

BISACCO

di Dott. Ing. U. BISACCO & F.

Rivestimenti in legno per pareti e soffitti di ingressi e vani scala
Serramenti e pareti divisorie

ARREDAMENTI

Telefono 346.125 - 10135 TORINO - Via Loano 2

IMPRESA COSTRUZIONI EDILI

C.E.B.A.D.

di Ing. BARBA e F.lli DE CORTE

Costruzioni civili e cementi armati

TORINO - Via Principi d'Acaia, 22 - Tel. 774.131

COPERTURE IMPERMEABILI

GAY

di Dott. Ing. V. BLASI

Impermeabilizzazioni e manti per tetti piani o curvi, cornicioni, terrazzi, sottotetti, fondazioni.

VIA MAROCHETTI 6. TORINO. TEL. 690.568

DOTT. ING. VENANZIO LAUDI

IMPIANTI RAZIONALI TERMICI

E IDRICO SANITARI

TORINO - VIA MADAMA CRISTINA 62
TELEF. DIREZIONE: 683.226 • TELEF. UFFICI: 682.210

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. 652.768 - 682.158 - 700.304

ING.

PORZIO & ISIDORI

Riscaldamenti moderni nei sistemi più perfezionati

IMPIANTI A NAFTA

Cucine economiche per famiglia, alberghi e comunità, impianti razionali sanitari e idraulici, lavanderie

Via Bellini, 6
Tel. 530.537
10121 TORINO

DITTA

Zaglio Mario

TORINO - Via Monte di Pietà N° 1
Tel. 546.029

Tutti i tipi di CEMENTO comuni e speciali, Nazionali ed Esteri
CALCE di ogni qualità
GESSI da forma e da Costruzioni

CATELLA

MARMI • GRANITI • PIETRE

Cave proprie - Stabilimenti - Segherie

Torino - Via Montevocchio 27-29 - Tel. 545.720-537.720

ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867

FIAT
TORINO

SOCIETÀ
PER AZIONI
UNIONE
CEMENTI

MARCHINO
& C.

CASALE
MONFERRATO

NUOVA SERIE . ANNO XXIII . N. 6 . GIUGNO 1969

SOMMARIO

ATTI DELLA SOCIETÀ

Premi Torino 1968 pag. 129

RASSEGNA TECNICA

C. CODEGONE - Sulla teoria della rigenerazione termica . . . » 133
M. QUAGLIA - Le massime precipitazioni orarie e giornaliere nella Valle d'Aosta . . . » 135
L. BUTERA - Sulla riduzione dell'attrito turbolento per mezzo di polimeri ad alto peso molecolare . . . » 153

COMITATO DI REDAZIONE

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

COMITATO D'AMMINISTRAZIONE

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

REDAZIONE: Torino - Corso Duca degli Abruzzi, 24 - telefono 51.11.29.
SEGRETERIA: Torino - Corso Siracusa, 37 - telefono 36.90.36/37/38.
AMMINISTRAZIONE: Torino - Via Giolitti, 1 - telefono 53.74.12.

Pubblicazione mensile inviata gratuitamente ai Soci della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino. — Per i non Soci: abbonamento annuo L. 6.000. - Estero L. 8.000.
Prezzo del presente fascicolo L. 600. - Arretrato L. 1.000.

La Rivista si trova in vendita: a Torino presso la Sede Sociale, via Giolitti, 1.
SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE — GRUPPO III

g. SARTORIO e f.

DI ING. LORENZO SARTORIO & C. S.A.S.

TORINO

C. Racconigi, 26 - Tel. 740.149 - 753.649

IMPIANTI TERMICI

RADIAZIONE

CONDIZIONAMENTO

VENTILAZIONE

IDRAULICI SANITARI

Licenziatari per impianti a radiazione diffusa - Minima inerzia

STRAMAX

Alpina S.p.A.

CAPITALE INTERAMENTE VERSATO L. 600.000.000

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

PROGETTI CONSULENZE

Impianti idroelettrici

Impianti termoelettrici

Impianti idraulici, marittimi, acquedotti

Impianti di trasformazione, trasporto e distribuzione di energia elettrica

Impianti di telecomunicazioni

Costruzioni civili e industriali

Costruzioni stradali e autostradali

Impianti ferroviari in superficie e sotterranei

Ricerche operative

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

ATTI DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

PREMI TORINO 1968

In forma solenne sono stati conferiti i Premi Torino 1968, quarta manifestazione della biennale segnalazione d'onorificanza culturale.

Com'è noto il Regolamento dei Premi Torino della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino prevede che i premi potranno essere assegnati a persone, società od enti che abbiano onorato con la loro attività il Piemonte e si siano distinti in una delle tre Classi seguenti:

A - opere del pensiero, come contributi di studio di ricerca e progetto.

B - Iniziative e realizzazioni nei vari campi dell'Ingegneria e dell'Architettura.

C - opere d'interesse ed utilità pubblica.

Si ricorda che in tali categorie nei precedenti bienni furono fregiati della distinzione le seguenti personalità ed enti

1962

Classe A Giuseppe Gabrielli

Classe B Pininfarina

Classe C FIAT

1964

Classe A Carlo Ferrari

Classe B Vittorio Viale

Classe C Giuseppe Grosso

1966

Classe A Gustavo Colonnetti

Classe B Vittorio Bonadè Bottino

Classe C Vittorio Zignoli

Premio del Centenario Sociale 1966
Noemi Gabrielli

Nell'attuale tornata la distinzione è toccata a due studiosi ed a un'impresa editoriale

1968

Classe A Placido Cicala

Classe B Augusto Cavallari Murat

Classe C UTET.

La Commissione giudicatrice per quest'ultima tornata era costituita come segue: prof. Antonio Capetti, Magnifico Rettore del Politecnico di Torino (Presidente), prof. Mario Allara, Magnifico Rettore dell'Università di Torino, Sen. ing. Giacomo Bosso, Presidente dell'Unione Industriale, prof. Carlo Ferrari, Presidente dell'Accademia delle Scienze, prof. Giorgio Dardanelli, Presidente dell'Ordine degli Ingegneri, prof. Gino Levi Montalcini, Presidente dell'Ordine degli Architetti,

Cavaliere del Lavoro dott. Giovanni Maria Vitelli, Presidente della Camera Commercio Industria e Agricoltura.

Alla cerimonia ufficiale e solenne di premiazione, il giorno 22 giugno 1969, nel salone dei Congressi dell'Istituto Bancario di San Paolo in piazza San Carlo, ha partecipato in rappresentanza del Governo l'on. Scalfaro e le massime Autorità regionali, provinciali e cittadine e molti uomini di cultura e di scienza. Dall'estero, dalla capitale e da altre città italiane erano pervenute lettere e telegrammi d'adesione e di felicitazione. I premiati sono stati molto ed affettuosamente festeggiati e per la UTET era presente il presidente Carlo Verde circondato da uno stuolo di colleghi editori tra cui Valentino Bompiani.

Le relative motivazioni sono state subito notificate dal Presidente della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, architetto Rosani, con l'intervento che segue:

« Il conferimento dei "Premi Torino", biennali, istituiti per la prima volta nel 1962 si affaccia con la manifestazione odierna alla sua quarta edizione consolidando una tradizione di decoro e di prestigio che gli deriva anche ove si consideri che la nostra Società degli Ingegneri ed Architetti, che ne è promotrice, venne costituita 103 anni fa con decreto reale da Vittorio Emanuele II, precisamente il 18 luglio 1866. Tuttavia i Premi Torino hanno ormai acquisito una risonanza notevole soprattutto per il valore scientifico e per la capacità creatrice delle persone ed enti a cui vennero sino ad oggi assegnati, e che rappresentano una degna continuazione di nomi illustri di molti nostri soci del passato, fra i quali mi onoro ricordare: Pietro Paleocapa fondatore e primo Presidente, Carlo Ceppi, Quintino Sella, Germano Sommeiller, Galileo Ferraris e numerosi altri.

Con l'assegnazione dei "Premi Torino 1968, si desiderano additare a Torino ed al Paese le opere e le realizzazioni più meritevoli nei vari campi dell'ingegneria e dell'architettura con particolare riferimento alla regione piemontese. In questo spirito, il Consiglio Direttivo della Società su indicazione precisa della Commissione Giudicatrice, ha proclamato vincitori dei premi Torino 1968, le due persone e l'ente che elenco e con le motivazioni che la commissione stessa ha così sintetizzato.

Classe A: premio a Placido Cicala con la motivazione: « Mentalità matematica degna delle migliori tradizioni dell'Ateneo Torinese, ha dedicato integralmente la sua profonda attività di studioso e di ricercatore alla soluzione dei complessi problemi di Aerodinamica e di Scienza delle Costruzioni nel campo della plasticità e sul comportamento delle strutture a parete sottile, pervenendo a risultati che gli conferiscono chiara fama in campo internazionale.

In particolare si deve al Cicala la prima soluzione completa delle forze sull'ala oscillante ad allungamento finito che destò particolare interesse negli ambienti scientifici specializzati come « funzione del Cicala ».

Per la soluzione dei problemi di ottimizzazione nella meccanica del volo il Cicala estese per primo i metodi del calcolo tradizionale delle variazioni alle soluzioni discontinue. Nelle strutture a pareti sottili ha dato soluzioni nuove nei casi di instabilità elastica in campo non lineare.

Docente di Scienze delle Costruzioni e di Costruzioni aeronautiche nel Politecnico di Torino, ha svolto con successo il non facile compito di ambasciatore della cultura italiana all'estero, assumendosi l'onere di corsi di insegnamento presso varie università americane, dove è deferentemente apprezzato.

Classe B: premio ad Augusto Cavallari Murat. Motivazione: « Presente sulla scena culturale italiana con importanti ricerche e studi sulla problematica della critica d'arte, sull'estetica architettonica, sull'arte figurativa piemontese, sui problemi tecnologici edilizi moderni, che ne delineano una completa personalità umanistica, ha onorato il Piemonte e Torino con opere e saggi fondamentali.

Il pensiero del Cavallari Murat si riflette e fornisce ossatura ad una recente opera di metodologia sulla ricerca urbanistica sugli antichi tessuti edilizi: « Forma urbana ed architettura nella Torino barocca » realizzazione positiva dell'Istituto universitario da lui diretto e in cui è riconosciuto generoso maestro di ingegneria.

Notevole è pure stata l'attività organizzativa svolta dal Cavallari Murat nel campo culturale, sia nella direzione di autorevoli riviste tecniche che nell'allestimento di riuscite mostre e manifestazioni speciali ».

Classe C: premio all'Unione Tipografica Editrice Torinese. Motivazione: « Casa editrice con elevate tradizioni culturali, mantenendo fedeltà al pro-



Il tavolo della Presidenza durante la premiazione il 22 giugno 1969 nel salone dei congressi dell'Istituto Bancario San Paolo in Piazza San Carlo. Da sinistra a destra: l'ing. Mario Catella, presidente del comitato esecutivo per i Premi Torino, S. E. Bernardo Merlo, Primo Presidente della Corte d'Appello S. E. Giuseppe Caso, Prefetto di Torino, il prof. Antonio Capetti, Magnifico Rettore del Politecnico e Presidente della Giuria dei Premi Torino, l'on. Scalfaro in rappresentanza del Governo, l'arch. Rosani, Presidente della Società Ingegneri e Architetti in Torino, l'ing. Luigi Massari in rappresentanza del Sindaco di Torino, L'ing. Luigi Richieri in rappresentanza dell'ente ospitante.

prio stile e ad una tipica impostazione produttiva, con una continua ed intensa ricerca di adeguamento alle esigenze dei settori scientifici più avanzati, ha fornito un deciso e valido contributo all'evoluzione tecnologica italiana, pubblicando opere di alto livello per contenuto ed accuratezza editoriale, attenti all'ingegneria, all'architettura ed urbanistica ed alle scienze ad esse propedeutiche od ausiliarie.

Con l'edizione di grandi opere tecniche a carattere enciclopediche sviluppando l'intuizione del suo fondatore Giuseppe Pomba, l'UTET ha esplicato una proficua azione sociale, inserendosi quale attiva componente nel processo di divulgazione scientifica in atto ».

Il premio Torino è costituito da un simbolico toretto in argento, fedele riproduzione di un pregevole reperto archeologico di epoca romana dagli scavi della città di Industria, presso Chiavasso.

Prima di procedere alla consegna dei premi desidero ringraziare vivamente le autorità presenti e pregare il Prof. Capetti, che ha presieduto la commissione giudicatrice, a dirci una breve allocuzione. Un particolare omaggio di gratitudine a tutta la Commissione giudicatrice presieduta dal professor Capetti, che ha assolto il delicato incarico con elevato senso di responsabilità, ed

al comitato d'onore che ha assunto il patrocinio della IV edizione del premio Torino presieduto dall'amico ing. Mario Catella. Grazie ».

Invitato dal Presidente della Società ha quindi preso la parola il prof. Capetti, Magnifico Rettore del Politecnico e Presidente della Giuria dei Premi Torino.

« È per me grande onore e piacere insieme di poter portare una parola in questa sede, non solo come Presidente della Commissione che ha assegnato i premi che ora verranno distribuiti, ma anche, se mi permette il Presidente, come Rettore del Politecnico, nell'ambito del quale sono stati dati premi già fin dalla prima tornata ed anche questa volta.

Nel ritorno di questo premio, i colleghi del Politecnico che vengono premiati, come hanno sentito gli uditori, sono il prof. Cicala ed il prof. Cavallari Murat; due colleghi che, senza far torto agli altri, si dedicano particolarmente al Politecnico e lo onorano non solo con le opere di cultura ma anche con l'attività assidua di organizzazione degli istituti e con la presenza fra gli studenti per perfezionarli, per trasferire a loro questo patrimonio di conoscenze e di sagacia che hanno accumulato nella loro carriera.

L'uditorio ha sentito parlare di pre-

mi di Classe A, Classe B, Classe C; questa enumerazione non ha nessun riferimento ad una graduatoria; sono tre categorie diverse nell'interno delle quali vengono scelti i premiandi; quindi non è che il premio di classe B sia inferiore a quello di Classe A; sono tutti premi ugualmente degni.

Come giustamente ha ricordato il Presidente della Società Ingegneri ed Architetti, la rinomanza di un premio non dipende soltanto dall'Ente che lo distribuisce, in questo caso per altro degnissimo, in quanto è la Società degli Ingegneri e degli Architetti, ma molto dalle persone a cui viene conferito. Anche se l'importo dei premi è modesto, quale un oggetto, se tradizionalmente il premio viene dato a persone che veramente sono stati eccellenti nel loro ramo, questo costituisce un motivo ambito per chi successivamente lo potrà ricevere. Sarebbe lungo ricordare — forse non l'ha voluto fare il Presidente per non tediarvi — chi sono stati gli altri premiati delle precedenti edizioni del premio Torino...; ma vedo che lo stesso Presidente mi porge il foglio invitandomi a farlo e perciò leggo e commento, poichè è un piacere di ricordare le personalità insignite precedentemente che in gran parte vedo qui presenti.

Nella prima tornata del 1962: Giuseppe Gabrielli, lo stilista dell'automobile

Pininfarina purtroppo non più fra noi, la società Fiat. Nella successiva edizione del '64: Carlo Ferrari, antesignano della gasdinamica italiana e largamente noto all'estero, Vittorio Viale, noto per le attività d'arte, Giuseppe Grosso, che era allora Presidente dell'Amministrazione Provinciale e che la Società degli Ingegneri ha voluto premiare per le molte opere a cui l'Amministrazione Provinciale aveva dato mano. Nella penultima edizione, cioè quella del '66, i premiati sono stati Gustavo Colonnetti, non più con noi, Vittorio Bonadé Bottino, recentemente festeggiato anche per la sua nomina a Cavaliere del Lavoro, e Vittorio Zignoli, professore fino a ieri di Tecnica dei Trasporti presente in tutte le iniziative a vantaggio non solo della città, della provincia, della regione della nazione stessa. Il premio del centenario, in quanto il '66 era l'anno del Centenario Sociale, è stato dato a Noemi Gabrielli, per le sue attività artistiche.

Non mi resta che congratularmi a nome della Commissione che ha prescelto i tre premiati del 1968 e cedere la parola all'onorevole Scalfaro ».

L'On. Scalfaro ha pronunciato quindi l'atteso discorso:

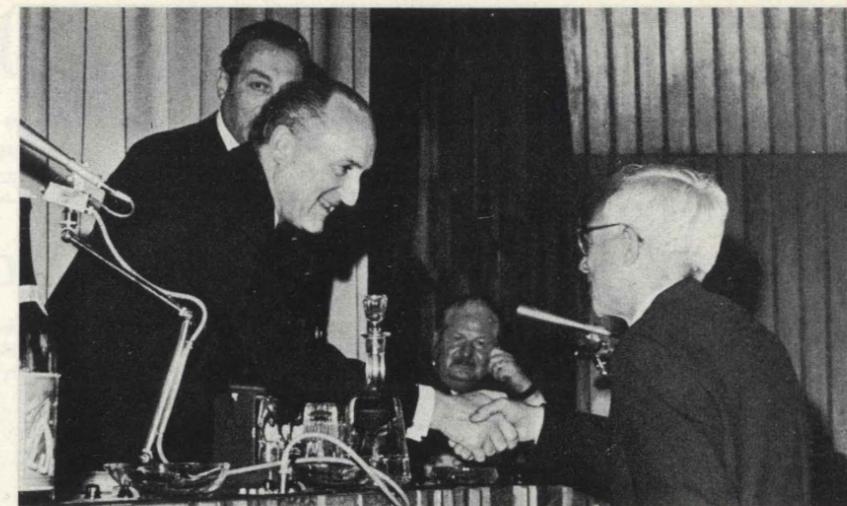
« Io desidero chiedere scusa a tutti loro: Presidente, Autorità e Presenti per il ritardo ferroviario del quale sono incolpevole vittima a causa dell'esistenza di un solo binario in funzione per un certo tratto e dell'attesa su un binario morto. È cosa che capita anche agli uomini politici... E dire che avevo preso il treno per essere più puntuale.

Sono estremamente grato alla Società degli Ingegneri ed Architetti di Torino che mi ha invitato per la seconda volta alla premiazione.

Quali commenti potrei fare, io che non sono un tecnico? Ho letto con cura l'invito, i nomi dei premiati, le motivazioni; poichè ogni cosa può avere un commento che serva a ciascuno ed a darci una ragione di fondo che abbia valore di meditazione.

Il premio per il prof. Placido Cicala è un premio che tocca un uomo di pensiero, il pensiero, il valore sostanziale insostituibile del pensiero che è il primo contenuto della dignità dell'uomo. Certo anche soltanto nel legger la motivazione si coglie il riferimento a profondi studi ed a ricerche di matematica, i quali al profano suggeriscono ricordi personali di scuola, rinvii a quel legame intimo fra la matematica e la filosofia, che, antichissimo e profondo, è oggi contestato e dev'essere riconsiderato.

Stiamo subendo ai giorni nostri una delle crisi più vaste che si siano mai viste e che in ogni settore si ripercuote perchè parte proprio dalla confusione del pensiero, dalla confusione delle idee, e tocca ogni uomo mortificando

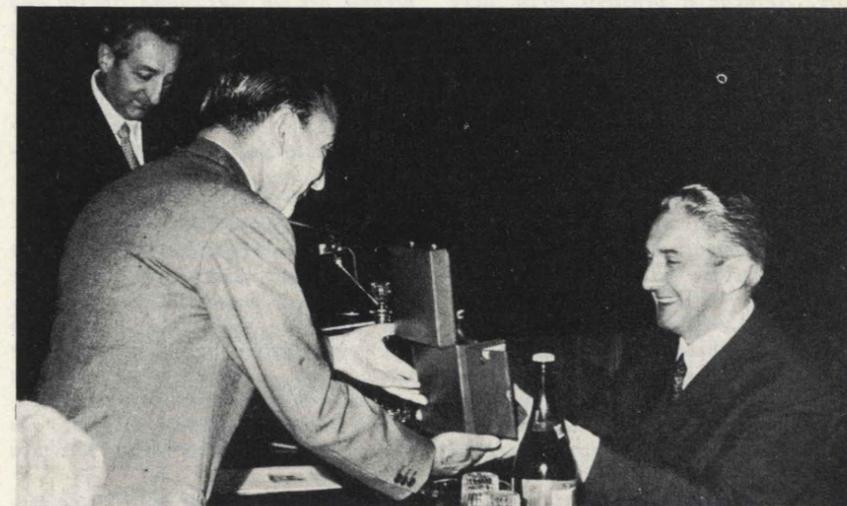


L'on. Scalfaro consegna il trofeo e si congratula con il prof. Placido Cicala vincitore della Classe « Opere del pensiero, come contributi di studio ricerca e progetto ». Motivazione: « Mentalità matematica degna delle migliori tradizioni dell'Ateneo Torinese, ha dedicato integralmente la sua profonda attività di studioso e di ricercatore alla soluzione dei complessi problemi di Aerodinamica e di Scienza delle Costruzioni nel campo della plasticità e sul comportamento di strutture a parete sottile, pervenendo a risultati che gli conferiscono chiara fama in campo internazionale. In particolare si deve al Cicala la prima soluzione completa delle forze sull'ala oscillante ad allungamento finito che destò particolare interesse negli ambienti scientifici specializzati come « funzione del Cicala ». Per la soluzione dei problemi di ottimizzazione nella meccanica del volo il Cicala estese per primo i metodi del calcolo tradizionale delle variazioni alle soluzioni discontinue. Nelle strutture a pareti sottili ha dato soluzioni nuove nei casi di instabilità elastica in campo non lineare. Docente di Scienze delle Costruzioni e di Costruzioni aeronautiche nel Politecnico di Torino, ha svolto con successo il non facile compito di ambasciatore della cultura italiana all'estero, assumendosi l'onere di corsi di insegnamento presso varie università americane, dove è deferentemente apprezzato ».

specialmente gli uomini di scienza. Chi è dedito veramente alla scienza con la implicita umiltà è lontano da chi presume di essere di scienza o si presenta come tale accettato da altri per umana vigliaccheria o per utilitarismo. La superbia non va mai d'accordo con la cultura e col pensiero. Anche il Manzoni ricorda la fastidiosità di quanti la sanno lunga in ogni campo.

Questo premio invece sottolinea la forza, la potenza, il primato, la dignità umana del pensiero.

Passando poi al secondo premio conferito ad Augusto Cavallari Murat occorre dire che è un premio esemplare perchè mette in risalto iniziative e realizzazioni dei vari campi dell'ingegneria e dell'architettura. Qui posso dire un elogio alla coerenza fra il pensiero e la



Il prof. Augusto Cavallari Murat riceve il trofeo dalle mani del Prefetto di Torino dr. Giuseppe Caso che si congratula per la vittoria nella Classe « Iniziative e realizzazioni in vari campi dell'Ingegneria e dell'Architettura ». Motivazione: « Presente sulla scena culturale italiana con importanti ricerche e studi sulla problematica della critica d'arte, sull'estetica architettonica, sull'arte figurativa piemontese, sui problemi tecnologici edili moderni, che ne delineano una completa personalità umanistica, ha onorato il Piemonte e Torino con opere e saggi fondamentali. Il pensiero del Cavallari Murat si riflette e fornisce ossatura ad una recente opera di metodologia sulla ricerca urbanistica sugli antichi tessuti edilizi: « Forma urbana ed architettura nella Torino barocca » realizzazione positiva dell'Istituto universitario da lui diretto e in cui è riconosciuto generoso maestro di ingegneria. Notevole è pure stata l'attività organizzativa svolta dal Cavallari Murat nel campo culturale, sia nella direzione di autorevoli riviste tecniche che nell'allestimento di riuscite mostre e manifestazioni speciali ».



Il prof. Carlo Verde Presidente dell'UTET riceve trofeo e congratulazioni dal Primo Presidente della Corte d'Appello dott. Bernardo Merlo. L'UTET ha vinto il premio nella Classe « Opere di interesse ed utilità pubblica ». Motivazione: « Casa editrice con elevate tradizioni culturali, mantenendo fedeltà al proprio stile e ad una tipica impostazione produttiva, con una continua ed intensa ricerca di adeguamento alle esigenze dei settori scientifici più avanzati, ha fornito un deciso e valido contributo all'evoluzione tecnologica italiana, pubblicando opere di alto livello per contenuto ed accuratezza editoriale, attinenti all'ingegneria, all'architettura e urbanistica ed alle scienze ad esse propedeutiche od ausiliarie. Con l'edizione di grandi opere tecniche a carattere enciclopediche sviluppando l'intuizione del suo fondatore Giuseppe Pomba, l'UTET ha esplicato una proficua azione sociale, inserendosi quale attiva componente nel processo di divulgazione scientifica in atto ».

realizzazione. Il punto di partenza è sempre il pensiero. Nella motivazione si cita soprattutto uno studio estremamente pregevole che riguarda l'architettura della Torino barocca e però s'estende la considerazione ad una serie di attività di natura scientifica, di ricerche e di realizzazioni che sono indice di coerenza. È la coerenza tra un pensiero ed un concretarsi del pensiero stesso. È dunque un altro punto sul quale i premi di oggi invitano a meditare. Affinchè il pensiero serva, deve entrare nella realtà, deve incarnarsi nell'azione; e fra il pensiero e l'azione, fra il pensiero e la realizzazione, occorre che vi sia una coerenza, un legame di causa effetto, una linearità, una trasparenza; per cui guardando la realizzazione non vi è bisogno che si dica che nasce da un pensiero. Oggi, ma non vorrei fare soltanto un discorso che tocca soltanto elementi di crisi, anche la coerenza non è proprio nella sua fase più brillante nel mondo; tuttavia non dobbiamo mai sconcertarci guardando solo i lati peggiori della realtà.

Fermiamoci invece a guardare con gratitudine gli uomini che oggi vengono premiati. Per rimanere ottimisti, bastano a volte pochi ma limpidi, chiari e fermi esempi a dar fiducia e speranza.

Esistono realtà vive; esistono uomini che anche nei momenti più delicati non cedono e non rinunciano, che non si abbandonano all'ondata del conformismo, avendo in se la forza di andare contro corrente. La coerenza fra pensiero e azione è realizzazione. Sottolineo questa consolazione. È motivo di soddisfazione che esistano manifestazio-

ni di cultura, tutta maiuscola e non piccolo contrabbando.

Venendo infine alla terza categoria che premia, nelle opere di interesse e di utilità pubblica, la UTET l'Unione Tipografico Editrice Torinese. Anche lodevole è la tradizione della Società degli Ingegneri e degli Architetti di sottolineare realizzazioni pratiche.

Oggi si premia una società che è onore di questa terra piemontese e non soltanto di questa città. Si conferisce il premio per un particolare riflesso alla letteratura tecnica, senza dubbio, ma non possiamo non allargare lo sguardo all'intera vasta, complessa, profonda attività organizzativa svolta in tanti anni dall'UTET. Settore estremamente delicato questo dell'editoria. Settore delicato in un tempo in cui i gusti del pubblico hanno pure da essere tenuti presenti. Il problema dei costi nella evoluzione tecnologica così rapida è un problema che preoccupa costantemente e che può far prender la mano per accontentare un certo tipo di pubblico noto e che purtroppo si diletta di cose meno nobili, al fine anche di riuscire a sostenere in qualche modo anche quelle più nobili aventi peso maggiore ma minore comprensione nella pubblica opinione.

Accontentare i facili gusti è una tentazione alla quale si sottraggono poche case editrici. Il premio Torino alla UTET vuol sottolineare un vasto spazio di tempo e di attività, una profondità di serietà, un rifiuto alla demagogia, e, lascio che io dica che traggo da questa ultima segnalazione un particolare insegnamento per il mio sindacato,

il sindacato dei politici. Anche noi abbiamo a che fare con la pubblica opinione, siamo accusati a volte di marciare dimenticandoci totalmente che rappresentiamo con un mandato diretto un elettorato. Ma guai a noi, poichè quel mandato ci dà dovere giuridico politico e morale di ricordarci che vi è un binario d'obbligo, poichè questa mattina siamo partiti da quell'incidente ferroviario citiamolo almeno nel senso politico, questo binario sul quale ci siamo presi l'impegno di camminare e sul quale abbiamo avuto il mandato di camminare. Guai a noi se ce ne ricordiamo in modo negativo, lasciandoci prendere la mano solo dal terrore di dir « no ». Il cedimento è tradimento di principi. L'uomo politico che ha un filo di schiena ha un dovere solo: quello di alzarsi, di rinunciare al mandato e di tornare con le mani pulite ed il volto alto a casa sua allorchè il mandato rappresentasse la rottura di una impostazione, di un principio qualunque esso sia, di un atto di fede.

Ringrazio voi per avermi dato occasione d'esprimere questi pensieri.

Per concludere presento ai premiati, le mie devotissime ammirate congratulazioni. Grazie soprattutto che essi mi abbiano consentito di uscire da questa riunione più ricco spiritualmente. Mi pare che denominatore finale di questi premi sia che essi sono valorizzazione della libertà, perchè il pensiero è il segno della libertà, dono di Dio. Al quale dono l'uomo può rinunciare meschinamente, ma la possiede comunque. La coerenza fra pensiero e realizzazione è segno di libertà; capacità di usarla, poichè la realizzazione che serve per una pubblica opinione di divulgazione o per raggiungere pubblica utilità è in fondo un modo di scegliere la libertà e di saperla usare a beneficio degli altri. Mi pare grande merito di questa Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, che compie se bene ricordo i suoi 103 anni di vita, di realizzare questa Manifestazione d'onorificenza come un servizio alla libertà. E che il gesto venga da Torino, da cui è partita tanto storia di libertà è pure significativo.

La libertà è una di quelle umane ricchezze, che servendola non si diventa servi. Per crederci occorre saperla pagare un poco ogni giorno amandola. Grazie ».

Dopo l'on. Scalfaro ha ripreso la parola il Presidente arch. Rosani per i ringraziamenti rituali e per invitare le Autorità ad effettuare la premiazione.

È seguito un piccolo rinfresco che ha dato occasione ai partecipanti di stringersi affettuosamente intorno ai premiati per le felicitazioni e per i commenti.

RASSEGNA TECNICA

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

SULLA TEORIA DELLA RIGENERAZIONE TERMICA

CESARE CODEGONE mostra che mediante una estensione del teorema di Clapeyron a cicli termodinamici rigenerativi si chiariscono alcune loro fondamentali proprietà, chiarendo altresì entro quali limiti può risultare rigorosa la loro applicazione a casi concreti.

1 — Una impostazione analitica del problema riguardante il caso limite di un numero infinito di estrazioni, con condensazione completa del vapore estratto e miscelazione col liquido compresso (1) e in tal modo riscaldato, può essere data mediante la relazione:

$$(\Delta i_v) \cdot dm = m \cdot di_l \quad (1)$$

in cui dm è la massa elementare di vapore estratta in P , raffreddata a pressione costante e condensata alla temperatura T lungo la PR (e quindi $\Delta i_v = i_P - i_R$); m è la massa di liquido riscaldato di dT fino a giungere ad R (e quindi $di_l = c_l dT$); (v. fig. 1) (2); Δi_v è l'entalpia di condensazione, i_l è l'entalpia del liquido di calore specifico c_l .

La m equivale anche alla massa di vapore che si espande in turbina in corrispondenza del punto generico P e che va decrescendo lungo l'espansione per effetto delle estrazioni.

Supposta unitaria in F la massa finale dell'espansione ed estesa a tutta la linea AD la rigenerazione termica, l'integrazione fornisce:

$$\int_1^M \frac{dm}{m} = \ln M = \int_A^D \frac{di_l}{\Delta i_v} = \int_A^D \frac{c_l}{i_P - i_R} dT \quad (2)$$

essendo M la massa elaborata dal generatore di vapore per ogni unità di massa inviata al condensatore.

(1) Si suppone che anche le macchine motrici ed operatrici agiscano per tratti infinitesimi.

(2) L'impostazione data al problema può estendersi anche al caso in cui la Δi_v comprenda un tratto di raffreddamento del liquido.

La differenza ($i_P - i_R$), letta su un diagramma is di Mollier, varia in genere con la i_l e con la T in modo regolare e poco sensibile. L'integrazione potrà quindi essere facilmente eseguita per via grafica portando su un diagramma i rapporti $c_l/(i_P - i_R)$ in funzione di i_l o di T . Ricavato il valore di M si ha poi subito quello del rendimento termodinamico specifico dalla espressione:

$$\eta = 1 - \frac{q_2}{q_1^*} = 1 - \frac{i_F - i_A}{M(i_E - i_D)} \quad (3)$$

Il lavoro di espansione, riferito, come la q_1^* , all'unità di massa versata al condensatore, varrà ovviamente:

$$l^* = q_1^* - q_2 = M(i_E - i_D) - (i_F - i_A) \quad (4)$$

Se si tratta di un ciclo senza surriscaldamento, si può mostrare che nonostante la forma trapezoidale della figura il rendimento η diviene idealmente uguale a quello del ciclo di Carnot compreso fra le stesse isoterme estreme T_D e T_A (v. fig. 1).

2 — Si immagini il ciclo termodinamico integrale sostituito da infiniti cicli contigui limitati da

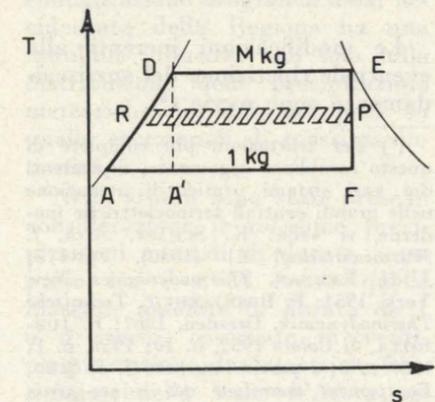


Fig. 1.

due isoterme vicinissime come la RP e da due tratti infinitesimi terminali di isentropiche, appartenenti rispettivamente la prima ad una fitta gradinata approssimante la curva limite del liquido, la seconda alla EF . In analogia col procedimento adottato dal Clapeyron, ma limitando qui a destra le aree mediante l'isentropica EF , e indicando con q la quantità di energia termica scambiata con l'esterno dall'unità di massa lungo la PR , si può scrivere:

$$\frac{d(mq)}{mq} = \frac{dT}{T} \quad (5)$$

Infatti il ciclo in esame può considerarsi un ciclo elementare di Carnot e il ciclo finito come l'insieme di infiniti cicli elementari e contigui di Carnot.

Integrando fra le isoterme estreme si ha subito:

$$\frac{M \cdot q_M}{1 \cdot q_1} = \frac{T_D}{T_A} \quad (6)$$

e quindi:

$$\eta_{v, \text{sat}} = 1 - \frac{q_1}{Mq_M} = 1 - \frac{T_A}{T_D};$$

da cui

$$M = \frac{q_1/T_A}{q_M/T_D} = \frac{AF}{A'F} \quad (7)$$

Per il calcolo del rendimento si può dunque per convenzione sostituire al trapezoido $ADEF$, percorso da masse variabili, il rettangolo $A'DEF$, percorso dall'unità di massa. Pertanto:

$$\eta_{v, \text{sat}} = 1 - \frac{T_A \cdot A'F}{T_D \cdot DE} = 1 - \frac{i_F - i_{A'}}{i_E - i_D} \quad (8)$$

Il surriscaldamento introduce a questo riguardo una perdita (v. fig. 2); ulteriori perdite sono introdotte, sempre per effetto di differenze finite di temperatura fra

i fluidi, dall'abbandono del sistema a miscela e dall'adozione di scambiatori termici a superficie (3).

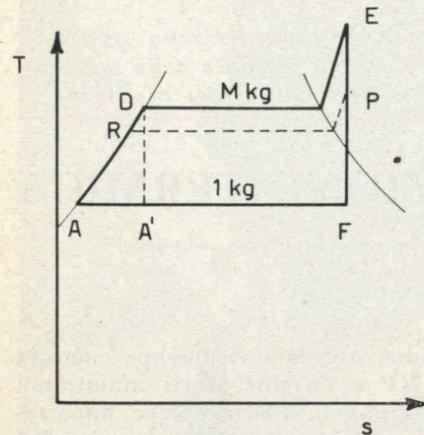


Fig. 2.

3 — D'altronde nella realtà non si può ovviamente procedere per estrazioni infinitesime, ma si deve procedere per salti finiti (v. fig. 3 e fig. 4). Ne derivano altre perdite, crescenti al crescere dell'ampiezza degli intervalli finiti di temperatura (peraltro per motivi di ottimizzazione poco differenti fra loro) corrispondenti alle varie estrazioni (4).

Se n sono i gradini di rigenerazione si ha, sostituendo rispettivamente incrementi finiti a differenziali e sommatorie a integrali:

$$m_i (\Delta i_i) = \delta m_i (\Delta i_i)_i \quad (9)$$

(3) Non in modo corretto si può estendere il ragionamento analitico anche a un ciclo elementare generico con surriscaldamento a pressione costante per giungere ad una conclusione analoga. L'errore che si commette nei riguardi del rendimento è però in pratica abbastanza piccolo ed è spesso trascurato anche per rigenerazione a gradini, se questi sono numerosi, purché non si operi in prossimità del punto critico. L'errore può divenire quasi nullo ove la curva limite, come succede per l'R114 ed altri fluidi, assuma per un buon tratto andamento isentropico.

(4) Si veda al riguardo l'appendice n. 2 del Vol. III (Generatori di Vapore) del Trattato di Fisica Tecnica di P. E. Brunelli e C. Codegone (Torino, 1961).

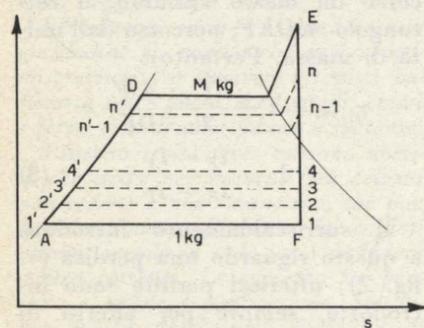


Fig. 3.

$$M = \sum_{i=1}^n m_i = \sum_{i=1}^n \frac{(\Delta i_v)_i}{(\Delta i_i)_i} \cdot \delta m_i \quad (10)$$

essendo δm_i la massa estratta all' i -esimo gradino. Per η vale la stessa espressione (3) data in precedenza. Dette i' l'entalpia del vapore, i quella del condensato, l'applicazione della (9) ai successivi gradini fornisce:

$$\begin{aligned} m_2 (i_2 - i'_2) &= m_1 (i'_2 - i'_1), \\ m_3 (i_3 - i'_3) &= (m_1 + m_2) (i_3 - i'_2) = \\ &= m_1 \left(1 + \frac{i'_2 - i'_1}{i_2 - i'_2} \right) \quad (11) \end{aligned}$$

da cui si ottiene per M la formula ricorrente:

$$\begin{aligned} M &= \sum_{i=1}^n m_i = \\ &= m_1 \left(1 + \frac{i'_2 - i'_1}{i_2 - i'_2} \right) \left(1 + \frac{i'_3 - i'_2}{i_3 - i'_3} \right) \dots \\ &\dots \left(1 + \frac{i'_n - i'_{n-1}}{i_n - i'_n} \right) \end{aligned}$$

essendo per la convenzione posta $m_1 = 1$ e quindi M funzione di sole entalpie.

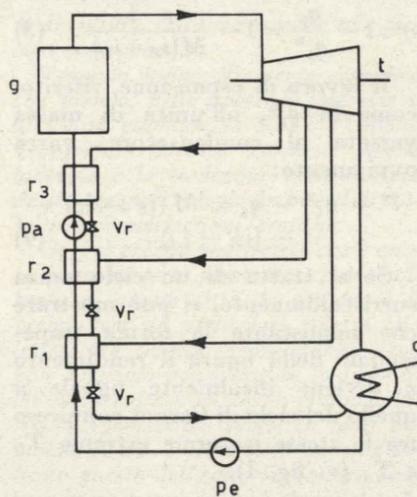


Fig. 4.

g) generatore di vapore; t) turbina; c) condensatore; p₁) pompa di estrazione del condensato; p₂) pompa di alimentazione; r₁) r₂) r₃) rigeneratori termici; v_r) valvole di riduzione di pressione.

Le modificazioni inerenti alla eventuale ripetizione del surriscaldamento sono ovvie (5).

(5) Per trattazioni più complete di questo complesso argomento, dipendenti dai vari sistemi pratici di attuazione nelle grandi centrali termoelettriche moderne, si veda: K. SCHÄFF, *Arch. f. Wärmewirtschaft* 21 (1940), 101-173; J. H. KEENAN, *Thermodynamics*, New York, 1954; F. BOSNJAKOVIC, *Technische Thermodynamik*, Dresden, 1967; E. JURZOLLA, *Il Calore* 1952, n. 10; 1953, n. 1; 1959 n. 3; e particolarmente J. RICARD, *Equipement thermique des usines génératrices d'énergie électrique*, Paris, 1962,

Nelle figg. 5 e 6 sono rappresentati, su grafici ($s, \log p$) ed ($i, \log p$), (6) dei cicli termodinamici a rigenerazione del tipo di fig. 4.

Si osservi che il punto A non coincide con il punto A₀ di miscela ponderata degli stati A e B

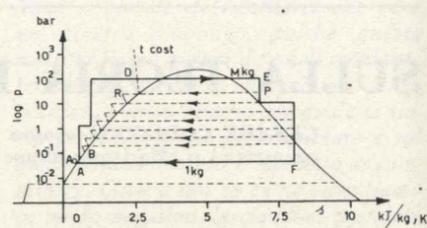


Fig. 5.

(termine del primo gradino) e da cui inizia la compressione del liquido. Inoltre il punto D si trova un poco a sinistra dell'isoterma del liquido dell'ultima estrazione.

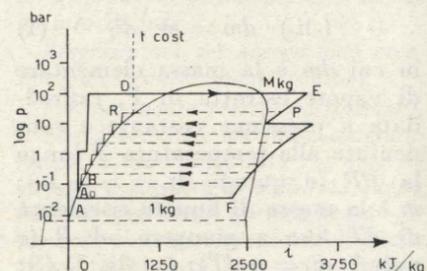


Fig. 6.

Questi diagrammi mettono in evidenza il raffreddamento del liquido di estrazione, seguito da espansione isentalpica nella valvola di riduzione di pressione, raffreddamento che nella trattazione teorica è compreso nel Δi_v mentre i Δi_i si trovano e si succedono sui tratti orizzontali che seguono le compressioni isentropiche prodotte dalle pompe, corrispondendo agli intervalli di temperatura dei vari gradini di estrazione.

Con i grafici citati è facilitata la rappresentazione dei cicli termodinamici aventi l'isobara superiore più elevata del punto critico.

In questi la rigenerazione termica non si estende però al disopra della temperatura di tale punto.

Cesare Codegone

pag. 28 e segg.; C. CODEGONE, *Some properties of the pressure-entropy diagram*, *Int. Journ. Heat and Mass Transfer* 7 (1964) 11.

(6) C. CODEGONE, *Il ciclo Rankine-Clausius*, *Il Calore* 18 (1947) 210; *Recenti sviluppi della Termodinamica applicata*, *Riv. Nuovo Cimento* n. 3 (1947) n. 2.

Le massime precipitazioni orarie e giornaliere nella Valle d'Aosta

MARIO QUAGLIA espone i risultati di una indagine idrologica riguardante i massimi eventi di pioggia di durata oraria e giornaliera osservati in venticinque stazioni pluviometriche della Valle d'Aosta. Dopo aver provveduto a regolarizzare i valori di precipitazione osservati mediante una distribuzione log-normale del tipo gaussiano, sono state determinate per ogni stazione di osservazione le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica. Si è inoltre proceduto attraverso la rappresentazione spaziale dei parametri caratteristici delle relative funzioni interpolatrici ad una analisi della distribuzione territoriale dei massimi eventi di pioggia.

1. PREMESSE.

Gli studi sulle precipitazioni di notevole intensità e breve durata si dimostrano particolarmente utili, quando, dovendo procedere al dimensionamento di opere idrauliche secondo criteri di rischio calcolato, non si dispone di misure dirette di portata e pertanto per la valutazione della portata di piena si rende necessario far riferimento alle altezze di pioggia di assegnata frequenza probabile.

Dette indagini, limitate in passato perlopiù a singole stazioni pluviometriche od a aree urbane di limitata estensione, sono venute allargandosi a comprensori idrografici sempre più ampi, utilizzando le osservazioni eseguite dal Servizio Idrografico Italiano su tutto il territorio nazionale durante oltre un quarantennio di attività.

In occasione della pubblicazione delle massime altezze di pioggia di durata da 1 a 5 giorni rilevate nel trentennio 1921-1950, il Servizio Idrografico Italiano ha provveduto a suddividere l'intero territorio nazionale in zone aventi caratteristiche analoghe nei riguardi delle massime precipitazioni, per ciascuna delle quali sono state calcolate le curve di massima possibilità pluviometrica del I, X, XX e XXX ordine limitatamente a precipitazioni di durata compresa da 1 a 5 giorni [1].

La conoscenza delle massime precipitazioni avvenute in un giorno ha permesso altresì di tracciare una carta isoietografica delle massime altezze di pioggia giornaliere estesa a tutta l'Italia ed al quarantennio 1921-1960 [2].

Le curve delle massime possibilità pluviometriche per precipitazioni di durata inferiore alle 24 ore sono ormai note per la maggior parte delle città italiane [3], essendo perlopiù il risultato della ricerca idrologica svolta in

occasione del dimensionamento delle reti di fognatura urbana.

Recenti studi sulle massime precipitazioni di durata inferiore od uguale alle 24 ore, estesi ad interi bacini idrografici, hanno riguardato ampie zone della Sicilia [4] e della regione tosco-laziale [5].

Notevoli contributi alle ricerche sull'entità e distribuzione delle massime precipitazioni si sono avuti anche in altri paesi europei. In Svizzera ad esempio si è provveduto ad effettuare una accurata indagine sulle massime precipitazioni di durata inferiore od uguale ad 1 ora, rilevate in 16 stazioni pluviografiche interessanti l'intero territorio elvetico, ed a dedurre per ciascuna stazione espressioni analitiche delle curve di massima possibilità pluviometrica di assegnata frequenza [6].

Recentemente uno studio sugli eventi di piena prevedibili in alcuni bacini collaterali della Valle d'Aosta ha offerto l'occasione per una ricerca sistematica sulle massime precipitazioni verificatesi nell'intero bacino idrografico di detta valle.

La topografia della Regione aostana, comprendente i massimi rilievi della catena alpina, fornisce ai risultati di detta indagine particolare interesse.

Infatti si è osservato che la configurazione orografica assai accidentata della Regione ha una indubbia influenza non solo sulla distribuzione delle precipitazioni meteoriche normali, ma pure su quelle eccezionali di massima intensità.

Nello studio sono state prese in considerazione le massime precipitazioni annuali di durata compresa tra 1 e 24 ore e quelle massime assolute di durata da 1 a 5 giorni, osservate in venticinque stazioni pluviometriche funzionanti nella Valle d'Aosta nel periodo 1921-1964 e pubblicate

sugli Annali del Servizio Idrografico Italiano.

La loro elaborazione in termini statistici ha portato a definire attraverso espressioni analitiche le curve di massima possibilità pluviometrica di assegnata frequenza probabile.

La possibilità di disporre delle osservazioni effettuate presso un ragguardevole numero di stazioni distribuite su tutto il bacino, ha permesso altresì di ottenere una rappresentazione spaziale delle piogge di massima intensità e di riconoscere alcune caratteristiche di detta distribuzione.

2. OROGRAFIA DELLA VALLE D'AOSTA.

La Valle d'Aosta ha uno sviluppo di oltre 100 Km dalle sue origini fino a Borgofranco d'Ivrea. Il suo bacino idrografico misura una superficie di circa Km² 3330 ed ha un'altitudine media di 2080 m.s.m.

La Valle, come appare dall'esame di una carta topografica, forma un gran solco interposto tra le formazioni rocciose salienti al Gran Paradiso da un lato ed al M. Rosa dall'altro fino ad arrestarsi contro il massiccio del M. Bianco.

Tale conformazione è conseguente alla particolare struttura geologica della valle, dovuta alla esistenza di tre grandi ellissoidi centrali disposti all'incirca ai vertici di un triangolo: quello del M. Bianco all'estremo Nord-Ovest sul prolungamento del thalweg della valle, quello del Gran Paradiso sul fianco Sud-Est e quello del M. Rosa all'estremo Nord.

La valle d'Aosta ha un andamento pressoché nord-sud nel suo tratto iniziale tra Borgofranco e Montjovet, mantenendosi ristretta in gola. A monte della stretta di Montjovet la valle ripiega bruscamente in direzione Ovest ed as-

sume la configurazione di comba formata da una successione di pianori, ove raggiunge la massima ampiezza. Detta conformazione valliva ha termine a La Sarre a monte di Aosta, ove la valle riprende il carattere di chiusa, che conserva fino a Derby.

A monte di quest'ultima località si susseguono in alternanza pianori e strette rocciose. Detta configurazione permane anche nelle due valli: la Val Veni e la Val Ferret, in cui la valle d'Aosta si suddivide ai piedi del massiccio del M. Bianco.

Le valli, che confluiscono su entrambi i lati della valle d'Aosta, fanno capo quelle in destra (Val Dora di Verney, Valgrisanche, Val Dora di Rhemes, Val Savara, Val Grand'Eyvia, Valle del torr. Ayasse) al massiccio del Gr. Paradiso, mentre quelle in sinistra (Valpelline, Valtournanche, Valle dell'Evançon e Val del Lys) si addentrano nel massiccio montuoso culminante nel M. Rosa.

Dette valli hanno tutte direzione pressochè nord-sud, fatta eccezione per la Valle del Grande Eyvia e la Valle del torr. Ayasse, che assumono un andamento est-ovest parallelo a quello della Valle d'Aosta, da cui sono separate dal massiccio del M. Emilius (m 3559 s. m.).

Il bacino della Valle d'Aosta è diviso dai bacini contigui da una catena displuviale, la cui altitudine, perlopiù superiore ai 3000 m s. m., raggiunge le quote più elevate ad Ovest nel M. Bianco (m 4807 s. m.), a Sud nel Gr. Paradiso (m 4061 s. m.) ed a Nord nel M. Rosa (m 4552 s. m.).

Da detta displuviale si dipartono con direzione Nord-Sud le catene montuose, che separano tra loro le valli collaterali della Valle d'Aosta, fatta eccezione per il massiccio del M. Emilius, che si sviluppa tra Verres ed Aosta con andamento pressochè parallelo alla valle.

L'orografia della Regione aostana, caratterizzata dall'anzidetta disposizione dei solchi vallivi, ha una indubbia influenza sulla distribuzione delle precipitazioni.

L'esame della carta isoietografica delle precipitazioni medie annue indica infatti un'area di minor piovosità nel tratto mediano della

Valle d'Aosta disposto secondo la direzione Est-Ovest, mentre l'entità delle precipitazioni aumenta sia risalendo le valli collaterali, sia scendendo verso la bassa valle, ove il solco vallivo è disposto in direzione Nord-Sud.

Una distribuzione spaziale pressochè identica si osserva anche nel caso degli eventi massimi di pioggia, che risultano a parità di durata più elevati nella zona periferica del bacino rispetto a quello centrale.

Tale fatto deve porsi in relazione con il flusso di aria caldo-umida proveniente dal mare, in quanto esso trova più facile accesso nelle valli, il cui sviluppo concorda con la direzione del moto delle correnti in quota.

3. DISTRIBUZIONE DELLE STAZIONI PLUVIOMETRICHE.

Sono state prese in considerazione venticinque stazioni pluviometriche tra quelle predisposte dal S.I.I. nel bacino della Valle d'Aosta (tabella I).

Esse risultano uniformemente distribuite sull'intero bacino con

una densità media di 1 stazione ogni 130 Km² (fig. 1).

Il criterio seguito nella scelta è motivato, oltrechè dall'ubicazione della stazione, anche dal fatto di poter disporre per ogni stazione di un periodo continuativo di osservazione il più lungo possibile.

La ripartizione di dette stazioni in funzione della loro altitudine è la seguente:

Altitudine (m s. m.)	Numero delle stazioni
500	5
500 ÷ 1000	6
1000 ÷ 1500	6
1500 ÷ 2000	6
2000	2

Dieci stazioni sono fornite di pluviografo registratore, mentre le restanti quindici sono equipaggiate con pluviometro.

L'indagine sulle massime precipitazioni di durata da 1 a 5 giorni è stata estesa a 23 stazioni, le cui osservazioni spaziano nel periodo 1921-1964 con un minimo di 31 anni ed un massimo di 44 anni di osservazioni.

TABELLA I - Elenco delle stazioni pluviometriche della Valle d'Aosta prese in considerazione.

N. d'ord.	Stazione pluviometrica	Corso d'acqua	Quota (m.s.m.)	Tipo dell'ap-parecchio	Periodo di osservazione			
					max. precipit. giornalieri		max. precipit. orarie	
					Periodo	Anni	Periodo	Anni
1	Courmayeur	Dora Baltea	1220	Pn	1933-1964	31	—	—
2	1 ^a Cantina P.S. Bernardo	Dora di La Thuile	1950	Pn	1933-1964	32	—	—
3	Promise	Dora di La Thuile	1475	Pn	1921-1943	—	—	—
					1947-1964	39	—	—
4	Derby	Dora Baltea	827	Pn	1924-1964	41	—	—
5	St. Nicolas	Dora Baltea	1196	Pn	1921-1961	41	—	—
6	Rhemes Notre Dames	Dora di Rhemes	1731	Pn	1921-1964	44	—	—
7	Valsavaranche	Savara	1545	Pn	1921-1964	44	—	—
8	Lillaz	Grand'Eyvia	1600	Pr	1926-1964	39	1936-1964	22
9	Aosta	Dora Baltea	583	Pr	1921-1964	44	1936-1964	16
10	Valpelline	Buthier	950	Pn	1921-1964	44	—	—
11	Gran S. Bernardo	Buthier	2476	Pn	1921-1937	31	—	—
					1951-1964	—	—	—
12	St. Marcel	Dora Baltea	550	Pr	1926-1963	38	1933-1963	18
13	Lago Goillet	Marmore	2420	Pn	1933-1964	32	—	—
14	Ussin	Marmore	1322	Pn	1929-1964	36	—	—
15	Chatillon	Dora Baltea	551	Pr	1921-1964	44	—	—
16	Champdepraz	Dora Baltea	450	Pr	—	—	1938-1964	24
17	Champoluc	Evançon	1570	Pn	1921-1945	—	—	—
					1948-1964	40	—	—
18	Ponteila	Evançon	1300	Pn	1928-1963	36	—	—
19	Verres	Dora Baltea	400	Pr	1921-1964	44	1939-1964	23
20	Champorcher	Ayasse	1427	Pr	1921-1947	41	—	—
					1950-1964	—	—	—
21	Hône-Bard	Dora Baltea	370	Pr	1922-1964	43	1936-1964	25
22	Pont S. Martin	Dora Baltea	—	Pr	—	—	1940-1964	24
23	Gressoney Trinité	Lys	1631	Pr	1921-1964	44	—	—
24	Guillemore	Lys	905	Pr	1932-1964	33	1946-1964	18
25	Ivrea	Dora Baltea	267	Pr	1921-1964	44	1937-1964	24

La suddivisione di dette stazioni in base al numero di anni di osservazione è la seguente:

Numero stazioni	Anni di osservazione
5	31 ÷ 35
5	35 ÷ 40
13	40 ÷ 44

La durata media del periodo di osservazione è di 40 anni.

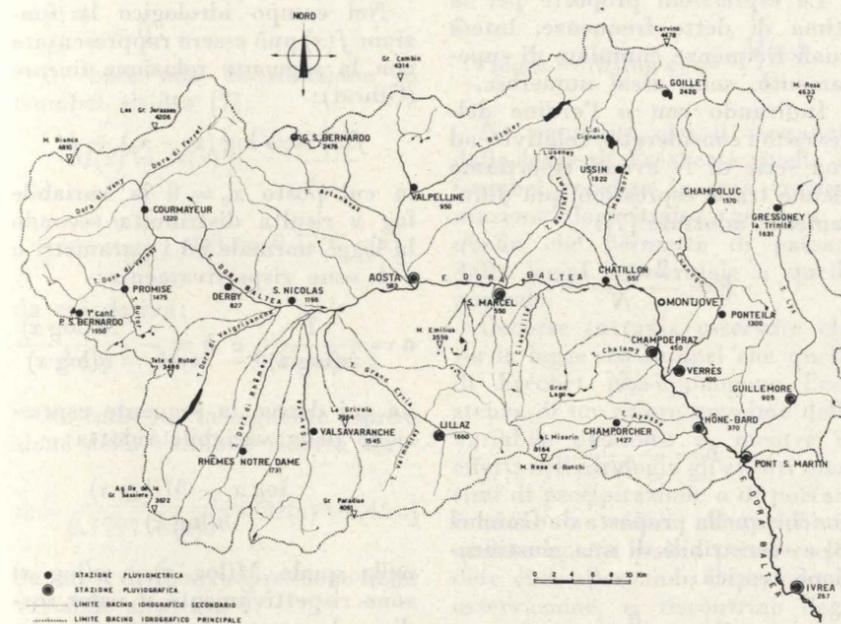


Fig 1 - Distribuzione delle stazioni pluviometriche nel bacino idrografico della Valle d'Aosta.

Le osservazioni relative a precipitazioni di durata inferiore alle 24 ore si limitano a nove stazioni fornite di pluviografo registratore, il cui periodo di osservazione si estende dal 1936 al 1964 ed è compreso tra un minimo di 15 anni ed un massimo di 25 anni.

4. CARATTERISTICHE DEGLI EVENTI DI PIOGGIA PRESI IN CONSIDERAZIONE.

I massimi valori delle precipitazioni di durata compresa tra 1 e 5 giorni sono stati dedotti per il trentennio 1921-1950 dalla pubblicazione « Precipitazioni massime con durata da uno a cinque giorni consecutivi. Bacino del Po, Sezione di Torino, Pubbl. N. 25 del S.I.I. Fascicolo XI-C » e per il successivo periodo 1951-1964

dagli Annali Idrologici del pre-detto Servizio.

Detti valori rappresentano i massimi assoluti o *casi critici* del periodo di osservazione considerato e la loro durata corrisponde ad un periodo di tempo compreso fra le nove del mattino di un giorno e le nove del mattino di uno o più giorni consecutivi e non già a periodi effettivi di pioggia multipli delle 24 ore.

Per ciascuna stazione le piogge sono state ordinate in ordine decrescente di grandezza, secondo

con cui sono stati scelti, possono non essere completamente indipendenti tra loro e pertanto non corrispondere alle caratteristiche di variabile indipendente ed aleatoria richiesta per una loro elaborazione statistica.

La scelta dei valori massimi annuali delle altezze di pioggia porta invece a dare un'interpretazione della frequenza $F^{(1)}$ ovvero dei tempi di ritorno $T_r^{(2)}$ di un certo evento diversa da quella normalmente convenuta.

Per la serie dei casi critici il tempo di ritorno T_{rc} rappresenta mediamente l'intervallo di tempo che intercorre tra due piogge di data durata, che eguagliano o superano una certa altezza. Considerando invece la serie di valori massimi annuali il tempo di ritorno T_{rm} è mediamente l'intervallo di tempo in cui una pioggia di assegnata durata, si verificherà o verrà superata come massimo annuale, senza tener conto che in qualche anno altri eventi, benchè inferiori al massimo del rispettivo anno, possono aver uguagliato o superato la pioggia anzidetta.

Tra la serie dei valori massimi annuali e la serie dei casi critici sembrerebbe esistere un rapporto costante di proporzionalità.

A tal riguardo il Guggino nella citata memoria [4] riporta una tabella, in cui sono indicati i rapporti tra le due anzidette serie, valutati dal Guggino stesso per la stazione pluviografica di Caltanissetta e da Hershfield.

Detti fattori sperimentali di conversione della serie dei massimi annuali nella serie dei casi critici, risultano compresi tra valori massimi di 1,11 ÷ 1,34 per un tempo di ritorno di 2 anni e minimi di 1,00 ÷ 1,01 per tempi di ritorno di 10 anni. È quindi a presumere

⁽¹⁾ Ordinando la serie degli N eventi di pioggia di ugual durata in ordine progressivamente decrescente, iniziando dal valore più elevato, la frequenza cumulata di superamento dell'evento di ordine n -esimo è espressa dal rapporto $F = n/N$.

⁽²⁾ Il tempo di ritorno T_r definisce l'intervallo medio di tempo, entro il quale l'altezza di pioggia h può essere eguagliata o superata in media una volta, per cui, detto M il periodo di osservazione, $T_r = \frac{M}{F} = \frac{M}{n}$, che nel caso $M = N$ diventa $T_r = \frac{1}{F}$.

che il rapporto tra le due serie di valori risulti prossimo all'unità per tempi di ritorno di durata maggiore.

5. ELABORAZIONE DEI DATI PLUVIOMETRICI.

Lo studio a carattere regionale del regime delle piogge di notevole intensità e breve durata si propone di definire delle relazioni tra i quattro parametri fondamentali, che caratterizzano le piogge: altezza h , durata t , frequenza probabile F e distribuzione spaziale.

Limitando dapprima l'analisi agli eventi di pioggia relativi ad una singola località si ottengono relazioni tra le altezze, le durate e le frequenze di pioggia, esprimibili nel seguente modo:

$$h = h(t, F).$$

La rappresentazione di dette relazioni nel piano (h, t) a mezzo di una famiglia di curve $h = h(t)$ caratterizzate da valori costanti del parametro F è nota in Italia come curve di possibilità o probabilità pluviometrica.

L'utilizzazione delle osservazioni disponibili per la determinazione delle relazioni pioggia-durate-frequenze è di norma fatta precedere da una loro elaborazione statistica al fine di regolarizzarne i risultati e poter estendere la validità di dette relazioni al di fuori dei limiti definiti dalla serie sperimentale.

5.1. Cenni di metodologia statistica.

Un evento di pioggia di altezza h e di prefissata durata t può essere considerato una variabile aleatoria, intesa come una quantità variabile h , a cui è possibile associare una funzione $P(h)$, che per ciascun valore h_0 , assunto da h , indichi la frequenza probabile, che si abbiano a verificare valori di h minori od al più uguali ad h_0 .

L'impiego dei metodi statistici, derivanti dalla teoria degli errori, appare lecita, in quanto le cause, che danno origine alle precipitazioni sono molte e svariate, così da potersi assimilare ad errori elementari, purchè siano verificate le suddette condizioni:

— la media di tutti gli eventi possibili sia una costante, indipendente dai cambiamenti climatici;

— ogni evento sia indipendente da quelli che lo hanno preceduto e da quelli che lo seguiranno;

— le varie cause infinitesime influenti sul fenomeno abbiano un effetto proporzionale alla loro intensità.

Lo studio delle massime precipitazioni di assegnata durata t può pertanto ricondursi a quello di una distribuzione statistica, in cui gli eventi di pioggia ordinati per grandezze decrescenti sono associati alle corrispondenti frequenze sperimentali F .

Le espressioni proposte per la stima di dette frequenze, intese quali frequenze cumulate di superamento, sono assai numerose.

Indicando con n l'ordine dell'evento considerato relativo ad una serie di N eventi riportiamo alcune tra le espressioni più diffusamente adottate [7]:

$$F = \frac{2n-1}{N}$$

$$F = \frac{n}{N}$$

$$F = \frac{n-1}{N}$$

nonchè quella proposta da Gumbel [8] e suscettibile di una giustificazione teorica:

$$F = \frac{n}{N+1}.$$

Per procedere alla regolarizzazione dei dati sperimentali si ricercano distribuzioni statistiche teoriche atte a fornire l'interpretazione più fedele delle distribuzioni empiriche.

L'esperienza mostra che dette distribuzioni non seguono la legge normale di tipo gaussiano, ma meglio si adeguano alla distribuzione log-normale di Galton-Gibrat ovvero a quelle dei valori estremi di Gumbel.

Infatti la legge normale o di Gauss, secondo la quale la densità di probabilità $p(x)$ della variabile aleatoria continua x è esprimibile con la relazione $p(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2}$,

mal si presta ad una utilizzazione in idrologia a motivo della sua struttura simmetrica rispetto al valore medio.

A rappresentare una distribuzione delle frequenze di eventi idrologici risulta più appropriata una espressione del seguente tipo:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-[f(x)]^2} \cdot f'(x)$$

in cui posto $z = f(x)$ ed integrando tra i limiti $-\infty$ e $z(x)$ si ottiene l'espressione della funzione di ripartizione:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{z(x)} e^{-z^2} \cdot dz.$$

Nel campo idrologico la funzione $f(x)$ può essere rappresentata con la seguente relazione lineare (Gibrat):

$$f(x) = a \log(x - x_0) + b$$

in cui posto $x_0 = 0$ la variabile $\log x$ risulta distribuita secondo la legge normale ed i parametri a e b sono rispettivamente:

$$a = \frac{1}{\sigma(\log x)} \quad e \quad b = -\frac{M(\log x)}{\sigma(\log x)}$$

da cui deriva la seguente espressione della variabile ridotta:

$$z = \frac{\log x - M(\log x)}{\sigma(\log x)}$$

nella quale $M(\log x)$ e $\sigma(\log x)$ sono rispettivamente il valor medio e lo scarto quadratico medio dei logaritmi della variabile x .

Per la stima dei valori massimi di alcune grandezze idrologiche viene talvolta utilizzata la legge del più grande valore di Gumbel.

Il Gumbel ha infatti mostrato che la distribuzione statistica della serie di N valori più grandi della variabile aleatoria x , estratti da N campioni, ciascuno formato da m valori classificati in ordine crescente ed appartenente ad una serie infinita M di valori, tende asintoticamente al crescere di N ad una legge di probabilità, che è indipendente da quella relativa alla variabile aleatoria x .

La funzione di ripartizione dei valori estremi x_{\max} è pertanto la seguente:

$$p(x) = e^{-e^{-z}}$$

essendo la variabile ridotta:

$$z = \alpha(x - x_0).$$

Le espressioni, proposte dal Gumbel a rappresentare i parametri α e x_0 , sono le seguenti:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\sigma(x)}{\sigma(z_G)} \quad e \quad x_0 = M(x) - \frac{M(z_G)}{\alpha}$$

ove $M(x)$ e $\sigma(x)$ sono la media e lo scarto quadratico medio dei valori osservati x , $M(z_G)$ e $\sigma(z_G)$ sono la media e lo scarto quadratico medio dei valori teorici della variabile ridotta z_G .

Il valore x_0 rappresenta la norma $N(x)$, cioè il valore corrispondente al massimo di densità di probabilità $p(x)$, per cui $\frac{d p(x)}{d x} = 0$.

In base alla distribuzione di Gumbel risulta [7]:

$$M(x) = N(x) + \frac{0,57722}{\alpha}$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma(x) = 0,7797 \sigma(x)$$

da cui deriva:

$$N(x) = M(x) - 0,45 \sigma(x).$$

Ne consegue la seguente espressione della variabile ridotta z_G :

$$z_G = \frac{1}{0,7797 \cdot \sigma(x)} [x - M(x) + 0,45 \sigma]$$

da cui si deduce l'espressione della variabile aleatoria x :

$$x = M(x) + \sigma(x) \cdot [0,7797 z_G - 0,45]$$

formalmente identica a quella della distribuzione di Gauss, ove alla variabile ridotta z si assegni la seguente espressione:

$$z = 0,7797 z_G - 0,45.$$

Risulta in tal modo possibile ricondurre una distribuzione di Gumbel ad una distribuzione di tipo gaussiano, concordando così con l'affermazione del prof. Supino secondo la quale « una qualunque curva di frequenza può essere ricondotta con opportuna trasformazione ad una curva di Gauss » [9].

Un'altra forma della legge limite della funzione di ripartizione del più grande valore è quella proposta da Fréchet ed esprimibile nel seguente modo:

$$P(x) = e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^{-K}}.$$

Per valori di K tendenti all'infinito detta legge converge verso la legge di Gumbel [10], potendosi scrivere:

$$e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^{-K}} = e^{-e^{-K(\ln x - \ln a)}} = e^{-e^{-z_G}}$$

ove:

$$z_G = K(\ln x - \ln a) =$$

$$= K'(\log x - \log a)$$

essendo:

$$\frac{1}{K'} = \frac{\sigma(\log x)}{\sigma(z_G)}$$

e

$$\log a = M(\log x) - \frac{M(z_G)}{K'}.$$

Ne consegue che il passaggio dalla legge di Fréchet a quella di Gumbel consiste in una trasformazione logaritmica analoga a quella che permette di passare dalla legge log-normale a quella normale.

Occorre tuttavia osservare che sia la legge di Gumbel che quella di Fréchet presuppongono l'esistenza di un valore massimo della variabile aleatoria x , mentre in effetti nell'idrologia gli eventi massimi di precipitazione o di portata tendono a valori asintotici, in quanto non si può a priori escludere che, allargando il periodo di osservazione, si riscontrino degli eventi rari di grandezza sempre maggiore.

Sembrerebbe quindi più rispondente una legge di distribuzione di tipo asintotico, quale ad esempio quella proposta da Poisson [10].

Nel presente studio si è adottata la distribuzione logaritmo-normale di più estesa e comune applicazione, limitandosi per alcune stazioni pluviometriche ad interpretare i massimi eventi orari con la distribuzione del valore-limite di Fréchet.

5.2. Criteri di accettabilità dei risultati.

I diversi procedimenti utilizzabili nelle elaborazioni statistiche possono dar luogo ad erronee valutazioni generalmente a causa del numero limitato di osservazioni disponibili.

Al fine di superare alcune incertezze che ne derivano, si può

ricorrere a vari criteri di accettabilità, che permettono di verificare se la prescelta distribuzione teorica è atta a rappresentare la distribuzione sperimentale.

In pratica il grado di adattamento di una rappresentazione teorica sarà tanto maggiore quanto maggiore è il numero dei dati disponibili e quanto minore è la variabilità degli stessi.

Ne consegue la necessità di controllare se la serie di dati utilizzati ha un numero di elementi sufficienti a fornire una curva di frequenza rappresentativa, cioè se la lunghezza del periodo di osservazione è sufficientemente estesa.

I numerosi metodi, proposti per riconoscere il grado di adattamento della rappresentazione teorica scelta, tendono ad accertare se gli scostamenti tra i valori teorici e quelli sperimentali si possono ritenere o meno, con una certa probabilità, appartenenti ad una distribuzione aleatoria.

A tal riguardo il Supino [3] suggerisce di associare alla curva di ripartizione una striscia che comprenda lo scarto di frequenza constatato sperimentalmente, ovvero di confrontare gli scarti effettivi dalla curva rappresentativa della distribuzione teorica con lo scarto quadratico medio, assumendo, quale condizione di accettabilità, quella per cui gli scarti effettivi s_{eff} siano inferiori a tre volte lo scarto quadratico medio σ .

Nel campo della statistica altro criterio largamente adottato è la valutazione della distribuzione del χ^2 (distribuzione del chi-quadro) di Pearson espressa dalla seguente relazione [12]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{n(F_{si} - F_{ti})^2}{F_{ti}(1 - F_{ti})}$$

dove con F_{si} si indicano i valori delle frequenze osservate (valori sperimentali), con F_{ti} i valori corrispondenti nella distribuzione prescelta (valori teorici) e con K il numero delle classi in cui sono state suddivise le N osservazioni di dimensione n . Il sopraddetto metodo tende quindi a valutare in maniera globale gli scostamenti tra le frequenze osservate e le frequenze teoriche.

È evidente che il valore del χ^2 è tanto minore quanto minore è lo scostamento tra i valori osser-

vati e quelli teorici della frequenza.

Si tratta ora di accertare se il valore del χ^2 calcolato possa imputarsi al caso, ovvero se esso risulti troppo grande per essere attribuito al gioco dei soli fattori casuali.

Considerato il χ^2 come una variabile aleatoria, l'elemento di confronto è fornito dal valore che il χ^2 assume in una distribuzione probabilistica a $K - 1$ gradi di libertà per uno stabilito valore della probabilità $P(\chi^2)$.

Nel campo idrologico il livello di significatività, cioè il valore della probabilità $P(\chi^2)$ in base alla quale si considera significativo (3) il valore di χ^2 , è normalmente assunto $\beta \geq 0,05$.

Alcune limitazioni, tra cui il segno degli scostamenti nelle singole classi, che nella valutazione del χ^2 non viene tenuto in considerazione, impongono particolari accorgimenti nell'impiego del metodo.

Altro criterio di accettabilità, fornito dalla distribuzione del t di Student, considera invece gli scostamenti tra le corrispondenti grandezze osservate e teoriche dell'evento considerato.

La distribuzione del t è espressa dalla seguente relazione:

$$t = \frac{M' - M}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{N}}}$$

ove:

$$M' = \frac{\sum_{i=1}^N x_i'}{N} \text{ è la media dei valori osservati } x'$$

$$M = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \text{ è la media dei valori teorici } x$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i' - M')^2}{N - 1} \text{ è la varianza degli } N \text{ valori osservati.}$$

(3) Un criterio di prova si considera « significativo », quando autorizza a respingere la validità di una certa rappresentazione, mentre, a sua volta, un criterio « non significativo » autorizza soltanto a non rifiutare la funzione prescelta, non ad accettarla.

Anche per detta distribuzione i valori di t , da confrontare con quelli sperimentali, sono espressi in funzione del grado di libertà del sistema e della probabilità $P(t)$ di ottenere un valore t maggiore di quello osservato.

Il livello di significatività normalmente accettato è $P(t) = 0,05$. Posto $M = 0$ l'espressione di t diventa:

$$N = \frac{t^2 \sigma^2}{(M')^2}$$

che permette di determinare il numero N delle osservazioni necessarie per ottenere un valore nella media con un prestabilito criterio di attendibilità $P(t)$ [13].

6. APPLICAZIONI ALLE MASSIME PRECIPITAZIONI DELLA VALLE D'AOSTA.

Il procedimento adottato è risultato il medesimo sia per le massime precipitazioni di durata compresa tra 1 e 24 ore (massimi annuali), come per quelle della durata da 1 a 5 giorni (casi critici).

Gli eventi di pioggia rilevati in ciascuna stazione pluviometrica sono stati ordinati secondo valori di durata $t = \text{cost}$, ottenendo distribuzioni, in cui le altezze di pioggia h risultano correlate con la loro frequenza sperimentale F .

A tal scopo le N altezze di pioggia h_{ij} ($j = 1, 2, 3, \dots, N$), prese in considerazioni per ciascuna delle ν durate t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, \nu$), sono state ordinate in successione decrescente, attribuendo a ciascuna un numero d'ordine 1, 2, ..., n , ..., N e determinando la corrispondente frequenza cumulata di non superamento espressa nel seguente modo:

$$F_1 = 1 - F = 1 - \frac{n}{N} = \frac{N - n}{N}$$

A rappresentare i campioni sperimentali $h = h(F_1)$ è stata assunta una distribuzione di tipo log-normale, operando una opportuna trasformazione della variabile aleatoria $y = \log h$.

Detto tipo di distribuzione è stato ritenuto statisticamente valido a regolarizzare le massime

altezze di pioggia per tutte le classi di durata, riservandosi di accertarne successivamente l'accettabilità.

Operando sulla nuova variabile y si è proceduto alla determinazione delle medie y_{mi} e delle corrispondenti varianze σ_i^2 per ciascuna delle ν classi di durata a mezzo delle usuali relazioni:

$$y_{mi} = \frac{\sum_{j=1}^N y_{ij}}{N}$$

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (y_{ij} - y_{mi})^2}{N - 1}$$

Ne consegue l'espressione della variabile ridotta di Gauss:

$$z_j = \frac{\bar{y}_{ij} - y_{mi}}{\sigma_i^2}$$

da cui l'equazione della retta regolarizzatrice:

$$\bar{y}_{ij} = y_{mi} + \sigma_i^2 \cdot z_j$$

Dopo aver così provveduto a regolarizzare i valori delle altezze di pioggia h nel piano (h, F_1) secondo distribuzioni di tipo log-normale, si è proceduto a determinare le curve di possibilità pluviometrica $h = h(t)$, intese come luogo delle altezze di pioggia h , di diversa durata t , aventi pari frequenza probabile di non superamento F_1 .

Ad esprimere in forma analitica dette curve nel piano (h, t) è stata utilizzata la seguente espressione:

$$h = a t^b \quad (1)$$

La scelta di detta relazione è giustificata dal fatto che essa trova diffuso impiego in Italia nella applicazione del metodo dell'invaso per la verifica delle reti di scolo.

Essa si presta ad essere linearizzata nel seguente polinomio di 1° grado:

$$\log h = \log a + b \log t \quad (2)$$

i cui parametri $\log a$ e b sono stati valutati imponendo che lo scarto quadratico medio tra i valori iniziali e quelli rettificati risulti minimo.

Indicando, come già precisato, con l'indice i ($i = 1, 2, \dots, \nu$) i valori di uguale durata t e con l'indice j ($j = 1, 2, \dots, k, \dots, N$) i valori di uguale frequenza probabile F_{1j} , per ogni serie di grandezze $\bar{y}_{ik} = \log h_{ik}$ e $x_i = \log t_i$, caratterizzate da un uguale valore dell'indice $j = k$, l'equazione (2) può essere scritta:

$$\bar{y}_{ik} = A_k + b_k (x_i - x_m)$$

ovvero

$$\bar{y}_{ik} = (A_k - b_k x_m) + b_k x_i$$

ove

$$x_m = \frac{\sum_{i=1}^{\nu} x_i}{\nu}$$

$$A_k = \frac{\sum_{i=1}^{\nu} \bar{y}_{ik}}{\nu}$$

$$b_k = \frac{\sum_{i=1}^{\nu} (x_i - x_m) \bar{y}_{ik}}{\sum_{i=1}^{\nu} (x_i - x_m)^2}$$

Ne consegue che la curva di possibilità pluviometrica di assegnata frequenza probabile F_{1k} è così esprimibile:

$$h_k = a_k \cdot t^{b_k}$$

ove:

$$a_k = 10^{(A_k - b_k x_m)}$$

Una plausibile obiezione, che può essere fatta al metodo scelto per la regolarizzazione dei dati di prefissata frequenza, deriva dal fatto che detta regolarizzazione avviene indipendentemente dalla distribuzione dei valori di frequenza diversa.

Parrebbe più razionale procedere alla elaborazione in modo simultaneo ed unitario di tutti i dati disponibili, in modo da poter contemporaneamente tener conto di tutte le informazioni in essi contenute.

Un metodo, che si presta per una siffatta indagine globale, è offerto dall'analisi della regressione [14].

Trattandosi di esaminare il comportamento della variabile aleatoria h in funzione della variabile indipendente non aleatoria t , l'analisi della regressione conduce a

definire la legge di dipendenza che esiste fra la media condizionata, che la distribuzione della variabile h assume in corrispondenza di un assegnato valore di t , e la variabile t .

Uno dei requisiti richiesti per poter applicare l'analisi della regressione è che le osservazioni siano tutte tra loro stocasticamente indipendenti.

In genere è opportuna una trasformazione di variabili, che sostituisca ad h ed a t rispettivamente due funzioni $y = y(h)$ e $x = x(t)$, tali che la media condizionata y_m della nuova variabile aleatoria y sia funzione lineare di x .

La relazione, che ne risulta fra y_m ed x , è detta equazione empirica della retta di regressione di y su x .

La stima dei parametri che caratterizzano detta relazione lineare può essere ottenuta applicando il metodo dei minimi quadrati.

Assunte le due funzioni rispettivamente $y = \log h$ ed $x = \log t$, la retta empirica di regressione può essere così espressa:

$$\bar{y}_{mi} = A + b (x_i - x_m)$$

ove \bar{y}_{mi} è la media condizionata delle variabili \bar{y}_{ij} appartenenti al campione di classe i .

Nell'ipotesi che le varianze condizionate σ_i relative ai singoli campioni siano poco diverse tra di loro, in modo da potersi ritenere eguali, i coefficienti A e b della retta di regressione sono così esprimibili:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{\nu} y_{mi}}{\nu}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{\nu} (x_i - x_m) \cdot y_{mi}}{\sum_{i=1}^{\nu} (x_i - x_m)^2}$$

Ammessa valida la sopraddetta ipotesi, la stima della varianza, comune a tutte le ν distribuzioni condizionate di y , risulta come segue:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{\nu} \sum_{j=1}^N (y_{ij} - \bar{y}_{mi})^2}{\nu \cdot N - 2}$$

Ritenuta accettabile una distribuzione log-normale della variabile y , la relazione lineare di

regolarizzazione tra le \bar{y}_{ij} e le \bar{y}_{mi} diventa la seguente:

$$\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{mi} = S z_j$$

Ad una medesima curva di possibilità pluviometrica di indice k appartengono i valori di \bar{y}_{ik} , caratterizzati dalla stessa frequenza probabile di non superamento F_{1k} e quindi da un unico valore della variabile ridotta z_k , ne consegue che la differenza tra l'ordinata \bar{y}_{ik} della curva di possibilità pluviometrica di ordine K e la corrispondente ordinata \bar{y}_{mi} della retta di regressione è costante ed è direttamente proporzionale al valore di z_k .

Pertanto nel piano (y, x) le curve di massima possibilità pluviometrica sono rette parallele alla retta di regressione ed aventi la seguente espressione analitica:

$$\bar{y}_{ik} = S z_k + A + b (x_i - x_m)$$

da cui per $t = 1$ e $x_i = 0$, ne deriva:

$$\bar{y}_{1k} = S z_k + A - b x_m$$

che, sostituita nella precedente, fornisce:

$$\bar{y}_{ik} = \bar{y}_{1k} + b x_i$$

da cui, ricordando che $y = \log h$ e $x = \log t$ si ottiene la classica espressione della curva di massima possibilità pluviometrica di ordine k :

$$h = h_{1k} t^b$$

Per accertare che i valori sperimentali y_{ij} differiscano non significativamente da quelli calcolati \bar{y}_{ij} , è stato scelto il test di Student con livello di significatività pari a 0,05.

Si è cioè verificato, per ogni classe di durata t_i , che fosse verificata la seguente relazione:

$$\bar{y}_{mi} - t_{0,025} \frac{\sigma_i}{\sqrt{N}} \leq y_{mi} \leq \bar{y}_{mi} + t_{0,975} \frac{\sigma_i}{\sqrt{N}}$$

ove sono indicati con $t_{0,975}$ e $t_{0,025}$ i valori del frattile t della distribuzione di Student a $N - 1$ gradi di libertà, corrispondenti rispettivamente alle probabilità 0,975 e 0,025.

Pertanto il procedimento adottato ha richiesto dapprima una selezione dei massimi annuali delle precipitazioni orarie (da 1 a 24 ore) e dei casi critici per gli eventi di pioggia giornalieri (da 1 a 5 giorni), nonché la loro successiva regolarizzazione attraverso l'analisi delle frequenze e gli opportuni controlli statistici.

I dati così elaborati sono stati in seguito utilizzati per determinare l'espressione analitica delle curve di possibilità pluviometrica, procedendo alla valutazione dei

relativi coefficienti. A tal fine si è fatto riferimento dapprima ad eventi di pioggia di pari frequenza e successivamente si è considerato in modo unitario l'insieme di tutti gli eventi osservati, utilizzando il metodo della regressione.

I calcoli, pur non presentando particolari difficoltà, sono risultati alquanto laboriosi sia per il numero delle stazioni prese in considerazione, sia soprattutto per la notevole quantità di osservazioni relative ad ogni singola stazione pluviometrica.

È stato perciò predisposto con la collaborazione del Centro di calcolo, esistente presso l'Istituto Matematico del Politecnico di Torino, un apposito programma per l'elaborazione dei dati a mezzo di un calcolatore elettronico.

I risultati distinti per eventi di durata oraria e giornaliera sono riportati nelle alleghe tabelle.

Le tabelle II, III, IV e V si riferiscono a precipitazioni di durata compresa tra 1 e 24 ore osservate nelle nove stazioni pluviografiche prese in esame.

TABELLA II - Massime precipitazioni con durata da 1 a 24 ore. (Valori osservati).

Stazione pluviografica	Ordine degli eventi di osserv. critici N	Numero degli eventi n	Valori osservati (in mm)				
			t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
Lillaz	22	1	35	60,6	93	138	217,6
		2	29	53	85	132	186
		5	21	47	64	98	126
		10	16	34	49,2	72	95,6
Aosta	16	1	19	28,6	51	85	118
		2	19	28,4	46,6	76	94,6
		5	17	25	34	50	73
		10	11	19,6	26,8	39,2	52
St. Marcel	18	1	19,6	33	55,6	78	107
		2	18,8	31	55	77	88,7
		5	15,4	25	37,2	51	71,6
		10	13	20,2	32	41,2	58,4
Champdepraz	24	1	34	72,4	99,4	112,8	149,6
		2	31	70	84,4	104,6	117
		5	23	40	57,2	76	106,4
		10	17,6	35	48	66	97,6
Verres	23	1	64,6	68,6	134,6	155,8	190,8
		2	38	56	81	100	141
		5	28	37	54,6	82,8	122
		10	21	33,6	51,6	70	97,6
Hône-Bard	25	1	41,2	78	116,8	162	272,6
		2	37	73	93	152,4	225,6
		5	34	53,2	73	104	163
		10	27	41	58,6	83	120
Pont S. Martin	24	1	44	102	114	119	229
		2	43	80	104	118	162,4
		5	40	54,4	73	103	138
		10	33,2	40,4	57	89	118
Guillemore	18	1	50	98	138,2	173	250,8
		2	38,2	77	129	159,8	207
		5	26	48	86	112	145
		10	18,2	36,6	53,8	78	105,8
Ivrea	24	1	82,4	99,6	99,6	99,8	123
		2	42,4	54,2	67,2	86,4	107
		5	36,4	44	57	72	102,6
		10	28	39,4	43,2	64,6	86

TABELLA III - Massime precipitazioni con durata da 1 a 24 ore. (Valori regolarizzati).

Stazione pluviografica	Ordine degli eventi di osserv. critici n	Frequenza di non superam. F_1	Valori regolarizzati secondo distribuzione log-normale (in mm)					
			t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore	
Lillaz	22	1	0,95	30,00	60,70	92,30	136,70	200,20
		2	0,91	26,35	52,60	79,00	116,00	166,90
		5	0,76	21,30	41,40	61,00	81,15	123,30
		10	0,52	16,80	31,85	46,00	65,30	88,50
Aosta	16	1	0,94	21,10	30,50	48,30	79,30	101,50
		2	0,87	18,40	27,55	42,40	67,70	88,80
		5	0,68	14,50	23,20	33,90	51,60	70,50
		10	0,37	10,80	18,70	25,80	37,00	53,20
St. Marcel	18	1	0,94	19,00	44,14	54,56	73,00	99,00
		2	0,89	17,60	37,60	47,80	64,80	86,95
		5	0,72	15,50	28,80	38,30	53,00	69,90
		10	0,44	13,30	21,00	29,60	42,00	54,30
Champdepraz	24	1	0,96	30	62,20	84,90	109,60	148,25
		2	0,92	26,80	53,80	73,90	96,90	131,80
		5	0,79	22,15	42,50	58,90	79,30	108,60
		10	0,58	18,15	33,00	46,30	64,20	88,65
Verres	23	1	0,96	42,25	56,20	91,30	131,10	171,75
		2	0,91	35,61	48,70	79,00	112,70	149,40
		5	0,78	26,80	38,45	62,25	87,90	118,80
		10	0,57	19,90	29,90	48,30	67,40	93,10
Hône-Bard	25	1	0,96	48,20	79,00	108,70	150,20	234,00
		2	0,92	41,50	67,80	94,10	131,00	202,00
		5	0,80	32,50	52,80	74,40	104,80	158,90
		10	0,60	25,20	40,70	58,20	83	123,70
Pont S. Martin	24	1	0,96	51,40	78,20	103,40	132,94	187,20
		2	0,92	45,40	68,60	90,50	117,90	165,90
		5	0,79	37,15	55,50	72,70	96,80	136,20
		10	0,58	30,10	44,30	57,70	78,70	110,60
Guillemore	18	1	0,95	34,20	69,30	110,75	145,16	202,5
		2	0,90	29,50	57,90	90,50	119,40	165,80
		5	0,74	23,00	42,90	64,50	86,10	118,45
		10	0,47	17,40	30,50	44,00	59,40	81,00
Ivrea	24	1	0,96	50,30	66,80	74,70	95,80	132,80
		2	0,92	44,50	58,90	66,80	86,10	118,72
		5	0,79	36,40	47,90	55,66	72,30	98,80
		10	0,58	29,50	38,60	45,90	60,00	81,40

Per eventi critici del 1°, 2°, 5° e 10° ordine sono riportati in tabella II i valori osservati ed in tabella III i corrispondenti valori regolarizzati secondo una distribuzione di tipo log-normale.

Scelta una serie di eventi con frequenza probabile di superamento F rispettivamente pari ad 1/100, 1/20, 1/10 ed 1/2, a cui corrispondono periodi di ritorno T_{rm} pari a 100, 20, 10 e 2 anni sono state calcolate a mezzo dell'espressione $h = a_k t^{b_k}$ le relative altezze di pioggia per cinque

diversi valori di durata (tabella IV).

Sempre per la medesima serie di eventi sono indicati in tabella V i gruppi di parametri caratteristici (a_k, b_k) , (h_{1k}, b) relativi ciascuno ad una delle due equazioni assunte a rappresentare le curve di possibilità climatica.

La prima di dette equazioni [tipo 1]: $h = a_k t^{b_k}$ è stata ottenuta rendendo minimo lo scarto quadratico medio dei valori regolarizzati di pari frequenza; la seconda formula [tipo 2]: $h = h_{1k} t^b$ deriva

invece dall'applicazione dell'analisi della regressione.

Relativamente a cinque stazioni pluviografiche si è provveduto a regolarizzare le osservazioni orarie secondo la distribuzione del valore-limite di Fréchet ed a calcolare con la formula di tipo 1 le curve di possibilità pluviometrica per frequenze probabili di superamento pari a 1/100, 1/20, 1/10 ed 1/2 (tabella VI).

Le altezze di precipitazione con durata da 1 a 5 giorni, corrispondenti ad eventi critici del 1°, 2°,

TABELLA IV - Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica. (Precipitazioni con durata da 1 a 24 ore).

Stazione pluviografica	Tempo di ritorno T_{rm} (anni)	Frequenza di superam. F_k	Altezze di piogge calcolate h (in mm)				
			t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
Lillaz	100	0,01	39	77	120	185	286
	20	0,05	30	59	89	135	203
	10	0,1	27	51	76	113	170
	2	0,5	17	30	43	62	89
Aosta	100	0,01	25	45	66	95	138
	20	0,05	20	36	52	75	107
	10	0,1	18	32	45	65	94
	2	0,5	12	21	29	42	59
St. Marcel	100	0,01	26	47	67	96	138
	20	0,05	22	38	53	76	107
	10	0,01	20	33	47	66	94
	2	0,5	14	22	31	42	58
Champdepraz	100	0,01	41	70	99	139	195
	20	0,05	32	55	77	108	152
	10	0,1	28	48	67	95	133
	2	0,5	17	30	42	59	84
Verres	100	0,01	52	85	117	160	219
	20	0,05	38	63	87	121	167
	10	0,1	32	54	75	104	145
	2	0,5	18	31	43	62	87
Hône-Bard	100	0,01	60	102	143	200	280
	20	0,05	44	76	107	150	211
	10	0,1	38	65	92	130	182
	2	0,5	22	38	53	76	107
Pont S. Martin	100	0,01	63	98	129	170	224
	20	0,05	49	76	100	133	176
	10	0,1	43	67	88	117	155
	2	0,5	27	42	56	74	98
Guillemore	100	0,01	49	94	142	214	323
	20	0,05	37	68	100	148	219
	10	0,1	31	57	84	122	178
	2	0,5	18	31	44	61	86
Ivrea	100	0,01	60	81	99	121	147
	20	0,05	47	64	79	97	119
	10	0,1	41	57	70	86	106
	2	0,5	26	37	46	57	71

TABELLA V - Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per precipit. con durata da 1 a 24 ore.

Stazione pluviografica	Frequenza di superam. F_k	Tempo di ritorno T_{rm} (anni)	$h = a_k t^{b_k}$			$h = h_{1k} t^b$	
			a_k (mm)	b_k	$b_k/b_{0,5}$	h_{1k}	b
Lillaz	0,01	100	39	2,29	0,627	1,203	46
	0,05	20	30	1,76	0,596	1,143	34
	0,1	10	27	1,59	0,579	1,111	29
	0,5	2	17	1	0,521	1	17
Aosta	0,01	100	25	2,08	0,533	1,059	26
	0,05	20	20	1,66	0,525	1,043	21
	0,1	10	18	1,20	0,520	1,033	18
	0,5	2	12	1	0,503	1	12
St. Marcel	0,01	100	26	1,85	0,522	1,149	30
	0,05	20	22	1,57	0,502	1,105	24
	0,1	10	20	1,43	0,491	1,081	21
	0,5	2	14	1	0,454	1	14
Champdepraz	0,01	100	41	2,41	0,490	0,983	40
	0,05	20	32	1,88	0,492	0,987	31
	0,1	10	28	1,64	0,494	0,991	27
	0,5	2	17	1	0,498	1	17
Verres	0,01	100	52	2,88	0,452	0,898	47
	0,05	20	38	2,11	0,467	0,928	35
	0,1	10	32	1,77	0,475	0,944	30
	0,5	2	18	1	0,503	1	18
Hône-Bard	0,01	100	60	2,72	0,484	0,964	58
	0,05	20	44	2,00	0,489	0,974	43
	0,1	10	38	1,72	0,492	0,980	37
	0,5	2	22	1	0,502	1	22
Pont S. Martin	0,01	100	63	2,33	0,399	0,977	62
	0,05	20	49	1,81	0,402	0,985	48
	0,1	10	43	1,59	0,403	0,985	42
	0,5	2	27	1	0,408	1	27
Guillemore	0,0						

TABELLA VI - Massime precipitazioni con durata da 1 a 24 ore. (Regolarizzazione secondo la distribuzione di Fréchet).

Stazione pluviografica	Numero d'ordine degli eventi superam. critici	F ₁	Valori regolarizzati secondo la distribuzione di Fréchet				
			t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
			n				
Aosta	1	0,94	22	32	51	86	108
	2	0,87	18	27	42	68	89
	5	0,69	14	22	32	49	67
	10	0,38	10	18	25	36	52
St. Marcel	1	0,94	19	48	59	78	107
	2	0,89	17	38	48	65	88
	5	0,72	15	27	36	51	67
	10	0,45	13	20	28	41	52
Champdepraz	1	0,96	33	70	96	122	165
	2	0,92	27	56	77	100	136
	5	0,79	21	41	56	76	105
	10	0,58	17	31	44	61	84
Hône-Bard	1	0,96	55	91	125	171	296
	2	0,92	43	71	98	137	212
	5	0,80	31	51	72	101	153
	10	0,60	23	38	55	78	116
Ivrea	1	0,96	56	74	82	105	147
	2	0,92	46	61	69	89	122
	5	0,79	35	46	54	70	96
	10	0,58	28	36	44	57	79

5° e 10° ordine e riferentesi a ventitrè stazioni pluviometriche distribuite nella Regione della Valle d'Aosta, sono riportate in tabella VII. La successiva tabella VIII contiene per i medesimi casi critici i valori regolarizzati secondo una distribuzione di tipo log-normale, mentre nelle tabelle IX e X sono indicate le altezze di pioggia calcolate e i parametri caratteristici corrispondenti a curve di possibilità pluviometrica di diversa frequenza probabile calcolate con le già citate espressioni di tipo 1 e 2.

7. ANALISI DEI RISULTATI.

L'accettabilità delle distribuzioni adottate nel processo preliminare di regolarizzazione degli eventi di pioggia è stato verificato mediante controlli di significatività. Analoghi controlli sono stati effettuati sulle distribuzioni ottenute con il metodo della regressione; a tal riguardo è stato utilizzato il test del t di Student nella forma:

$$\sqrt{N} \frac{|M' - M|}{\sigma} \leq |t_{0,975}|$$

ove, con i simboli noti, $M' = \bar{y}_{mi}$ e σ^2 sono rispettivamente la media e la varianza degli N valori osservati e $M = \bar{y}_{mi}$ è la media condizionata degli N valori regolarizzati.

Il valore assoluto del t di Student per probabilità $P(t) = 0,025$ e

$1 - P(t) = 0,975$ risulta essere per la simmetria della distribuzione:

$$|t_{0,025}| = |t_{0,975}| = K$$

funzione del grado di libertà $f = N - 1$.

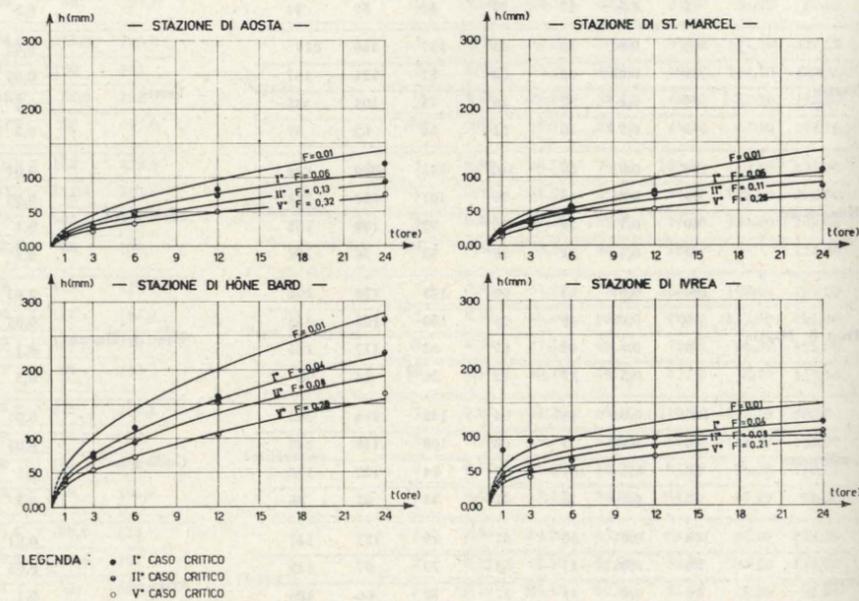


Fig. 2 - Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica ottenute con una regolarizzazione preliminare di tipo log-normale (precipitazioni di durata da 1 a 24 ore).

TABELLA VII - Massime precipitazioni con durata da 1 a 5 giorni. (Valori osservati).

Stazione pluviometrica	Numero di anni di osserv. N	Ordine degli eventi critici n	Valori osservati (in mm)				
			t = 1 giorno	t = 2 giorni	t = 3 giorni	t = 4 giorni	t = 5 giorni
Courmayeur	31	1	99	125	145	168	170
		2	95	113	120	130	145
		5	60	84	100	124	133
		10	54	77	91	103	114
I Cantina P. S. Bernardo	32	1	137	137	143	158	166
		2	95	123	138	157	158
		5	79	100	126	142	147
		10	62	86	105	127	139
Promise	39	1	77	138	144	144	158
		2	73	122	131	138	155
		5	65	94	114	125	138
		10	61	80	96	102	119
Derby	41	1	95	117	143	161	164
		2	81	111	130	143	143
		5	80	100	116	131	136
		10	65	85	98	101	115
St. Nicolas	41	1	100	121	150	150	153
		2	91	120	125	140	150
		5	75	87	103	112	125
		10	63	75	85	99	100
Rhêmes Notre Dame	44	1	114	184	195	195	202
		2	108	164	195	195	195
		5	92	115	134	145	165
		10	80	101	119	127	135
Valsavaranche	44	1	125	146	196	216	220
		2	110	120	156	175	195
		5	90	95	140	151	165
		10	78	87	110	113	116
Lillaz	39	1	217	247	273	287	305
		2	181	224	265	273	273
		5	130	163	189	217	235
		10	102	150	162	183	202
Aosta	44	1	136	141	157	168	168
		2	114	137	144	158	167
		5	74	88	130	133	133
		10	64	77	91	103	110
Valpelline	44	1	85	135	168	183	183
		2	82	118	148	167	174
		5	72	96	121	128	147
		10	60	82	99	102	110
Gr. S. Bernardo	31	1	96	174	198	248	256
		2	95	136	174	214	216
		5	87	117	131	153	166
		10	78	103	120	137	158
St. Marcel	39	1	101	132	171	181	184
		2	87	101	140	175	180
		5	78	95	105	109	115
		10	63	86	90	94	98
Lago Goillet	32	1	111	154	187	212	224
		2	110	129	165	179	198
		5	87	123	148	165	165
		10	74	101	125	138	144
Ussin	36	1	136	144	176	191	203
		2	93	124	152	161	173
		5	81	92	104	113	116
		10	63	82	91	94	99
Chatillon	44	1	154	156	170	204	210
		2	101	148	169	175	175
		5	82	111	125	126	142
		10	70	92	103	111	120
Champoluc	40	1	81	141	173	181	199
		2	78	116	144	153	160
		5	74	101	104	117	131
		10	62	88	95	104	106
Verres	44	1	185	199	229	272	275
		2	140	198	226	236	236
		5	120	162	193	206	212
		10	106	144	167	173	190
Ponteila	36	1	153	177	198	215	229
		2	140	165	187	202	218
		5	110	138	163	163	172
		10	81	108	126	141	149
Champorcher	41	1	193	274	400	452	475
		2	186	237	337	369	388
		5	149	205	231	275	284
		10	132	178	194	205	223
Hône-Bard	43	1	225	303	330	360	373
		2	200	276	295	330	330
		5	166	205	245	278	296
		10	158	199	205	232	238
Gressoney la Trinité	44	1	184	242	338	359	369
		2	150	184	249	279	308
		5	110	175	190	198	202
		10	99	130	154	172	190
Guillemore	33	1	250	305	404	430	450
		2	197	280	377	397	410
		5	177	220	242	251	252
		10	117	172	185	202	225
Ivrea	44	1	115	170	209	226	263
		2	103	150	187	220	240
		5	100	128	148	166	174
		10	88	115	128	136	147

TABELLA VIII - Massime precipitazioni con durata da 1 a 5 giorni. (Valori regolarizzati).

Stazione pluviometrica	Ordine degli eventi critici	Frequenza di non superam. F_1	Valori regolarizzati secondo distribuzione log-normale (in mm)				
			$t =$	$t =$	$t =$	$t =$	$t =$
			1 giorno	2 giorni	3 giorni	4 giorni	5 giorni
Courmayeur	1	0,97	76	102	119	139	150
	2	0,93	71	96	112	130	140
	5	0,84	64	87	102	117	126
	10	0,68	57	79	93	106	114
I Cantina P. S. Bernardo	1	0,97	95	115	139	155	165
	2	0,93	87	109	131	147	157
	5	0,84	77	100	119	135	145
	10	0,68	67	91	108	125	135
Promise	1	0,97	77	110	128	136	154
	2	0,95	72	103	120	128	144
	5	0,87	65	92	107	115	130
	10	0,61	59	82	96	105	119
Derby	1	0,976	85	112	128	143	147
	2	0,95	79	104	119	132	137
	5	0,88	70	93	107	118	122
	10	0,756	62	84	97	105	110
St. Nicolas	1	0,975	85	104	121	129	137
	2	0,95	79	97	112	121	128
	5	0,88	71	87	101	109	116
	10	0,75	64	78	91	99	105
Rhêmes Nôtre Dame	1	0,977	103	140	164	187	193
	2	0,95	96	131	152	171	178
	5	0,88	86	117	134	150	156
	10	0,77	77	105	120	132	139
Valsavaranche	1	0,977	103	116	154	168	182
	2	0,95	95	108	142	154	166
	5	0,88	84	98	124	134	143
	10	0,77	75	89	110	117	124
Lillaz	1	0,974	160	208	240	267	282
	2	0,95	145	190	218	242	257
	5	0,87	124	166	189	208	222
	10	0,74	107	145	164	180	193
Aosta	1	0,977	94	109	137	147	153
	2	0,95	86	101	126	135	141
	5	0,88	75	91	110	118	124
	10	0,77	67	81	96	104	110
Valpelline	1	0,977	82	124	139	153	161
	2	0,95	76	111	127	140	147
	5	0,88	68	94	111	122	128
	10	0,77	62	80	97	106	112
Gr. S. Bernardo	1	0,97	96	136	159	186	201
	2	0,93	91	129	151	176	190
	5	0,84	84	118	140	161	175
	10	0,68	78	109	129	147	161
St. Marcel	1	0,974	88	109	129	140	145
	2	0,95	81	102	119	128	134
	5	0,87	71	92	104	113	117
	10	0,74	63	82	92	100	104

TABELLA IX - Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica. (Precipitazioni con durata da 1 a 5 giorni).

Stazione pluviometrica	Frequenza di superam. F_k	Tempo di ritorno T_{rc} (anni)	Altezza di pioggia calcolata h (in mm)				
			$t =$	$t =$	$t =$	$t =$	$t =$
			1 giorno	2 giorni	3 giorni	4 giorni	5 giorni
Courmayeur	0,01	100	84	112	130	152	164
	0,05	20	73	99	115	133	143
	0,1	10	68	92	108	124	133
	0,5	2	52	73	85	96	104
I Cantina S. P. Bernardo	0,01	100	106	125	151	167	177
	0,05	20	90	111	133	150	160
	0,1	10	82	104	125	141	151
	0,5	2	60	83	99	115	125
Promise	0,01	100	85	114	135	152	167
	0,05	20	72	103	120	128	145
	0,1	10	68	92	109	123	135
	0,5	2	53	70	83	94	103
Derby	0,01	100	94	119	137	152	164
	0,05	20	80	102	117	130	141
	0,1	10	73	94	108	120	129
	0,5	2	54	70	80	89	97
St. Nicolas	0,01	100	93	114	128	139	149
	0,05	20	79	97	110	120	129
	0,1	10	73	90	102	112	119
	0,5	2	54	68	77	81	92
Rhêmes Nôtre Dame	0,01	100	113	150	177	198	218
	0,05	20	96	126	148	166	181
	0,1	10	89	116	135	151	165
	0,5	2	66	85	98	108	117
Valsavaranche	0,01	100	106	138	163	182	199
	0,05	20	90	117	135	150	163
	0,1	10	84	106	123	135	146
	0,5	2	63	77	87	94	101
Lillaz	0,01	100	181	231	267	295	320
	0,05	20	147	189	218	242	262
	0,1	10	132	169	196	217	236
	0,5	2	89	115	134	149	162
Aosta	0,01	100	101	126	144	158	170
	0,05	20	84	105	120	132	142
	0,1	10	76	95	109	120	128
	0,5	2	55	68	77	85	91
Valpelline	0,01	100	94	126	150	169	186
	0,05	20	78	104	123	138	151
	0,1	10	71	94	110	124	135
	0,5	2	51	65	76	84	92
Gr. S. Bernardo	0,01	100	104	143	173	198	220
	0,05	20	94	129	155	178	197
	0,1	10	89	122	147	167	185
	0,5	2	74	100	120	136	150
St. Marcel	0,01	100	97	121	139	152	164
	0,05	20	82	102	117	128	137
	0,1	10	75	93	106	116	125
	0,5	2	55	68	77	84	90

TABELLA X - Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per precipitazioni con durata da 1 a 5 giorni.

Stazione pluviometrica	Fre- quenza di superamento F_k	Tempo di ritorno T_{re} (anni)	$h = a_k t^b$				$h = h_{1k} t^b$	
			a_k	$a_k/a_{0,5}$	b_k	$b_k/b_{0,5}$	h_{1k}	b
Courmayeur	0,01	100	84	1,58	0,416	0,969	83	0,429
	0,05	20	73	1,37	0,420	0,979	73	
	0,1	10	68	1,28	0,422	0,983	68	
	0,5	2	53	1	0,429	1	53	
I Cantina P. S. Bernardo	0,01	100	104	1,73	0,326	0,707	92	0,461
	0,05	20	89	1,48	0,366	0,793	81	
	0,1	10	81	1,35	0,387	0,839	76	
	0,5	2	60	1	0,461	1	60	
Promise	0,01	100	85	1,60	0,420	1,012	85	0,415
	0,05	20	74	1,39	0,418	1,007	74	
	0,1	10	69	1,30	0,418	1,007	69	
	0,5	2	53	1	0,415	1	53	
Derby	0,01	100	94	1,74	0,347	0,974	93	0,356
	0,05	20	80	1,48	0,350	0,983	80	
	0,1	10	73	1,35	0,351	0,985	73	
	0,5	2	54	1	0,356	1	54	
St. Nicolas	0,01	100	93	1,72	0,294	0,907	90	0,324
	0,05	20	79	1,46	0,303	0,935	77	
	0,1	10	73	1,35	0,307	0,947	72	
	0,5	2	54	1	0,324	1	54	
Rhêmes Nôtre Dame	0,01	100	113	1,71	0,408	1,159	119	0,352
	0,05	20	96	1,45	0,392	1,113	100	
	0,1	10	89	1,34	0,383	1,088	91	
	0,5	2	66	1	0,352	1	66	
Valsavaranche	0,01	100	106	1,68	0,391	1,325	116	0,295
	0,05	20	90	1,42	0,363	1,230	97	
	0,1	10	84	1,33	0,348	1,179	88	
	0,5	2	63	1	0,295	1	63	
Lillaz	0,01	100	181	2,03	0,353	0,956	178	0,369
	0,05	20	147	1,65	0,358	0,970	145	
	0,1	10	132	1,48	0,361	0,978	130	
	0,5	2	89	1	0,369	1	89	
Aosta	0,01	100	101	1,87	0,327	1,031	101	0,317
	0,05	20	84	1,55	0,324	1,022	84	
	0,1	10	76	1,40	0,322	1,015	77	
	0,5	2	54	1	0,317	1	54	
Valpelline	0,01	100	94	1,84	0,423	1,152	100	0,367
	0,05	20	78	1,52	0,407	1,108	82	
	0,1	10	71	1,39	0,398	1,084	74	
	0,5	2	51	1	0,367	1	51	
Gr. S. Bernardo	0,01	100	104	1,40	0,469	1,065	106	0,440
	0,05	20	94	1,27	0,461	1,047	95	
	0,1	10	89	1,20	0,456	1,036	90	
	0,5	2	74	1	0,440	1	74	
St. Marcel	0,01	100	97	1,76	0,326	1,068	99	0,305
	0,05	20	82	1,49	0,320	1,049	83	
	0,1	10	75	1,36	0,316	1,036	76	
	0,5	2	55	1	0,305	1	55	

TABELLA XI - Verifica del t di Student sulle distribuzioni log-normali ottenute con il metodo della regressione. (Precipitazioni con durata da 1 a 24 ore).

Stazione pluviografica	Simboli	$t =$	$t =$	$t =$	$t =$	$t =$			
		1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore			
Lago Goillet		0,01	100	116	1,69	0,399	0,938	113	0,425
		0,05	20	99	1,45	0,407	0,957	97	
		0,1	10	91	1,33	0,411	0,967	90	
		0,5	2	68	1	0,425	1	68	
Ussin		0,01	100	106	1,82	0,278	0,885	103	0,314
		0,05	20	89	1,53	0,289	0,920	87	
		0,1	10	81	1,40	0,294	0,936	80	
		0,5	2	58	1	0,314	1	58	
Chatillon		0,01	100	106	1,71	0,327	1,015	107	0,318
		0,05	20	91	1,46	0,321	1,009	91	
		0,1	10	84	1,35	0,320	1,006	84	
		0,5	2	62	1	0,318	1	62	
Champoluc		0,01	100	107	1,81	0,315	0,95	110	0,330
		0,05	20	90	1,52	0,320	0,97	92	
		0,1	10	82	1,39	0,322	0,975	83	
		0,5	2	59	1	0,330	1	59	
Verres		0,01	100	149	1,58	0,357	1,151	153	0,310
		0,05	20	130	1,38	0,349	1,126	132	
		0,1	10	122	1,30	0,326	1,051	123	
		0,5	2	94	1	0,310	1	94	
Ponteil		0,01	100	142	1,87	0,300	0,940	140	0,319
		0,05	20	118	1,55	0,305	0,956	116	
		0,1	10	107	1,40	0,308	0,965	106	
		0,5	2	76	1	0,319	1	76	
Champorcher		0,01	100	188	1,58	0,431	1,271	206	0,339
		0,05	20	164	1,38	0,404	1,191	175	
		0,1	10	153	1,28	0,390	1,150	161	
		0,5	2	119	1	0,339	1	119	
Hône-Bard		0,01	100	222	1,79	0,302	0,962	220	0,314
		0,05	20	187	1,51	0,304	0,968	186	
		0,1	10	170	1,37	0,311	0,990	169	
		0,5	2	124	1	0,314	1	124	
Gressoney la Trinité		0,01	100	150	1,72	0,410	1,151	157	0,356
		0,05	20	127	1,46	0,395	1,109	132	
		0,1	10	117	1,34	0,386	1,084	120	
		0,5	2	87	1	0,356	1	87	
Guillemore		0,01	100	236	2,05	0,324	1,038	238	0,312
		0,05	20	191	1,66	0,321	1,028	192	
		0,1	10	171	1,48	0,319	1,022	172	
		0,5	2	115	1	0,312	1	115	
Ivrea		0,01	100	177	1,54	0,366	0,983	116	0,372
		0,05	20	103	1,35	0,368	0,989	103	
		0,1	10	96	1,26	0,369	0,991	96	
		0,5	2	76	1	0,372	1	76	
Aosta		0,01	100	149	1,58	0,357	1,151	153	0,310
		0,05	20	130	1,38	0,349	1,126	132	
		0,1	10	122	1,30	0,326	1,051	123	
		0,5	2	94	1	0,310	1	94	
St. Marcel		0,01	100	142	1,87	0,300	0,940	140	0,319
		0,05	20	118	1,55	0,305	0,956	116	
		0,1	10	107	1,40	0,308	0,965	106	
		0,5	2	76	1	0,319	1	76	
Champdeprez		0,01	100	188	1,58	0,431	1,271	206	0,339
		0,05	20	164	1,38	0,404	1,191	175	
		0,1	10	153	1,28	0,390	1,150	161	
		0,5	2	119	1	0,339	1	119	
Hône-Bard		0,01	100	150	1,72	0,410	1,151	157	0,356
		0,05	20	127	1,46	0,395	1,109	132	
		0,1	10	117	1,34	0,386	1,084	120	
		0,5	2	87	1	0,356	1	87	
St. Marcel		0,01	100	181	2,03	0,353	0,956	178	0,369
		0,05	20	147	1,65	0,358	0,970	145	
		0,1	10	132	1,48	0,361	0,978	130	
		0,5	2	89	1	0,369	1	89	
St. Marcel		0,01	100	101	1,87	0,327	1,031	101	0,317
		0,05	20	84	1,55	0,324	1,022	84	
		0,1	10	76	1,40	0,322	1,015	77	
		0,5	2	54	1	0,317	1	54	
St. Marcel		0,01	100	94	1,84	0,423	1,152	100	0,367
		0,05	20	78	1,52	0,407	1,108	82	
		0,1	10	71	1,39	0,398	1,084	74	
		0,5	2	51	1	0,367	1	51	
St. Marcel		0,01	100	104	1,40	0,469	1,065	106	0,440
		0,05	20	94	1,27	0,461	1,047	95	
		0,1	10	89	1,20	0,456	1,036	90	
		0,5	2	74	1	0,440	1	74	
St. Marcel		0,01	100	97	1,76	0,326	1,068	99	0,305
		0,05	20	82	1,49	0,320	1,049	83	
		0,1	10	75	1,36	0,316	1,036	76	
		0,5	2	55	1	0,305	1	55	

TABELLA XII - Verifica del t di Student sulle distribuzioni log-normali ottenute con il metodo della regressione. (Precipitazioni con durata da 1 a 5 giorni).

Stazione pluviometrica	Simboli	$t =$				
		1 giorno	2 giorni	3 giorni	4 giorni	5 giorni
I Cantina P. S. Bernardo	M'	1,7783	1,9220	1,9978	2,0624	2,0981
	M	1,7801	1,9188	1,9999	2,0575	2,1022
	σ	0,105	0,075	0,078	0,068	0,064
	$\sqrt{N} \frac{ M' - M }{\sigma}$	0,096	0,239	0,152	0,402	0,360
St. Nic las	$ t_{0,975} $	1,96				
	M'	1,7362	1,8294	1,8899	1,9327	1,9602
	M	1,7349	1,8325	1,8896	1,93	1,9615
	σ	0,098	0,096	0,098	0,090	0,089
St. Marcel	$\sqrt{N} \frac{ M' - M }{\sigma}$	0,084	0,206	0,019	0,191	0,093
	$ t_{0,975} $	1,96				
	M'	1,7351	1,8332	1,8947	1,9302	1,9529
	M	1,7375	1,8328	1,8886	1,9282	1,9589
Aosta	σ	0,119	0,103	0,121	0,119	0,116
	$\sqrt{N} \frac{ M' - M }{\sigma}$	0,133	0,025	0,332	0,110	0,341
	$ t_{0,975} $	1,96				
	M'	1,7288	1,8550	1,8885	1,9249	1,9446
St. Marcel	M	1,7415	1,8333	1,8870	1,9252	1,9547
	σ	0,110	0,095	0,114	0,113	0,111
	$\sqrt{N} \frac{ M' - M }{\sigma}$	0,715	1,428	0,081	0,016	0,565
	$ t_{0,975} $	1,96				
Hône-Bard	M'	2,0827	2,2041	2,2455	2,2855	2,3010
	M	2,0933	2,1877	2,2430	2,2822	2,3126
	σ	0,109	0,108	0,103	0,104	0,107
	$\sqrt{N} \frac{ M' - M }{\sigma}$	0,635	0,990	0,160	0,210	0,706
Ivrea	$ t_{0,975} $	1,96				
	M'	1,8760	2,0051	2,0727	2,1062	2,1351
	M	1,8841	1,9962	2,0618	2,1083	2,1444
	σ	0,079	0,077	0,076	0,075	0,079
Ivrea	$\sqrt{N} \frac{ M' - M }{\sigma}$	0,673	0,762	0,947	0,184	0,773
	$ t_{0,975} $	1,96				

A titolo esemplificativo si riportano per alcune stazioni pluviometriche i t di Student riferentesi a distribuzioni di eventi di pioggia di durata compresa tra 1 e 24 ore (tabella XI) e tra 1 e 5 giorni (tabella XII).

Si è altresì provveduto ad effettuare gli opportuni controlli di significatività della stima della varianza condizionata S^2 utilizzata nel calcolo della retta di regressione, di cui si riportano nella tabella XIII i valori per precipitazioni di durata oraria e giornaliera, limitatamente ad alcune stazioni pluviometriche.

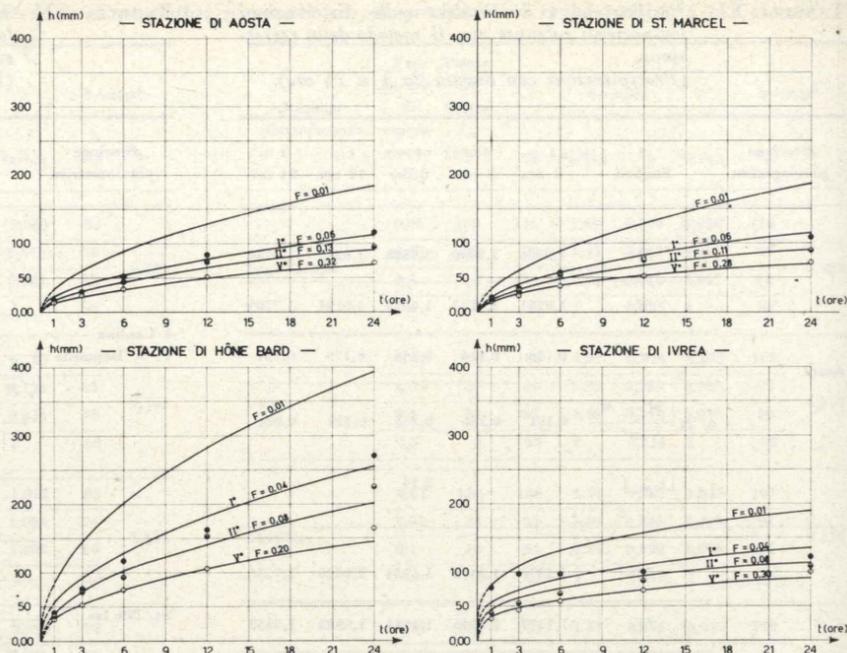
Essi risultano dello stesso ordine di grandezza delle varianze σ^2 relative alle distribuzioni dei soli eventi di ugual durata.

TABELLA XIII - Stima della varianza S^2

Stazioni pluviometriche	Precipitazioni	
	orarie	giornaliere
P. S. Bernardo	—	0,0062
St. Nicolas	—	0,0088
Aosta	0,0219	0,0132
St. Marcel	0,0207	0,0118
Champdepraz	0,0249	—
Hône-Bard	0,0331	0,0114
Ivrea	0,0207	0,0060

L'indagine comparativa sulla distribuzione log-normale e su quella del valore-limite di Fréchet è stata limitata in questa sede ad un raffronto qualitativo tra le curve di possibilità pluviometrica ottenute regolarizzando i valori osservati a mezzo delle due anzidette distribuzioni.

A tal fine sono stati riportati in diagramma, relativamente a quattro stazioni pluviografiche, le altezze di pioggia di durata oraria del 1°, 2° e 5° caso critico, nonché le corrispondenti curve di possibilità pluviometriche dedotte a mezzo di distribuzioni log-normale (fig. 2) e di Fréchet (fig. 3).



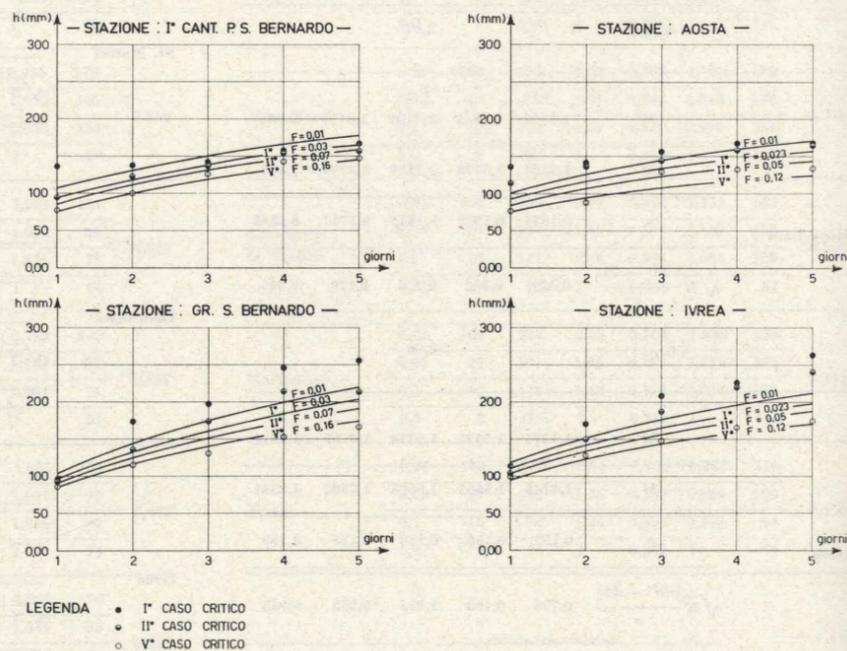
LEGENDA: ● I° CASO CRITICO
○ II° CASO CRITICO
○ V° CASO CRITICO

Fig. 3 - Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica ottenute con una regolarizzazione preliminare di Fréchet (precipitazioni di durata da 1 a 24 ore).

Il loro raffronto permette di riconoscere che in entrambi i casi le curve del 5° caso critico praticamente coincidono tra loro e con i valori osservati, mentre la differenza aumenta passando alle curve del 2° e del 1° caso critico.

La distribuzione di Fréchet sembrerebbe pertanto più idonea a rappresentare eventi di pioggia rari, a cui corrispondono minime frequenze probabili di superamento F .

Limitatamente a quattro sta-



LEGENDA: ● I° CASO CRITICO
○ II° CASO CRITICO
○ V° CASO CRITICO

Fig. 4 - Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica ottenute con una regolarizzazione preliminare di tipo log-normale (precipitazioni di durata da 1 a 5 giorni).

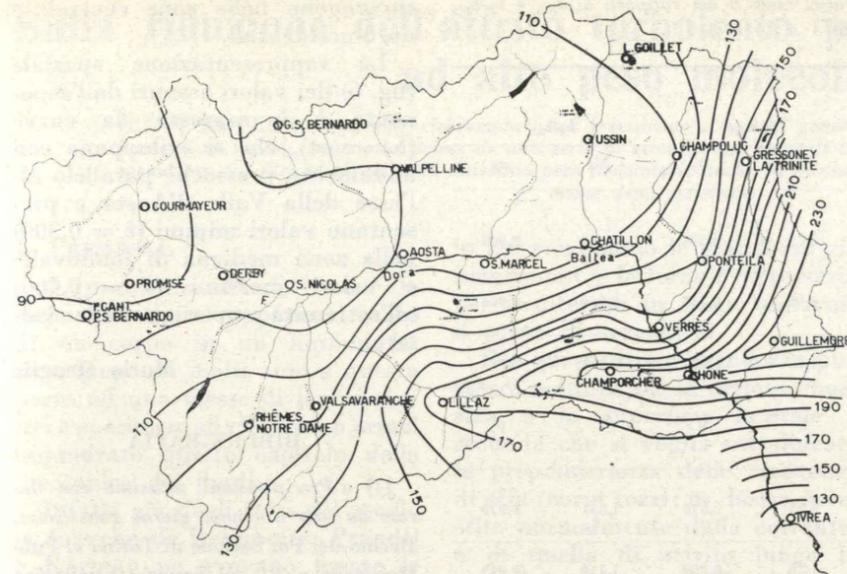


Fig. 5 - Distribuzione spaziale dei valori di $h_{1,k}$ per frequenza probabile $F=0,01$ nelle regione della Valle d'Aosta (precipitazioni di durata da 1 a 5 giorni).

zioni pluviometriche sono indicati in fig. 4 gli eventi di pioggia di durata da 1 a 5 giorni corrispondenti al 1°, 2° e 5° caso critico, nonché le relative curve di possibilità pluviometrica ottenute regolarizzandone i valori con una distribuzione log-normale.

Anche per le precipitazioni di durata giornaliera, al pari di quelle di durata oraria, la distribuzione log-normale assegna agli eventi critici di ordine più elevato valori inferiori a quelli sperimentalmente

osservati, mentre per i casi critici inferiori al 5° ordine i valori osservati e calcolati praticamente coincidono.

Si è pure provveduto a definire la correlazione esistente tra le frequenze probabili di superamento F ovvero tra il tempo di ritorno T_r , ed i valori del coefficiente a_k e dell'esponente b_k , che caratterizzano la curva di possibilità pluviometrica $h = a_k t^{b_k}$ di assegnata frequenza F_k .

A tal scopo sono stati scelti

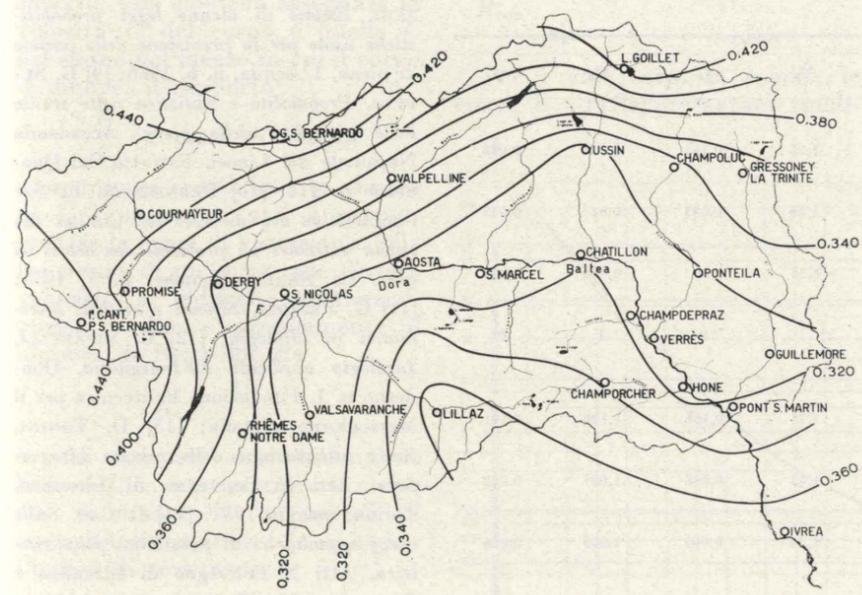


Fig. 6 - Distribuzione spaziale dei valori di b per frequenza probabile $F=0,01$ nella regione della Valle d'Aosta (precipitazioni di durata da 1 a 5 giorni).

quali parametri di riferimento quelli corrispondenti ad una frequenza $F=0,5$.

Per ogni singola stazione pluviometrica i rapporti $\frac{a_k}{a_{0.5}}$ e $\frac{b_k}{b_{0.5}}$, relativi a piogge di durata oraria e giornaliera, sono stati riportati rispettivamente nelle tabelle V e X.

Ne è risultata una significativa corrispondenza dei valori di detti rapporti di pari frequenza relativi a stazioni diverse.

In tutte le situazioni esaminate il coefficiente a_k tende, come è logico, a crescere con il tempo probabile di ritorno T_r , mentre l'esponente b_k presenta un duplice comportamento: per un gruppo di stazioni pluviometriche esso diminuisce per valori di T_r crescenti, mentre all'opposto per un secondo gruppo di stazioni presenta la tendenza ad aumentare.

Nell'ambito di ciascun gruppo di stazioni sono stati calcolati per diversi valori del tempo di ritorno T_r , le stime delle medie M e dello scarto quadratico medio σ , che i rapporti $\frac{a_k}{a_{0.5}}$ e $\frac{b_k}{b_{0.5}}$ presentano per precipitazioni di durata oraria (tab. XIV) e giornaliera (tab. XV).

Come si può osservare dalle anzidette tabelle, detti rapporti a parità di tempi di ritorno T_r sono pressoché i medesimi per tutte le stazioni prese in considerazione, risultando gli scarti dal valore medio tutti di modesta entità.

La distribuzione spaziale dei massimi eventi di pioggia di durata sia oraria che giornaliera, ricopia abbastanza fedelmente la distribuzione dei valori annuali di precipitazione nella regione aostana.

L'esame dei valori assunti dal coefficiente $h_{1,k}$, che compare nell'espressione della curva di possibilità climatica $h = h_{1,k} t^b$, mostra come, a parità di frequenza probabile F dell'evento considerato, detto coefficiente tende a crescere passando da stazioni poste nel tratto mediano della valle d'Aosta

TABELLA XIV - Valori medi M e scarti quadratici medi σ dei rapporti $a_k/a_{0,5}$ e $b_k/b_{0,5}$ (Precipitazioni con durata da 1 a 24 ore).

Stazioni pluviometriche	Tempo di ritorno T_{rm}	$a_k/a_{0,5}$		$b_k/b_{0,5}$	
		M_a	σ_a	M_b	σ_b
Champdepraz, Verres, Hône-Bard, Pont S. Martin, Ivrea.	100	2,52	0,274	0,944	0,042
	20	1,92	0,135	0,960	0,060
	10	1,66	0,085	0,968	0,023
	2	1	0	1	0
Lillaz, Aosta, S. Marcel, Guillemore.	100	2,23	0,370	1,55	0,070
	20	1,76	0,208	1,110	0,049
	10	1,49	0,234	1,085	0,068
	2	1	0	1	0

a quelle situate nelle zone periferiche del bacino idrografico.

Detta distribuzione risulta evidente dalla rappresentazione isoietografica (fig. 5) dei valori di h_{1k} , corrispondenti ad eventi di durata

pari ad 1 giorno con frequenza probabile $F = 0,01$.

L'andamento delle isoiete è caratterizzato da valori elevati di h_{1k} nella zona sud-orientale del bacino, mentre i valori minimi si

TABELLA XV - Valori medi M e scarti quadratici medi σ dei rapporti $a_k/a_{0,5}$ e $b_k/b_{0,5}$ (Precipitazioni con durata da 1 a 5 giorni).

Stazioni pluviometriche	Tempo di ritorno T_{re}	$a_k/a_{0,5}$		$b_k/b_{0,5}$	
		M_a	σ_a	M_b	σ_b
Courmayeur, 1° Cant. P. S. Bernardo, Derby, St. Nicolas, Lillaz, Lago Goillet, Ussin, Champoluc, Ponteila, Hône Bard, Ivrea.	100	1,75	0,134	0,924	0,078
	20	1,48	0,083	0,947	0,055
	10	1,36	0,06	0,960	0,043
	2	1	0	1	0
Promise, Rhemes N. Dames, Valsavaranche, Aosta, Valpelline, G. S. Bernardo, St. Marcel, Chatillon, Verres, Champocher, Gressoney, Guillemore.	100	1,71	0,166	1,120	0,101
	20	1,45	0,098	1,087	0,072
	10	1,34	0,069	1,063	0,056
	2	1	0	1	0

rinvengono nelle zone centrali e nord-occidentali.

La rappresentazione spaziale (fig. 6) dei valori assunti dall'esponente b è espressa da curve ($b = \text{cost}$), che si sviluppano con andamento pressoché parallelo all'asse della Valle d'Aosta e presentano valori minimi ($b = 0,300$) nella zona mediana di fondovalle e valori massimi ($b = 0,460$) all'estremità superiore delle valli.

Mario Quaglia

BIBLIOGRAFIA

- [1] « Precipitazioni massime con durata da uno a cinque giorni consecutivi. Bacino del Po, Sezione di Torino ». Pubblicazione n. 25 del Servizio Idrografico Italiano, Fascicolo XI, C; [2] C. BATINI, T. GAZZOLO, *Precipitazioni atmosferiche massime in un giorno avvenute in Italia nel quarantennio 1921-1960*, Servizio Idrografico Centrale, Memorie e Studi Idrografici, Volume III (Nuova Serie), 1965; [3] G. SUPINO, *Le reti idrauliche*, Bologna, Ed. Patron; [4] E. GUGGINO PICONE, *Sulle frequenze probabili delle piogge di notevole intensità e di breve durata*, *Tecnica Agricola* n. 2, 1967; [5] C. SINISCALCHI, *Una analisi regionale delle maggiori piogge di un giorno*, *L'Acqua* n. 5, 1966; [6] A. HORLEZ und H. R. RHEIN, *Die Intensitäten der Starkregen in der Schweiz*, *Revue Suisse d'Hydrologie*, Fasc. n. 2, 1962; [7] D. TONINI, *Elementi di idrografia ed idrologia*, Libreria Universitaria, Venezia; [8] E. LAZARI, *Esame di alcune leggi probabilistiche usate per la previsione delle portate di piena*, *L'Acqua*, n. 6, 1966; [9] G. SUPINO, *Probabilità e statistica nello studio delle piogge e delle piene*, *Accademia Nazionale dei Lincei, Estratto dal Quaderno n. 112*; [10] BERNIER M. J., *Sur l'application des diverses lois limites des valeurs extremes au problème des debits de crue*, *La Houille Blanche*, n. 5, 1956; [11] G. PEZZOLI, *Schemi e modelli matematici in idrologia*; [12] C. VIPARELLI, *Idrologia applicata all'Ingegneria*, Quaderno n. 1, Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia; [13] D. TONINI, *Sulla utilizzazione delle misure idrografiche*, *Atti V Convegno di Idraulica*, Torino, maggio 1957; [14] C. CAO, *Sulle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica*, *Atti X Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Cagliari, febbraio 1967.

Sulla riduzione dell'attrito turbolento per mezzo di polimeri ad alto peso molecolare

LUIGI BUTERA, dopo aver richiamato assai brevemente i concetti generali sulla resistenza al moto di corpi immersi in liquidi, espone la prima di una serie di ricerche sperimentali intese a cercare di chiarire il meccanismo con cui alcune sostanze ad altissimo peso molecolare, anche in minime concentrazioni, attenuano notevolmente detta resistenza.

1. PREMESSA.

Il problema d'individuare la resistenza che si oppone al moto di un corpo in un liquido ha dato luogo da molti anni a questa parte ad una messe di lavori teorici e sperimentali che hanno ormai inquadrato questo capitolo della meccanica dei fluidi.

Infatti già dagli inizi del secolo le ricerche di Helmholtz, Prandtl e Kàrmàn ne avevano fissate le basi teoriche e fornito le principali direttive per le ulteriori ricerche sperimentali che sono andate via via sviluppandosi con l'affinamento della tecnologia meccanica e con la costruzione di gallerie aerodinamiche di dimensioni un tempo impensabili grazie alle quali è stato possibile studiare dapprima corpi a geometria semplice (sfere, cilindri, corpi fusiformi) per passare successivamente a corpi di geometria assai più complessa.

Coi risultati dell'analisi dimensionale è stato poi possibile esprimere i risultati di questa enorme mole di lavoro tramite un modesto numero di grandezze adimensionali; anzi se si opera in un campo di velocità non eccessivamente elevato, tale cioè che assegnata la velocità U del corpo e quella C del suono nel mezzo in cui il corpo si muove, il rapporto

$$\frac{U}{C} \text{ (numero di Mach)}$$

si mantenga sensibilmente minore di 1, i parametri atti a rappresentare la legge di variazione della resistenza di un corpo alle diverse velocità, si riducono sostanzialmente a due e precisamente il numero di Reynolds Re

$$Re = \frac{UL}{\nu}$$

in cui compare una dimensione lineare L a caratterizzare il corpo che si muove in un mezzo di viscosità cinematica ν ($\nu = \mu/\rho$), e l'indice di resistenza λ

$$\lambda = \frac{F}{\rho U^2 \Omega}$$

in cui compaiono le grandezze già menzionate e la forza F necessaria per mantenere in moto uniforme il corpo di sezione Ω .

Per quest'ultima grandezza può essere assunta sia la sezione maestra o la superficie laterale a seconda che si voglia sottolineare la preponderanza delle resistenze di scia (corpi tozzi: es. lastre investite normalmente dalla corrente) o di quella di attrito lungo la superficie di contatto fra il mezzo ed il corpo in esame (corpi fusiformi, profili penetranti).

Orientativamente, e per numeri di Reynolds abbastanza elevati, possono essere indicativi i seguenti rapporti [1] tra la resistenza di attrito e di scia:

	Cilindro ad estremità affusolate: sagoma dei dirigibili Zeppelin.	Profilo penetrante affusolato alla coda, diametro max a 1/5 della lunghezza.	Profilo pisciforme, diametro massimo prima della metà.
$\frac{R_{\text{attrito}}}{R_{\text{scia}}}$	0,9	0,68	0,65

Per i vari corpi in esame, le curve $\lambda = f(Re)$ presentano quali-

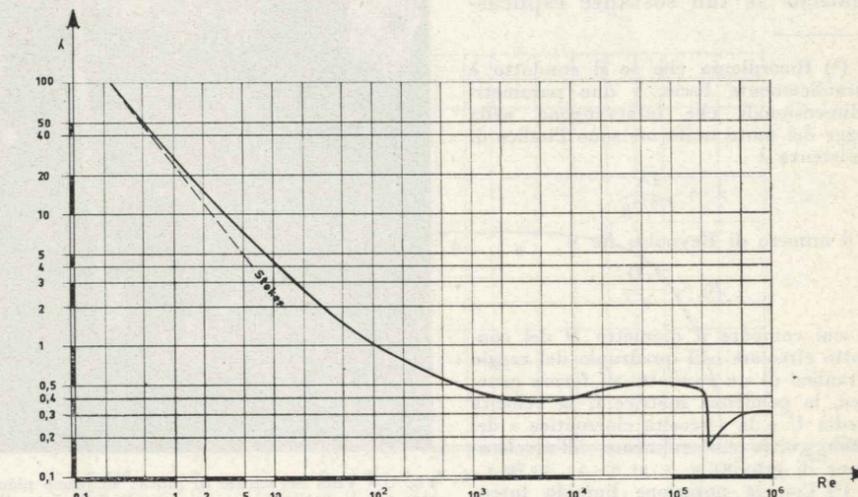


Fig. 1 - Sfera. Andamento dell'indice di resistenza in funzione del numero di Reynolds.

tivamente l'andamento riportato in figura 1 [2]; per numeri di Reynolds molto bassi la resistenza è prevalentemente di attrito (laminare, lungo tutto il corpo) mentre al crescere di tale parametro la curva si discosta dell'andamento rettilineo e raggiunge un tratto praticamente costante ($F \equiv U^2$) passando per un minimo che corrisponde al formarsi della schiera vorticososa di Kàrmàn.

Successivamente l'indice di resistenza, dopo aver presentato una brusca caduta per un numero di Reynolds variabile da corpo a corpo e con le modalità di sperimentazione, assume un andamento costante su valori marcatamente minori di quelli assunti in precedenza.

Così per la sfera nel tratto approssimativamente costante è $\lambda \cong 0,235$, dopo la brusca discesa $\lambda \cong 0,09$; per il cilindro investito perpendicolarmente all'asse si hanno invece rispettivamente i due valori 0,45 e 0,15.

A prescindere dal contenuto concettuale, è ovvio che le curve $\lambda = f(Re)$ sono di grande utilità anche sotto l'aspetto pratico: in relazione alle più frequenti condizioni di funzionamento del corpo, sarà più conveniente cercare di ridurre la resistenza d'attrito o di scia operando sulle minute aspe-

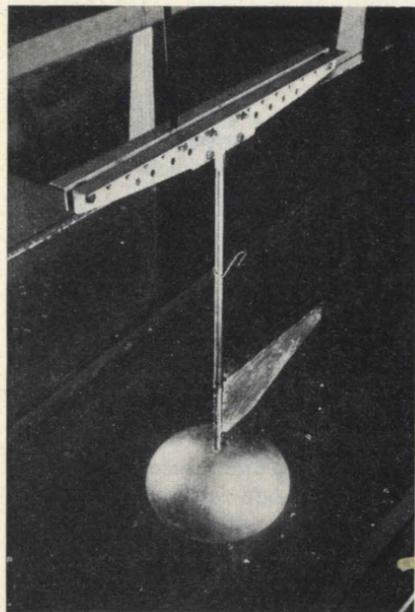


Fig. 2 - La sfera ed il carrello ad essa solidale.

rità della superficie laterale o sulla sagoma del corpo.

Tuttavia da qualche tempo a questa parte, specie ad opera di ricercatori americani, si è constatato che opportune sostanze a peso molecolare elevatissimo ($\approx 4.000.000$) introdotte in acqua in percentuali molto ridotte (da 10 a 25 parti per milione) erano in grado di ridurre in maniera sensibile l'attrito turbolento nel moto di fluidi in condotti [3] ... [7], vale a dire si constatava una sensibile riduzione dell'indice di resistenza λ a parità di numero di Reynolds Re ⁽¹⁾ [8].

Sulla scorta di tali risultati non è apparso quindi fuori luogo indagare con una serie di prove sistematiche se tali sostanze esplicas-

⁽¹⁾ Ricordiamo che se il condotto è idraulicamente liscio, i due parametri adimensionali che intervengono nella legge del moto uniforme sono l'indice di resistenza λ

$$\lambda = \frac{Di}{U^2/2g}$$

e il numero di Reynolds Re

$$Re = \frac{UD}{\nu}$$

in cui compare il diametro D del condotto circolare o il quadruplo del raggio idraulico di un condotto di forma generica, la pendenza motrice i , la velocità media U e la viscosità cinematica ν del fluido, oltre naturalmente all'accelerazione di gravità g .

⁽²⁾ Con la notazione limpida intendiamo acqua in assenza di polimero.

sero un certo effetto riduttore anche nei riguardi della resistenza di corpi immersi moventesi in seno ad un fluido.

2. APPARECCHIATURA SPERIMENTALE.

Le prime prove sono state condotte operando su una sfera (fig. 2) di cui è nota la curva di resistenza: le prove su questo corpo in acqua limpida ⁽²⁾ avevano quindi lo scopo di controllare l'attendibilità dei risultati ottenuti con l'apparecchiatura sperimentale indicata in fig. 3 e costituita da un canale delle dimensioni 90×90 cm e lungo circa 16 m, con pareti in vetro, lungo il quale si è teso un cavo di acciaio armonico forte-

mente contrappesato su cui veniva fatto scorrere un carrello solidale al corpo in esame trascinato da una forza rappresentata dalla metà del peso P che scendeva dall'alto e che agiva mediante il tirante T .

Naturalmente questo dispositivo ha richiesto l'adozione di una camera stagna tenuta in pressione da un compressore d'aria (fig. 4), in cui alloggiava la carrucola di rinvio, realizzata, al pari delle altre fisse o mobili e delle ruote del carrello, mediante corone in plexiglas calettate su cuscinetti di corrente produzione e lubrificati con olio estremamente fluido.

Si sono così ottenute parti in rotazione praticamente prive di attrito, come si è potuto controllare interponendo un dinamometro

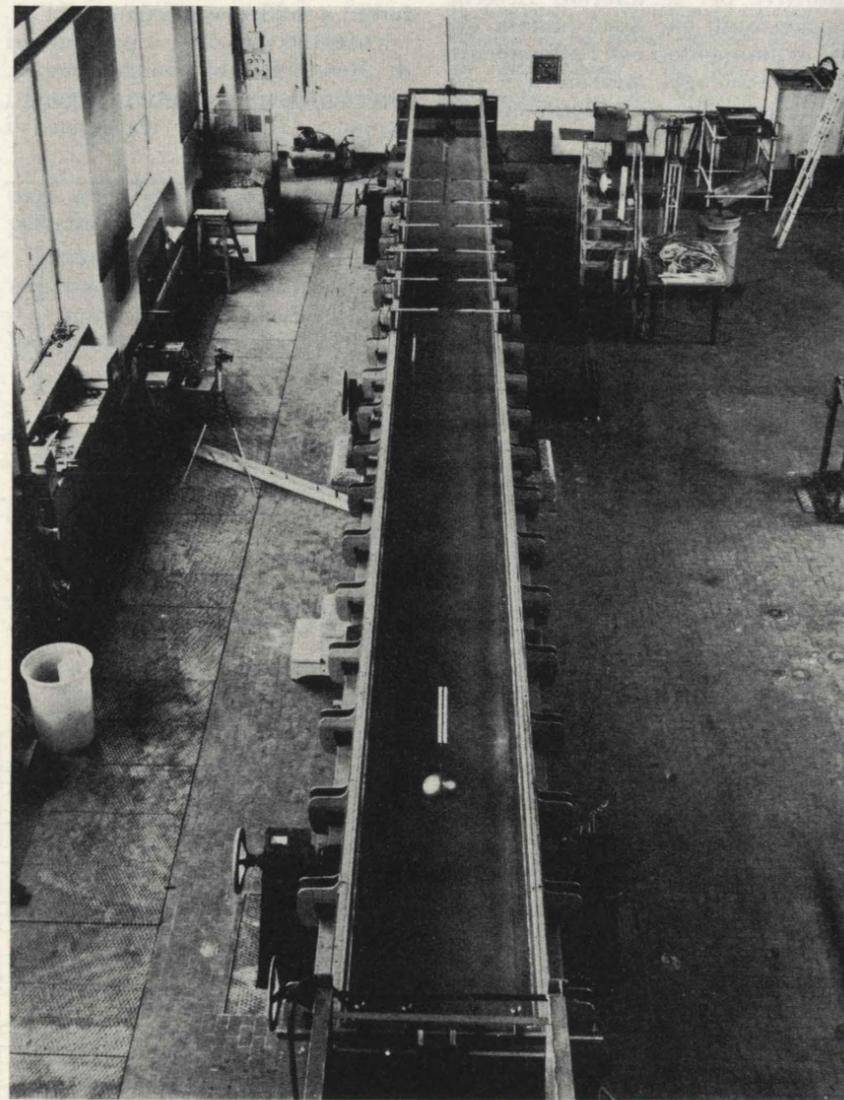


Fig. 3 - Vista del canale di prova: in primo piano la sfera; al centro a sinistra le apparecchiature per la registrazione dei segnali delle fotocellule, sullo sfondo il compressore per la messa in pressione della scatola stagna.

preventivamente tarato tra il tirante T ed il carrello.

Per valutare la velocità del corpo in esame si sono inserite nella parte centrale del canale 6 fotocellule, a riposta molto rapida, intervallate di m 0,75 ed il cui segnale veniva inviato ad un opportuno registratore (fig. 5).

Il canale è risultato quindi suddiviso in tre tratti distinti: un primo tratto di circa 8 metri per il raggiungimento di un moto a regime, un secondo tratto di m 3,75 per la misura della velocità ed un ultimo tratto di 4 metri per l'arresto del corpo stesso.

zioni o alle caratteristiche intrinseche della scia, delle oscillazioni trasversali tali da influire in modo sensibile sulle misure delle grandezze in gioco ed in particolare della velocità.

Per stabilizzare ulteriormente il movimento si è reso necessario inserire una aletta direttrice (fig. 2) sagomata in modo da interferire il meno possibile col campo di moto in prossimità della sfera, mentre si è controllato mediante iniezioni di liquido colorato che l'influenza reciproca, tra sfera e asta di supporto fosse pressochè trascurabile.

Per ogni prova si è computata la forza netta agente (depurata cioè di quella passiva sull'asta e sul timone, invero di lieve entità) e la velocità tramite il rilievo dei segnali delle fotocellule.

Si sono potuti ottenere così i punti riportati in tabella I e fig. 6 che denotano una sufficiente concordanza con la curva di resistenza usualmente adottata.

Si è passati quindi ad individuare la curva di resistenza in presenza di polimero con quantitativi di 10 e 25 p.p.m. (dosi già

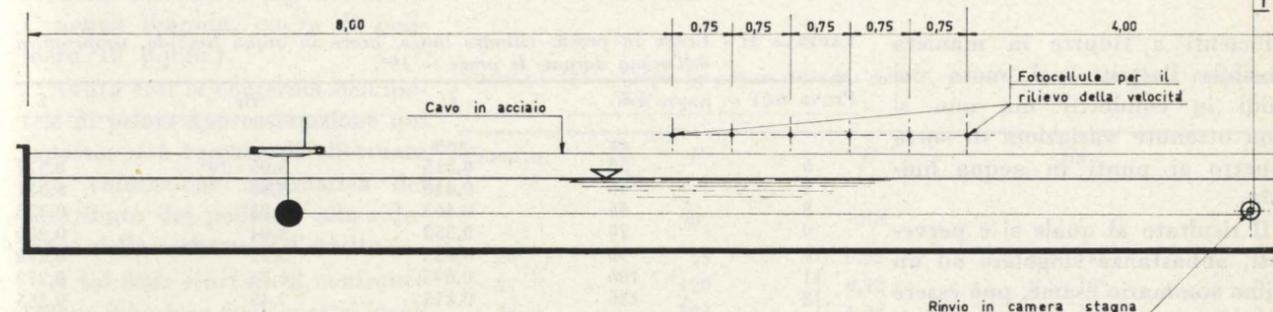


Fig. 4 - Apparecchiatura sperimentale.

3. RISULTATI SPERIMENTALI.

Dopo alcune prove di carattere orientativo si è proceduto ad individuare alcuni punti della curva che caratterizza, per la sfera, il legame tra l'indice di resistenza λ ed il numero di Reynolds Re .

TABELLA I - Corpo in prova: sfera, prove in acqua limpida, temperatura dell'acqua durante le prove $\sim 17^\circ$.

Prova n.	F	U	Re	λ
	gr	m/s		
1	42	0,23	$4,22 \cdot 10^4$	0,24
2	85	0,32	5,9	0,25
3	164	0,47	8,6	0,228
4	244	0,58	$1,06 \cdot 10^5$	0,223
5	413	0,75	$1,38 \cdot 10^5$	0,23



Fig. 5 - Apparecchiatura di registrazione.

Circa il campo di sperimentazione ci si è orientati su valori di velocità e di forze contenuti entro ragionevoli limiti: sono stati scartati infatti valori troppo modesti o troppo elevati; gli uni per operare su grandezze facilmente apprezzabili; gli altri per evitare che il corpo in prova presentasse, in seguito alle inevitabili imperfe-

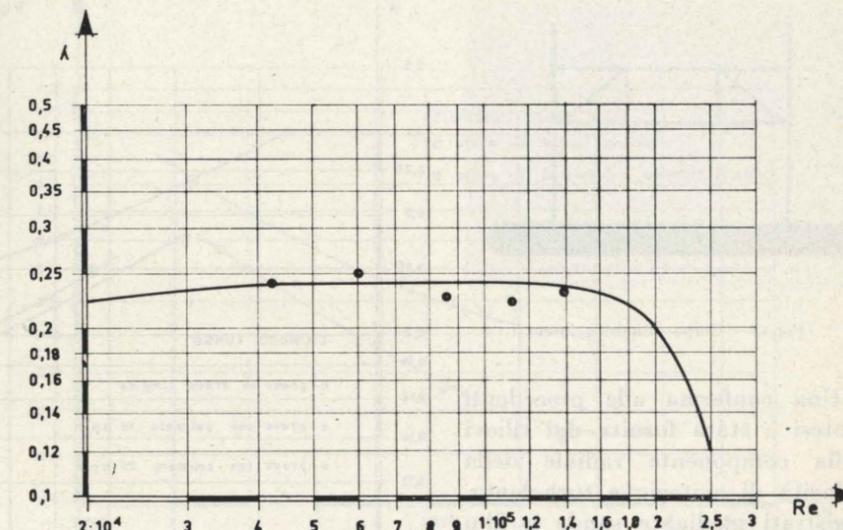


Fig. 6 - Curva di resistenza della sfera e punti sperimentali ottenuti.

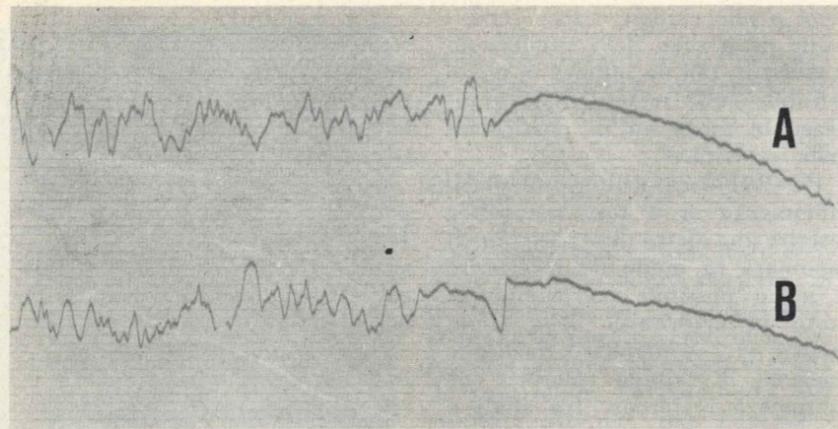


Fig. 7 - Rilevi di turbolenza per la sfera (curva A in acqua limpida, curva B in presenza di polimero).

sufficienti a ridurre in maniera sensibile l'attrito nel moto dei fluidi in condotti) ma non si sono ottenute variazioni di sorta rispetto ai punti in acqua limpida.

Il risultato al quale si è pervenuti, abbastanza singolare ad un primo sommario esame, può essere giustificato se si suppone che tali sostanze esplicano la loro azione solo sulla turbolenza microvorticosa degli strati prossimi alla superficie laterale del corpo, lasciando invece inalterata la vorticità della scia e la corrispondente resistenza che si identifica con quella totale se preponderante rispetto a quella d'attrito (caso della sfera, nel campo di sperimentazione).

TABELLA II - Corpo in prova: cilindro lungo, prove in acqua limpida, temperatura dell'acqua durante le prove ~ 19°.

Prova n.	F	U	Re	λ
	gr	m/s		
6	30	0,315	$3,05 \cdot 10^4$	0,377
7	46	0,416	3,80	0,331
8	56	0,463	4,23	0,326
9	70	0,552	5,04	0,286
10	90	0,635	5,81	0,278
11	106	0,695	6,35	0,273
12	136	0,815	7,45	0,255
13	172	0,940	8,6	0,243
14	260	1,27	$1,06 \cdot 10^5$	0,237
15	380	1,47	1,33	0,218
prove in presenza di polimero - 10 p.p.m.				
16	60	0,547	$5,29 \cdot 10^4$	0,250
17	110	0,815	7,88	0,206
18	180	1,12	$1,09 \cdot 10^5$	0,18
19	260	1,34	1,29	0,18
20	380	1,60	1,54	0,185
prove in presenza di polimero - 25 p.p.m.				
21	35	0,395	$3,82 \cdot 10^4$	0,280
22	60	0,55	5,3	0,249
23	110	0,845	8,17	0,192
24	260	1,35	$1,30 \cdot 10^5$	0,178
25	380	1,56	1,51	0,194

10 cm dietro la sfera, di cui si riportano in figura 7 gli andamenti sostanzialmente analoghi per l'acqua limpida (curva A) e per l'acqua addizionata con polimero (10 p.p.m. curva B), e dalle successive prove eseguite su un corpo cilindrico a testa e coda emisferiche, diametro 10 cm e lunghezza complessiva cm 101 (fig. 8), a prevalente resistenza d'attrito, del quale si sono rilevate le curve caratteristiche in acqua limpida e in presenza di polimero alle dosi di 10 e 25 p.p.m. (tabella II e fig. 9).

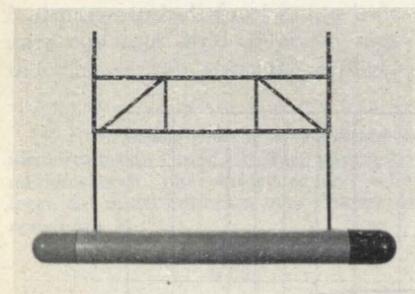


Fig. 8 - Corpo cilindrico lungo.

Una conferma alle precedenti ipotesi è stata fornita dai rilievi della componente radiale della velocità di agitazione turbolenta, registrati mediante sonde a film caldo per liquidi disposte circa

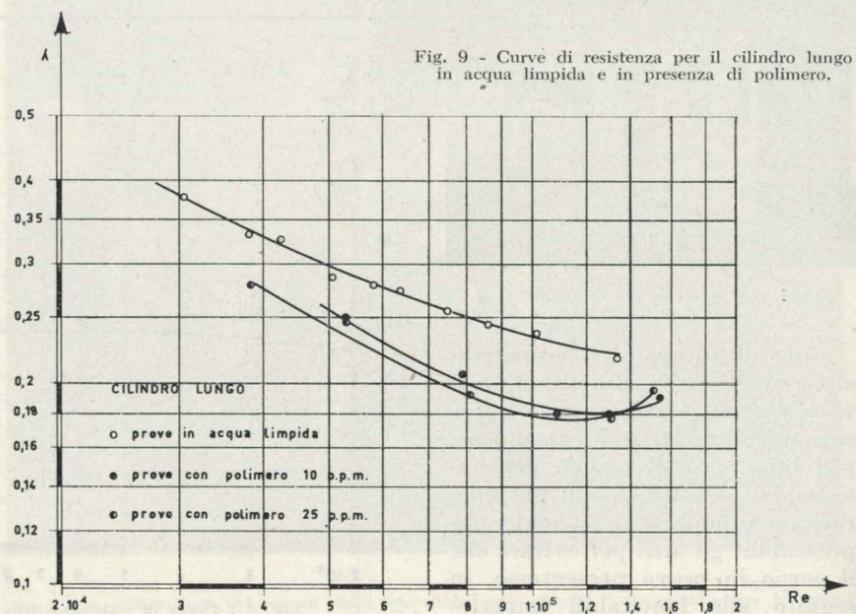


Fig. 9 - Curve di resistenza per il cilindro lungo in acqua limpida e in presenza di polimero.

Si nota in questo caso una sensibile riduzione dell'indice di resistenza λ (dell'ordine del 22% mediamente) mentre, fatto abbastanza caratteristico, le curve a differente concentrazione non presentano sensibili differenze fra loro.

In prossimità della superficie del corpo e a distanza di circa 60 cm dalla testa sono poi stati effettuati dei rilievi di turbolenza analoghi a quelli eseguiti sulla sfera, che denotano inequivocabilmente l'effetto riduttore delle sostanze introdotte (fig. 10, curva C acqua limpida, curva D polimero 10 p.p.m.).

Avuta così la conferma dell'ipotesi di prima approssimazione qui esposta, si è cercato di effettuare una valutazione schematica del contributo dei polimeri alla riduzione della resistenza d'attrito.

A tal fine, scartato il confronto troppo laborioso degli spettri locali di turbolenza in precedenza ottenuti, si è costruito un corpo cilindrico analogo al primo, ma più corto (cm 43,5 complessivamente), in modo da ridurre il contributo della resistenza d'attrito rispetto al caso precedente.

Le prove su questo corpo, saggiato alla concentrazione di 25 p.p.m. e in acqua limpida e che hanno fornito i risultati indicati in tabella III e fig. 11 consentono di istituire un confronto che pare di un certo interesse, tra i due corpi in esame.

Riportando infatti in un diagramma (fig. 12) le velocità in funzione delle forze nelle diverse condizioni di sperimentazione (acqua limpida o acqua con aggiunta di polimero) si può constatare che per le prove in acqua limpida, a parità di forza, il corpo corto presenta valori di velocità 1,3 volte maggiori rispetto a quello lungo, mentre in presenza di polimero tale valore risulta sicuramente più basso e pari a circa 1,25.

Al fine della successiva elaborazione si supponrà che i due corpi

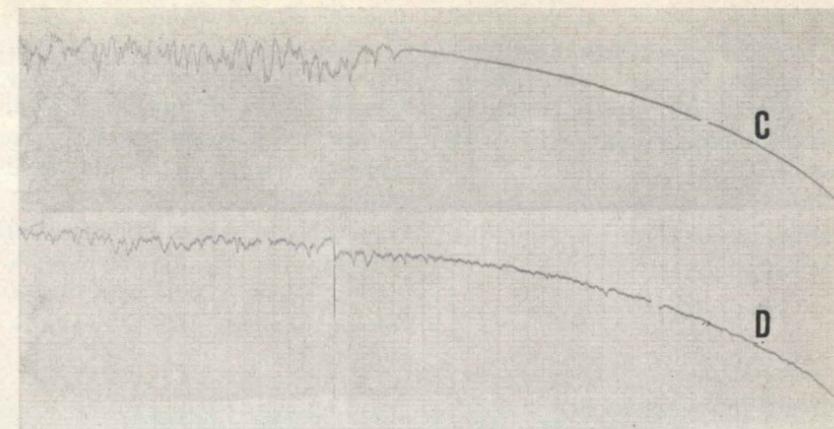


Fig. 10 - Rilevi di turbolenza per il corpo cilindrico lungo (curva C in acqua limpida, curva D in presenza di polimero).

TABELLA III - Corpo in prova: cilindro corto*, prove in acqua limpida, temperatura dell'acqua ~ 19°.

Prova n.	F	U	Re	λ
	gr	m/s		
26	65	0,65	$6,3 \cdot 10^4$	0,192
27	120	0,98	$9,5 \cdot 10^4$	0,156
28	182	1,24	$1,2 \cdot 10^5$	0,148
29	230	1,44	1,39	0,139
prove in presenza di polimero - 25 p.p.m.				
30	62	0,68	$6,6 \cdot 10^4$	0,167
31	110	1,05	$1,03 \cdot 10^5$	0,125
32	168	1,36	1,31	0,113
33	215	1,5	1,45	0,12
34	235	1,6	1,55	0,115

* Orientativamente, per un corpo analogo a quello in esame, ma lungo solo 3 volte il diametro in [1], appendice, è riportato il valore $\lambda = 0,096$, ottenuto però per $Re = 10^7$ e quindi sicuramente dopo la caduta corrispondente al numero critico.

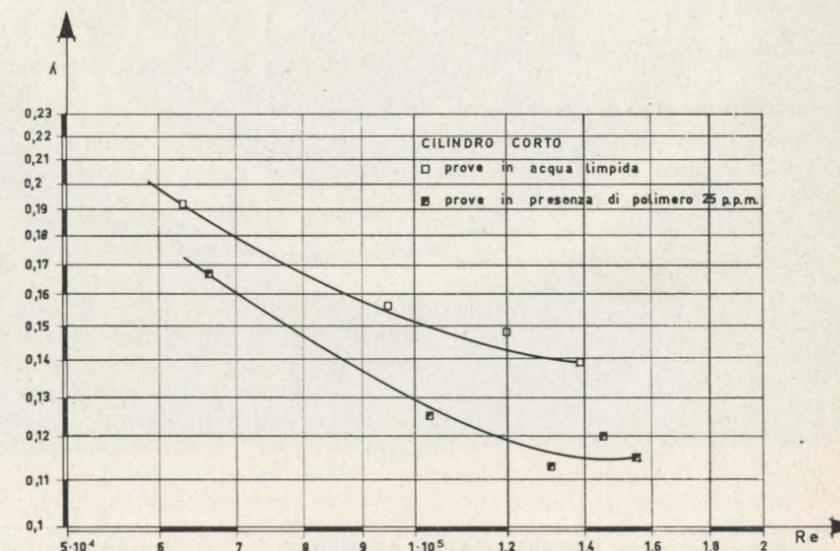


Fig. 11 - Curve di resistenza per il cilindro corto in acqua limpida e in presenza di polimero.

presentino uguale resistenza di scia e che essa, in base ai risultati desunti per la sfera, non si modifichi sostanzialmente operando in acqua limpida od in presenza di polimero.

Per l'acqua limpida potremo scrivere per il corpo corto, (indice c alle grandezze):

$$F = \alpha K_s U_c^2 + K_s U_c^2$$

avendo scisso cioè la resistenza totale F in resistenza di scia $K_s U_c^2$

e poichè $U_c \simeq 1,3 U_l$ e $m \simeq 2,3$ si desume $\alpha = 0,85$ quindi per il corpo corto la resistenza di attrito è circa l'85% di quella di scia, mentre per il corpo lungo il loro rapporto viene ad assumere il valore 2,13.

Istituito lo stesso raffronto nel caso di presenza di polimero, e tenuto presente che ora U_c/U_l vale mediamente 1,25 si ricava in questo caso

$$\alpha = 0,58$$

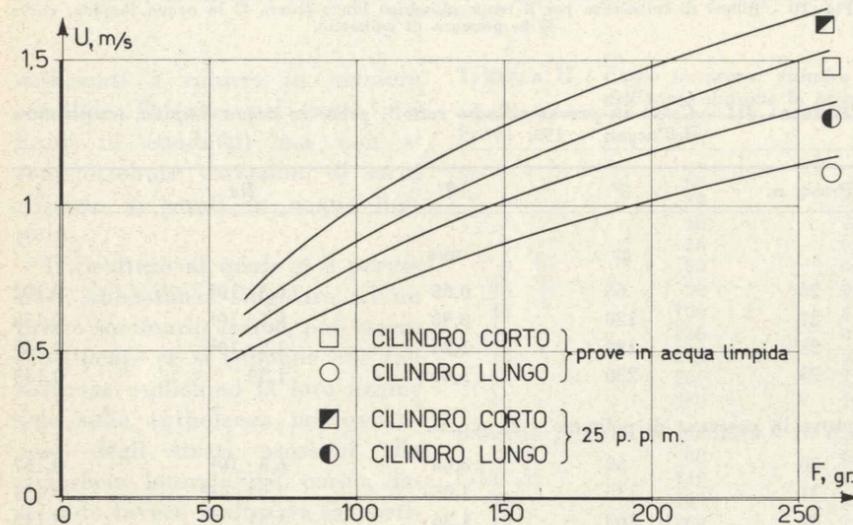


Fig. 12 - Andamento delle velocità in funzione delle forze agenti per i due corpi in esame.

e di attrito $\alpha K_s U_c^2$ con α per ora incognito. Analogamente per il corpo lungo (indice l), a parità di forza, sarà:

$$F = m \alpha K_s U_l^2 + K_s U_l^2$$

ove m rappresenta il rapporto tra le superfici laterali dei due corpi (su cui si esplica la resistenza di attrito) e K_s è stato assunto pari a quello del corpo corto, almeno in prima approssimazione, attese le modeste variazioni della velocità a parità di forza agente.

Si ricava quindi

$$U_c = \sqrt{\frac{1+m\alpha}{1+\alpha}} \cdot U_l$$

La riduzione percentuale risulterebbe quindi

per il corpo corto	}	31,8% sulla resistenza di attrito
		15% sulla resistenza totale
per il corpo lungo	}	31,8% sulla resistenza di attrito
		21,7% sulla resistenza totale

in buon accordo con le riduzioni globali che si desumono esaminando separatamente le coppie di curve $\lambda(Re)$ in acqua limpida e in presenza di polimero per i due corpi.

Una ulteriore e più approfondita indagine sarà in seguito affrontata con attrezzature più complesse di quelle adottate.

Non si deve però dimenticare, a nostro avviso, che l'uso di sostanze analoghe a quelle sperimentate, dovrebbe essere limitato alle sole prove di laboratorio intese a chiarire qualche aspetto della turbolenza generata da un corpo moventesi in un mezzo fluido, perchè se anche con ulteriori e più raffinate prove o con concentrazioni più elevate si ottenessero riduzioni ancor più sensibili nella resistenza, che ne suggerissero l'uso su scala industriale, tale vantaggio non sarebbe certo compensato dall'inquinamento che si verrebbe a produrre nei nostri corsi d'acqua e nelle acque costiere già ampiamente compromesse nel loro equilibrio biologico da scarichi industriali di ogni sorta.

Luigi Butera

BIBLIOGRAFIA

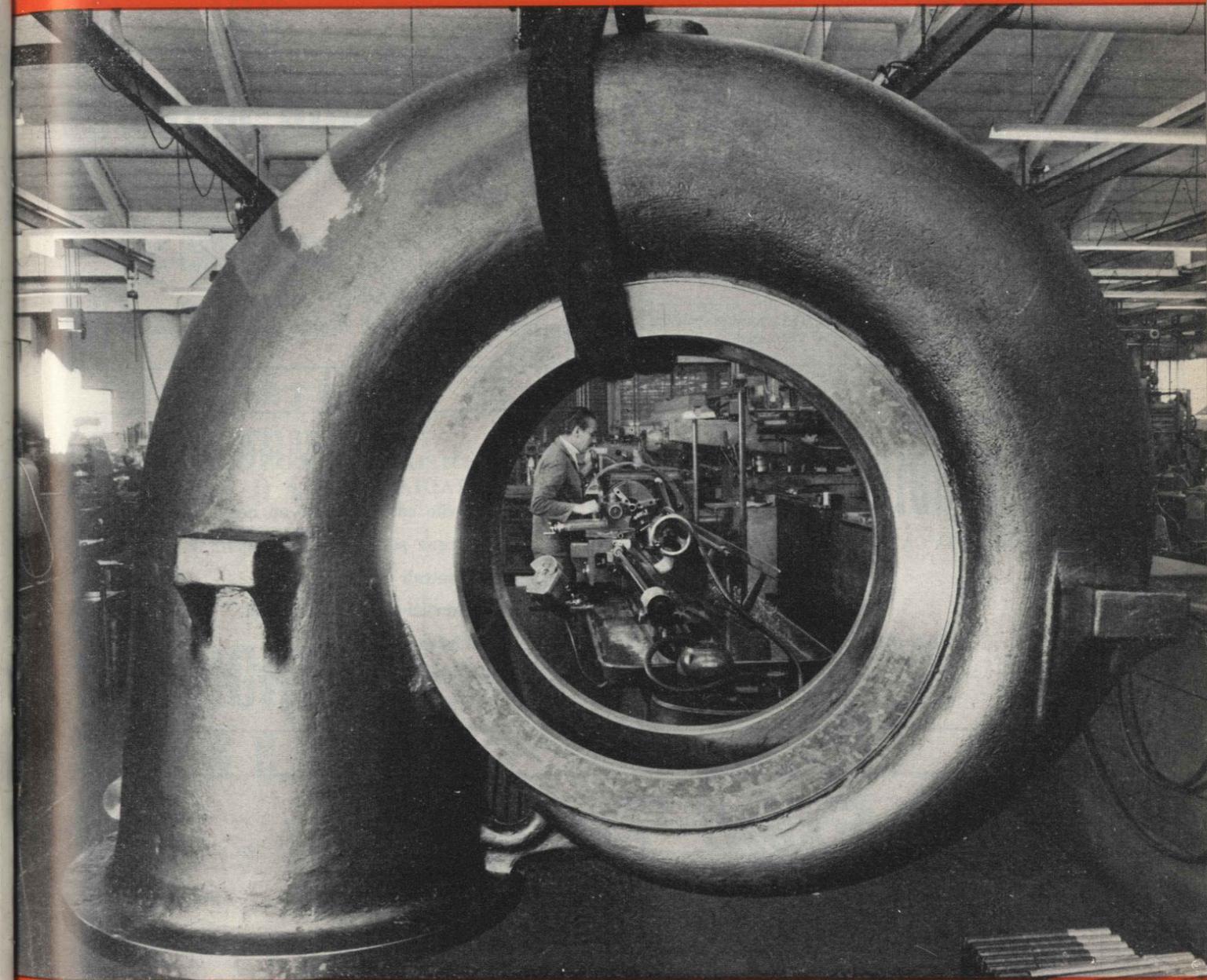
- [1] B. FINZI e G. BOZZA, *Resistenza idro ed aerodinamica, Appendice*, Edizioni Principato, Milano; [2] L. PRANDTL, O. TIETJENS, *Hydro, und Aeromechanik*; [3] B. A. TOMS, *Some Observations on the Flow of Linear Polymer Solutions through Straight Tubes at Large Reynolds Number*, Proc. International Congress of Rheology, 1948, vol. II, p. 135; [4] A. G. FABULA, *The Toms Phenomenon in the Turbulent Flow of Very Dilute Polymer Solutions*, 4th International Congