probabile

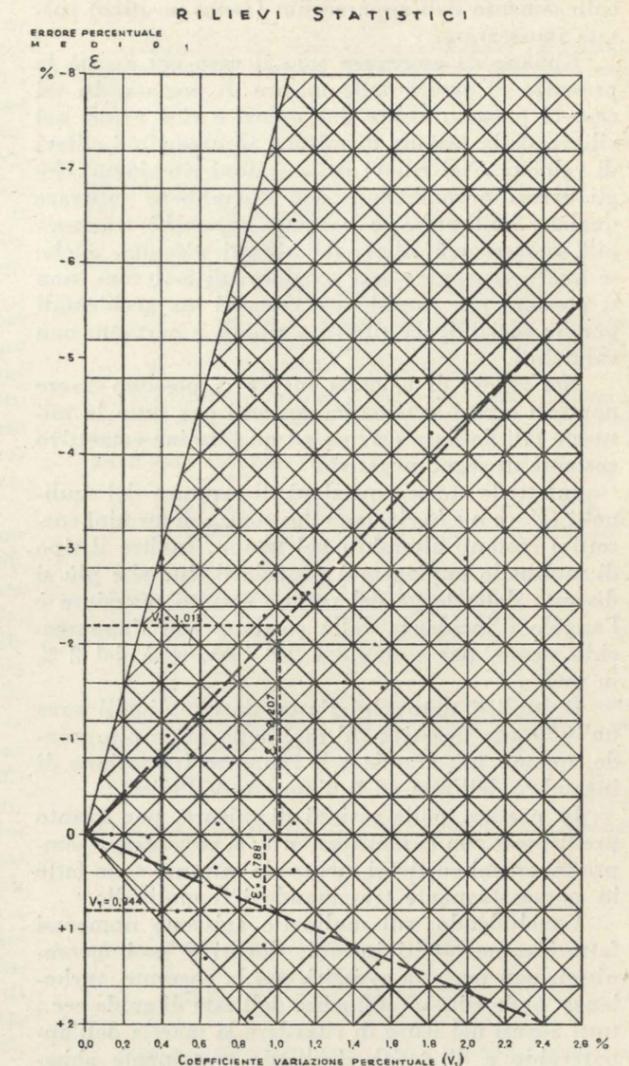


Fig. 2e.

che, per effetti di attriti meccanici e per la inerzia degli equipaggi di misura, le letture risultino in difetto di una quantità pressappoco costante. In tal caso, come esaminato al paragrafo III (fig. 1c), il termine correttivo C risulterebbe positivo e di minima entità (a parità di altri errori) perchè la sua influenza si manifesta sul termine sotto radice ($\sqrt{\Delta H}$).

Infatti gli 11 termini correttivi C di segno positivo riscontrati su 41 tarature sono di entità trascurabile, salvo due casi di misure in condotta (Tab. III n. 10 e 11) ed un caso (Tab. III n. 16) dove in corrispondenza di una portata massima di $33,4 \text{ m}^3/\text{s}$ faceva riscontro una pressione differenziale che oltre ad essere di soli $0,24 \text{ m}$ ($K=67$) presentava notevoli fenomeni di instabilità. Da notare che valori positivi di C non si sono riscontrati che una sola volta (Tab. III n. 39) per misure eseguite con manometri differenziali a tubetti di vetro con mercurio, cioè con apparecchi privi di attriti meccanici. Tale caso però potrebbe trovare una giustificazione con l'ammettere una piccola perdita nei tubetti di

collegamento dell'apparecchio (ramo positivo) passata inosservata.

Rimane da osservare solo il caso *ee*) e cioè la presenza di errori nelle misure di portata. In tal caso ci possono essere due errori e cioè errori nel rilievo della sezione di misura ed errori nei rilievi di velocità. Nei rilievi delle sezioni, riteniamo, che gli errori normalmente non dovrebbero superare qualche millimetro, e pertanto pressochè trascurabili, mentre nei rilievi dei tiranti d'acqua, anche se questi possono essere maggiori di 5-10 mm, non si possono più considerare costanti ma accidentali perchè variabili da rilievo a rilievo e pertanto non valutabili.

Nei rilievi di velocità invece ci possono essere notevoli errori sistematici costanti per tutte le misure e tali da dare origine ad un termine correttivo costante di segno negativo.

Infatti le stesse equazioni di taratura dei mulinelli ($V = an + b$) rivelano l'esistenza di termini correttivi costanti alterabili nel tempo. Inoltre il tipo di mulinello impiegato è proprio il tipo che più si discosta dalla legge del coseno quanto maggiore è l'angolo d'incidenza della corrente con l'apparecchio stesso, per esempio a 10° l'errore è del 2% in meno.

È inoltre noto che l'asta portamulinelli crea un'influenza negativa sul mulinello tanto più grande, quanto più grande è il rapporto fra sezione di ingombro dell'asta ed il diametro dell'elica.

In pratica, nelle sezioni di misura, per quanto predisposte con la massima cura, si riscontrano sempre fenomeni vorticosi mentre le tarature sono fatte in acqua stagnante trascinandovi il mulinello.

Concludendo, sul mulinello agiscono numerosi fattori come attriti interni, dovuti a suoi meccanismi, non perfetta assialità con la corrente, turbolenza, onde riflesse, influenza dell'asta di guida ecc., tutti agenti nel senso di ritardare la marcia dell'apparecchio e di entità risultante certamente abbastanza costante per tutte le misure specialmente se dovute ai primi tre casi, con la conseguenza di dare valori delle velocità in difetto e quindi anche valori di *C* negativi (fig. 1c).

Pertanto si può affermare, con buon fondamento, che l'aver riscontrato nelle tarature valori di *C* di segno negativo stia ad indicare la presenza predominante di errori costanti nelle misure di portata, viceversa, valori di *C* di segno positivo, errori dovuti principalmente a rilievi di pressione differenziale non molto accurati.

Ovviamente, i due errori possono coesistere, ma quello che predomina oltre al segno darà anche grandezza al termine *C*.

VIII. Conclusioni.

Dall'esame generale dei rilievi eseguiti e dai risultati ottenuti si può dedurre quanto segue:

— L'equazione di taratura sperimentale che, in assenza di errori, definisce il comportamento del venturimetro, è sempre quella derivante dall'applicazione del teorema di Bernoulli, e cioè:

$$Q_1 = K_1 \sqrt{\Delta H} \quad (9)$$

In presenza di errori sistematici e costanti essa è definita meglio dalla analoga:

$$Q_2 = K_2 \sqrt{\Delta H} + C \quad (14)$$

dove *C* rappresenterebbe la conferma dell'esistenza di errori nelle misure eseguite, per effetto dei quali il valore più probabile della costante venturimetrica (K_2) assume un diverso valore (K_1).

Per quanto riguarda la convenienza di applicare la (9) o la (14) riteniamo che la (9) possa essere usata utilmente fintantochè ϵ risulti minore di 1,5% \div 1,8% e V_1 risulti minore di 0,75 \div 1,00.

Riteniamo invece che la (14) non presenti grande utilità in se stessa ma solo in quanto è in grado di mettere in luce eventuali errori commessi nelle misure. La (14) può presentare qualche utilità allorchè i valori di ϵ e di V_1 riscontrati siano notevolmente più grandi dei suddetti limiti; in tal caso non volendo o non potendo ripetere le misure con altri apparecchi, e semprechè ci siano ragioni sufficienti di ritenere che gli errori siano dovuti quasi esclusivamente ad errori di portata⁴, si potrà usare la (14) priva del termine correttivo e più precisamente:

$$Q_3 = K_2 \sqrt{\Delta H} \quad (25)$$

— Il procedimento di calcolo accennato al paragrafo IV e maggiormente sviluppato in appendice, permette di ricavare con l'ausilio della (15) anche l'errore percentuale medio (ϵ) delle misure eseguite e ciò dal solo confronto fra portate e pressioni differenziali effettivamente misurate senza dover fare confronti con portate diversamente misurate (stramazzi, sistemi termoelettrici, chimici, ecc.).

Come già detto, però, è opportuno che il valore di ϵ non risulti superiore all'1,5% \div 1,8% nel qual caso è consigliabile ripetere le misure possibilmente cambiando apparecchi⁵ e cercando di migliorare le installazioni di misura con griglie di tranquillizzazione ecc.

— Per maggiormente confermare l'esistenza di eventuali errori e di conseguenza la riscontrata tendenza di *K* al variare delle portate, è opportuno eseguire numerose misure, possibilmente da un minimo di 6 a 10 per ciascuna taratura, ben intervallate fra di loro.

— Per una maggiore precisione delle misure risulta la convenienza di scegliere, a parità di altre condizioni e limitatamente con le maggiori perdite di carico, la strozzatura che dia le pressioni differen-

⁴ Allo scopo di localizzare maggiormente gli errori sarebbe opportuno procedere (come fatto per le misure 32+33, 35+36, 37+38, 39+40), a rilevare due diverse pressioni differenziali, la prima in corrispondenza del venturimetro, l'altra in un punto singolare dell'impianto, per esempio sulla spirale della turbina, su due diametri diversi della condotta ecc. In mancanza di ciò, anche con 2 manometri differenziali sullo stesso organo di strozzamento come per le misure 1+8. Dal loro confronto sarà possibile ricavare elementi di valutazione della qualità delle misure di pressione differenziali e successivamente anche delle portate.

⁵ A tal riguardo sarebbe stato interessante ripetere su alcuni impianti le misure con mulinelli del nuovo tipo ad elica autocomponente senza modificare le installazioni esistenti.

ziali più elevate possibili in modo che il valore della costante venturimetrica risulti il più piccolo possibile; come a dire che a portate elevate devono corrispondere pressioni differenziali elevate. Infatti la misura n. 16 (Tab. III) ha messo in particolare evidenza che il coefficiente di variazione percentuale più elevato ($V_1 = 2,40$) è stato ricavato per un impianto alla cui portata massima misurata di 33,4 m³/s faceva riscontro una pressione differenziale di soli 0,24 m ($K = 67$). Pertanto sarebbe consigliabile assumere come valore limite il valore $K = 10$ (vedi fig. 2c).

— Dalla separazione dei valori di ϵ relativi a valori di *C* positivi o negativi (fig. 2e), si riscontra una netta prevalenza, in valore e segno, dei secondi sui primi. Ciò porterebbe a concludere che in questo tipo di misure industriali prevalgono maggiormente gli errori di portata, come conseguenza di una probabile deficienza dei valori di velocità riscontrati, da attribuire al tipo di mulinello impiegato.

Come già detto, per il calcolo della costante venturimetrica, si è fatto un confronto fra pressioni differenziali comunque misurate e portate rilevate esclusivamente tramite mulinelli di tipo normale. Per mancanza dei relativi dati non è stato possibile effettuare confronti anche con misure di portata rilevate con stramazzi od altri sistemi e ciò per la difficoltà che s'incontra generalmente nelle installazioni degli stramazzi che, oltre a richiedere un canale molto lungo, non devono superare portate specifiche (date le limitazioni di carico imposte dalle norme) di 1,23 m³/s per metro lineare il che richiederebbe, anche per portate modeste, l'esistenza di canali di scarico molto lunghi e larghi, incompatibili con l'economia degli impianti. A tal riguardo, e a conferma di quanto più sopra prospettato, conviene ricordare che al collaudo dell'impianto di Innetkirhen sono state eseguite accurate misure di portata con stramazzi e con mulinelli riscontrando, in generale, per questi ultimi risultati inferiori dell'1,5 \div 2,5%.

Comunque, riteniamo che il metodo di calcolo descritto, oltre a dare i più probabili valori delle costanti venturimetriche, sia in grado di indicare la qualità delle misure e l'entità percentuale dell'errore commesso.

Con tali valori lo sperimentatore potrà essere in grado di valutare, oltre all'esattezza della misura eseguita, anche quale apparecchio impiegato (mulinello o manometro differenziale) sia la causa principale di eventuali anomalie riscontrate nelle misure.

BIBLIOGRAFIA

1. ADDISON, *Hdraulic measurements*.
2. HETÉNYI, *Handbook of Experimental Stress Analysis*, 1950 (p. 1053).
3. BERNET, *Waser and Energie Wirtschaft*, November 1956.
4. BOAGA, *Trattato di geodesia e topografia*, vol. I, Cedam, 1948.
5. RAMPONI, *La taratura dei molinelli idrometrici nel laboratorio d'idraulica dell'Università di Padova*, «Energia Elettrica», 1938.
6. Norme UNI n.2323+2330.
7. UNISIDER n. 8, *Terminologia relativa al trattamento statistico di serie di osservazioni*.

APPENDICE I

L'equazione di taratura venturimetrica risultante dalla applicazione del teorema di Bernoulli, è data dalla seguente espressione:

$$Q = a \sqrt{2g\Delta H} \quad (1)$$

dove

- Q = portata istantanea
- ΔH = dislivello piezometrico
- a = coefficiente di efflusso dipendente da m
- $m = \frac{a}{A} = \frac{d^2}{D^2}$ rapporto di strozzamento
- a = sezione di misura più ristretta del venturimetro
- A = sezione di misura a monte del venturimetro
- g = accelerazione di gravità.

Per ciascuna taratura si conoscono contemporaneamente un certo numero di valori di portata (Q' ; Q'' ; Q''') ed i rispettivi valori della pressione differenziale ($\Delta H'$; $\Delta H''$; $\Delta H'''$) legati dalla relazione (1):

$$K' = \frac{Q'}{\sqrt{\Delta H'}}; \quad K'' = \frac{Q''}{\sqrt{\Delta H''}}; \quad K''' = \frac{Q'''}{\sqrt{\Delta H'''}}$$

Con tali valori sono stati calcolati i valori medi delle costanti venturimetriche e precisamente:

$$K_m = \frac{\sum[K]}{n} \quad (2)$$

dove n è il numero di misure eseguite per ciascuna taratura. Si possono così calcolare gli scarti di ciascuna misura rispetto al valore medio ottenuto e precisamente:

$$x'_i = K' - K_m; \quad x''_i = K'' - K_m; \quad x'''_i = K''' - K_m \quad (3)$$

e con essi calcolare lo scarto tipo definito dalla seguente relazione:

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum[x_i^2]}{n-1}} \quad (4)$$

oppure anche con la relazione analoga:

$$S_{11} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{\sum[|x_i|]}{n} = 1,2533 \cdot \frac{\sum[|x_i|]}{n} \quad (4 \text{ bis})$$

Con il valore dello scarto tipo è possibile calcolare anche il valore del coefficiente di variazione percentuale:

$$V_1 = \frac{\sqrt{\frac{\sum[x_i^2]}{n-1}}}{K_m} \cdot 100 = \frac{S_1}{K_m} \cdot 100 \quad (5)$$

e valutare così la qualità delle misure effettuate per ciascuna taratura, per paragonarla con altre tarature.

Poichè i valori delle costanti venturimetriche calcolati con la (2) sono ottenuti prescindendo dal peso delle singole misure, per il calcolo della costante media ponderale si è usato il metodo dei minimi quadrati.

La legge del fenomeno, nel caso di una sola costante, è data dall'equazione:

$$-x + ay = 0 \quad (6)$$

e applicando il suddetto metodo si ottiene l'equazione

$$-\sum[xy] + a\sum[y^2] = 0 \quad (7)$$

ed essendo $x = Q$ (in m³/s), $y = \sqrt{\Delta H}$ (ΔH in m colonna acqua) $a = K$, risolvendo risulta:

$$K_1 = \frac{\sum[Q \cdot \sqrt{\Delta H}]}{\sum[(\sqrt{\Delta H})^2]} = \frac{\sum[Q \cdot \sqrt{\Delta H}]}{\sum[\Delta H]} \quad (8)$$

e l'equazione di taratura sperimentale del venturimetro:

$$Q_1 = K_1 \cdot \sqrt{\Delta H} \quad (9)$$

CENTRALE DI MONTELUONGO
COLLAUDO TURBINA GRUPPO N. 2 IN DATA 12 ÷ 13 - IV - 1954
TARATURA SPERIMENTALE DEL VENTURIMETRO
CALCOLO ANALITICO DELLA COSTANTE VENTURIMETRICA

Prova	VALORI RILEVATI			VALORI CALCOLATI			VALORI DEGLI SCARTI			VALORI DEGLI SCARTI			NOTE
	N.	Apertura turbina in decimi	Pressione differenziale ΔH m	Portata misurata Q m ³ /s	Costante venturimetr. K'	Portata calcolata Q_c m ³ /s	x_1	$(x_1)^2$	Costante venturimetr. K'_c	x_2	$(x_2)^2$	OSSERVAZIONI	
1	10	3,605	14,470	7,6210	14,663	0,0847	0,007174	7,7863	0,0053	0,000028		2) La pressione differenziale è stata rilevata con manometro differenziale a quadrante con mulinelli 3) La portata è stata misurata con mulinelli 6) $K = Q/\sqrt{\Delta H}$ 7) $Q_c = K_2\sqrt{\Delta H}$ ($K_2 = 7,7226$) 8) $x_1 = K' - K_m$ = scarto riferito al valore di K_m 10) $K_2 = (Q + C)/\sqrt{\Delta H}$ n = numero delle misure effett. n_u = numero delle misure utilizz. Σ = sommatoria di n valori (7) Σ_u = sommatoria di n_u valori utilizzabili (6) $\Sigma[(\sqrt{\Delta H})^2] = \Sigma[\Delta H]$	
2	9	3,060	13,286	7,5950	13,509	0,0587	0,003445	7,7444	-0,0066	0,000044			
3	8	2,505	12,020	7,5946	12,223	0,0583	0,003399	7,7929	0,0119	0,000142			
4	7	1,980	10,633	7,5567	10,866	0,0204	0,000416	7,7797	-0,0013	0,000002			
5	6	1,500	9,228	7,5349	9,458	-0,0014	0,000002	7,7912	0,0102	0,000104			
6	5	1,030	7,480	7,3702	7,838	-0,1661	0,027589	7,6794	-0,1016	0,010323	scartata		
7	4	0,660	6,078	7,4815	6,274	-0,0548	0,003003	7,8629	0,0819	0,006708			
Σ		[14,340]	[73,195]	[52,7539]	[74,831]	[0]	[0,045029]	[54,4668]	[0]	[0,017349]			
Σ_u		[13,310]	[65,715]										

$$S_1 = \text{scarto tipo} = \sqrt{\frac{\Sigma[x_1^2]}{n-1}} = 0,0866$$

$$S_2 = \text{scarto tipo} = \sqrt{\frac{\Sigma[x_2^2]}{n-2}} = 0,0589$$

$$V_1 = \text{coefficiente di variazione percentuale} = \frac{S_1}{K_m} \cdot 100 = 1,149$$

$$\epsilon = \text{errore percentuale medio} = \frac{|K_1 - K_2|}{K_2} \cdot 100 = 2,72$$

$$K_m = \text{costante venturimetrica media} = \frac{\Sigma[K']}{n} = 7,5363$$

$$x_{2lim} = \text{limite di accettazione} = W \cdot \frac{1,253 \cdot \Sigma|x_2|}{n} = 0,0707$$

$$K_1 = \text{costante venturimetrica} = \frac{\Sigma[Q \cdot \sqrt{\Delta H}]}{\Sigma[(\sqrt{\Delta H})^2]} = 7,5685$$

$$Q_c = \text{portata calcolata} = K_1 \cdot \sqrt{\Delta H} = 7,5838$$

$$K_2 = \text{costante venturimetrica} = \frac{\Sigma[\sqrt{\Delta H}] \cdot \Sigma[Q] - n \cdot \Sigma[Q \cdot \sqrt{\Delta H}]}{(\Sigma[\sqrt{\Delta H}]^2 - n \cdot \Sigma[(\sqrt{\Delta H})^2])}$$

$$C = \text{termine correttivo} = \frac{\Sigma[\sqrt{\Delta H}] \cdot \Sigma[Q \cdot \sqrt{\Delta H}] - \Sigma[(\sqrt{\Delta H})^2] \cdot \Sigma[Q]}{(\Sigma[\sqrt{\Delta H}]^2 - n \cdot \Sigma[(\sqrt{\Delta H})^2])}$$

$$Q_{c2} = \text{portata calcolata} = K_2 \cdot \sqrt{\Delta H} + C = 7,7226$$

N.	Centrale	Venturimetro turbina	DATI DI RIFERIMENTO				VALORI STATISTICI				CALCOLO DELLE COSTANTI PRELIMINARI			
			Misure in data	Q Portata massima	ΔH Pressione differenziale max	$\sqrt{\Delta H}$	Misure effettuate	K_m Costante venturimetrica media	S_1 Scarto tipo	V_1 Coefficiente di variazione percentuale	Misure	K_1		
1)	2)	n. 3)	4)	m ³ /s 5)	m 6)	7)	n. 8)	9)	10)	% 11)	Scartate n. 12)	Residue n. 13)	14)	
1	S. Mango	—	19 ÷ 21-II -39	9,044	2,741	1,6556	10	5,3656	0,0726	1,353	—	10	5,4001	5,
2	S. Mango	—	19 ÷ 21-II -39	9,044	2,710	1,6470	10	5,3786	0,1070	1,989	—	10	5,4237	5,
3	Triano	1	19 ÷ 21-III -43	21,820	1,750	1,3229	4	16,2973	0,1461	0,896	—	4	16,3489	16,
4	Triano	1	19 ÷ 21-III -43	21,820	1,735	1,3172	4	16,3513	0,1520	0,929	—	4	16,4041	16,
5	Triano	2	19 ÷ 21-III -43	22,020	1,800	1,3415	4	16,1452	0,2942	1,822	1	3	16,2305	17,
6	Triano	2	19 ÷ 21-III -43	22,020	1,790	1,3379	4	16,1102	0,2811	1,745	1	3	16,2628	17,
7	Triano	3	19 ÷ 21-III -43	21,260	1,825	1,3509	4	15,8385	0,2470	1,559	—	4	15,8771	16,
8	Triano	3	19 ÷ 21-III -43	21,260	1,800	1,3415	4	15,8562	0,2564	1,617	—	4	15,9164	16,
9	Bolognana	1	17-III -47	12,710	1,095	1,0465	7	12,0067	0,1130	0,941	2	5	12,0668	12,
10	Bolognana	2	1 ÷ 2-VIII -47	13,265	1,220	1,1047	9	12,1518	0,1053	0,867	—	9	12,1045	11,
11	Bolognana	3	1 ÷ 2-VIII -47	12,850	1,124	1,0602	8	12,1692	0,1130	0,929	1	7	12,1367	11,
12	Bolognana	4	5-XI -48	25,085	2,500	1,5812	6	15,8523	0,1210	0,759	—	6	15,8792	16,
13	Bolognana	4	6-XII -48	25,355	2,527	1,5897	6	15,8377	0,0980	0,618	1	5	15,9344	16,
14	Piedimonte	1	16 ÷ 17-VII -48	1,842	1,860	1,3638	9	1,3450	0,0092	0,684	—	9	1,3431	1,
15	Piedimonte	2	16 ÷ 17-VII -48	1,870	2,068	1,4381	10	1,2948	0,0132	1,019	—	10	1,2946	1,
16	Suio	2	18 ÷ 23-I -50	33,400	0,242	0,4920	12	67,9140	1,6648	2,397	—	12	67,6745	66,
17	Castrovillari	1	10 ÷ 11-II -52	3,415	3,373	1,8367	5	1,8573	0,0061	0,327	—	5	1,8567	1,8
18	Castrovillari	2	10 ÷ 11-II -52	3,410	3,317	1,8213	5	1,8354	0,0365	1,988	1	4	1,8615	1,
19	Prata	1	3 ÷ 5-III -52	1,626	0,552	0,7430	4	2,1965	0,0138	0,628	—	4	2,1933	2,
20	Villa S. Maria	6	1 ÷ 3-X -52	3,672	3,135	1,7706	5	2,0655	0,0085	0,412	—	5	2,0673	2,
21	Villa S. Maria	5	1 ÷ 3-X -52	3,666	3,130	1,7692	5	2,0791	0,0076	0,366	—	5	2,0796	2,
22	Villa S. Maria	4	1 ÷ 3-X -52	3,756	3,000	1,7321	5	2,1466	0,0216	1,006	—	5	2,1499	2,
23	Villa S. Maria	3	1 ÷ 3-X -52	3,749	3,170	1,7805	5	2,0855	0,0228	1,093	—	5	2,0902	2,
24	Villa S. Maria	2	18-IV -53	3,652	2,920	1,7088	6	2,1421	0,0031	0,145	—	6	2,1421	2,
25	Villa S. Maria	1	18-IV -53	3,633	2,920	1,7088	6	2,1287	0,0119	0,561	—	6	2,1320	2,
26	Acri	1	28 ÷ 30-VII -53	3,761	1,825	1,3510	5	2,7422	0,0302	1,100	—	5	2,7573	2,
27	Acri	2	28 ÷ 30-VII -53	3,761	1,620	1,2728	5	2,9300	0,0226	0,771	—	5	2,9352	2,
28	Acri	3	8 ÷ 9-XI -53	5,156	3,725	1,9300	6	2,6639	0,0290	1,087	—	6	2,6659	2,
29	Acri	4	8 ÷ 9-XI -53	5,156	3,270	1,8083	6	2,8452	0,0312	1,097	—	6	2,8427	2,
30	Castrovillari	1	13 ÷ 14-I -54	3,557	3,530	1,8789	7	1,8778	0,0131	0,696	—	7	1,8789	1,
31	Montelungo	1	12 ÷ 13-IV -54	14,330	3,545	1,8829	5	7,5624	0,0526	0,696	—	5	7,5767	7,
32	Montelungo	2	12 ÷ 13-IV -54	14,470	3,605	1,8987	7	7,5363	0,0866	1,149	1	6	7,5838	7,
33	Montelungo	2	12 ÷ 13-IV -54	14,470	5,486	2,3423	7	6,1585	0,0386	0,626	1	6	6,1720	6,
34	Castrovillari	1	4-V -55	3,311	2,992	1,7300	7	1,9156	0,0094	0,492	1	6	1,9119	1,
35	Luzzi	2	14 ÷ 15-VII -55	10,264	5,770	2,4022	6	4,2340	0,0494	1,167	1	5	4,2617	4,
36	Luzzi	2	14 ÷ 15-VII -55	10,264	3,590	1,8948	6	5,3669	0,0612	1,141	1	5	5,4003	5,
37	Luzzi	1	2-VIII-55	11,609	7,617	2,7599	5	4,1907	0,0171	0,407	1	4	4,1990	4,
38	Luzzi	1	2-VIII-55	11,609	3,928	1,9820	5	5,8279	0,0254	0,436	1	4	5,8430	5,
39	Luzzi	2	3-VIII-55	12,502	8,901	2,9835	5	4,2012	0,0173	0,451	—	5	4,2003	4,
40	Luzzi	2	3-VIII-55	12,502	5,112	2,2609	5	5,5083	0,0249	0,413	—	5	5,5159	5,
41	Montemaggiore	1	14 ÷ 19-I -56	29,730	0,917	0,9576	6	31,4427	0,4800	1,527	—	6	31,4161	31,

$$9) K_m = \frac{\Sigma[K']}{n}$$

$$10) S_1 = \sqrt{\frac{\Sigma[x_1^2]}{n-1}}$$

$$11) V_1 = \frac{S_1}{K_m} \cdot 100$$

$$14) K_1 = \frac{\Sigma[Q \cdot \sqrt{\Delta H}]}{\Sigma[(\sqrt{\Delta H})^2]}$$

$$15) K_2 = \frac{\Sigma[\sqrt{\Delta H}] \cdot \Sigma[Q] - n \cdot \Sigma[Q \cdot \sqrt{\Delta H}]}{(\Sigma[\sqrt{\Delta H}]^2 - n \cdot \Sigma[(\sqrt{\Delta H})^2])}$$

$$16) C = \frac{\Sigma[\sqrt{\Delta H}] \cdot \Sigma[Q \cdot \sqrt{\Delta H}] - \Sigma[(\sqrt{\Delta H})^2] \cdot \Sigma[Q]}{(\Sigma[\sqrt{\Delta H}]^2 - n \cdot \Sigma[(\sqrt{\Delta H})^2])}$$

$$17) \epsilon = \frac{|K_1 - K_2|}{K_2} \cdot 100$$

$$18) S_2 = \sqrt{\frac{\Sigma[x_2^2]}{n-2}}$$

(in parentesi i valori senza scarti)

TABELLA III

TI DI RIFERIMENTO				VALORI STATISTICI				CALCOLO DELLE COSTANTI VENTURIMETRICHE E LORO DEVIAZIONE PREVIA ELIMINAZIONE DEI VALORI NON ACCETTABILI							VALUTAZIONE LIMITI DI NON ACCETTAZIONE		VALUTAZIONE MIGLIORAMENTO (SENZA SCARTI)							OSSERVAZIONI	
Misure in data	Q Portata massima	ΔH Pressione differenziale max	√ΔH	Misure effettuate	Km Costante venturimetrica media	S ₁ Scarto tipo	V ₁ Coefficiente di variazione percentuale	Misure		K ₁	K ₂	C	ε Deviiazione media percentuale	S ₁ scarto tipo	V ₂ coefficiente di variazione percentuale	W	X ₂ lim.	x ₁ max scarto massimo	S ₁₁ scarto tipo	V ₁₁ Coefficiente di variazione percentuale	x ₂ max Scarto massimo	S ₂₂ scarto tipo	V ₂₂ Coefficiente di variazione percentuale		Z migliora- mento
3)	4)	m ³ /s 5)	m 6)	7)	n. 8)	9)	10)	% 11)	Scar- tate n. 12)	Re- sidue n. 13)	14)	15)	16)	% 17)	18)	% 19)	20)	21)	22)	23)	% 24)	25)	26)	% 27)	% 28)
19 ÷ 21-II -39	9,044	2,741	1,6556	10	5,3656	0,0726	1,353	—	10	5,4001	5,4878	-0,0898	1,60	0,0581	1,006	1,966	0,1160	-0,1134	0,0693	1,292	0,0856	0,0590	1,075	20,19	Manometro differenziale a mercurio
19 ÷ 21-II -39	9,044	2,710	1,6470	10	5,3786	0,1070	1,989	—	10	5,4237	5,5349	-0,1121	2,01	0,0789	1,425	1,966	0,1514	-0,2022	0,0944	1,755	0,1295	0,0770	1,391	26,17	Manometro differenziale a mercurio
19 ÷ 21-III -43	21,820	1,750	1,3229	4	16,2973	0,1461	0,896	—	4	16,3489	16,8049	-0,4955	2,72	0,0881	0,524	1,534	0,1188	0,1968	0,1235	0,758	-0,0829	0,0775	0,449	68,82	Manometro differenziale a mercurio
19 ÷ 21-III -43	21,820	1,735	1,3172	4	16,3513	0,1520	0,929	—	4	16,4041	16,8848	-0,5206	2,85	0,1134	0,672	1,534	0,1513	0,2141	0,1342	0,821	-0,0995	0,0986	0,584	40,58	Manometro differenziale a mercurio
19 ÷ 21-III -43	22,020	1,800	1,3415	4	16,1452	0,2942	1,822	1	3	16,2305	17,0822	-0,9181	4,99(4,22)	0,0472	0,276	1,534	0,2091	-0,3379	0,3080	1,908	-0,2177	0,1363	0,808	136,14	Manometro differenziale a mercurio
19 ÷ 21-III -43	22,020	1,790	1,3379	4	16,1102	0,2811	1,745	1	3	16,2628	17,2185	-1,0275	5,55(4,76)	0,0214	0,124	1,534	0,1957	-0,3484	0,2458	1,526	-0,2036	0,1276	0,750	103,47	Manometro differenziale a mercurio
19 ÷ 21-III -43	21,260	1,825	1,3509	4	15,8385	0,2470	1,559	—	4	15,8771	16,1345	-0,2847	1,55	0,2527	1,567	1,534	0,3062	0,3206	0,2270	1,433	0,2721	0,1996	1,237	15,84	Manometro differenziale a mercurio
19 ÷ 21-III -43	21,260	1,800	1,3415	4	15,8562	0,2564	1,617	—	4	15,9164	16,3674	-0,4973	2,76	0,2049	1,252	1,534	0,2345	0,3152	0,2013	1,296	0,2306	0,1528	0,934	38,76	Misure in condotta
17-III -47	12,710	1,095	1,0465	7	12,0067	0,1130	0,941	2	5	12,0668	12,5575	-0,4246	3,91(2,28)	0,0392	0,312	1,803	0,0978	-0,2087	0,0947	0,789	0,1112	0,0543	0,440	79,32	Misure in condotta
1 ÷ 2-VIII -47	13,265	1,220	1,1047	9	12,1518	0,1053	0,867	—	9	12,1045	11,8759	+0,1923	1,93	0,0296	0,249	1,916	0,0552	0,1906	0,1019	0,838	0,0424	0,0288	0,357	134,73	Misure in condotta
1 ÷ 2-VIII -47	12,850	1,124	1,0602	8	12,1692	0,1130	0,929	1	7	12,1367	11,7993	+0,2905	2,86(1,17)	0,0714	0,605	1,860	0,2504	0,1442	0,1252	1,089	-0,3320	0,1346	1,122	·	Misure in condotta
5-XI -48	25,085	2,500	1,5812	6	15,8523	0,1210	0,759	—	6	15,8792	16,0299	-0,1856	0,94	0,1352	0,837	1,732	0,2052	0,2113	0,00964	0,608	-0,1782	0,1185	0,739	·	Misure in condotta
6-XII -48	25,355	2,527	1,5897	6	15,8737	0,0980	0,618	1	5	15,9344	16,0937	-0,2018	0,99(1,23)	0,0540	0,336	1,732	0,1242	-0,1153	0,1101	0,693	-0,1268	0,0717	0,445	55,73	Misure in condotta
16 ÷ 17-VII -48	1,842	1,860	1,3638	9	1,3450	0,0092	0,684	—	9	1,3431	1,3389	+0,0043	0,31	0,0095	0,709	1,916	0,0182	-0,0181	0,0095	0,706	-0,0151	0,0095	0,710	·	Misure di ΔH sulla spirale
16 ÷ 17-VII -48	1,870	2,068	1,4381	10	1,2948	0,0132	1,019	—	10	1,2946	1,2939	+0,0007	0,05	—	—	—	—	0,0225	0,0129	0,995	—	—	—	·	Misure di ΔH sulla spirale
18 ÷ 23-I -50	33,400	0,242	0,4920	12	67,9140	1,6648	2,397	—	12	67,6745	66,9322	+0,2532	1,11	1,6833	2,516	2,036	3,3130	2,5467	1,6220	2,388	-2,7207	1,6272	2,431	·	Misure di ΔH sulla spirale
10 ÷ 11-II -52	3,415	3,373	1,8367	5	1,8573	0,0061	0,327	—	5	1,8567	1,8560	+0,0010	0,04	—	—	—	—	0,0093	0,0056	0,302	—	—	—	·	Misure in condotta
10 ÷ 11-II -52	3,410	3,317	1,8213	5	1,8354	0,0365	1,988	1	4	1,8615	1,9119	-0,0724	2,64(2,91)	0,0058	0,303	1,640	0,0288	-0,0514	0,0362	1,969	-0,0350	0,0176	0,923	113,33	Misure in condotta
3 ÷ 5-III -52	1,626	0,552	0,7430	4	2,1965	0,0138	0,628	—	4	2,1933	2,1659	+0,0167	1,29	0,0105	0,485	1,534	0,0113	0,0199	0,0125	0,569	-0,0115	0,0074	0,340	67,35	Misure in condotta
1 ÷ 3-X -52	3,672	3,135	1,7706	5	2,0655	0,0085	0,412	—	5	2,0673	2,1294	-0,0960	2,91	0,0036	0,169	1,640	0,0056	0,0090	0,0087	0,422	0,0037	0,0034	0,299	41,14	Misure in condotta
1 ÷ 3-X -52	3,666	3,130	1,7692	5	2,0791	0,0076	0,366	—	5	2,0796	2,0951	-0,0238	0,74	0,0084	0,401	1,640	0,0113	0,0112	0,0072	0,346	0,0096	0,0069	0,327	5,81	Misure in condotta
1 ÷ 3-X -52	3,756	3,000	1,7321	5	2,1466	0,0216	1,006	—	5	2,1499	2,2486	-0,1480	4,38	0,0173	0,769	1,640	0,0216	-0,0267	0,0222	1,032	-0,0215	0,0132	0,587	76,41	Misure in condotta
1 ÷ 3-X -52	3,749	3,170	1,7805	5	2,0855	0,0228	1,093	—	5	2,0902	2,2348	-0,2232	6,47	0,0070	0,313	1,640	0,0095	-0,0383	0,0198	0,951	0,0089	0,0058	0,260	265,77	Misure in condotta
18-IV -53	3,652	2,920	1,7088	6	2,1421	0,0031	0,145	—	6	2,1421	2,1418	0,0000	0,00	—	—	—	—	-0,0050	0,0032	0,149	—	—	—	·	Misure in condotta
18-IV -53	3,633	2,920	1,7088	6	2,1287	0,0119	0,561	—	6	2,1320	2,1501	-0,0257	0,84	0,0072	0,335	1,732	0,0114	-0,0208	0,0112	0,526	0,0091	0,0066	0,306	71,90	Misure in condotta
28 ÷ 30-VII -53	3,761	1,825	1,3510	5	2,7422	0,0302	1,100	—	5	2,7573	2,8275	-0,0732	2,48	0,0148	0,523	1,640	0,0222	0,0417	0,0279	1,016	0,0176	0,0135	0,477	111,00	Misure in condotta
28 ÷ 30-VII -53	3,761	1,620	1,2728	5	2,9300	0,0226	0,771	—	5	2,9352	2,9573	-0,0217	0,75	0,0221	0,747	1,640	0,0307	-0,0276	0,0225	0,768	-0,0251	0,0187	0,632	21,52	Misure in condotta
8 ÷ 9-XI -53	5,156	3,725	1,9300	6	2,6639	0,0290	1,087	—	6	2,6659	2,6691	-0,0049	0,12	0,0312	1,169	1,732	0,0499	-0,0365	0,0302	1,134	-0,0381	0,0288	1,079	5,10	Misure in condotta
8 ÷ 9-XI -53	5,156	3,270	1,8083	6	2,8452	0,0312	1,097	—	6	2,8427	2,8321	+0,0155	0,37	0,0379	1,339	1,732	0,0605	-0,0506	0,0304	1,067	-0,0451	0,0349	1,233	·	Misure in condotta
13 ÷ 14-I -54	3,557	3,530	1,8789	7	1,8778	0,0131	0,696	—	7	1,8789	1,8811	-0,0035	0,12	0,0139	0,739	1,803	0,0238	-0,0191	0,0131	0,698	-0,0168	0,0132	0,699	·	Misure in condotta
12 ÷ 13-IV -54	14,330	3,545	1,8829	5	7,5624	0,0526	0,696	—	5	7,5767	7,8455	-0,4279	3,43	0,0176	0,224	1,640	0,0248	-0,0639	0,0554	0,733	-0,0221	0,0151	0,193	279,79	Misure in condotta
12 ÷ 13-IV -54	14,470	3,605	1,8987	7	7,5363	0,0866	1,149	1	6	7,5838	7,7226	-0,2130	1,80(2,72)	0,0161	0,208	1,803	0,0707	-0,1661	0,0796	1,056	-0,1016	0,0392	0,503	109,94	Misure di ΔH sulla spirale
12 ÷ 13-IV -54	14,470	5,486	2,3423	7	6,1585	0,0386	0,626	1	6	6,1720	6,1723	-0,0005	0,00(0,75)	0,0129	0,209	1,803	0,0471	-0,0841	0,0307	0,498	-0,0695	0,0261	0,420	18,57	Misure di ΔH sulla spirale
4-V -55	3,311	2,992	1,7300	7	1,9156	0,0094	0,492	1	6	1,9119	1,9083	+0,0055	0,19(0,80)	0,0050	0,262	1,803	0,0137	0,0177	0,0076	0,398	0,0135	0,0073	0,386	3,11	Misure di ΔH sulla spirale
14 ÷ 15-VII -55	10,264	5,770	2,4022	6	4,2340	0,0494	1,167	1	5	4,2617	4,3533	-0,1700	2,01(2,54)	0,0240	0,551	1,732	0,0547	-0,0636	0,0501	1,183	-0,0614	0,0316	0,724	63,40	Misure di ΔH sulla spirale
14 ÷ 15-VII -55	10,264	3,590	1,8948	6	5,3669	0,0612	1,141	1	5	5,4003	5,5197	-0,1748	2,16(2,54)	0,0323	0,585	1,732	0,0647	-0,0843	0,0600	1,117	-0,0649	0,0374	0,386	189,38	Misure di ΔH sulla spirale
2-VIII-55	11,609	7,617	2,7599	5	4,1907	0,0171	0,407	1	4	4,1990	4,2157	-0,0373	0,40(0,58)	0,0132	0,313	1,640	0,0260	-0,0263	0,0166	0,395	-0,0279	0,0158	0,375	5,33	Manometro differenziale a mercurio
2-VIII-55	11,609	3,928	1,9820	5	5,8279	0,0254	0,436	1	4	5,8430	5,8940	-0,0817	0,87(1,04)	0,0167	0,283	1,640	0,0349	-0,0352	0,0247	0,425	-0,0378	0,0213	0,361	17,73	Manometro differenziale a mercurio e misure di ΔH sulla spirale
3-VIII-55	12,502	8,901	2,9835	5	4,2012	0,0173	0,451	—	5	4,2003	4,1904	+0,0243	0,24	0,0200	0,477	1,640									

È stata poi eseguita una ulteriore elaborazione di tutte le tarature allo scopo di vedere se la precedente equazione (6), integrata da un termine correttivo costante, fosse in grado di definire una equazione di taratura più aderente alle misure effettuate.

In tal caso la legge del fenomeno è data dall'equazione:

$$-x + ay + c = 0 \quad (10)$$

e applicando il metodo dei minimi quadrati si ottengono le equazioni:

$$\left. \begin{aligned} -\Sigma[xy] + a\Sigma[y^2] + c\Sigma[y] &= 0 \\ -\Sigma[x] + a\Sigma[y] + nc &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Con le sostituzioni già note e risolvendo rispetto a K_2 ($K_2 = a$) otteniamo:

$$K_2 = \frac{\Sigma[Q] \cdot \Sigma[\sqrt{\Delta H}] - n\Sigma[Q \cdot \sqrt{\Delta H}]}{(\Sigma[\sqrt{\Delta H}])^2 - n\Sigma[\Delta H]} \quad (12)$$

Il valore del termine correttivo C risulta dalla seguente equazione ricavata dalla (11):

$$C = \frac{\Sigma[\sqrt{\Delta H}] \cdot \Sigma[Q \cdot \sqrt{\Delta H}] - \Sigma[\Delta H] \cdot \Sigma[Q]}{(\Sigma[\sqrt{\Delta H}])^2 - n\Sigma[\Delta H]} \quad (13)$$

e l'equazione di taratura sperimentale del venturimetro risulta così:

$$Q_2 = K_2 \sqrt{\Delta H} + C \quad (14)$$

Per una valutazione dell'entità della deviazione di K_1 da K_2 è stato calcolato anche il loro rapporto percentuale definito dalla seguente espressione:

$$\varepsilon = \frac{|K_1 - K_2|}{K_2} \cdot 100 \quad (15)$$

Per poter valutare se l'equazione di taratura sperimentale (14) ora ottenuta presenti una migliore rispondenza della (9) con le misure effettuate, è necessario fare un confronto fra i rispettivi coefficienti di variazione percentuale.

Pertanto, calcolato in precedenza il valore di C con la (13) avremo:

$$K'_2 = \frac{Q' - C}{\sqrt{\Delta H'}}; \quad K''_2 = \frac{Q'' - C}{\sqrt{\Delta H''}}; \quad K'''_2 = \frac{Q''' - C}{\sqrt{\Delta H'''}} \quad (16)$$

La costante media è data da:

$$Km_2 = \frac{\Sigma[K_2]}{n} \quad (17)$$

In tal caso sarà anche $Km_2 = K_2$, a meno dell'approssimazione dovuta al numero di decimali usati nelle operazioni.

Da quanto sopra consegue che:

$$x'_2 = K'_2 - Km_2; \quad x''_2 = K''_2 - Km_2; \quad x'''_2 = K'''_2 - Km_2 \quad (18)$$

Si può così calcolare lo scarto tipo definito dalla seguente relazione:

$$S_2 = \sqrt{\frac{\Sigma[x_2^2]}{n-2}} \quad (19)$$

oppure:

$$S_{22} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{\Sigma[|x_2|]}{n} = 1,2533 \cdot \frac{\Sigma[|x_2|]}{n} \quad (19 \text{ bis})$$

e con la (19) calcolare anche il coefficiente di variazione percentuale:

$$V_2 = \frac{\sqrt{\frac{\Sigma[x_2^2]}{n-2}}}{K_2} \cdot 100 = \frac{S_2}{K_2} \cdot 100 \quad (20)$$

Per valutare il miglioramento che si ottiene, per la maggioranza delle tarature, adottando l'equazione con termine

correttivo, si è preferito confrontare gli scarti tipo ottenuti con la (4 bis) e con la (19 bis) piuttosto che con la (4) e con la (19), perchè si è notato che quando il numero delle misure n è piccolo ($n=4 \div 5$) il valore della differenza esistente nel denominatore della (4) e della (19) ($n-1$; $n-2$) può essere tale da rendere maggiore il valore di V_2 rispetto a V_1 anche nel caso che gli scarti ottenuti con la (3) risultassero maggiori di quelli ottenuti con la (18). Mediante la (4) e la (19) danno valori del 5% e del 13% maggiori di quelli ottenuti rispettivamente con la (4 bis) e (19 bis).

Poichè inoltre si è osservato che in alcune tarature esistono valori il cui scarto si scosta notevolmente dalla media, si è adottato come criterio di valutazione dei limiti di accettazione dei singoli valori quello proposto dallo Chauvenet il quale stabilisce di eliminare tutti gli scarti calcolati con la (3) e con la (18) uguali o superiori allo scarto che abbia una probabilità minore di 0,5.

In n misure la probabilità di uno scarto compreso fra $+x$ e $-x$ è definita, nel campo di validità della legge normale, da:

$$P_{hx} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{hx} e^{-h^2 x^2} d(hx) \quad (21)$$

dove h è una costante collegata al particolare gruppo di misure definita da:

$$h = \frac{1}{S \cdot \sqrt{2}} = \frac{0,707107}{S} \quad (22)$$

Poichè il criterio di eliminazione è stato applicato solo per le equazioni che prevedono il termine correttivo, i valori degli scarti tipo, introdotti nei calcoli per la definizione del valore dello scarto limite, sono quelli ottenuti con la (19 bis) per gli stessi motivi già detti in precedenza e pertanto risulta:

$$h = \frac{0,707107}{S_{22}} \quad (22 \text{ bis})$$

Per soddisfare la condizione posta dal suddetto criterio, e cioè che vengano scartati valori con probabilità minore di 0,5 dovrà essere:

$$n(1 - P_{hx}) = \frac{1}{2}$$

cioè:

$$P_{hx} = \frac{2n-1}{2n} \quad (23)$$

Di conseguenza, nota P_{hx} dalle misure effettuate e ricavata da opportune tabelle, si può facilmente ricavare il valore di x limite di riferimento per gli scarti e cioè:

$$x \text{ lim} = \frac{(hx)}{h} = \frac{\theta}{h} \quad (24)$$

e introducendo la (22 bis):

$$x \text{ lim} = \sqrt{2} \cdot \theta \cdot S'_{22} = W \cdot S_{22} \quad (24 \text{ bis})$$

n	P_{hx}	$\theta (= hx)$	$W (= \sqrt{2} \cdot \theta)$
12	0,9583	1,440	2,036
11	0,9545	1,415	2,001
10	0,9500	1,390	1,966
9	0,9444	1,355	1,916
8	0,9375	1,315	1,860
7	0,9286	1,275	1,803
6	0,9166	1,225	1,732
5	0,9000	1,160	1,640
4	0,8750	1,085	1,534
3	0,8333	0,980	1,386

Nelle tarature, dove sono stati riscontrati valori di x superiori ai valori di $x \text{ lim}$, questi sono stati eliminati per procedere poi ad un nuovo calcolo di K_1 , K_2 e C con gli $n-1$ valori rimasti e ciò fino ad avere una serie di valori tutti accettabili.

Desiderando conoscere, per un prefissato errore probabile massimo di K , i rispettivi errori probabili massimi di ΔH e Q ammissibili nelle misure, si dovrà ricorrere alla seguente espressione:

$$p_K^2 = \left(\frac{\partial K}{\partial \Delta H}\right)^2 \cdot p_{\Delta H}^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial Q}\right)^2 \cdot p_Q^2 = \left(\frac{1}{2} \frac{Q}{\sqrt{\Delta H^3}}\right)^2 p_{\Delta H}^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{\Delta H}}\right)^2 p_Q^2$$

dove p_K , $p_{\Delta H}$, p_Q , rappresentano gli errori probabili rispettivamente di K , ΔH , Q .

Dividendo per $K^2 = \left(\frac{Q^2}{\Delta H}\right)$ risulta:

$$\left(\frac{p_K}{K}\right)^2 = \frac{1}{4} \left(\frac{p_{\Delta H}}{\Delta H}\right)^2 + \left(\frac{p_Q}{Q}\right)^2$$

Pertanto desiderando determinare K con un errore probabile non superiore all'1%, 2, 3...% ed ammesso di aver sempre rilevato ΔH con un errore probabile massimo dell'1%, dovrà essere:

per $p_K = 1\%$	$p_Q < 0,866\%$
2%	1,936%
3%	2,958%
4%	3,968%
5%	4,975%

Ammettendo invece di aver sempre rilevato Q con un errore probabile uguale all'1%, dovrà verificarsi:

per $p_K = 2\%$	$p_{\Delta H} < 3,464\%$
3%	5,657%
4%	7,746%
5%	9,798%

Silvio Dannecker

MISURE DI PORTATA ATTRAVERSO IL RILIEVO DELLE SOVRAPPRESSIONI CHE SI GENERANO NELLE CURVE CON DEVIAZIONE DI 90°

GIUSEPPE MACHNE, in base ai risultati delle esperienze di diversi autori e d'un gruppo di esperienze effettuate personalmente, controlla se le curve possano fungere da misuratori di portata. Dall'esame della relazione che lega la portata alla pressione differenziale, che si ingenera fra l'intradosso e l'estradosso della curva, emerge una discreta concordanza fra i risultati sperimentali ed i risultati teorici dedotti da ipotesi di moto piano con distribuzioni di velocità abbastanza uniformi, limitatamente a valori di $R/D = 2-4-7$. Si rileva pure che curve commerciali non risultano misuratori abbastanza precisi, in quanto l'eguaglianza del rapporto R/D non garantisce la similitudine geometrica nei limiti richiesti dai misuratori.

Per mettere nel giusto rilievo i vantaggi che una curva come misuratore presenterebbe, sintetizziamo per sommi capi le caratteristiche che si richiedono da un misuratore di portata in condotte a pressione; come è noto, tali misuratori, oltre ad essere, naturalmente, sufficientemente esatti, dovrebbero presentare un basso costo, produrre piccole perdite di carico, e non essere soggetti a condizioni restrittive per l'inserzione in condotta, affinché la misura riesca esatta (cioè in sostanza, affinché le condizioni di similitudine siano ancora soddisfatte).

Ricordiamo anche come dette esigenze si trovino spesso in contrasto tra di loro, talchè relativamente alle perdite di carico l'ordine di preferenza va prima ai tubi Venturi, poi ai bocchigli, poi ai diaframmi, mentre vale l'ordine opposto relativamente alla spesa (1). Nel riguardo degli errori probabili, i diaframmi presentano un errore base dell'1%, i bocchigli ed i tubi Venturi un errore base del 2% (2); le condizioni di inserzione in condotta sono per tutti piuttosto restrittive (3).

Di fronte a tali premesse, diversi ricercatori hanno rivolto la loro attenzione alle curve come misuratori, in quanto che esse hanno la prerogativa di non richiedere spese d'impianto e di non produrre perdite addizionali. Inoltre un punto che a priori sembrava favorevole era la presunzione che le condizioni di similitudine geometrica fossero automaticamente soddisfatte in condotte aventi sezione di

egual forma dall'eguaglianza del rapporto R/D delle curve (anche per curve d'esecuzione commerciale).

Si tratta dunque di determinare una relazione fra la pressione differenziale che si genera fra l'intradosso e l'estradosso d'una curva e la portata, ed in particolare di verificare se la relazione è la stessa per curve, che chiameremo formalmente simili (cioè con lo stesso R/D).

In una più ampia ricerca da noi intrapresa e rivolta alla determinazione delle perdite di carico nelle curve, abbiamo indagato anche su tale aspetto del problema del moto in curva e diamo qui notizia dei risultati raccolti, confrontandoli allo stesso tempo con risultati già noti.

Considerazioni teoriche.

Benchè non vogliamo in questa sede approfondire l'analisi del moto in curva, passiamo brevemente in rassegna le varie ipotesi di moto piano (dal punto di vista analitico monodimensionali, in quanto fanno dipendere la velocità solo dal raggio) che consentono la determinazione di una relazione fra la portata e la sovrappressione, per confrontarle in seguito tra loro e con i risultati sperimentali.

Presentiamo le formule nella consueta forma

$$Q = a \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gh}$$

Siano

- R il raggio di curvatura dell'asse del tubo curvo
- D il diametro
- Q la portata
- h la sovrappressione in colonna acqua
- U la velocità media

e la ipotesi comune a tutti i casi sia appunto che la velocità al raggio generico (u) dipenda solo dal raggio (r).

1) Se si ritiene che il moto sia a potenziale di velocità, secondo la nota formula $r u = k$, risulta (4)

$$Q = \frac{\left(4 \frac{R^2}{D^2} - 1\right) \left(\frac{R}{D} - \sqrt{\frac{R^2}{D^2} - 1}\right) \pi D^2 \sqrt{2gh}}{\sqrt{\frac{R}{2D}}}$$

2) Se si considera il moto, come quello d'un solido rotante col suo baricentro su un cerchio di raggio R e dotato di velocità U , la relazione che si deduce è (5):

$$Q = \sqrt{\frac{R}{2D}} \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gh}$$

3) Se si suppone costante la velocità angolare ω si ottiene, come è noto,

$$Q = \sqrt{\frac{R}{2D}} \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gh}$$

4) Se invece la distribuzione di velocità è uniforme, cioè u è costante nella sezione si ha:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2 \ln \frac{R + \frac{1}{2}}{R - \frac{1}{2}}}} \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2hg}$$

Altre rappresentazioni si possono ottenere come segue:

5) Supposto che si abbia un moto a potenziale di velocità secondo traiettorie iperboliche, e, ritenendo che la linea di flusso media abbia il raggio di curvatura R , cioè eguale al raggio dell'asse della curva, si ottengono successivamente (6) (7), con riferimento alla fig. 1:

la costante $k_1 = x y$ dell'iperbole, eguagliando la curvatura dell'iperbole a quella del cerchio, ed è $k_1 = \frac{R^2}{2}$; poi la costante che compare nella $u = 2 k r$, ponendo

$$h = \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} = \frac{4k^2 r_1'^2 - 4k^2 r_2'^2}{2g}$$

$$\text{ed è } k = \frac{\sqrt{2gh}}{4 \sqrt{\frac{RD}{2}}}$$

La portata risulta con facili passaggi: $Q = k 2 R \frac{\pi D^2}{4}$. Eliminando k dall'espressione di Q e di h si ha:

$$Q = \sqrt{\frac{R}{2D}} \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gh}$$

6) Per una distribuzione parabolica di velocità si ha:

$$u = u_{\max} - u_{\max} \frac{y^2}{r^2}$$

(essendo qui r il raggio del tubo, ed y il raggio generico all'interno del tubo).

Si ritenga poi $R \gg r$ e perciò invariabile per i diversi filetti; si ha:

$$h = \frac{u_{\max}^2}{gR} 2 \int_0^r \left(1 - \frac{y^2}{r^2}\right)^2 dy;$$

poi, essendo $u_{\max} = 2 U$, si ha $h = \frac{64}{15} \frac{U^2 D}{gR}$.

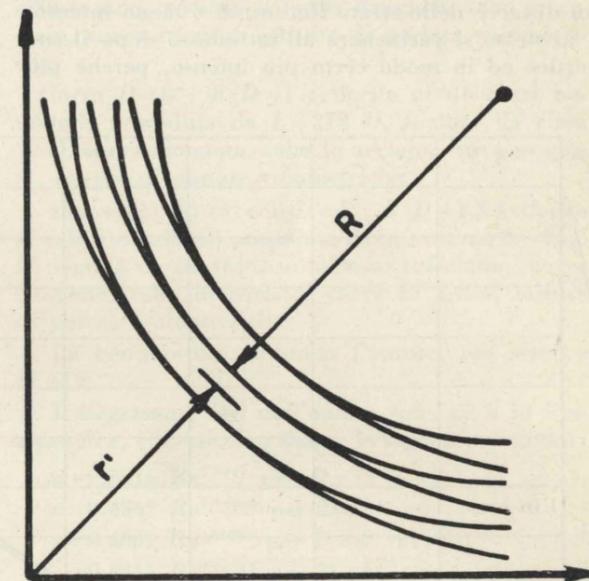


Fig. 1.

La relazione fra Q ed h risulta quindi

$$Q = \sqrt{\frac{15R}{64D}} \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gh}$$

7) Un'altra rappresentazione si potrebbe ottenere per una distribuzione logaritmica di velocità come quella di Prandtl.

Dalle formule qui sopra citate si nota che le formule ottenute ai commi 2, 3, 5 sono identiche, che quelle dei commi 1 e 4 danno risultati numerici assai prossimi ai precedenti (cfr. fig. 2), che quella del comma 6 dà risultati assai diversi e precisamente sovrappressioni circa doppie a parità di portata.

Si precisa così, ciò che del resto è ovvio, che

distribuzioni di velocità disuniformi producono sovrappressioni maggiori a parità di portata.

Altra causa di aumento delle pressioni è l'aumento della curvatura dei filetti attorno alle zone di distacco.

Praticamente finché la corrente si può ritenere piana e di fluido perfetto si realizza lo schema di moto seguente: ad un aumento di pressione allo estradosso fino al vertice, corrisponde per il bilancio energetico del singolo filetto un rallentamento, alla riduzione di pressione all'intradosso un'accelerazione.

L'inverso capita dopo la sezione che costituisce il piano di simmetria della curva.

Queste constatazioni trovano, come è noto il conforto teorico nella espressione $r u = k$ d'una corrente in curva, benchè tale legge sia veramente stata desunta per correnti circolari limitate da soli peli liberi.

Per correnti piane reali all'aumento di pressione all'estradosso e fino al vertice in dipendenza dell'entità del gradiente di pressione può manifestarsi un distacco dello strato limite più o meno intenso, e lo stesso si verificherà all'intradosso dopo il suo vertice ed in modo certo più intenso, perchè più

forte sarà, per la brevità del percorso, il gradiente di pressione.

Tali distacchi saranno poi a parità di Re più forti per R/D minori, essendo più forti le sovrappressioni e detti gradienti di pressione.

Ben più complesse sono le caratteristiche del moto tridimensionale, nè pare si abbia uno schema teorico o un insieme di esperienze sistematiche sufficienti ad illuminarle; è noto che il nucleo centrale, più veloce, subisce una deriva per forza centrifuga con conseguente determinazione del doppio vertice trasversale.

Stando ad una estesa monografia di Nippert (8), parrebbe che per forti curvature e per grandi velocità medie, il doppio vertice si manifestasse con la distruzione del nucleo stesso, e con raccolta all'intradosso di fluido a basso tenore energetico e con conseguente concentrazione delle componenti trasversali della velocità all'estradosso, che per medie curvature e medie velocità medie si avesse un dislocamento del nucleo veloce, che tuttavia resta integro e procede scostato dall'asse del tubo per un lungo tratto dopo la curva, per piccole curvature e basse velocità medie si determinerebbe la legge $r u = k$, e nel tratto diritto si ricostituirebbe la distribuzione normale.

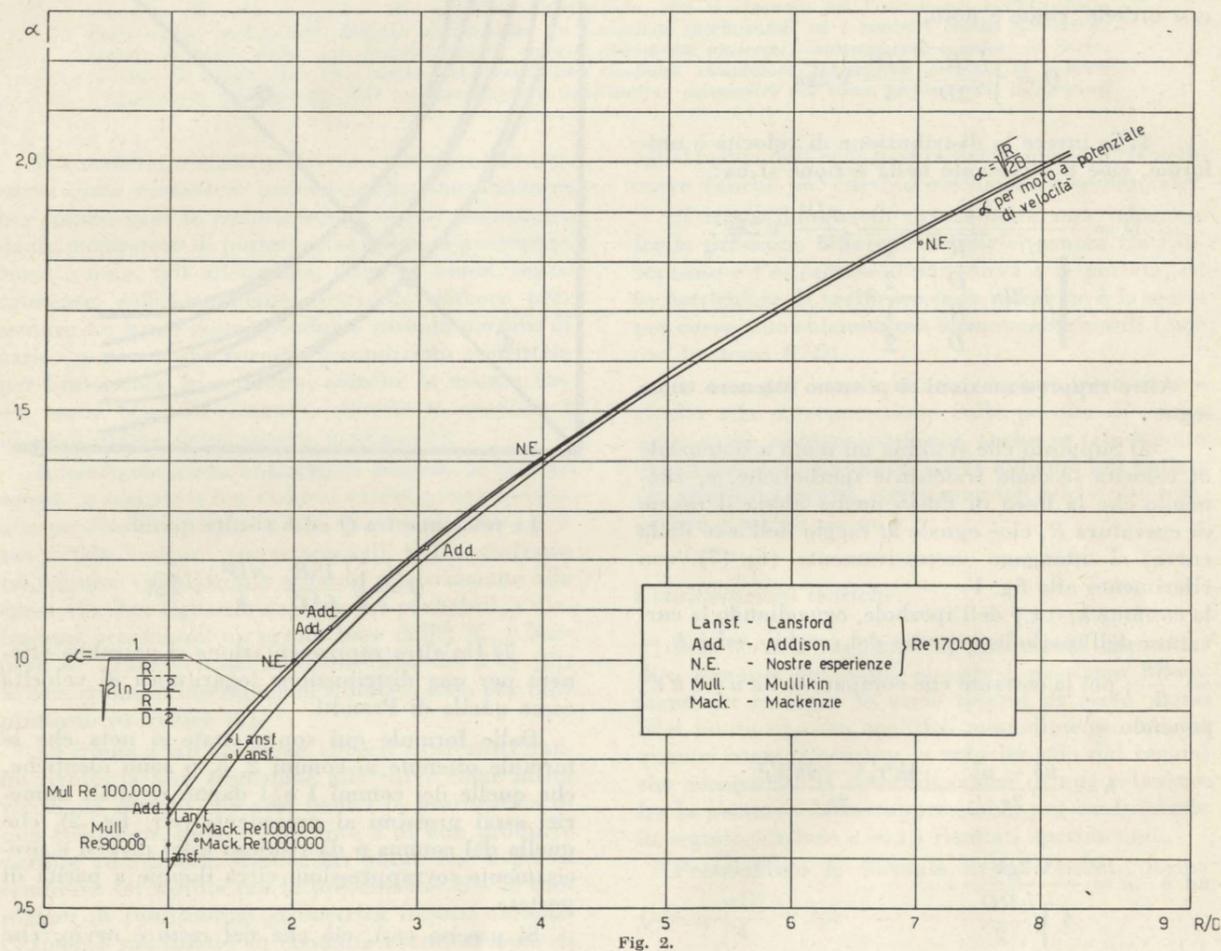


Fig. 2.

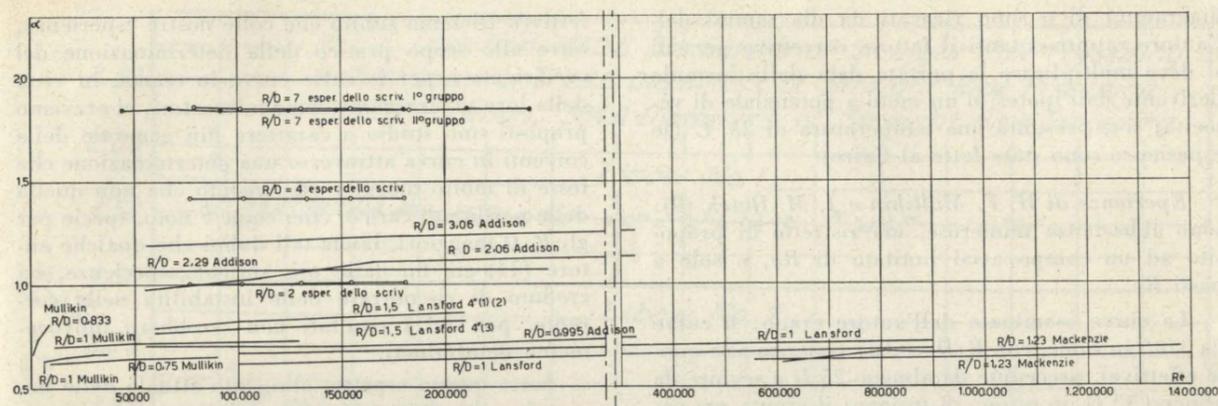


Fig. 3.

Sempre secondo la citata memoria (secondo una notizia riportata da Eustice) la distribuzione delle pressioni non subisce sensibili modificazioni a causa dell'instaurarsi del doppio vortice trasversale.

Impostazione sperimentale ed autori consultati.

Se restringiamo l'esame alle sole curve a sezione circolare con deviazione di 90° precedute e seguite da un tratto indefinito, con il manometro differenziale fra intradosso ed estradosso inserito nella medesima sezione (qui, in particolare, a 45°) per tubi scabri o lisci, e per diversi rapporti R/D , come è noto per la sovrappressione si ha:

$$\Delta p = \varphi(\rho, \mu, U, D, R, \varepsilon)$$

ed anche

$$\frac{\Delta p}{\rho U^2} = F\left(\frac{\rho U D}{\mu}, \frac{R}{D}, \frac{\varepsilon}{D}\right)$$

oppure posto

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = h \text{ e } Q = S a \sqrt{2gh},$$

si ha:

$$a = \alpha \left(\frac{\rho U D}{\mu}, \frac{R}{D}, \frac{\varepsilon}{D} \right).$$

Tali valori di α si sono ricalcolati soltanto da autori che si sono specificamente occupati di detta relazione e non da quelli che hanno toccato l'argomento marginalmente, i risultati si sono confrontati fra loro e, dove possibile, con quelli delle nostre esperienze.

Nella fig. 3 si sono raccolti i valori di α in funzione di Re (parametro R/D) non considerando le diverse scabrezze; in fig. 2 si sono confrontati i valori sperimentali ottenuti per $Re = 170.000$ con quelli teorici, solo i dati di Mullikin e di Mackenzie sono corrispondenti ad altri Re come ivi indicato.

Esperienze di W. M. Lansford. Sono le più estese e sistematiche su tale argomento; riportiamo solo i valori relativi a curve che hanno interesse per la presente ricerca, escludendo cioè quelli relativi a

curve a segmenti, a curve avvitte ed a curve con tratti di ingresso e di efflusso insufficienti.

Le caratteristiche delle curve erano:

Curva $D = 12''$, con $R/D = 1$ (riferito ai diametri nominali) preceduta da $L = 30 D$, lunghezza di efflusso non specificata, curva flangiata, tubo in acciaio, curva in ghisa, misure di portata volumetriche.

Curva $D = 8''$, $R/D = 1$ (riferito ai diametri nominali) preceduta da $L = 218 D$, seguita da circa $70 D$, curva flangiata, tubo in acciaio, curva in ghisa, misure di portate volumetriche.

Curve (1) (2) (3) con $D = 4''$, $R/D = 1,5$ (riferito ai valori nominali) precedute da al minimo $L = 25,5 D$, seguite da un tratto di efflusso sufficiente, curve flangiata, tubo in acciaio, curva in ghisa, misure di portata volumetriche.

La temperatura, secondo l'autore, era sempre di 67°F.

I diagrammi dati dall'autore sono di h in funzione di v , e, ricalcolati danno le seguenti relazioni:

- $\alpha = 0,3915 Re^{0,0397}$ per $D = 12''$
- $\alpha = 0,4962 Re^{0,02605}$ per $D = 8''$
- $\alpha = 0,4001 Re^{0,06215}$ per $D = 4''$ (1) (2)
- $\alpha = 0,4515 Re^{0,04795}$ per $D = 4''$ (3).

Esperienze di H. Addison (4): sono abbastanza estese, ma non sistematiche, essendo relative a curve già installate in laboratorio nelle più disparate posizioni.

Ai nostri effetti interessano le curve:

curva con $D = 4''$, $R/D = 0,995$ (riferito ai valori effettivi) preceduta da $35 D$, seguita da $10 D$, curva flangiata, tubo in acciaio, curva in ghisa, misure di portata con stramazzo o diaframma;

curva con $D = 4''$, con $R/D = 2,06$ (per il resto valgono le indicazioni di cui sopra);

curva con $D = 4''$, con $R/D = 3,06$ (per il resto valgono le indicazioni di cui sopra);

curva con $D = 4''$, con $R/D = 2,29$, preceduta da $89 D$, seguita da $7 D$, tubo in acciaio, curva in acciaio trafilato zincato dopo tre anni di esercizio. I

diagrammi di α sono ricavati da diagrammi dell'autore rappresentanti il fattore correttivo per cui si deve moltiplicare la portata data della formula derivante dall'ipotesi d'un moto a potenziale di velocità; si è presunta una temperatura di 25° C (le esperienze sono state fatte al Cairo).

Esperienze di H. F. Mullikin e J. M. Batch (9): sono abbastanza numerose, ma ristrette di proposito ad un campo assai limitato di Re , e solo a bassi Re .

Le curve esaminate dall'autore erano: 6 curve da 3/8" in rame, con $R/D=0,833$ (riferito alle quote effettive), precedute da almeno 25 D e seguite da almeno 32 D , in ottone di fusione; il giunto era costituito da un alloggiamento a bicchiere ottenuto nella curva a mezzo di tornitura e che accoglieva il tubo; tale alloggiamento doveva garantire una buona continuità tra tubo e curva.

Le altre curve erano: una da $D=1/2"$, con $R/D=1$; una da 3/4", con $R/D=0,75$, una da 1", con $R/D=1$, e tutte con le caratteristiche delle precedenti; le misure di portata si eseguivano per pesata.

Le equazioni ottenute dai diagrammi della pressione differenziale in funzione della velocità, e per una temperatura assunta di 20° C, sono:

per $D=3/8"$, $\alpha=0,3495 Re^{0,09294}$ ed $\alpha=0,5574 Re^{0,04860}$ (valori estremi delle sei curve da 3/8")

per $D=1/2"$ $\alpha=0,4769 Re^{0,03225}$

per $D=3/4"$ $\alpha=0,5434 Re^{0,01595}$

per $D=1"$ $\alpha=0,6262 Re^{0,01270}$.

Esperienze di J. R. Mackenzie (10): si tratta di due sole esperienze, che hanno il pregio di essere eseguite in grande scala su due curve di una condotta di fognatura, con $D=2,50'$, $R/D=1,23$; non vi sono specificate le lunghezze di ingresso e di efflusso ed il tipo di connessione col tubo, il materiale è ghisa. La misura di portata era eseguita a mezzo di uno stramazzo. Una tabella indica il valore sperimentale ottenuto per il coefficiente correttivo C_d nella formula $Q=C_d C_b \sqrt{h}$, derivata dalla teoria del moto a potenziale di velocità ed in cui C_b dipende solo dalle caratteristiche geometriche della curva; nella ricalcolazione si è assunto $\nu=1,02 \cdot 10^{-6}$.

Le nostre esperienze: sono state eseguite nel campo piuttosto ristretto di Re , consentito dal battente a disposizione e contemplano: cinque curve tutte con $D=52$ mm con $R/D=2, 4, 7, 10, 12$ in ottone, ottenute a mezzo di fresatura, con fresa sferica da pezzi di fusione, con tolleranza di lavorazione minima, e con connessioni ad un tubo trafilato di ottone di $D_{nom} 52$ mm le più perfette possibile, con tratti a monte ed a valle sufficienti; la misura di portata veniva eseguita per pesata.

Si sono fatte diverse esperienze e si è mirato più all'esattezza dei singoli punti letti, che alla raccolta di molti punti, cercando cioè di evitare arbitrarie interpolazioni (e nella fig. 3 compaiono i punti ef-

fettivi). Diciamo subito che colle nostre esperienze, oltre allo scopo pratico della determinazione del coefficiente α per le varie curve in esame, in vista della loro utilizzazione come misuratori, ci eravamo proposti uno studio a carattere più generale delle correnti in curva attraverso una determinazione che fosse di molto maggior affidamento che non quella delle perdite di carico, che, come è noto, specie per gli R/D maggiori, lascia tali dubbi che qualche autore (11) già fin dalle più antiche esperienze, ha creduto di riscontrare delle instabilità nella corrente, per cui i risultati non sarebbero univocamente determinati.

Sotto questo aspetto, allo stato attuale delle nostre ricerche, non ci è stato possibile, nonostante ripetute e laboriosissime prove, trarre conclusioni definitive sulle curve $R/D=10$ ed $R/D=12$, nelle quali abbiamo effettivamente riscontrato un comportamento anomalo, che richiede ulteriori accertamenti.

I risultati sulle curve $R/D=2, 4, 7$ che riportiamo, sono invece di assoluto affidamento.

Si sono fatte su essi due gruppi di esperienze, differenti nel tipo di installazione: nel primo gruppo si usò la connessione fra curva e tubo usata da Hofmann (12) cioè con anello guida, con un rilievo tornito allo stesso diametro interno dei due pezzi, nel secondo un giunto a frizione (analogo, ma molto più preciso, dei Gibaud).

Senza dilungarci su questi dettagli, su cui ritorneremo in un successivo articolo relativo alle perdite di carico nelle curve, notiamo solo che questo secondo sistema garantiva, a nostro avviso, una più perfetta continuità fra i due pezzi.

Le tecniche di misura erano le seguenti: nelle prime esperienze per la misura delle pressioni si usavano manometri a campana d'aria, con sezione del tubo manometrico di oltre 50 volte quella delle prese, in modo da poter effettuare le letture abbastanza comodamente con un catetometro ad un ventesimo di mm e con almeno sei letture intervallate nello spazio di un'ora; la misura di portata era effettuata per pesata, con due determinazioni con dispositivo a scatto meccanico, e messa in moto e stop del cronometro automatici.

Nel secondo gruppo di esperienze si fecero, per $R/D=2,4$ solo tre letture per ogni portata; i valori furono un po' dispersi ma in accordo ottimo coi risultati delle esperienze precedenti. Tali valori non sono stati riportati, anche perchè la verifica del catetometro, fatta attraverso la determinazione del peso specifico del mercurio, non dava più risultati soddisfacenti. Tale serie di esperienze è stata ripresa per $R/D=7$, con un catetometro Wildt, con lettura approssimata al centesimo di mm, con medie effettuate su almeno cinque letture, pure intervallate in un'ora; tali risultati, riportati in fig. 3 (con cerchietti pieni) dimostrano un perfetto accordo con quelli della prima serie di esperienze.

A conclusione della fase iniziale della nostra ricerca sperimentale possiamo dunque solo conclu-

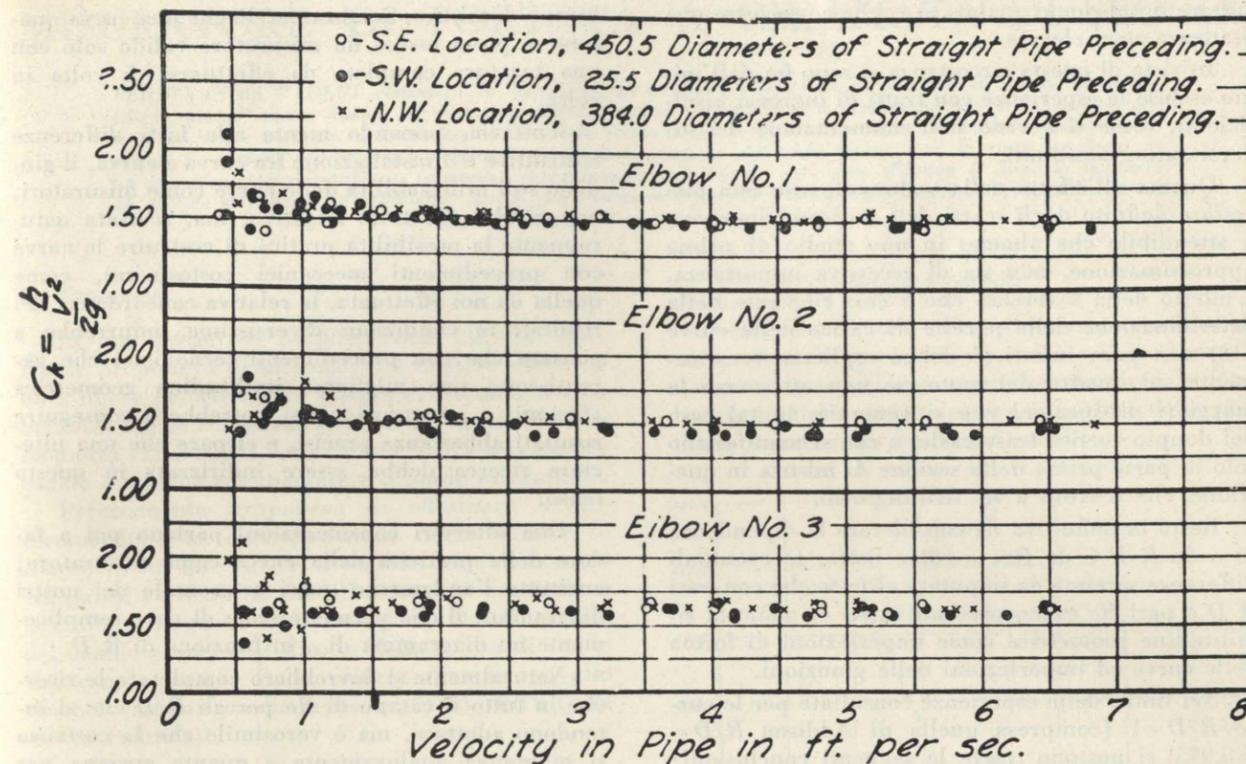


Fig. 4 - Relazione fra pressione differenziale ed $\frac{u^2}{2g}$ al variare del tratto di ingresso secondo Lansford.

dere che le sovrappressioni alla presa di 45° per $R/D=2, 4, 7$ danno dei risultati perfettamente determinati e che i valori di α per $R/D=2,4$ stanno proprio sulla curva dei moti piani (cfr. fig. 2), che per $R/D=7$ essi stanno lievemente al di sotto indicando sovrappressioni maggiori, che per $R/D=10$ e 12 finora non siamo in grado di dare risultati accettabili con tutta sicurezza.

Stando a ciò, si deve anche concludere che le discrepanze nei risultati dei diversi autori consultati che riguardano curve sotto $R/D=4$ non sono imputabili a proprietà della corrente, nè, data l'entità dei dislivelli letti in linea di massima ad imperfezioni nella tecnica di misura; tali differenze si dovranno cioè senz'altro imputare ad una mancata similitudine delle curve.

Alla base del confronto fra le varie esperienze stanno poi le seguenti considerazioni sull'efficacia della curva come misuratore; affinché essa abbia un interesse pratico, essa deve rispondere alle seguenti condizioni via via meno restrittive:

A) Che per un dato R/D una curva di costruzione qualunque (quindi con imprecisioni della similitudine geometrica fra curve d'egual R/D), comunque connessa (flangie eventualmente di grande gioco), e comunque inserita (per quanto riguarda le lunghezze d'ingresso e d'efflusso) possa ancora fungere da misuratore con un errore tollerabile.

B) oppure che per lo meno imponendo condizioni alle lunghezze d'ingresso e d'efflusso (cosa, questa, comune a tutti i misuratori in condotta), ma

lasciando invariate le altre due condizioni, il misuratore sia abbastanza esatto, nel senso cioè che il coefficiente α sia sensibilmente costante al variare di queste due condizioni.

Che, se si dovesse richiedere ad esso l'esattezza costruttiva e delle restrizioni nell'ubicazione nella condotta si potrebbe certamente ottenere un misuratore eccellente, che mentre non darebbe perdite addizionali, risulterebbe però di costo assai elevato, e di difficile montaggio.

C) che la curva tarata per un sol punto α (Re) sia un misuratore efficiente. Circa l'attendibilità delle misure sembra che essa sia dubbia solo per bassi Re , cosa che d'altronde capita anche nella determinazione del numero di resistenza e ovunque si abbiano da leggere basse differenze manometriche. Ciò si vede dalla fig. 4 che riportiamo da Lansford, e che presenta appunto una dispersione assai elevata per $Re < 50.000$, ed anche dal completo disaccordo dei due diagrammi di Mullikin (fig. 3) relativi alle curve da 3/8" con gli altri suoi diagrammi.

Secondo Addison anzi le misure sarebbero attendibili solo per $Re > 100.000$. La risposta sull'importanza del tratto di ingresso viene ancora data dalla citata fig. 4 di Lansford in cui si confrontano i risultati ottenuti per una stessa curva con tre tratti di ingresso diversi e precisamente di 450, 25, 384 D ; se si suppone che le condizioni di montaggio siano state le stesse, tale figura mostra inequivocabilmente che il tratto di ingresso ha una notevole importanza e che perfino un tratto di 25 D può ri-

sultare insufficiente qualora si voglia conseguire una esattezza assai elevata.

In vista di questa circostanza si sono fin dall'inizio escluse le esperienze con tratti di ingresso insufficienti, come si è visto nell'enumerazione dei diversi autori consultati.

Quanto all'effetto della scabrezza, esso non può restare definito dagli scarsi dati a disposizione, ma è attendibile che almeno in uno studio di prima approssimazione, non sia di eccessiva importanza. L'effetto della scabrezza che è così rilevante nella determinazione delle perdite di carico delle curve (12) non pare infatti si debba esplicitare eccessivamente sul quadro del moto, se non attraverso le maggiori dissipazioni che si generano in tal caso nel doppio vortice trasversale, e che si manifestano solo in parte prima della sezione di misura in questione, che si trova a 45° dell'ingresso.

Resta in definitiva da considerare la dipendenza di α da R/D e da Re ; e come detto, le eventuali differenze saranno da imputare al fatto che con pari R/D e pari Re erano presenti cause di mancata similitudine geometrica come imperfezioni di forma delle curve ed imperfezioni delle giunzioni.

Nei limiti delle esperienze consultate per le curve $R/D=1$ (compresa quella di Addison $R/D=0,995$) si possono trarre le seguenti conclusioni: per $Re=100.000$, α varia fra i limiti 0,62 e 0,71, con un errore rispetto alla media del 6,9 %, per $Re=300.000$, α varia nei limiti 0,65 e 0,74 con un errore rispetto alla media del 6,5 %; per le due curve di Lansford da $R/D=1,5$ gli errori sono circa del 3 % ed in tutto il campo di Re .

Per $R/D=2$ il confronto tra il nostro diagramma e quello di Addison (per $R/D=2,06$) dà un errore (per $Re=180.000$) del 4,7 %.

Tra l'altro si nota la netta incongruenza dei risultati di Mackenzie (per $R/D=1,23$) con quelli citati, e tra le due di Addison per $R/D=2,06$ e 2,29. Resta perciò accertato che col criterio da noi assunto (per semplicità in mancanza di altri riferimenti), si possono commettere errori massimi del 6,9 %. Ora esaminiamo l'eventualità che si effettui la taratura per un sol punto (cioè per un sol valore di Re per un dato R/D); questa è evidentemente condizionata al fatto che si conosca l'andamento dei diagrammi α (Re) per i diversi R/D e questo non è affatto delineato; ché, mentre risulta in generale crescente ma in diversa misura, per Lansford e Addison, a noi risulta quasi orizzontale.

Se poi si volesse assumere come valore costante di α quello relativo al valore medio di Re nel campo esaminato per ciascuna, si ha un errore di attorno al 5 %.

Da tutto ciò si è portati a concludere che senza condizioni restrittive di impianto una curva qualunque si presta male come misuratore d'un lato perchè la costanza di R/D non garantisce che i misuratori ad $R/D=cost.$, siano a priori unificati; dall'altro perchè anche con un punto di taratura nulla si può presumere sulla sua esattezza in un certo

campo di misura. Sembra perciò che una curva qualunque possa essere un misuratore valido solo con una taratura completa da effettuarsi di volta in volta.

Tuttavia, ponendo mente alle forti differenze costruttive e d'installazione fra curva e curva, il giudizio sull'utilizzabilità delle curve come misuratori, non risulta del tutto negativo, ma, scartata naturalmente la possibilità pratica di costruire le curve con procedimenti meccanici costosissimi, come quella da noi effettuata, la relativa concordanza dei risultati in condizioni diversissime indurrebbe a pensare che con procedimenti tecnologici che garantiscono una migliore similitudine geometrica (fusioni, o pressofusioni) si potrebbero conseguire risultati abbastanza precisi, e ci pare che una ulteriore ricerca debba essere indirizzata in questo senso.

Due ulteriori considerazioni parlano poi a favore della praticità della curva come misuratore; anzitutto l'andamento quasi orizzontale dei nostri diagrammi, il che permetterebbe di dare semplicemente un diagramma di α in funzione di R/D .

Naturalmente si dovrebbero completare le ricerche in tutto il campo di Re per gli R/D che si intendono adottare, ma è verosimile che la costanza si mantenga analogamente a quanto avviene per analoghe grandezze idrauliche.

Un altro punto a favore è l'ottima concordanza fra i punti teorici e quelli sperimentali di fig. 2 che consentirebbe interpolazioni di ottima approssimazione qualora si dovessero adottare curve diverse da quelle su cui si effettuasse la ricerca sistematica dei coefficienti α .

Giuseppe Machne

BIBLIOGRAFIA

1. R. F. STEARNS, R. R. JOHNSON, R. M. JACKSON, C. A. LARSON, *Flow measurement with orifice meters*, D. Van Nostrand Company, Inc., New York.
2. UNI 1576 e 2327.
3. UNI 1567 e 2325.
4. H. ADDISON, *The use of pipe bends as flow meters*, « Engineering », London, March 4, 1938.
5. W. M. LANSFORD, *The use of an elbow in a pipe line for determining the rate of flow in the pipe*, Bulletin No. 289; University of Illinois Engineering Experiment Station.
6. U. PUPPINI, *Lezioni di Idraulica*, Bologna 1936.
7. L. ESCANDE, *Hydraulique générale*, Toulouse 1947.
8. H. NIPPERT, *Über den Strömungsverlust in gekrümmten Kanälen*, Bollettino 320, V.D.I., 1929.
9. H. F. MULLIKIN e J. M. BATCH, *Flow measurement by pipe elbows*, Montana State College.
10. J. R. MACKENZIE, *Bends as flow meters*, « The Commonwealth Engineer », January 1943.
11. A. W. BRIGHTMORE, *Loss of pressure in water flowing through straight and curved pipes*, Min. of Proc. of Inst. Civ. Eng., London 1909, vol. 169.
12. A. HOFMANN, *Der Verlust in 90° - Rohrkrümmern mit gleichbleibendem Kreisquerschnitt*, Bollettino 3, 1929, Hydraulisches Inst. T. H. München.

MISURATORE DI PORTATA A CHIAMATA DI SBOCCO

FERDINANDO PADERI considera la possibilità di utilizzare i fenomeni di chiamata di sbocco in caduta libera, per effettuare misure di portata mediante letture idrometriche in corrispondenza della sezione critica; e ciò per corrente idrica defluente in canale rettangolare a fondo orizzontale o declive a debole pendenza. La sezione critica viene localizzata quale intersecazione del pelo libero con la linea graduata di un'asta idrometrica rettilinea, immersa, opportunamente inclinata, nel corso d'acqua o disposta inclinata in sponda al canale. Le esperienze hanno confermato la possibilità di utile applicazione in pratica di un misuratore di portata « a chiamata di sbocco ».

I - Premesse.

In una pregevole pubblicazione (1) del 1936, Rouse proponeva di utilizzare i fenomeni della caduta libera per effettuare misure di portata, richiamandosi anche a una sua precedente ormai classica memoria (2) del 1933 sulla caduta libera aerea per canale a sezione rettangolare e a fondo orizzontale.

Precisamente proponeva di effettuare letture idrometriche in corrispondenza della sezione di sbocco di un tale canale a sezione rettangolare, le cui pareti verticali, al fine di evitare la contrazione laterale, proseguano ancora un poco oltre il termine del canale e anche al disotto della quota di fondo del canale stesso. Dalla altezza d'acqua y_s allo sbocco, valutata mediamente in 0,715 dell'altezza critica (teorica)

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (1)$$

ossia per la

$$y_s = 0,715 y_c,$$

trovava agevole risalire al valore della portata unitaria q e quindi al valore della portata $Q=q b$ essendo b la larghezza del canale.

Questa proposta del Rouse ho già avuto occasione di ricordare nella mia prima nota (3) del 1954 sulla chiamata di sbocco, nella quale ho riportato dati sperimentali da me rilevati per la situazione di canale a fondo orizzontale.

La stessa proposta del Rouse ho ricordato anche nella mia successiva nota (4) del 1956 inerente a miei rilevamenti sperimentali per la situazione di canale declive a debole pendenza.

Nella presente comunicazione è considerata, dal punto di vista sperimentale, la possibilità di utilizzare i fenomeni di chiamata di sbocco in caduta libera aerea per eseguire misure di portata, sia per canale a fondo orizzontale che per canale declive a debole pendenza, ricorrendo direttamente alla (1) e cioè alla

$$Q = b \sqrt{g} y_c^{3/2}; \quad (2)$$

e ciò effettuando letture idrometriche in corrispondenza della sezione critica opportunamente localizzata. Sarà al riguardo fatto essenzialmente riferimento alla situazione di canale a fondo orizzontale; ma saranno altresì forniti primi elementi anche relativamente alla situazione sperimentale di canale a debole pendenza.

II - Canale a fondo orizzontale.

Nella seconda mia nota (4) sopra citata illustrai nel grafico di figura 20, riportato qui in figura 1, i risultati ottenuti sperimentalmente circa la localizzazione della sezione critica al variare della pendenza $i = \tan \alpha$ del fondo del canale.

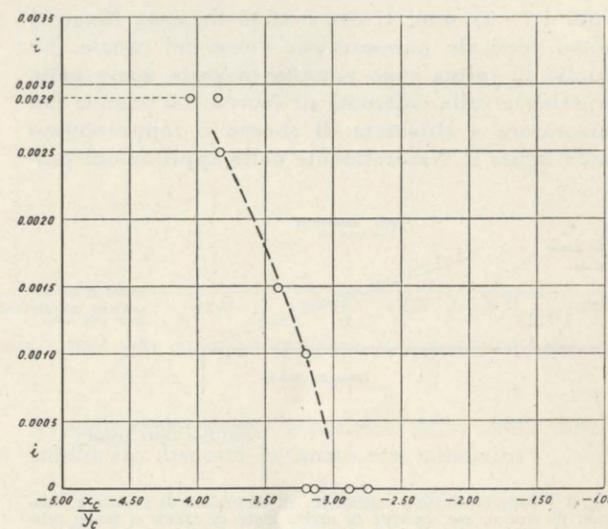


Fig. 1 - Valori correlativi $\frac{x_c}{y_c}$ e i nelle esperienze sulla chiamata di sbocco con portata unitaria da 0,147 a 0,2 m³/sec. m e altezza critica teorica y_c da 0,13 a 0,16 m.

In detta figura sono riportati i punti corrispondenti alle coppie di valori adimensionali, pendenza del fondo i e quoziente $\frac{x_c}{y_c}$ per le portate sperimentate superiori a 147 l/sec. m essendo x_c la distanza della sezione critica teorica dalla sezione di sbocco.

L'insieme di tali punti segnala un andamento crescente di $\left| \frac{x_c}{y_c} \right|$ al crescere di i reso evidente in prima approssimazione, per la situazione sperimentata, dalla linea tratteggiata disegnata nel grafico stesso.

Per la situazione di canale a fondo orizzontale la media dei quattro valori riportati per $\frac{x_c}{y_c}$ vale - 2,99; un quinto valore, sempre per $i=0$, inerente alla portata di 0,129 m³/sec. m vale - 2,92; tenendo conto anche di quest'ultimo valore la media generale vale - 2,97. In cifra tonda ho segnalato per la situazione $i=0$, nelle due precedenti

note, il valore — 3 in accordo anche con quanto segnalato da Ippen (5).

In base a tale dato ho inteso realizzare un misuratore di portata localizzando la sezione critica quale intersezione del pelo libero con la linea graduata di un'asta idrometrica rettilinea immersa con opportuna inclinazione longitudinalmente nel corso d'acqua o disposta inclinata in sponda al canale quale caso più frequente nelle applicazioni pratiche. A tale scopo ho utilizzato la stessa installazione sperimentale sulla quale ho effettuato le esperienze sulla chiamata di sbocco (3 e 4).

Nell'ultimo tratto, terminante con la sezione di sbocco, del canale rettangolare (lungo 9 metri e di larghezza $b=0,498$ m) disposto a fondo orizzontale ho sistemato con inclinazione 1/3 un'asta idrometrica millimetrata a sezione rettangolare di dimensioni $1,7 \times 39$ mm. L'asta è stata disposta lungo il piano verticale passante per l'asse del canale. Le griglie di calma sono rimaste disposte come nelle esperienze sulla chiamata di sbocco. Lo schema del misuratore a chiamata di sbocco è rappresentato nella figura 2. Naturalmente nelle applicazioni pra-

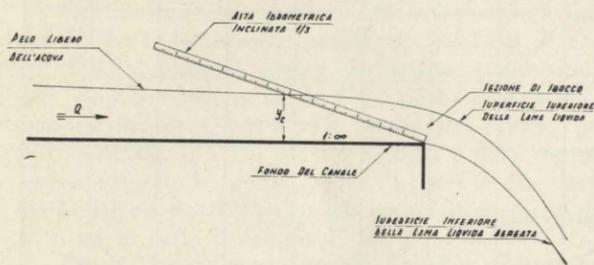


Fig. 2 - Rappresentazione schematica di misuratore di portata a chiamata di sbocco, per corrente in arrivo lenta in canale a fondo orizzontale ($i=0$).

tiche del misuratore prototipo un adeguato tratto finale di canale sarà, se già non lo è, costruito per esempio in muratura in modo da realizzare la sagoma rettangolare e la pendenza di fondo.

Per le varie situazioni di regime dalla lettura a

sulla graduazione dell'asta predetta in corrispondenza della intersezione della linea graduata con il pelo libero dell'acqua, ho quindi rilevato la corrispondente altezza d'acqua y e per la semplice relazione:

$$a^2 = y^2 (1 + 3^2)$$

ossia

$$y = \frac{a}{\sqrt{10}} = 0,31623 a \quad (3)$$

L'asta può naturalmente essere già graduata in modo da leggere il valore y od anche il valore correlativo della portata unitaria q od anche senz'altro il valore della portata $Q = b q$.

Corrispondentemente ho sempre rilevato con metodo volumetrico il valore della portata.

Nella tabella I sono riportati i risultati sperimentali riguardanti valori y da 0,0636 a 0,1583 metri (colonna 4.a) e correlative portate sperimentali Q_s da 0,0254 a 0,0979 $m^3/sec.$ (colonna 7.a). Nella colonna 5.a della stessa tabella I sono riportati i valori della portata teorica Q_t correlativi per la (2) ai valori y suddetti intesi quali valori critici teorici y_c ; e nell'ultima colonna sono infine indicati gli scarti percentuali tra i valori teorici e sperimentali della portata.

Gli scarti percentuali sono contenuti entro limiti bene accettabili agli effetti pratici: essi risultano di norma inferiore all'1 ÷ 1,5 %.

Resta pertanto confermata, almeno nel campo sperimentato, la possibilità di utile applicazione in pratica di un misuratore di portata a chiamata di sbocco da installarsi in corrispondenza di salto o caduta libera aerea.

I risultati predetti per la situazione di canale a fondo orizzontale sono illustrati anche nella figura 3 nella quale sono riportati quali centri di cerchietti i punti corrispondenti alle coppie di valori speri-

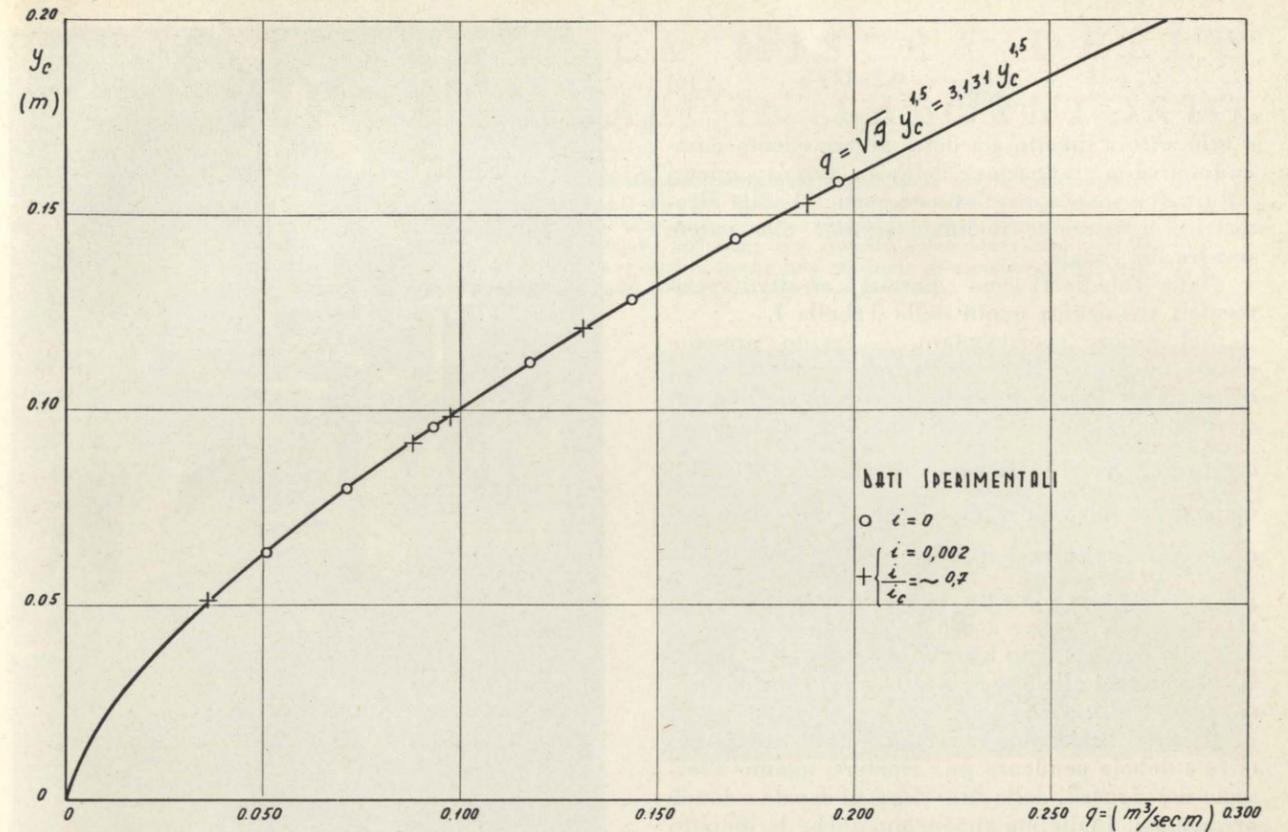


Fig. 3 - Valori correlativi altezze d'acqua y e portate unitarie q_s misurate, e linea della portata teorica unitaria q_t (con $g=9,8053$ m/sec²).

mentali dell'altezza d'acqua y e della correlativa portata unitaria misurata $q_s = \frac{Q_s}{b}$. Sulla stessa figura è stata tracciata per punti la linea della portata teorica unitaria $q_t = \frac{Q_t}{b}$ definita dalla (2).

III - Canale declive a debole pendenza.

A titolo di primo studio esplorativo sul funzionamento di un misuratore di portata a chiamata di sbocco per canale declive a debole pendenza ho ef-

fettuato anche alcune esperienze sullo stesso canale suindicato disposto inclinato con pendenza $i=0,002$

Facendo ancora riferimento agli elementi di prima approssimazione riportati in fig. 1, ho sistemato l'asta idrometrica millimetrata, illustrata nel precedente paragrafo, con la inclinazione 1/3,59 come segnalato dal predetto grafico di figura 1 in corrispondenza della pendenza $i=0,002$.

Per le singole situazioni sperimentate vale allora la relazione

$$a^2 = y^2 (1 + 3,59^2)$$

TABELLA I - Esperienze con canale a fondo orizzontale ($i = 0$)
(Scala idrometrica inclinata 1/3)

No d'ordine	Data	Temperatura dell'acqua °C	Altezza d'acqua osservata y metri	Portata teorica		Portata misurata Q_s mc/sec.	Δ%
				per la (2) Q_t mc/sec.	unitaria q_t mc/sec. m.		
1	14 settembre 1956	22°0	0,0636	0,0250	0,0502	0,0254	-1,6
2	19 settembre 1956	21°5	0,0802	0,0354	0,0711	0,0356	-0,6
3	21 settembre 1956	21°5	0,0957	0,0462	0,0927	0,0464	-0,4
4	3 ottobre 1956	21°2	0,1124	0,0588	0,1180	0,0588	-
5	1 ottobre 1956	21°0	0,1280	0,0714	0,1434	0,0717	-0,4
6	1 ottobre 1956	21°0	0,1440	0,0852	0,1711	0,0849	+0,4
7	5 ottobre 1956	21°1	0,1584	0,0983	0,1974	0,0979	+0,4

TABELLA II - Esperienze con canale declive ($i = 0,002$)
(Scala idrometrica inclinata 1/3,59)

No d'ordine	Data	Temperatura dell'acqua °C	Altezza d'acqua osservata y metri	Portata teorica		Portata misurata Q_s mc/sec.	Δ%
				per la (2) Q_t mc/sec.	unitaria q_t mc/sec. m.		
1	8 novembre 1956	15°5	0,0513	0,0181	0,0364	0,0179	+1,1
2	8 novembre 1956	15°7	0,0918	0,0434	0,0871	0,0439	-1,1
3	7 dicembre 1956	16°3	0,0982	0,0480	0,0964	0,0486	-1,2
4	7 novembre 1956	15°5	0,1210	0,0656	0,1318	0,0654	+0,3
5	10 novembre 1956	15°1	0,1530	0,0933	0,1874	0,0938	-0,5

ossia

$$y = \frac{a}{\sqrt{13,8881}} = 0,25834 a \quad (4)$$

e vale ancora quanto già detto al precedente paragrafo circa la graduazione dell'asta. Corrispondenti letture di a sono state effettuate anche su scala idrometrica ugualmente inclinata segnata alla parete sinistra del canale.

Nella Tabella II sono riportati i risultati sperimentali analoghi a quelli della Tabella I.

Nel campo sperimentato, — avuto presente quanto esposto nella seconda mia memoria sulla chiamata di sbocco in canale a fondo declive (4) circa l'ordine di grandezza dei valori della pendenza critica $i_c = \frac{gC}{b\lambda^2}$ e del coefficiente di scabrezza ($m=0,12$) della espressione di λ di Kutter — il valore del quoziente $\frac{i}{i_c}$ risulta dell'ordine di 0,7. Ciò per meglio caratterizzare la situazione sperimentale esplorata di canale declive a debole pendenza.

Nella figura 3 sono riportati con crocetta i punti corrispondenti alle 5 coppie dei valori sperimentali correlativi di y e q_s .

Per la situazione così sperimentata di canale declive a debole pendenza può ripetersi quanto affermato nei riguardi della situazione di canale a fondo orizzontale. Inalterate rimangono anche le inerenti conclusioni.

IV - Chiamata di sbocco da gradino di fondo.

Quale sviluppo delle esperienze riportate nei precedenti paragrafi e con finalità esplorative sono in corso anche rilevamenti, con particolare riguardo a fenomeni di sommergenza, in situazioni di chiamata di sbocco determinata, in canale a sezione rettangolare, da semplice gradino di fondo (anzichè in caduta libera aerea).

A tale sviluppo delle esperienze si riferiscono le fotografie riportate in figg. 4a e 4b. Nella figura 4a in particolare è visibile il gradino di fondo che è

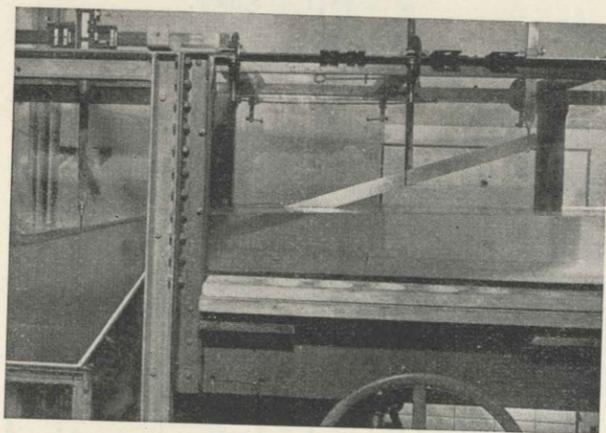


Fig. 4a - Prova esplorativa su misuratore di portata a chiamata di sbocco da gradino di fondo.

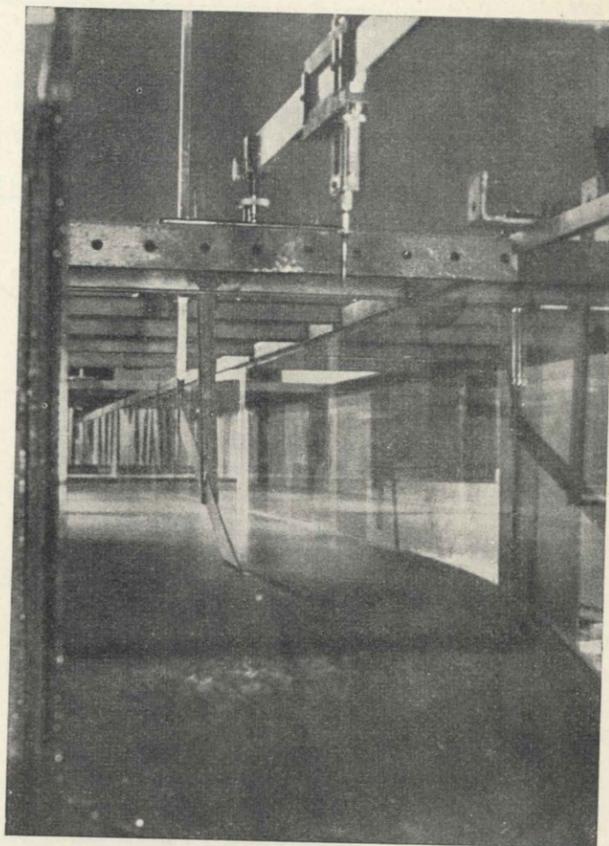


Fig. 4b.

stato aggiunto alla installazione già utilizzata per le esperienze con chiamata di sbocco in caduta libera aerea.

Rilevo infine con piacere che l'interesse scientifico e pratico di tali ricerche (indipendentemente dal particolare problema pratico che qui ci interessa) è manifestato anche dalla recente nota di Ingram, Oltman e Tracy « Surface Profiles and Submerged Overfall » facente parte della pubblicazione del Rouse « Seven Exploratory Studies in Hydraulics » (6).

Ringrazio il Prof. Corrado Ruggiero per il suo incoraggiamento al riguardo della presente nota.

Ferdinando Paderi

BIBLIOGRAFIA

1. ROUSE H. - *Discharge Characteristics of the Free Overfall*, « Civil Engineering », aprile 1936, New York.
2. ROUSE H. - *Verteilung der hydraulischen Energie bei einem lotrechten Absturz*, Oldenbourg, Berlino 1933.
3. PADERI F. - *Sulla chiamata di sbocco (Notizie preliminari su rilevamenti per canale a fondo orizzontale)*. « L'energia Elettrica » n. 10, Milano 1954.
4. PADERI F. - *Sulla chiamata di sbocco in canale a fondo declive*, « L'energia Elettrica », n. 8, Milano 1956.
5. IPPEN A. T. - *Channel Transition and Controls*, in « Engineering Hydraulics », ed. by Rouse H., Wiley and Sons, New York, 1950, pag. 553.
6. ROUSE H. - *Seven Exploratory Studies in Hydraulics*, Paper 1038, Journal of the Hydraulics Division of the A.S.C.E., vol. 82, n. NY 4, August 1956.

UN METODO PER LA MISURA DELLE VELOCITÀ SUPERFICIALI IN LABORATORIO

GIANNANTONIO PEZZOLI propone un metodo di notevole semplicità e precisione per la misura delle velocità superficiali di una corrente a pelo libero. Il metodo in parola si fonda sopra un'applicazione della teoria delle onde di capillarità, teoria che è stata estesa e generalizzata per tener conto di quantità trascurate nella teoria classica e che hanno notevole influenza per velocità abbastanza grandi. Si è riconosciuto che allo stato attuale delle conoscenze, occorre anche una relazione sperimentale per poter utilizzare il fenomeno ai fini delle misure di velocità superficiali.

È noto che un ostacolo fermo produce alla superficie di una corrente liquida un sistema di onde stazionarie (*) che di frequente si possono osservare in un corso d'acqua naturale; nel comportamento di queste onde interviene in maniera fondamentale la tensione superficiale del liquido.

Le linee di cresta delle onde in questione si dispongono come in figura 1 e possiedono due asintoti che formano due fasci di rette parallele ed equidistanti, il cui angolo α è funzione solo della velocità della corrente; provocando a mezzo di una punta la formazione di un simile sistema di onde è assai facile misurare la direzione degli asintoti, che peraltro non sono disturbati anche se a breve distanza dalla punta stessa la velocità alla superficie del fluido si modifica sensibilmente.

Le onde di capillarità sono state studiate teoricamente per primo da Lord Kelvin [1] secondo lo schema seguente.

Supponiamo anzitutto il fenomeno piano, il liquido perfetto, incomprimibile e la profondità del canale molto grande rispetto alla lunghezza λ delle onde considerate; supponiamo inoltre il moto irrotazionale.

Sia x la direzione di propagazione delle onde e sia z l'asse verticale positivo verso il basso, come da figura 2; dovendo per ipotesi esistere un potenziale φ di velocità, si avrà necessariamente

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad w = \frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

e quindi dall'equazione di continuità:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0. \quad (1)$$

Per velocità piccole rispetto alla velocità di propagazione c , tali da poter trascurare il loro quadrato, e per altezze d'onda η molto piccole, si può notoriamente scrivere, con ovvio significato dei simboli:

$$\frac{p}{\rho} - gz + \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \text{cost.} \quad (2)$$

Quando la tensione superficiale non agisce, dalla (2) si ricava la normale condizione di Poisson per il pelo libero, essendo la pressione alla superficie libera uguale alla pressione atmosferica p_0 .

Teniamo ora conto della tensione superficiale τ ; sappiamo dalla teoria della capillarità che attra-

(*) Vedi foto A.

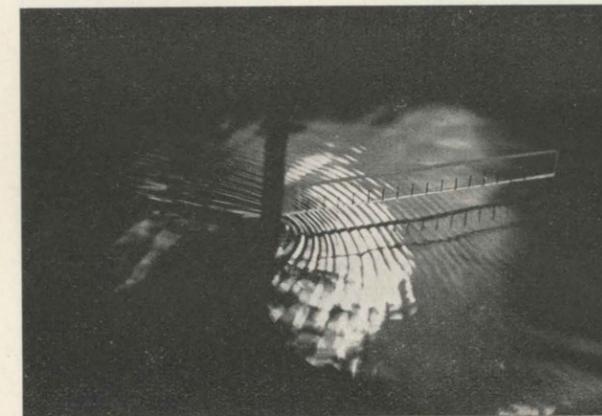


Foto A

versando la superficie libera in un punto avente raggio di curvatura R , si ha un brusco incremento di pressione dato da $\frac{\tau}{R}$; incremento positivo o negativo, a seconda del verso in cui è volta la concavità della superficie.

Avendo supposto onde di piccola ampiezza, analogamente a quanto si fa nella teoria elementare della linea elastica della trave inflessa, potremo scrivere

$$R = \frac{\left[1 + \left(\frac{d\eta}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2\eta}{dx^2}} \approx \frac{1}{\frac{d^2\eta}{dx^2}}$$

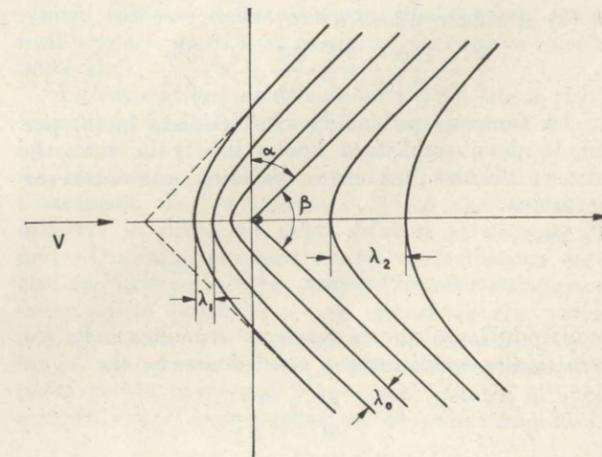


Fig. 1.

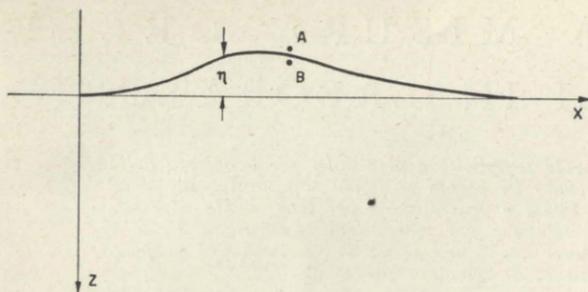


Fig. 2.

trascurando quindi il quadrato della tangente al profilo dell'onda rispetto a 1.

Con la precedente semplificazione, otteniamo per la pressione, passando da un punto A esterno ad uno B interno ma prossimo alla superficie:

$$p = p_0 + \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \tau; \quad (3)$$

sempre nell'ipotesi di piccoli movimenti, si può, in prima approssimazione, sostituire, alla velocità di una particella in un punto, la velocità del liquido nello stesso luogo e scrivere:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} \approx \frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

Ne consegue:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \tau \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^2 \partial z} \quad (\text{per } z = 0). \quad (4)$$

Derivando ora la (2) rispetto a t e tenendo conto della (4), si ha immediatamente

$$\frac{\tau}{\rho} \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^2 \partial z} = g \frac{\partial \varphi}{\partial z} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \quad (\text{per } z = 0), \quad (5)$$

condizione sul pelo libero, che prende il posto di quella di Poisson.

Essendo la velocità di propagazione delle onde c costante per ipotesi, le funzioni u , w , p , φ , sono della forma

$$f[(x - ct), z]$$

ciò che permette di porre (vedi [2]):

$$\frac{\partial}{\partial t} = -c \frac{\partial}{\partial x};$$

la (5) si riduce allora a:

$$\frac{\tau}{\rho} \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^2 \partial z} = g \frac{\partial \varphi}{\partial z} - c^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}. \quad (6)$$

La funzione potenziale che soddisfa la (6) per $z = 0$, deve soddisfare anche la (1) in tutta la massa; occorre pertanto scegliere una funzione armonica.

Sia:

$$\varphi = \varphi_0 e^{-mz} \sin mx \quad \left(m = \frac{2\pi}{\lambda}\right),$$

se introduciamo questa funzione armonica nella (6) essa risulta soddisfatta a condizione che sia

$$c^2 = \frac{g}{m} + \frac{m\tau}{\rho}$$

espressione che si può scrivere anche

$$c^2 = \frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{\tau}{\rho} \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (7)$$

Il secondo termine a secondo membro della (7), rappresenta la correzione della velocità di propagazione delle onde irrotazionali in profondità infinita dovuta all'effetto della tensione superficiale del liquido. Come si vede facilmente, per λ grande il secondo termine diventa trascurabile rispetto al primo; il contrario succede per λ molto piccolo: in quest'ultimo caso si parla di onde di pura capillarità, per cui la velocità di propagazione è:

$$c = \sqrt{\frac{2\pi\tau}{\rho\lambda}}$$

Comunque, quello che ora interessa, è di considerare il sistema completo di onde aventi velocità di propagazione data dalla (7); detta formula, posto

$$V_0 = \sqrt{\frac{4\tau g}{\rho}}, \quad \lambda_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\tau}{g\rho}}$$

si può scrivere in modo significativo:

$$c^2 = \frac{V_0^2}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} + \frac{\lambda_0}{\lambda}\right). \quad (8)$$

Risolvendo la (8) rispetto a λ si ottiene immediatamente:

$$\lambda = \lambda_0 \left(\frac{c^2}{V_0^2} \pm \sqrt{\frac{c^4}{V_0^4} - 1}\right); \quad (9)$$

questa formula ci permette di stabilire il significato delle due costanti λ_0 e V_0 che sono caratteristiche per ogni liquido e che valgono per l'acqua:

$$\lambda_0 = 1,71 \text{ cm}, \quad V_0 = 23,2 \text{ cm/sec.}$$

Esaminando infatti la (9), si osserva che essa ha radici reali solo per $c > V_0$, il che dà a V_0 il ruolo di velocità critica per il fenomeno in esame; dato che il sistema ondoso è solidale con la punta che lo provoca, la sua velocità di propagazione c coincide, nella direzione della corrente, con la velocità V della corrente stessa; pertanto, per velocità della corrente che investe la punta, minori di V_0 le onde non si formano e per $V = V_0$ la lunghezza d'onda è precisamente λ_0 .

Per $V = c > V_0$ le due soluzioni della (9), λ_1 e λ_2 con $\lambda_1 < \lambda_2$, rappresentano le lunghezze d'onda rispettivamente davanti e dietro l'ostacolo come risulta da fig. 1, λ_1 essendo la lunghezza d'onda delle onde in cui prevale l'effetto di capillarità, λ_2 la lunghezza d'onda delle onde in cui è prevalente l'effetto della gravità. Si fa notare che λ_1 e λ_2 sono legate fra di loro dalle:

$$\lambda_1 \lambda_2 = \lambda_0^2, \quad \lambda_1 + \lambda_2 = 2\lambda_0 \frac{c^2}{V_0^2} \quad (10)$$

e che λ_0 rappresenta la distanza costante fra gli asintoti di tutto il fascio di curve. A questo punto occorre ricordare che in un sistema di onde di scia, quali sono quelle trattate nella presente nota, si hanno le relazioni fondamentali (vedi ad es.: [3]):

$$r = K\lambda, \quad c = V \cos \vartheta \quad (11)$$

dove r e ϑ sono rispettivamente il raggio vettore

e l'anomalia della podaria di una cresta caratterizzata da un particolare valore del parametro K , parametro inessenziale per i nostri scopi.

Dalla seconda delle (11), elevando al quadrato e confrontando con la (8) otteniamo:

$$V^2 \cos^2 \vartheta = \frac{V_0^2}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} + \frac{\lambda_0}{\lambda}\right);$$

sostituendo in quest'ultima equazione il valore di λ tratto dalla prima delle (11), e ponendo:

$$\cos \alpha = \frac{V_0}{V} \quad (12)$$

si ricava con semplici passaggi:

$$r = m [\cos^2 \vartheta \pm \sqrt{\cos^4 \vartheta - \cos^4 \alpha}] \quad (13)$$

dove m è un numero positivo per le onde prevalentemente di gravità (dietro la punta) e negativo per le onde prevalentemente di capillarità (davanti alla punta, nel verso della corrente).

Come si vede immediatamente dalla (13), le rette

$$\vartheta = \pm \alpha$$

riportate in fig. 1 sono gli asintoti alle creste d'onda; misurando quindi l'angolo α , o, ciò che riesce più comodo, l'angolo

$$\beta = 2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)$$

si può ottenere dalla (12) la misura della velocità superficiale della corrente nel punto considerato; si ha:

$$V = \frac{V_0}{\cos \alpha}$$

che si può scrivere

$$V = \frac{0,232}{\sin \frac{\beta}{2}} \text{ m/sec.}$$

Fino qui la teoria classica delle onde di capillarità; se però si effettuano delle esperienze, si può verificare che la (12) è valida solo per i valori di V che non si discostino troppo da V_0 ; per $V \gg V_0$ i valori di velocità che si ricavano applicando la teoria sopra esposta risultano tutti inferiori al reale.

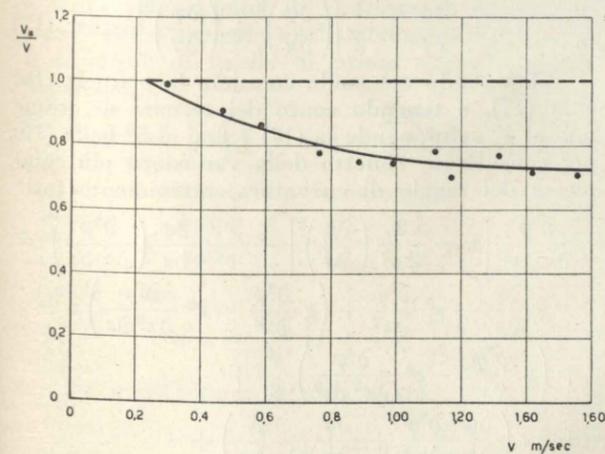


Fig. 3.

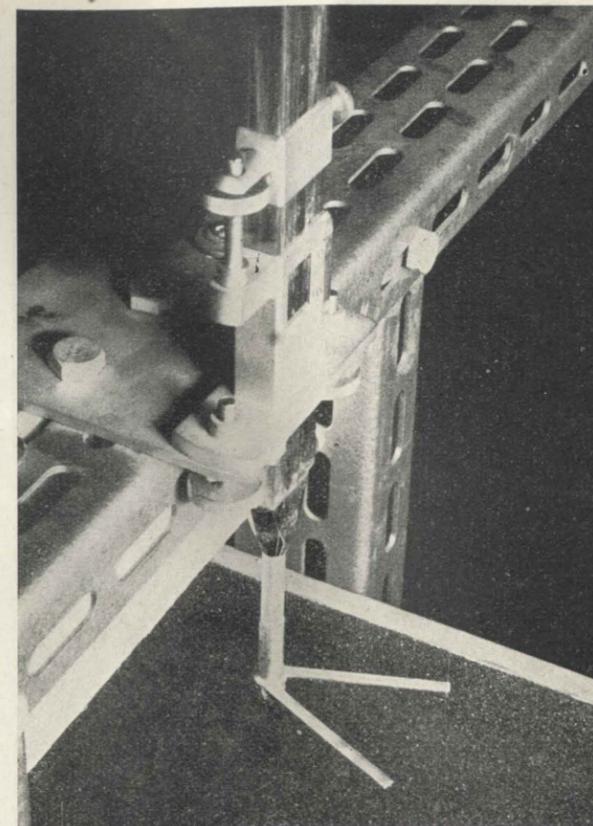


Foto B

In figura 3 sono riportati in grafico, e in tabella I i valori numerici dei risultati di una serie di esperienze eseguite sopra un canale di 28 cm di larghezza, a sezione rettangolare.

Stabilito in esso un moto uniforme, la velocità superficiale lungo l'asse del canale veniva valutata mediante la misura del tempo impiegato da un galleggiante opportuno (per ridurre a zero il pescaggio del galleggiante stesso si sono utilizzati minuti frammenti di carta), a percorrere un tratto di canale lungo m 5,60.

Ogni esperienza veniva ripetuta 6 volte sorvegliando se il galleggiante lungo il percorso, si manteneva sull'asse della canaletta. Dei 6 tempi ottenuti erano scartati i tre maggiori, facendo la media degli altri.

La velocità era anche calcolata mediante la (12), misurando l'angolo β fra gli asintoti a mezzo di un semplicissimo dispositivo (*) costituito da una punta da idrometro munita, a mezzo centimetro dall'estremità, di due alidade di 5 cm che venivano disposte in direzione degli asintoti al sistema di onde. Questa operazione risulta di facilissima esecuzione, in quanto, se le onde ad una certa distanza dalla punta possiedono una curvatura che varia per un tratto che può essere anche abbastanza lungo, vi è tuttavia una cresta che praticamente passa per la punta, ed è pressochè ridotta ai suoi asintoti che si congiungono in un punto angoloso.

(*) Vedi foto B.

TABELLA I.

Numero della esperienza	β	$\cos \alpha = \sin \frac{\beta}{2}$	V_m (misura con galleggianti) m/sec	$V = \frac{V_0}{\cos \alpha}$
1	105° 10'	0,794	0,295	0,292
2	65° 48'	0,543	0,467	0,426
3	53°	0,462	0,580	0,502
4	47° 12'	0,400	0,756	0,580
5	41°	0,350	0,887	0,663
6	36° 8'	0,310	0,989	0,748
7	33°	0,284	1,168	0,817
8	30° 40'	0,260	1,120	0,892
9	26° 24'	0,228	1,316	1,017
10	24° 16'	0,210	1,555	1,105

Come si può agevolmente vedere dal grafico della fig. 3 nel quale si è riportata in ascissa la velocità misurata con i galleggianti V_m , e in ordinata il rapporto $\frac{V_*}{V_m}$, dove con V_* si è indicata la velocità valutata con la (12), se la teoria classica fosse esatta il rapporto $\frac{V_*}{V_m}$ dovrebbe essere uguale a 1, ed i punti sperimentali, anziché disporsi in media intorno alla curva interpolata tracciata con tratto continuo, dovrebbero disporsi intorno alla retta tratteggiata parallela alle ascisse.

L'accordo fra teoria ed esperienza, buono solo per i valori di V molto vicini a V_0 , manca invece nel campo dei grandi valori di V , in quanto vengono a cadere completamente le ipotesi fatte in partenza, ed in particolare non si può più trascurare il quadrato della velocità della particella rispetto al quadrato della velocità di propagazione, l'altezza dell'onda diventa tutt'altro che piccola rispetto a λ , e il raggio R di curvatura del profilo dell'onda non si può più approssimare con

$$R \simeq \frac{1}{\frac{d^2\eta}{dx^2}}$$

Alcune esperienze eseguite fotografando lamine rettilinee riflesse da un fascio di onde, hanno permesso di rilevare che pur degradando nell'allontanarsi dalla punta, le onde di capillarità continuano a conservare, anche a notevole distanza un rapporto $\frac{b}{\lambda}$ notevolissimo, se con b si indica l'ampiezza totale (da cresta a cavo).

Si deve comunque tener presente che il metodo qui proposto può servire a misurare la velocità in superficie, specie nei modelli idraulici fino ad un massimo di 1,50 ÷ 1,60 m/sec. Oltre questo limite l'agitazione del pelo libero e la piccolezza dell'angolo β , come si preciserà in seguito, tolgono la necessaria precisione al procedimento.

Per vedere ora di elaborare una teoria che tenga conto anche degli elementi prima trascurati,

riprendiamo la (3) che ora scriviamo in modo completo

$$p = p_0 + \tau \frac{\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}}{\left[1 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial x}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \quad (14)$$

Supponiamo ora che, pur non essendo più $\left(\frac{\partial \eta}{\partial x}\right)^2$ trascurabile rispetto all'unità, sia ancora abbastanza piccolo in modo da poter scrivere, sviluppando in serie il denominatore e fermandosi al secondo termine:

$$p \simeq p_0 + \tau \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \left[1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x}\right)^2\right]$$

da cui si ha subito

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \tau \frac{\partial^3 \eta}{\partial t \partial x^2} \left[1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x}\right)^2\right] - 3 \tau \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x \partial t}$$

e, ricordando che dalla prima approssimazione è:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} \simeq \frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad (15)$$

si è condotti alla:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \tau \frac{\partial^3 \varphi}{\partial z \partial x^2} \left[1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x}\right)^2\right] - 3 \tau \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial z}$$

Tenuto ancora conto che si ha

$$\frac{\partial}{\partial t} = -c \frac{\partial}{\partial x},$$

ed utilizzando la (15) si ottiene l'espressione finale:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \tau \frac{\partial^3 \varphi}{\partial z \partial x^2} \left[1 - \frac{3}{2c^2} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2\right] - \frac{3 \tau}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial z} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial z}\right)^2 \quad (16)$$

valida per $z = 0$.

Se ora non trascuriamo più il quadrato della velocità rispetto a c^2 , dobbiamo scrivere al posto della (2)

$$\frac{p}{\rho} - gz + \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2 \right] = \text{cost.} \quad (17)$$

Eliminando nel modo consueto la p fra la (16) e la (17), e tenendo conto dei termini di ordine fino al 4° sviluppando la (17) e fino al 5° nella (16) per considerare l'effetto della variazione più complessa del raggio di curvatura, otteniamo:

$$\begin{aligned} \tau \frac{\partial^3 \varphi}{\partial z \partial x^2} \left[1 - \frac{3}{2c^2} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2\right] - \frac{3 \tau}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial z} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial z}\right)^2 = \\ = g \frac{\partial \varphi}{\partial z} - c^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \left(g \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} - c^2 \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^2 \partial z}\right) z + \\ + \left(g \frac{\partial^3 \varphi}{\partial z^3} - c^2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial z^2}\right) \frac{z^2}{2} + \\ + 2c \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z \partial x}\right) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + 2c \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial z} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial \varphi}{\partial x} \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^2 \partial z} + \right. \\ \left. + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z \partial x} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \frac{\partial^3 \varphi}{\partial z^2 \partial x}\right) z - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \\ - 2 \frac{\partial \varphi}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial z} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial z} - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \quad (\text{per } z=0) \quad (18) \end{aligned}$$

Potrebbe sembrare discutibile l'aver conservato da una equazione termini di un certo ordine e da un'altra termini di ordine superiore, ma la cosa è perfettamente giustificata se si pensa che l'aver conservato anche i termini del 5° ordine ricavati dalla (17) non avrebbe migliorato l'espressione della velocità di propagazione, che, come è ben noto dalla teoria delle onde irrotazionali, varia solo di due in due ordini di approssimazioni successive (vedi ad es.: [4]), mentre era necessario tener conto dei termini di 5° ordine della (16) per studiare l'effetto del maggior incurvamento della superficie libera.

Si può soddisfare, però solo in modo approssimato, alla (18), con la stessa funzione armonica usata in precedenza; ponendo infatti

$$\varphi = \varphi_0 e^{-mz} \sin mx$$

e ricordando che dalla (15) discende

$$\varphi_0 \simeq -ac$$

con a semiampiezza dell'onda, si ottiene, come nuovo valore di c^2 , trascurando termini piccoli rispetto a quelli conservati

$$c^2 = \left(\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\tau}{\rho\lambda}\right) \left(1 + 4\pi^2 \frac{a^2}{\lambda^2}\right) \quad (19)$$

o, analogamente a quanto fatto in precedenza

$$c^2 = \frac{V_0^2}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} + \frac{\lambda_0}{\lambda}\right) \left(1 + 4\pi^2 \frac{a^2}{\lambda^2}\right) \quad (20)$$

Questa nuova espressione della velocità di propagazione contiene ora anche il rapporto $\frac{a}{\lambda}$; quindi un parametro in più.

Per ricercare la nuova forma presa dagli asintoti alle onde, partendo ancora dalla (11), possiamo scrivere:

$$V^2 \cos^2 \vartheta = \frac{V_0^2}{2} \left(1 + 4\pi^2 \frac{a^2}{\lambda^2}\right) \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} + \frac{\lambda_0}{\lambda}\right)$$

e senza preoccuparci di ricercare la forma delle curve, che d'altronde qualitativamente conservano il carattere di quelle di prima approssimazione, otteniamo:

$$\cos^2 \vartheta = \frac{1}{2} \frac{V_0^2}{V^2} \left(1 + 4\pi^2 \frac{a^2}{\lambda^2}\right) \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} + \frac{\lambda_0}{\lambda}\right)$$

che si può ridurre alla forma:

$$\frac{\cos^2 \vartheta}{\cos^2 \alpha} = \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} + \frac{\lambda_0}{\lambda}\right)$$

avendo posto

$$\cos^2 \alpha = \frac{V_0^2}{V^2} \left(1 + 4\pi^2 \frac{a^2}{\lambda^2}\right).$$

Da quest'ultima formula si trae

$$V = \frac{V_0}{\cos \alpha} \sqrt{1 + 4\pi^2 \frac{a^2}{\lambda^2}} \quad (21)$$

nuova espressione della velocità della corrente in funzione dell'angolo α e del rapporto $\frac{a}{\lambda}$.

Si può notare che la (21) fornisce dei valori di V maggiori rispetto a quelli dati dalla (12) ed è quindi qualitativamente in accordo molto migliore con l'esperienza.

I rilievi fotografici effettuati hanno mostrato anche una buona concordanza quantitativa, fino alle velocità in cui era possibile rilevare i profili delle onde; ma per velocità di 0,4 ÷ 0,5 m/sec, le fluttuazioni turbolente della velocità provocano rapide quanto forti variazioni nelle lunghezze d'onda. In tal modo è pressoché impossibile rilevarle, mentre invece le direzioni asintotiche della scia rimangono in media costanti e riesce abbastanza facile disporre le alidade del dispositivo parallele ad esse per effettuare la misura di $\beta = 2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)$.

D'altra parte, $\frac{a}{\lambda}$ deve essere funzione della

velocità V e delle caratteristiche del fluido considerate nello schema adottato; si potrà quindi scrivere sinteticamente:

$$\frac{a}{\lambda} = f(V, V_0)$$

Non è possibile ottenere questa ulteriore relazione per via teorica, mentre invece essa è abbastanza bene individuata dalla curva tracciata in figura 3, curva che rappresenta la funzione

$$\frac{V_0}{V \cos \alpha} = \psi(V, V_0) \quad (22)$$

Con questo modo di procedere si ha il vantaggio non tanto di trovare una dipendenza sperimentale fra $\frac{a}{\lambda}$ e V , ma fra V e tutta la funzione

più complessa della $\left(1 + 4\pi^2 \frac{a^2}{\lambda^2}\right)^{\frac{1}{2}}$ che moltiplica $\frac{V_0}{\cos \alpha}$ al secondo membro della (21): funzione che si otterrebbe procedendo ad approssimazioni di ordine più elevato.

La funzione di correzione ψ , in base alle misure effettuate, si può rappresentare bene ed in modo semplice mediante la formula

$$\psi = \frac{4V + 5V_0}{6V + 3V_0}$$

che introdotta nella (22) ci dà

$$V = \frac{V_0}{\cos \alpha} \cdot \frac{6V + 3V_0}{4V + 5V_0} \quad (23)$$

Risolvendo questa equazione rispetto a V , si ottiene con facili passaggi:

$$V = \frac{V_0}{\cos \alpha} \cdot \left\{ \frac{1}{8} \left[6 - 5 \cos \alpha + \sqrt{36 - 12 \cos \alpha + 25 \cos^2 \alpha} \right] \right\} \quad (24)$$

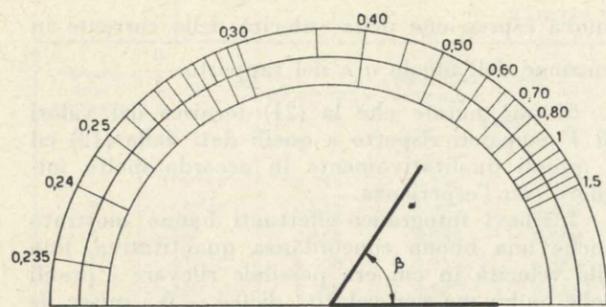


Fig. 4.

avendo preso la determinazione positiva del radicale dato che V deve restare sempre positiva.

Quest'ultima formula che ci dà V solo in funzione di $\cos \alpha$ e di V_0 , costante caratteristica del liquido, è stata calcolata nella tabella II, dove anziché l'angolo α si è riportato l'angolo β che effettivamente si misura e il $\sin \frac{\beta}{2} = \cos \alpha$.

La figura 4 riporta la scala circolare, graduata direttamente in valori della velocità, che si può usare per risalire rapidamente dall'angolo misurato col dispositivo sopra descritto, alla grandezza della V superficiale della corrente nel punto considerato.

Sono state eseguite inoltre due serie di esperienze riportate nelle figure 5 e 6, relative alla misura della distribuzione delle velocità superficiali in due canali, rispettivamente di sezione trapezia e di sezione trapezia con banchine; queste misure sono poste a confronto con altre effettuate mediante fotografia dall'alto di un certo numero di sferette leggere di vetro argentato, che riflettono sotto forma di punto brillante l'immagine di una forte sorgente luminosa.

Davanti all'otturatore aperto della macchina, ruota con velocità angolare nota un settore che

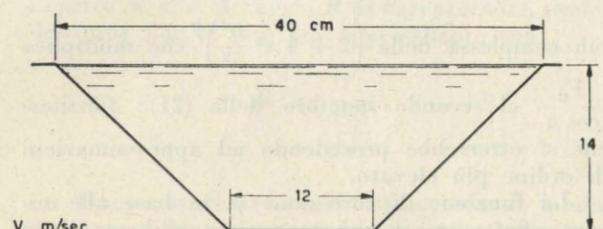


Fig. 5.

TABELLA II

β°	$\sin \frac{\beta}{2} = \cos \alpha$	V mc/sec	β°	$\sin \frac{\beta}{2} = \cos \alpha$	V mc/sec
170	0,99619	0,235	90	0,70711	0,361
160	0,98481	0,238	80	0,64279	0,413
150	0,96593	0,242	70	0,57358	0,474
140	0,93969	0,250	60	0,50000	0,552
130	0,90631	0,263	50	0,42262	0,670
120	0,86603	0,279	40	0,34202	0,874
110	0,81915	0,297	30	0,25882	1,272
100	0,76604	0,325	20	0,17365	1,898

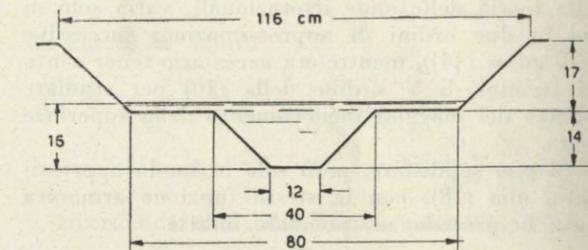


Fig. 6.

alternativamente copre e scopre l'obiettivo; il punto brillante descrive quindi sulla lastra la traiettoria compiuta dalla sferetta galleggiante, traiettoria che risulta interrotta ad ogni giro di settore. Dalla lunghezza dei trattini misurati sulla fotografia e conoscendo la velocità di rotazione del settore si ricavano immediatamente i valori delle velocità superficiali.

Si può notare, dai grafici 5 e 6, una pressoché completa concordanza fra i risultati ottenuti con i due tipi di misure.

È da osservare in particolare l'asimmetria nella distribuzione della velocità superficiale in fig. 5, relativa al canale trapezoidale, perfettamente corrispondente nei due metodi e la differenza dei valori ottenuti invece sulle banchine nel secondo canale: questa particolarità può essere facilmente spiegata.

Ci sembra anzi che essa metta in evidenza uno dei vantaggi del metodo qui proposto.

Sulle banchine vi era una profondità d'acqua di circa 2 cm e le sferette per quanto leggere pescavano in maniera sufficiente a risentire nettamente l'influenza frenante degli strati vicinissimi al

fondo ed a velocità assai minori; di qui i valori di V inferiori al reale.

Da questi ultimi cenni sulle prove di laboratorio si possono trarre le ultime conclusioni circa l'utilità di applicazione del procedimento; esso è di facile e rapido uso e valido per velocità V che soddisfino in pratica alla limitazione

$$0,25 < V < 1,50 \div 1,60 \text{ m/sec.}$$

Ha il vantaggio, rispetto al metodo fotografico che utilizza le sferette argentate, di non richiedere una complessa attrezzatura, grandi cure, tempo notevole per l'elaborazione dei risultati sperimentali; ha inoltre il pregio di consentire misure in un determinato punto del pelo libero purché non vicinissimo alle sponde, mentre le sferette seguono traiettorie spesso assai disordinate e tortuose, dalle quali talvolta con difficoltà si possono dedurre i dati necessari.

In più i valori ottenuti con questo procedimento non sono assolutamente influenzati dalle velocità degli strati inferiori, cosa che accade sempre quando si utilizzano galleggianti; questo dipende dal fatto che le onde di capillarità sono un fenomeno puramente superficiale.

Per quanto riguarda l'errore percentuale che si commette nell'uso della formula (24), se la si scrive in funzione dell'angolo β che effettivamente si misura

$$V = \frac{V_0}{\sin \frac{\beta}{2}} f(\beta)$$

MISURE DI PORTATA CON IL METODO CHIMICO AL BICROMATO DI SODA

MARIO TONINI descrive un'apparecchiatura per misure di portata con il metodo chimico al bicromato di soda e riferisce sui rilievi effettuati dall'Ufficio Idrologico della SADE.

Premesse.

Il metodo chimico per la misura delle portate, che trae la sua principale condizione proprio da quella turbolenza che impedisce l'uso degli altri sistemi, non ha trovato, per il passato, in Italia, molta diffusione. Difficile individuare le cause di questa impopolarità; non ultime, certo, l'ingombro dei recipienti per le soluzioni ed i grandi quantitativi di sale occorrente.

In questi ultimi anni il metodo chimico è stato riportato d'attualità e su scala pratica dai francesi con l'adozione del bicromato di soda. Questo sale, proposto da Mr. Dodero, professore della Facoltà di Scienze di Grenoble, è stato applicato su scala industriale dal Laboratorio di Idraulica dell'Università di Grenoble. Grazie poi all'appoggio dato dalla Région d'Équipement Hydraulique — Alpes II dell'Électricité de France, il sistema, in Francia, è ora molto diffuso. Sono state colà misurate portate fino a 100 m³/s nelle condizioni più diverse di altitudine, topografiche e meteorologiche, così da sottoporre il sistema ad un severo collaudo pratico.

dove $f(\beta)$ rappresenta la funzione correttiva, e la si deriva logicamente si ottiene, indicando con Δ l'incremento:

$$\left| \frac{\Delta V}{V} \right| = \left| \frac{1}{2} \Delta \beta \cotg \frac{\beta}{2} \right| + \left| \frac{1}{f} \frac{df}{d\beta} \Delta \beta \right|$$

Data la trascurabile influenza del secondo termine, si può osservare che l'errore relativo, nullo per $V = V_0$, vale a dire per $\beta = \pi$, ($\alpha = 0$), tenderebbe a diventare grandissimo per $\beta \rightarrow 0$, ($\alpha \rightarrow \frac{\pi}{2}$); tuttavia, nel campo di velocità da noi indicato, l'errore percentuale si mantiene assai modesto e raggiunge un massimo del 6% alla velocità di 1,60 m/sec, supponendo di compiere un errore poco maggiore di 1° nella misura di β .

Giannantonio Pezzoli

BIBLIOGRAFIA

1. LORD KELVIN, *Mathematical and physical papers*, vol. IV, Cambridge University Press, 1910.
2. H. BOUASSE, *Houle, seiches, rides, marées*, Delagrave, Paris 1924.
3. H. LAMB, *Hydrodynamics*, Sixth edition, 1932, Cambridge: at the University press.
4. G. G. STOKES, *Mathematical and physical papers*, vol. I, Cambridge University Press, 1880.

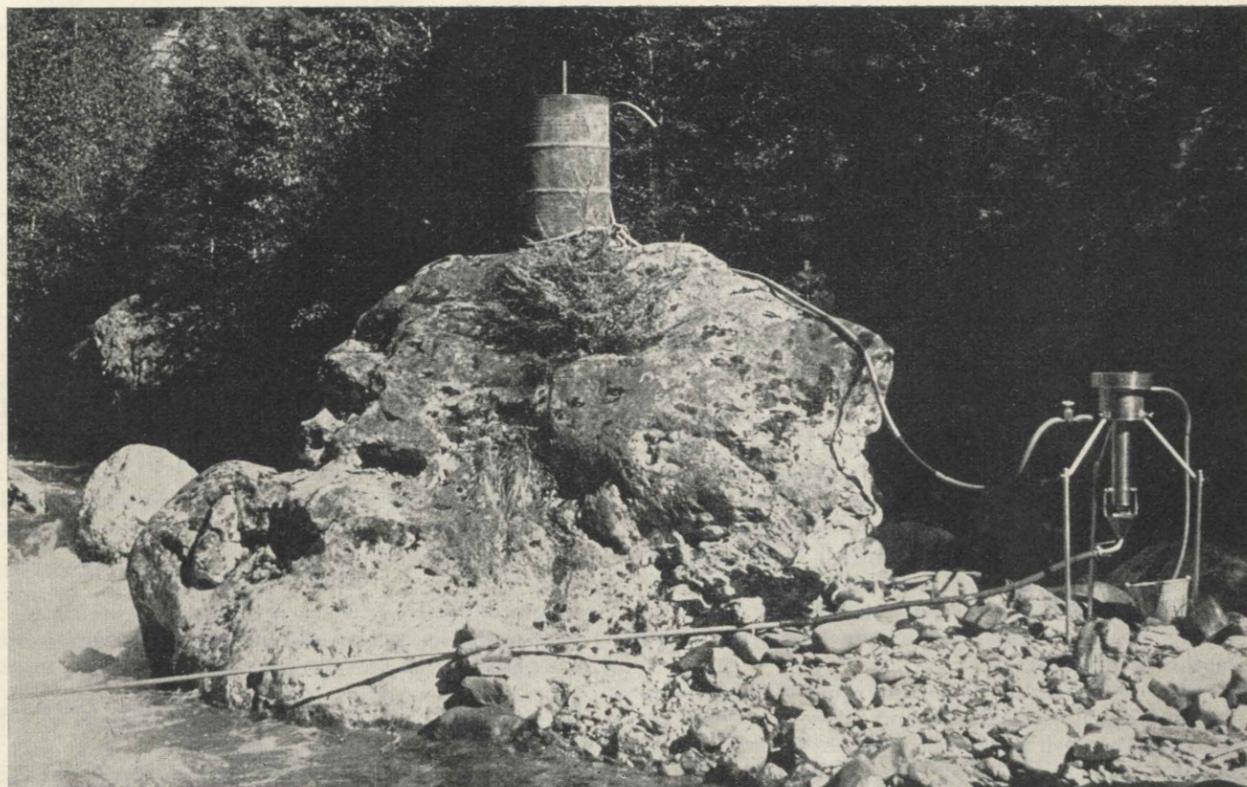


Fig. 1 - Misure di portata con il metodo chimico al bicromato di soda (installazione di campagna).

giunge i 5 mg/l l'impiego del cloruro di sodio per le misure chimiche non è più consigliabile.

Il solfato di manganese è stato impiegato raramente. Tra i pochi che l'usarono ricordiamo la Sezione di Studi dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque in collaborazione con il Centro Ricerche Idrauliche dell'Istituto di Idraulica della Scuola di Ingegneria di Padova.

Questo sale presenta i vantaggi di non trovarsi disciolto nelle acque naturali e la possibilità di dosatura a titoli deboli fino ad un minimo di 2,5 mg/l. Per contro, però, l'analisi, del tipo colorimetrico, richiede specialisti chimici. Certamente tale necessità è stata il grande ostacolo alla diffusione del suo impiego.

Altro sale adoperato per le misure chimiche è il nitrito di soda. Anche esso, però, come il cloruro di sodio, può trovarsi disciolto nelle acque naturali ed allora il suo titolo finale deve essere, secondo gli sperimentatori, almeno tre volte quello naturale. Presenta inoltre delle instabilità per le quali occorre prendere particolari precauzioni. Può essere dosato a deboli titoli: per una buona misura in acqua senza nitriti non si deve scendere al di sotto di 0,4 mg/l.

L'azione dei nitriti non è dannosa per i pesci che possono sopportarlo per più ore anche in concentrazione dieci volte superiore a quella necessaria per le misure.

Quando il titolo dell'acqua naturale è superiore a 0,2 mg/l l'uso di questo sale non è più raccomandabile.

Il bicromato di soda, recentemente proposto, è il sale che presenta quasi tutti i migliori requisiti per la misura chimica. È sempre assente nelle acque naturali, ha grande stabilità alla luce, ai sedimenti ed alle materie organiche e non è dannoso per i pesci nelle concentrazioni di misura. Seppure tossico in soluzione concentrata, non presenta però pericolo perchè costituisce una specie di autoprotezione il suo forte potere colorante, che è ancora visibile nella concentrazione di 5 mg/l. Al di sotto di questo valore è visibile con reazione colorimetrica. La sua dosatura si fa a titoli deboli fino ad un minimo di 0,5 mg/l.

Industrialmente è usato per la concia delle pelli perciò la sua reperibilità in commercio è semplice ed è di costo poco elevato.

L'analisi con il metodo colorimetrico è facile e può essere svolta in laboratorio da personale opportunamente addestrato.

Riassumendo, le principali caratteristiche tecniche dei sali ricordati sono le seguenti:

	Solubilità media alla temp. ordin.	Titolo minimo dosabile a meno del 0,5 %	Prezzo in lire al Kg
Cloruro di sodio	250	30 mg/l	24
Solfato di manganese	500	2,5 »	350
Nitrito di soda	750	0,8 ÷ 1,2 »	90
Bicromato di soda	660	0,5 ÷ 1,0 »	240

Per una misura di portata, con durata di iniezione di 20 minuti primi ed un titolo finale (K_2) uniforme di 6 volte il titolo presente nelle acque

naturali (K_1), per ogni m^3/s i quantitativi di sale necessari risultano:

Cloruro di sodio	($K_1=5$ mg/l $K_2=30$ mg/l)	kg. 36,00
Solfato di manganese	$K_2=2,5$ »)	kg. 3,00
Nitrito di soda	($K_1=0,15$ » $K_2=0,90$ »)	kg. 1,08
Bicromato di soda	$K_2=0,5$ »)	kg. 0,60

I valori esposti mettono in evidenza il ridotto fabbisogno, in peso, di bicromato rispetto a quello di cloruro di sodio e quindi la possibilità di eseguire con il primo misure di portata fino a valori prima impossibili con il cloruro di sodio.

Apparecchiature di campagna.

Il debole titolo di dosatura e la grande solubilità del bicromato di soda, quasi tre volte quella del cloruro di sodio, consentono di utilizzare il recipiente dove viene preparata la soluzione madre anche per l'introduzione della stessa nel corso d'acqua evitando, così, fastidiosi travasi, e senza correre il rischio di lasciare nel fondo sale non disciolto, perchè le soluzioni di bicromato, normalmente, vengono fatte ad un titolo metà di quello necessario alla saturazione.

L'iniezione può essere fatta con un dispositivo a portata costante indipendente, alimentato direttamente da quello stesso recipiente che ha servito per la soluzione. Viene così eliminato l'uso della bottiglia di Mariotte, che di fronte a qualche pregio presenta svantaggi più grandi come l'ingombro, il peso e la difficile messa in opera su terreno accidentato quale quello della sponda di un fiume.

Dal dispositivo a portata costante la soluzione viene addotta all'acqua mediante tubo di spandimento a getto unico od a getti suddivisi, sempre però defluenti nell'aria libera perchè non venga alterata la costanza del deflusso come invece potrebbe accadere se il getto od i getti venissero a trovarsi sommersi nell'acqua.

L'immissione deve essere eseguita in maniera d'ottenere una uniforme diffusione del sale nelle acque naturali e di evitare dispersioni di questo, ad opera del vento, sulle sponde o sulla eventuale neve o ghiaccio. Cura particolare si deve porre anche per la scelta del tratto di corso d'acqua che oltre ad una buona turbolenza deve essere privo di zone morte.

I campioni vanno prelevati ad una distanza, variabile da caso a caso, non superiore ai 200 metri, a principiarsi dal raggiunto regime permanente della diluizione ed a intervalli eguali. Saranno numerosi, circa 20, della capacità approssimata di 100 cm^3 e presi in più punti della sezione liquida, per poter controllare l'omogeneità della diluizione. Si prendono anche due campioni della soluzione madre, uno all'inizio e l'altro alla fine dell'iniezione, per le operazioni di laboratorio.

Quanto più lunga, ragionevolmente, sarà l'immissione tanto maggiore sicurezza si avrà di aver

raggiunto l'omogeneità della diluizione necessaria per una buona misura.

Adoperando come recipiente per la soluzione, uno dei comuni fusti metallici di benzina, opportunamente adattato, della capacità di 180 litri circa, ed ammessa una portata di iniezione di 0,1 l/s, la durata del tempo di versamento è di 30 minuti primi che garantiscono abbondantemente, salvo casi eccezionali, da ogni sorpresa.

Analisi colorimetrica.

Il metodo colorimetrico, per l'analisi del bicromato di soda, consiste nel diluire la soluzione madre fino ad un titolo eguale a quello della soluzione finale, il che conferisce al metodo il nome più appropriato di « metodo delle diluizioni ».

In pratica, intuitivamente, è difficile raggiungere l'identità di cui sopra. Si faranno allora un certo numero di diluizioni a titoli diversi, per es., 20.000, 25.000, 30.000, tali però da comprendere la diluizione della soluzione finale che sarà stata antecedentemente stimata in via approssimata.

Diagrammati cartesianamente le letture al fotocolorimetro delle diluizioni di laboratorio ed i rispettivi titoli, si potrà determinare il titolo della diluizione della soluzione finale come media degli n campioni prelevati e di conseguenza la portata misurata.

Le soluzioni finali sono generalmente incolore a cominciare da diluizioni al 10.000 in su; si aggiunge allora un reattivo colorimetrico, cioè una soluzione alcolica al difenilcarbazide, ottenendo una tonalità rosso vino facilmente valutabile al fotocolorimetro.

Misure di portata eseguite dall'Ufficio Idrologico della Società Adriatica di Elettricità.

L'Ufficio Idrologico della S.A.D.E. per accertare la praticità d'impiego del bicromato di soda ed in considerazione del fatto, già ricordato, che il metodo chimico, in generale, si presta bene in quelle situazioni nelle quali non è possibile l'impiego degli altri metodi, ha provveduto ad attrezzarsi per queste misure e ad eseguire una serie di prove per l'addestramento del personale.

Durante questa fase, contemporaneamente ad ogni rilievo chimico, è stata sempre eseguita la misura di controllo con i molinelli. Non è stata cosa facile la ricerca di corsi di acqua che si prestassero bene ad ambedue i metodi di misura richiedenti condizioni contrastanti ma, con opportuni apprestamenti, si è potuto raggiungere quanto desiderato.

Contro ogni aspettativa fin dalle prime misure si ottennero risultati molto incoraggianti. Progredendo l'addestramento del personale, lo scarto tra i due sistemi di misure, chimico e con molinelli, si è sempre più ridotto fino ad ottenere valori normalmente tollerati ed accettati. A chiusura del periodo di addestramento sono state intraprese due serie particolari di misure.

La prima è consistita nell'eseguire in un canale d'irrigazione, regolato a portata costante, delle misure a titoli finali di bicromato diversi. L'iniezione della soluzione è avvenuta su lama stramazante con getti frazionati, ed i campioni, venti, prelevati a 150 metri a valle dal punto d'immissione. Con i molinelli si eseguì una sola misfura perchè rimase costante il controllato carico sullo stramazzo.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

	Portate misurate		Durata iniez.	Titoli finali approssimati
	chimicamente m ³ /s	con molinelli m ³ /s		
1)	1,650	1,609	30'	0,84 mg/l
2)	1,650		30'	0,67 »
3)	1,645		30'	0,56 »

La tabella mette in evidenza la costanza dei risultati chimici al variare del titolo finale anche se ridotto pressochè al minimo.

Lo scarto assoluto dai molinelli risulta del +2,5 %, valore superiore a tanti altri precedentemente ottenuti. Ciò è dipeso dal fatto che la sezione di misura per molinelli non era la migliore avendo sponde inclinate a 45° e fondo ad arco rovescio con forte saetta.

Più che lo scarto dai molinelli queste misure avevano lo scopo, pienamente raggiunto, di controllare il comportamento dei risultati chimici al variare dei titoli finali.

La seconda serie di prove si è svolta nel canale di scarico di una centrale sita a q. 1000 e nel mese di dicembre con freddo intenso e presenza di neve e ghiaccio, cioè in avverse condizioni climatologiche. Le misure coi molinelli vennero eseguite in una sezione rettangolare opportunamente approntata per il collaudo delle turbine, con fondo e sponde in lastre di marmo. Anche questa volta l'immissione della soluzione è stata fatta con getto frazionato su lama stramazante prelevando i campioni ad una distanza di circa 80 m.

I titoli finali sono stati all'incirca di 1 mg/l, ed i risultati i seguenti:

Prova	Portate misurate		Scarto della misura chimica riferita ai molinelli %
	chimicamente m ³ /s	con molinelli m ³ /s	
1)	3,720	3,720	+ 0,5
2)	3,220	3,209	+ 0,3
3)	2,640	2,625	+ 0,6
4)	2,075	2,057	+ 0,9

Gli scarti sono risultati tutti inferiori all'1 %, al di sotto cioè dei valori normalmente tollerati e riscontrati per altri sistemi.

Per la serie di prove intraprese, il personale impiegato fu suddiviso in tre squadre: una per i molinelli, rilievi di campagna e conteggi, due per il metodo chimico; di queste una per i rilievi di campagna e l'altra per l'analisi in laboratorio informatamente del dato stimato della portata misurata.

I conteggi delle misure con molinelli furono eseguiti sempre ad analisi colorimetriche terminate. Tutto ciò per evitare possibili influenze psicologiche sull'analisi che alterassero la realtà dei fatti.

Conclusioni.

I risultati ottenuti sono stati veramente ottimi. Questi ci hanno permesso di apprezzare la grande esattezza di misura conseguibile con il metodo chimico al bicromato di soda e di constatare la semplicità, praticità e speditezza del metodo in campagna. Difatti una misura chimica, con personale addestrato, richiede lo stesso numero di persone e lo stesso tempo di eguale misura con i molinelli.

L'analisi colorimetrica in laboratorio si presenta un po' più lunga dello sviluppo analitico di una misura con molinelli, necessitando dalle tre alle quattro ore. Se si considera però che il rilievo non sarebbe stato altrimenti possibile questo tempo non è certamente eccessivo.

La spesa per l'apparecchiatura, di campagna e di laboratorio, è di circa 500.000 lire, quella del sale di 300 lire per m³/s. Questi fattori economici hanno essi pure la loro grande importanza.

Ci auguriamo che il metodo chimico per le misure di portata, con l'impiego del bicromato di soda, possa avere in Italia una popolarità più grande di quella goduta fino ad oggi.

Mario Tonini

BIBLIOGRAFIA

- *Metodi chimico e chimico-elettrico per la misura delle portate*, Magistrato alle Acque - Ufficio Idrografico, Pubblicazione n. 139.
- *Sur l'emploi du bichromate de sodium dans la mesure du débit des cours d'eau par colorimétrie*, M. Maurice Doderò, Académie des Sciences, 1952.
- *La méthode chimique pour la mesure du débit des cours d'eau*, H. Dumas, « La Houille Blanche », 1952, n. 5.
- *Modalités pour le titrage de solutions employées dans la méthode chimique pour la mesure des débits*.
- *Modalités d'utilisation du chlorure de sodium*, A. Boucher et R. Mellet, « La Houille Blanche », 1953, n. 2.
- *Modalités d'utilisation du sulfate de manganèse ou du cation M** en général*, E. Pruvot, « La Houille Blanche », 1953, n. 3.
- *Modalités d'utilisation du nitrite de soude*, R. Zirilli, « La Houille Blanche », 1953, n. 4.
- *Modalités d'utilisation du bichromate de sodium*, M. Maurice Doderò, « La Houille Blanche », 1953, n. 6.

Direttore responsabile: **AUGUSTO CAVALLARI-MURAT**

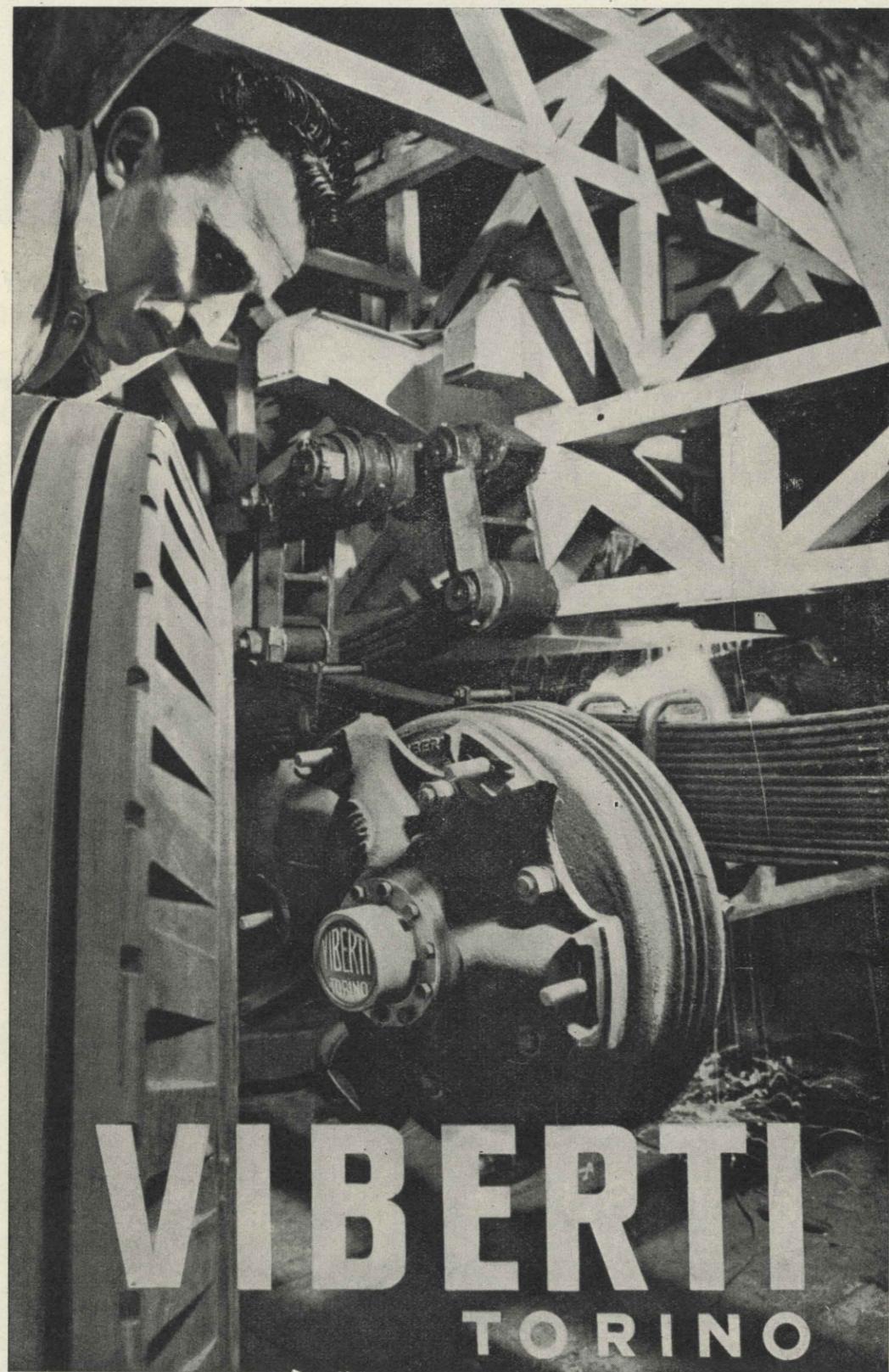
Autorizzazione Tribunale di Torino, n. 41 del 19 Giugno 1948

STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE

filati e manufatti in vetrotessile per tutte le applicazioni elettrotecniche

VETROTESSILE
SOCIETÀ PER AZIONI
CAPITALE SOCIALE L. 40.000.000 INT. VERS.
VIA E. TAZZOLI, 12 MILANO TELEF. 63.51.72

CONCESSIONARIA ESCLUSIVA DEI FILATI PRODOTTI DALLA
VETRERIA IT. BALZARETTI MODIGLIANI S.p.A.



SOC.
 **Ing. Carlo Ferrari**

**Impianti: Termici
 Idraulici
 Sanitari**

**Riscaldamento e raffreddamento con
 pannelli radianti**

(licenze Crittall e Frenger)

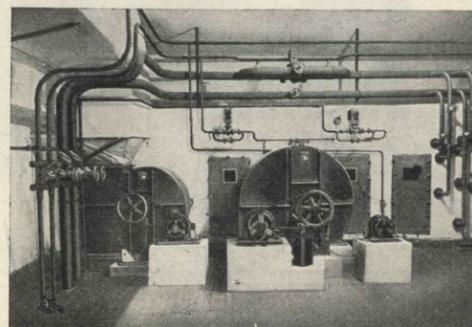
Condizionamento dell'aria

Ventilazione industriale

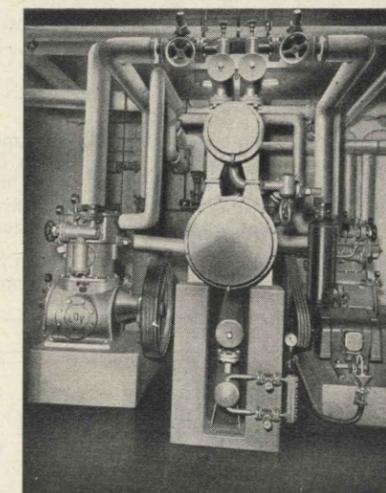
Caldaje Brevettate



Nuova Sede della Compagnia Anonima di Assicurazione di Torino
 Via Arcivescovado, 18 - Torino



Cabina di condizionamento dell'aria per il cunicolo D della nuova
 Stazione ferroviaria Roma-Termini.



Gruppo frigorifero per il raffreddamento a pannelli radianti ed il condizio-
 namento estivo dell'aria nella nuova Sede della Compagnia Anonima di
 Assicurazione di Torino - Via Arcivescovado, 18 - Torino.

Direzione Generale, Amministrazione - Officina:

TORINO - VIA SAN SECONDO N. 62

Telefoni: 586.430 - 586.435

Magazzini Generali:

VIA CREMONA N. 25 - Telef. 21.976

★

ROMA - Via Capo d'Africa 15 - Tel. 751.426

GENOVA - Via Maragliano 10 - Tel. 51.017

MILANO - Via Lancetti 23 - Tel. 691.294

FIRENZE - Via De' Rustici 3 - Tel. 20.278

PARMA - Via Palermo 2 - Tel. 57.04

VERONA - PALERMO - NOVARA - BOLOGNA

★



**Da 58 anni all'avanguardia
 nel campo della termotecnica**



Lavanderia dell'Ospedale Neuropsichiatrico Provinciale di Udine



C.R.T.
ITALMECCANICA
TORINO

C.R.T.

COMPRESSORI ROTATIVI E TURBINE

BREVETTO ITALMECCANICA - S. CO. T.

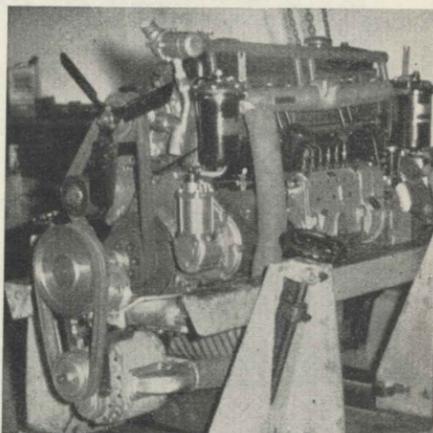
CORSO BRESCIA, 89 - TORINO - TELEFONO 23.963

COMPRESSORI ROTATIVI TIPO ROOTS A DUE E PIÙ LOBI - COMPRESSORI CENTRIFUGHI, A PALLETTATE PROIETTATE E GUIDATE, A DENTI, ECC.

20 ANNI DI ESPERIENZA NEL CAMPO - OLTRE 100 MONTAGGI DI SERIE SU MOTORI A CICLO DIESEL E A BENZINA - 30 TIPI DI COMPRESSORI TIPO ROOTS CON PORTATE DA 50 Lt. A 250.000 Lt. AL 1° PER NUMEROSE APPLICAZIONI NEL CAMPO INDUSTRIALE.

Con l'applicazione dei ns. compressori il Vs. motore svilupperà più potenza. - Risultati sorprendenti nei motori a ciclo Diesel con potenze superiori fra il 20 e il 40% e senza modifiche al motore. Accelerazioni superiori del 50%. Consumi invariati. Montaggio in poche ore. Applicazione per quasi tutti i motori Italiani e per molti Esteri.

Alimentatore Roots montato su motore FIAT 642RN



CO.WA.

Commercio Metalli duri Wallram

TORINO - VIA S. ANTONIO DA PADOVA 10 - TELEFONO 527.834

Utensili in metallo duro normali ed a disegno

Frese a lame riportate

Matrici con nucleo in metallo duro

Trafile e spine per trafilatura

Fioretti con taglienti riportati per scavi in roccia e miniere

OFFICINA: TORINO - VIA MOLLIERES 10 - TELEFONO 790.189

UFFICIO: ROMA - VIA GREGORIANA 56 - TELEFONO 62.302

UFFICIO: MILANO - E. A. SCHROEDER - Via Cosimo del Fante 16 - Tel. 344.921

INDUSTRIE MECCANICHE E DI PRECISIONE ED ELETTRICHE

Pastore Benedetto

DI LUIGI E DOMENICO PASTORE

Sede Torino - Corso Firenze n. 127

Tel.: 21.024-23.059-22.880 • Teleg.: Serrande Pastore Torino

Capitale Sociale L. 20.000.000 • Società a Resp. Limitata
Amministratori: LUIGI PASTORE e DOMENICO PASTORE

Prodotti fabbricati:

- Serrande e finestre metalliche avvolgibili.
- Cancelli riducibili.
- Portoni Dardo ripiegabili.
- Porte scorrevoli Lampo.
- Manovre elettriche "FATA" senza molle.

FILIALI: **Milano** - Via G. Bertani n. 10
Genova - Corso Sardegna n. 84
Roma - Via SS. Quattro n. 8/9

RAPPRESENTANZE: in tutte le principali città Italiane ed in tutti i principali Stati Esteri

SARACINESCHE in ghisa - bronzo - acciaio, per tutte le pressioni e per tutte le applicazioni. Saracinesche a sedi parallele per vapore surriscaldato.

IDRANTI di ogni tipo per incendio ed innaffiamento. Accessori per acquedotti. Collari di presa. Strettoii a valvola. Valvole a galleggiante. Sifoni di cacciata. Paratoie.

FLANGIE in ferro forgiato, piane ed a collarino. Flangie ad incastro per alte pressioni - per ammoniaca - ecc.



Officine **CARLO RAIMONDI** - Milano

Agenzia: **TORINO** - Via Sacchi 18 - Tel. 44.341

PONT GUIDO

CAVI ELETTRICI

Agenzia di vendita della Commissionaria **ARGO**
conduttori **PIRELLI - INCET**

Commissionaria **INCET** per la vendita dei fili avvolgimenti
Rappres. Ditta Ing. **U. ZENNARO** di Mestre
per morsetti e collari posacavi

TORINO

UFFICI: **VIA MAZZINI 31 - TELEFONI: 80.072 - 86.232 - 81.067**
MAGAZZINO: **VIA MAZZINI 47 - TELEFONO 882.581**

Ingg. PANIZZA & AGLIETTA

- * Alternatori
- * Dinamo
- * Trasformatori
- * Impianti elettrici

TORINO

Uffici: Via Cigna 5 - Telefoni: 21.360 - 22.012
Officina e magazzino: Via Cottolengo 31

RAVA
TORINO

ALTA FREQUENZA

UTENSILERIA PORTATILE PER L'INDUSTRIA
CONVERTITORI DA 200 FINO A 10.000 PERIODI

ELETTROMECC. ING. A. RAVA - Via Sospello 15 - Tel. 290.290



GIOVANNI ROMANO

COSTRUZIONE APPARECCHIATURE ELETTRICHE
PER BASSA E ALTA TENSIONE

TORINO - VIA RICASOLI 28 - TEL. 80.155

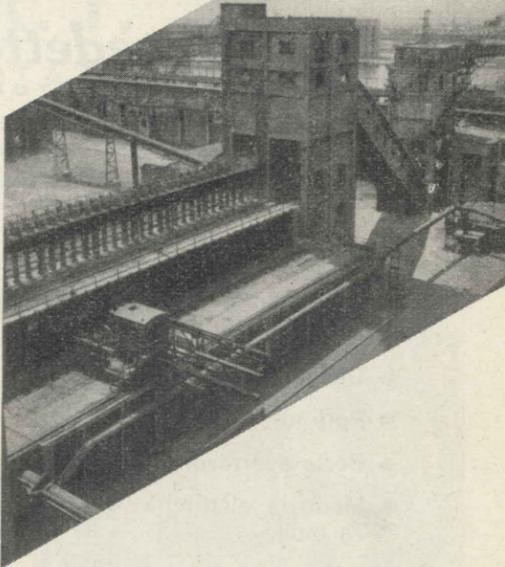
SIET

SOCIETÀ INDUSTRIE ELETTRICHE TORINO

LINEE trasporto energia - Centrali e cabine
elettriche - Elettrificazione ferrovie e tramvie
- IMPIANTI antideflagranti - PROIETTORI

TORINO - VIA CHAMBERY 39 - TEL. 79.07.78 - 79.07.79
ROMA - VIA TIBURTINA 650 - TEL. 49.05.30

Vetrocoke



- Coke metallurgico
- Prodotti di cokeria
- Prodotti azotati per agricoltura e industria
- Materie plastiche
- Vetri in lastra
- Prodotti isolanti Vitrosa



Vetrocoke

Direzione Generale Torino
Corso Vittorio Emanuele 8, telef. 80.094-5-6-7
Sede Sociale e Stabilimenti Porto Marghera Venezia

CAVI E CONDUTTORI ELETTRICI

CEAT

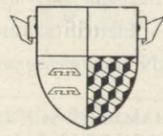
SOCIETÀ PER AZIONI

Corso Palermo, 1 - TORINO

Telefoni 20.151 - 22.632 (10 linee)
Telegrammi: CEAT TORINO

★ ★

Cavi e conduttori elettrici di ogni tipo per trasporto energia, telefonia, telecomunicazioni, segnalamento ed usi speciali ★ Fili smaltati per avvolgimenti ★ Corde e conduttori nudi ★ Accessori per cavi energia ★ Servizio posa e montaggi



PRODOTTI CHIMICI

SCHIAPPARELLI TORINO

PRODOTTI CHIMICI PURISSIMI per ANALISI (serie « ORTANAL » con garanzia)

PRODOTTI CHIMICI PURI per uso Laboratorio (serie « P.P.L. » - reagenti per uso corrente)

PRODOTTI e PREPARATI per BATTERIOLOGIA e MICROSCOPIA

REATTIVI SPECIALI per ANALISI CHIMICHE e BROMATOLOGICHE

REATTIVI SPECIALI per ANALISI CHIMICO-CLINICHE

SOLUZIONI TITOLATE per ANALISI VOLUMETRICHE

INDICATORI - CARTINE REATTIVE

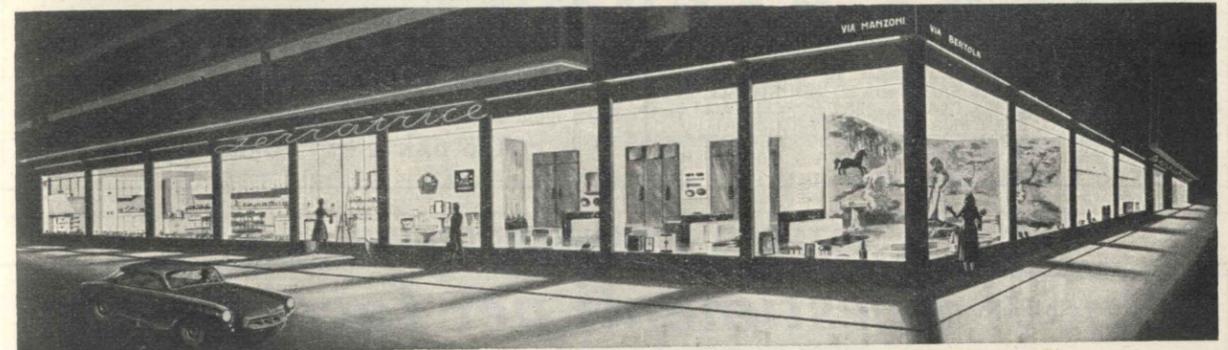
TORINO - C. BELGIO 86 - TEL. 890.632

SCHEDARIO TECNICO

IMPIANTI DI RISCALDAMENTO - IDRICI E SANITARI

Serratrice

TORINO - VIA BERTOLA, 55 (ANGOLO VIA MANZONI) - TELEFONO 42.616 - 46.596





TUTTO PER CUCINA



TUTTO PER BAGNO

APPARECCHI - RISCALDAMENTO - IDRAULICI - SANITARI - AFFINI

CARLO CATARSI

Impianti di:
RISCALDAMENTO - VENTILAZIONE
CONDIZIONAMENTO - IDRAULICI
SANITARI

TORINO - Via Gassino 24 - Telef. 882.187

"TERMONAFTA"

G. Chiesa & C.

BRUCIATORI DI NAFTA Densa

TORINO
VIA GIACOSA 10 - TELEFONI 62.515 - 683.222

DOTT. ING. VENANZIO LAUDI

IMPIANTI RAZIONALI TERMICI
E IDRICO SANITARI

TORINO - VIA MADAMA CRISTINA 62
TELEF. DIREZIONE: 683.226 • TELEF. UFFICI: 682.210

SOC. IDROTERMICA SIRIA

TORINO
VIA VASSALLI EANDI, 37
TEL. 70.349 - 760.848
Stab.: BRUSASCO (Torino) - TEL. 91.71.29

IMPIANTI DI RISCALDAMENTO E CONDIZIONAMENTO - IDRAULICI - SANITARI
COSTRUZIONE POZZI TRIVELLATI - MATERIALI PER ACQUEDOTTI

IMPIANTI DI RISCALDAMENTO - IDRICI E SANITARI

SOCIETÀ COMMERCIALE FRA
IDRAULICI e LATTONIERI
del PIEMONTE TORINO - T. 42.122 - 47.177
 CORSO G. FERRARIS, 18
MAGAZZINO RACCORDI GHISA MALLEABILE
 VIA CELLINI, 3 - T. 693.692
 CASA FONDATA NEL 1906
 MATERIALI DI IDRAULICA SANITARIA ED INDUSTRIALE, IN
 VITREOUS CHINA - FIRE CLAY - GHISA PORCELLANATA
 ACCIAIO INOSSIDABILE E SMALTATO - APPARECCHIATURE
 ED ACCESSORI PER GABINETTI DA BAGNO - SCALDABA-
 GNI E CUCINE A GAS ELETTRICI E LEGNA - FRIGORIFERI

Ing.
Turbiglio & Gariglio

IMPIANTI RISCALDAMENTO
 impianti a convezione radiazione civile e
 industriale ad acqua calda, acqua surriscal-
 data a vapore, centrali termiche, condiziona-
 mento dell'aria, essicatori, impianti idro sanitari
CORSO DANTE 126 - TORINO - TELEF. 697.292

MATERIALI SPECIALI PER EDILIZIA

Nuovi rivestimenti per faccia-vista



TIPI CON CAMERA D'ARIA
 (spessore cm 6)

Estetica - Economia - Coibenza

FORNACI RIUNITE

Direzione ed Uffici: **VIA BARBAROUX 9**
TORINO - TELEFONI: 44.126 - 44.127

Professionisti

Le facciate in terra cotta sono le più consone allo stile e al clima della nostra regione. Con la vostra cortese col-
 laborazione potremo realizzare tipi di materiale in terra cotta sempre più vari nella forma e nei disegni.

I disegni impressi sulle
 tavelle sono i più vari
 e possono essere rea-
 lizzati anche secondo
 indicazioni particolari
 della clientela.



TIPO SENZA CAMERA
 D'ARIA - spessore cm 3

ISOLAZIONE TERMICA - CEMENTO - POMICE

DITTA GIUSEPPE CURRELI ★ **VIA MANFREDI 17** ★ **ROMA**
CAVE PROPRIE A NORD E A SUD DI ROMA

Gli appartamenti non isolati o
 insufficientemente isolati non si
 vendono nè affittano facilmente!

Un **MASSETTO MAGRO** di adeguato spessore in
CEMENTO POMICE

Assicura l'isolazione termica delle terrazze e l'afonicità dei solai - Nelle costruzioni in
 pomice si riduce il costo dei vani - A richiesta copie di certificati di laboratorio

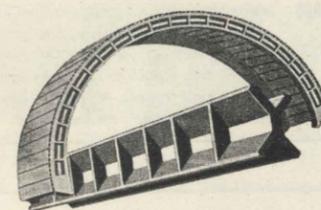
Annualmente si producono in Italia **500.000** metri cubi di granulato di pomice
 e **6.000.000** in Germania - L'impiego **aumenta** con ritmo sempre più crescente

Dr. Ing. EZIO DE PADOVA - Rappres. per il Piemonte - **C. Francia 84 - TORINO - Tel. 760.714**

MATERIALI PRECOMPRESSI E VARI PER EDILIZIA



vibrofercem



Strutture nervate ultraleggere in
 ferro - cemento vibrato per coper-
 ture a volta - Shed - comuni e solai

I MANUFATTI VENGONO CONSEGNATI
 FRANCO QUALSIASI CAPOLUOGO

VIBROFERCEM S.R.L.
 MILANO - VIA TOLENTINO, 20 - TEL. 932.806 - 981.352

dal 1831
 oltre un secolo
 di esperienza

Colli

**ARREDAMENTI
 SERRAMENTI
 MOBILI**

Serramenti esterni in legno.
 Porte interne con facciate
 in legni nobili plastificati.
 Arredamenti per Uffici e
 banche.
 Mobili a struttura di legno
 e metallo.

TORINO - Corso Bramante, 29



DITTA RENATO DEAGLIO

Esclusiva produttrice della
CALCE GRASSA di PIASCO

Stabilimenti: PIASCO - ROSSANA

MAGAZZINI DI VENDITA:
 PINEROLO - SALUZZO - BARGE
 CAVOUR

Agente di vendita:
RUA GIOVANNI
 Via Madama Cristina 79
 TORINO
 Telefono 680.256

Telefoni:
 PIASCO - (Amministr.) - Tel. 8103
 SALUZZO - Via Spielberg - Tel. 431

DITTA Mazio Zaglio

TORINO - Via d. Orfane 7 - Tel. 46.029

Tutti i tipi di **CEMENTO** comu-
 ni e speciali, Nazionali ed Esteri
CALCI di ogni qualità
GESSI da forma e da Costruzioni

Società Italiana

ACCIAIO BETON CENTRIFUGATO

PALI e SOSTEGNI in CEMENTO ARMATO
 CENTRIFUGATO per linee Elettriche e Telefoniche.
PALI e MENSOLE ornamentali per illumin. stradale.
 Prodotti in Cemento armato vibrato e compresso.

TORINO - LINGOTTO • TELEFONO 694 - 600

C.L.I.E.T. - LEGNAMI

Vagoni diretti dalla ns. sede Austriaca

NUOVA SEDE:
 AUTOSTRADA KILOMETRO 1
MAGAZZ.: CORSO REGIO PARCO 36 - TORINO
UFFICIO: CORSO REGIO PARCO 34 - TORINO
TELEFONO MULTIPLO 276.234

SCHEDARIO TECNICO

MATERIALI SPECIALI - ACCIAI E LAMIERE PER EDILIZIA

Soc. It. **DURANOVA** S.A.S.

VIA STRADELLA 236-238 - TORINO - TELEF. 290.927

DURANOVA

INTONACI COLORATI INALTERABILI PER ESTERNI ED INTERNI

MONOXIL

PAVIMENTI MAGNESIACI DI LUSO E AD USO INDUSTRIALE

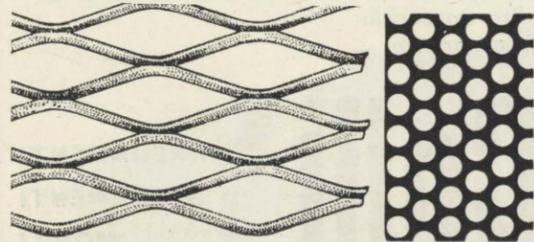
UMBERTO RENZI Soc. r. l.

IMPIANTI
IDRAULICI SANITARI
E RISCALDAMENTO
DI USO PUBBLICO

CHIOSCHI ORINatoi -
LATRINE IN PIETRA AR-
TIFICIALE - BACINI CHIA-
RIFICATORI E DEPURATI
IN CEMENTO AR-
MATO E VIBRATO

VIA LULLI, 27 - TORINO - TELEFONO 296.639

DURBIANO GIUSEPPE
LAMIERE STIRATE E PERFORATE



TORINO - CORSO CIRIÈ 4 - TELEFONO 22.615 - 20.113

A.S.S.A.
ACCIAIERIE DI SUSÀ

DIREZIONE: *Getti in acciaio al carbonio, al manganese e inossidabile di qualsiasi tipo e peso - Getti per macchine agricole, assortimenti per carri e carrozze ferroviari, presse idrauliche di qualsiasi tipo e genere, parti di scafo e macchina per Marina Mercantile. - Catene in acciaio fuso per ormeggi di navi ottenute con procedimento brevettato.*

STABILIMENTO: *Ancore tipo «ASSA» e Ammiragliato fino a Kg. 10 mila caduna. - Eliche, lingotti, blumi, billette in acciaio comune e di resistenza.*

S U S A
Telef. 20-13

TONELLI & C.
MATERIALI DA COSTRUZIONE

Eternit - Tirotext - Legname isolante termico acustico
Populit - Masonite - Faesite - Piastrelle graniglia e smaltate - Palchetti - Lavandini marmo - Cemento plastico - Idrofugo impermeab. controgelo - Impedil

CEMENTO - CALCE - GESSO

Concessionari per Torino:

"VINILTUBI" tubi in plastica per fognature pluviali ecc.

Ufficio e Magazzino vendita: **TORINO**
Via Brugnone ang. Via Argentero, 14 - Telefono 61.058

Silo TORINO
Lungodora Savona 48 - Tel. 23.414-21-973-26.424

Colori in polvere
per tutte
le applicazioni

- ★ Ossidi di ferro sintetici precipitati
- ★ Gialli e Verdi cromo e zinco
- ★ Tetrossicromato di zinco
- ★ Bleu di Prussia
- ★ Molibdati di piombo
- ★ Pigmenti organici

COLORI PER CEMENTO

MATERIALI PER FONDERIE

FIRST S.R.L.

MATERIALI DI CONSUMO
E IMPIANTI PER FONDERIE

"STEINEX" ORIGINALE

TORINO - Via Savonarola 5 - Tel. 683.658

PEYROT & ROSSIGNOLI S. A.

MATERIALI E MACCHINARI PER FONDERIE

Via Saluzzo, 93 - TORINO - Tel. 61.862 - 61.567

SCHEDARIO TECNICO

PERSIANE - AVVOLGIBILI - TENDE ALLA VENEZIANA

berni 100% *Luxaflex*
TENDE ALLA VENEZIANA



Mostrini in plastica lavabili - Lamelle flessibili di alluminio - Garanzia di ogni lamella
FIRENZE (534) - VIA SCANDICCI, 84 - TELEF. 27.489

Rappresentante **SARIEN** - Torino C. Re Umberto 42 - Tel. 527.131/2



PERSIANE
AVVOLGIBILI

TENDE SOLARI

TENDE ALLA
VENEZIANA

S. p. A.
TORINO
VIA GIOTTO N. 25
Telefoni 69.07.72 - 69.47.27
Filiale di **MILANO**
VIA M. GIOIA N. 129 E
Telef. 68.08.06



TENDE METALLICHE ALLA VENEZIANA

TORINO - VIA PERRONE, 16 - TELEFONO 528.500 - 553.329

EDIT

PERSIANE AVVOLGIBILI IN MATERIA PLASTICA

UFFICI E STABILIMENTO:

Via del Fortino 34 - TORINO - Tel. 22.119 - 284.114

tende di alluminio "Malugani"
tende alla
Veneziana "Marco Polo"
OMM Tende di alluminio con lamelle
Verticali scorrevoli

FINESTRE e PORTE
di ALLUMINIO e di FERRO

MALUGANI

Adatte per locali ad uso: Abitazioni - Ristoranti - Uffici -
Ospedali - Negozi - Laboratori - Alberghi - Scuole

OFFICINE MALUGANI - MILANO (Casa fondata nel 1892)
Viale Lunigiana 10 - Tel. 683.451 (4 linee) - Teleg.: Maluganferro-Milano

GAJETTI & C.

MATERIE PLASTICHE S.p.A.

PERSIANE AVVOLGIBILI
IN PLASTICA

con ganci speciali brevettati

- 1 Indeformabili, quindi, di chiusura perfetta
- 2 Meno pesanti di quelle in legno; quindi più facilmente sollevabili
- 3 Non si scheggiano non marciscono; quindi di economica manutenzione
- 4 Lavandole con acqua e sapone riacquistano la primitiva freschezza del colore; quindi economiche
- 5 Interamente in plastica (anche i ganci, speciali, brevettati); quindi inattaccabili dal sale marino.

VIA S. FRANCESCO D'ASSISI 31
TORINO - TELEFONO 41.957

PERSIANE - TENDE ALLA VENEZIANA

F. PESTALOZZA & C.

PERSIANE AVVOLGIBILI E TENDE

TORINO

Uffici: Corso Re Umberto, 68 - Telefono 40.849
Stabilim.: Via Buenos Ayres, 1-7 - Telefono 390.665



S. p. A.
MANIFATTURE GRIESSER

COMO - CAMERLATA

PERSIANE AVVOLGIBILI * TENDE "ITALIA" E
TENDONI * PORTE "PRINCIPE" * FINESTRE
"CARDA" * TENDE VENEZIANE "SOLOMA-
TIC" avvolgibili ed a pacchetto

Rappresentante per TORINO e Provincia
Rag. A. AMEDEI - Via M. Cristina 23 - Tel. 680.871

CAVE - MARMI

CATELLA

MARMI - PIETRE DECORATIVE

CAVE PROPRIE
Greggi - Segati - Lavorati

UFFICIO TECNICO - SEGHERIE - STABILIMENTI
TORINO
VIA MONTEVECCHIO 27 - TEL. 45.720 - 527.720



DAINO
Prodotti
Brevettati

APPLICAZIONI - GOMMA

"Valentini Gomma"

s. r. l.

Prodotti "DAINO"

Tappeti per Auto e per Uso Domestico
Pavimenti e Rivestimenti

Esclusivista generale:
MIRCA IRGOM e IREGOM
VIA CERVINO, 60 - Tel. 23.403 - 280.329

Sede Torino: Piazza Statuto, 5 - Telefono 521.695
Stabilim.: S. Franc. al Campo (Torino) - Tel. 9.22.53

RESINE SINTETICHE

A. R. S.

AZIENDA RESINE SINTETICHE
TORINO - Via Monfalcone 98 - Telefono 390.741

INDUSTRIA
EDILIZIA
AGRICOLTURA

TUBI-PROFILATI
RIGIDI E FLESSIBILI
PLASTOPOL
CLORURO DI POLIVINILE

COPERTURE IMPERMEABILI

Coperture impermeabili di durata
e a larghi margini di sicurezza

Ditta

PALMO & GIACOSA

Coperture tipo Americano brevettata "ALBI-
TEX" alluminio - bitume amianto - tessuto di
vetro

Coperture in RUBEROID originale con cementi
plastici a freddo ed a caldo. Asfalti naturali di miniera
PAVIMENTAZIONI STRADALI

Via Saluzzo 40 - TORINO - Tel. 62.768 - 682.158 - 694.060

Ditta **CIRIO FRANCESCO**

LATERIZI . MARMI . PIETRE
FERROCEMENTO - GRANULATI

Tutti i tipi di laterizi . Tutti i lavori
di marmi e pietre per costruzioni

Sede in TORINO . PIAZZA STATUTO, 3 . Telefono 50.832
Stabilim. in GRUGLIASCO . Regione Bellezia . Telefono 393.444
Abilitazione: TORINO . Via Pietrino Belli 72 . Telefono 774.694

ACCIAIERIA E TUBIFICIO DI BRESCIA

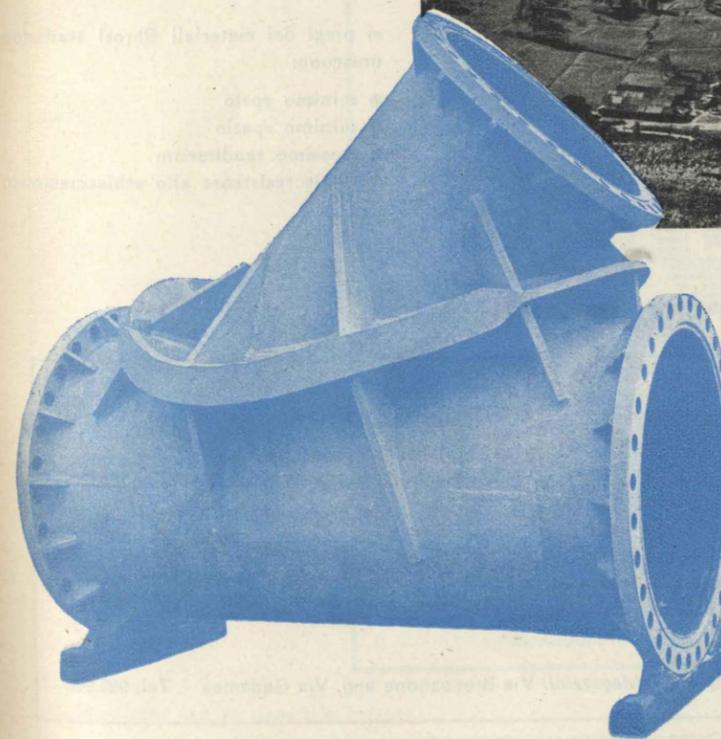
Sede:

BRESCIA

VIA ZARA, 12

Telefono 36.700

Telegr.: **ATUB-BRESCIA**



**CONDOTTE FORZATE
APPARECCHIATURE
METALLICHE PER
OPERE IDRAULICHE**

ATB

FIBRE E MATERIALI ISOLANTI



f.l.e. in rotoli e in pannelli di

fibra lunga

costruttori

per l'isolamento acustico dei pavimenti
impiegate solo prodotti a

fibra lunga

Vetroflex

FIBRA DI VETRO ISOLANTE

Marchio registrato

interpellateci una vasta organizzazione tecnica è al vostro servizio

Vetreteria Italiana Balzaretto Modigliani s.p.a. Milano, via Borgogna 1 tel. 706852/3/4

geom. MASSIMO COSTA presso studio ing. GOFFI FELICE

corso Vittorio Emanuele 115, Torino, Telefono 45 163

ai pregi dei materiali fibrosi tradizionali
uniscono:

- minimo costo
- minimo spazio
- massimo rendimento
- totale resistenza allo schiacciamento

TRASPORTI PESANTI

F.lli PEYRANI s.p.a.
TRASPORTI ECCEZIONALI

autocarri, autogrù e rimorchi
speciali per trasporti di
pesi e ingombri eccezionali



Sede: TORINO

Corso Brunelleschi, 25

Telefoni 790.165 - 790.021

Filiale: MILANO - Uffici: Via Washington 80 - Tel. 482.744 - Magazzini: Via Bressanone ang. Via Gadames - Tel. 995.900

TEFLON*



CIGALA E BERTINETTI - TORINO

INDUSTRIA STAMPAGGIO MATERIE PLASTICHE

REPARTO ISOLANTI SPECIALI

TORINO - Via Porro, 7 - Tel. 80.481 - 80.959 - ITALIA

TELEGRAMMI: CIGABERTI TORINO

(* DU PONT REG. TR. MARK U. S. PAT. OFF.)

BRUCIATORI
DI NAFTA
scolari

SOCIETÀ ING. SCOLARI & FRATELLI - TORINO - VIA RICARDONE 52 - TELEF. 390.308 - 393.727

F. LLI ROSSI FU ADOLFO

Fabbrica Italiana Vernici

VIA BOLOGNA 41 . TORINO . TEL. 21.211 - 26.442

SMALTI EXILITE sintetici a freddo ed a fuoco

SMALTI NITROXIL alla nitrocellulosa

SMALTO BITUMINOSO C.U. 1411 per condotte forzate

SMALTO CONCENTRATO ANTIVIBRANTE 3953 per condotte forzate

PRODOTTI PER OGNI APPLICAZIONE INDUSTRIALE

ASFALTI - COPERTURE IMPERMEABILI - LAVORI STRADALI

CASA FONDATA NEL 1848

Ditta Giacoma Oreste
di Tullio Bajetto

uffici: Via G. Bizzozzero n. 25

magazzini: Via Broni n. 11

telefono 690.820

TORINO

La copertura impermeabile di pietra!!
ISOLTERMASFALT
Brevetti "DUREVOL" n. 24983

atermica
anacustica
dielettrica
imputrescibile

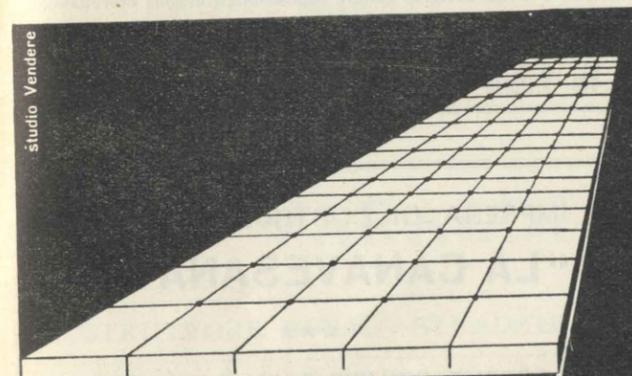
ASSOLUTA IMPERMEABILITÀ

Elevata resistenza meccanica
Altissimo grado di plasticità

È IL MIGLIORE ISOLANTE TERMOACUSTICO
PER TETTI PIANI E TERRAZZI

da -30°C a +60°C : Q = 2,6 kcal/(m² ora °C)

1848 antica esperienza - nuova tecnica 1955



studio Vendere

TERRAZZE?

la **NUOVA TERRAZZA 900 ALAJMO**
elastica - decorativa
Brevettata in tutti i principali paesi -
perni e fughe in
ELASTENE incorporate.

Medaglia d'oro al
SALON DES INVENTEURS DI BRUXELLES

È LA PIÙ BELLA TERRAZZA DEL MONDO!!

- Tutte le impermeabilizzazioni
- Superidrofugo Concreto marmificante
- Quarzificatore - Vetrinatore
- Cementi Plastici

S. p. A. Ing. ALAJMO & C.
MILANO - P. Duomo 19 - Tel. 874.319

ALAJMO

Ditta BECCHIS OSIRIDE

Fondata nel 1893

PRODOTTI IMPERMEABILIZZANTI
ISOLAZIONI ACUSTICHE PER EDILIZIA

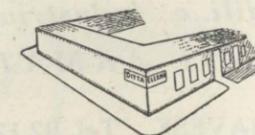
CORBITEX - FELTESSUTO - SUBERCREP -
IMPERFON - CARTONFELTRI BITUMATI

CARTE IMPERMEABILI PER IMBALLO

TORINO - Via Borgaro 98/96 - Tel. 290.737 - 296.724

ANTONIO ELLENA
TORINO

Via G. Fattori 96, angolo Via Marsigli
(Pozzo Strada) - Telefono 790.643



Coperture per terrazzi
Pavimenti in asfalto
Tettipiani
Bitumi
Cartoni catramati
Emulsioni bituminose
Carbolineo

SCHEDARIO TECNICO

IMPRESE EDILI - STRADALI



COPERTURA A SHED MULTIPLO con l'impiego di elementi di superficie sghemba, conformati secondo falde di paraboloide iperbolico, sfalsati. I lucernari triangolari del tetto sono disposti verticalmente ed orientati secondo quattro esposizioni. (Sistema brevettato).

STRUTTURE SPECIALI PER COSTRUZIONI INDUSTRIALI

Impresa Costruzione Ing. FELICE BERTONE Via Vittorio Amedeo 11 - Torino - Telefono 524.434

EDILCREA

Cementi Costruzioni Civili ed Industriali
Armati Opere Stradali

Corso Re Umberto N. 15 - Telefono 520.920
TORINO

IMPRESA DI COSTRUZIONI
"LA CANAVESANA" s.p.a.

COSTRUZ. EDILIZIE CIVILI E INDUSTRIALI

TORINO - VIA STAMPATORI, 21 - TELEF. 53.481

IMPRESA
Geom. MARCHINO & FRANCONI

Costruzioni Edili e Industriali
CEMENTI ARMATI

S. MAURIZIO CANAVESE - Tel. 92.126
TORINO - C. Francia 356 - Tel. 790.487

Ing. EUGENIO MICCONE & F.lli

*Impresa per costruzioni di
ingegneria civile*

TORINO - Via Camandona, 1 - Telef. 73.409

SCHEDARIO TECNICO

IMPRESE EDILI E STRADALI

Conte Geom. **A. FRANCESCO MORRA**

SEDE:
SCARNAFIGI (Cuneo) - Tel. 4

UFFICI:
TORINO - Via Maria Vittoria 35
Telefono 885.814
GENOVA - Viale Sacramentine 3
Telefono 360.555

Costruzioni

Edili

IMPRESA

Ing. Luigi Raineri

COSTRUZIONI
CIVILI ED
INDUSTRIALI

TORINO - VIA GIOBERTI 72 - TELEFONO 41.314

Tauredile Soc. R. L.

IMPRESA:
COSTRUZIONI EDILI - STRADALI
CEMENTI ARMATI

TORINO - Via Legnano, 27 - Tel. 527.179

Vaglio Costantino

impresa costruzioni edili e cemento armato

★

TORINO

VIA MASSENA, 42 - TEL. 47.492

ALDO VARALDI

COSTRUTTORE EDILE - STRADALE

AOSTA TORINO
VIA XAVIER DE MAISTRE 8 **VIA MASSENA 49**
TELEF. 46.561

AMBIENTAZIONI E DECORAZIONI

Ceroni & C.

Antichità
Arredamenti - Decorazioni

Torino - Via Cernaia 42 - Telef. 520.978

ZINCOGRAFIA

LAVORAZIONE ARTISTICA CLICHÉS IN NERO E A COLORI

Disegni industriali
Fotografie - Ritocchi

Vedute prospettiche - Clichés
per cataloghi, riviste, ecc.

UNIONE ZINCOGRAFICA
TORINESE

di C. TOMATIS & G. NEGRO

TORINO - C. BRESCIA 39 - TEL. 287.288



elio
mozzato

TORINO
VIA ARSENALE, 35
TELEF. 521.833

Sedie Poltrone

RIMA

COTONI

WILD & C.

FILATURA

TESSITURA

CANDEGGIO

*

TORINO

CORSO GALILEO FERRARIS, 60 - TELEFONO 580.056

NOLEGGI AUTO

Autaturismo **GIACHINO**

Noleggio Autopullman di lusso

TORINO - Via Giordano Bruno 83 - Tel. 694.938

Servizi turistici

G. TABACCO

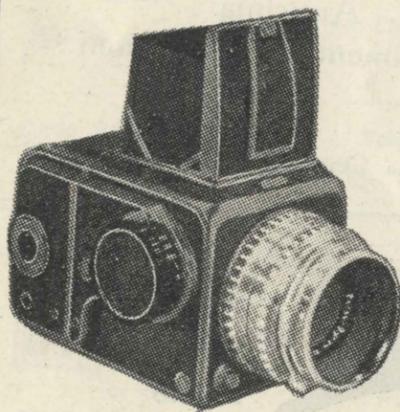
NOLEGGI AUTO E PULLMANN

CORSO MONCALIERI 15 - TORINO

Telefoni n. 687.368 e 650.051

APPARECCHI FOTOGRAFICI

HASSELBLAD



OBIETTIVO
CARL ZEISS TESSAR

:2.8-f80m/m

RAPPRESENTANTE ESCLUSIVO PER L'ITALIA
PECCHIOLI
TORINO - via Gioberti 26 - Telej. 40.535 - 40.467
ROMA - Lungo Tevere dei Mellini 12 - Tel. 354.197

CARTA DISEGNO - COMPASSI

CARTE E TELE PER DISEGNO

- Carte trasparenti in fogli, in blocchi, in rotoli, in diverse grammature
- Carte bianche e colorate « Canson » e « Fabriano » - in rotoli e fogli
- Carte millimetriche e reticolate a 2-3-4-5-10 mm.
- Codatrice trasparente e millimetrata
- Carte reticolate a pollici
- Tela per ingegneri trasparente e millimetrata - in fogli e rotoli

MAGAZZINI VAGNINO - TORINO VIA LAGRANGE 3

ARMANDO CANTAMESSA



cancelleria
articoli per disegno

TORINO - VIA M. CRISTINA 28 - TEL. 61.286

MODERNO MATERIALE PER EDILIZIA

SOLAIO PRECOMPRESSO STALP

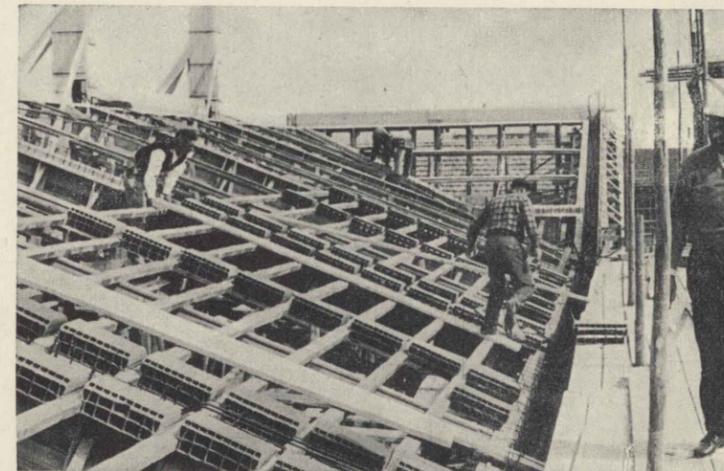
PRODUZIONE: **CEMPRE S.p.A.** - Via Bertola 23 - Telefono 40.768 - Torino

ESISTE UNA PLETORA DI SOLAI PREFABBRICATI, TUTTE VERSIONI PIÙ O MENO RIUSCITE DI UN UNICO PROTOTIPO CHE SI DIFFERENZIANO ESSENZIALMENTE PER LA FANTASIA DELLE DENOMINAZIONI. QUANDO PERÒ SI DESIDERA UN SOLAIO SICURO, ONESTAMENTE E SCRUPOLOSAMENTE CALCOLATO E CONFEZIONATO LA SCELTA È SEMPLICE:

SOLAIO STALP

IL TIPO CHE REALIZZA IL MASSIMO DI ECONOMICITÀ COMPATIBILE CON SERIETÀ DI CONCEZIONE TECNICA E DI FABBRICAZIONE.

Agenti nelle principali località



FALDE DI SHED DURANTE LA POSA

VENDITA: **STALP COMMISSIONARIA TORINESE** - C. Re Umberto 42 - Tel. 527.131-2 - Torino

CARRELLO PER TRASPORTI PESANTI

METALLURGICHE

COLOMBO AMBROGIO
TORINO

metallurgiche TORINO colombo
«NUOVO GIRINO 10»
PER TRASPORTO
MEZZI CINGOLATI
CON GRUPPORUOTE
POSTERIORE CELER-
MENTE ASPORTABILE

Omolog. per portata 140 q.li lordi
Portata potenziale 190 q.li lordi

STRADA LANZO, 160
TELEF. 290.517 - 293.165



NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA

XL NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA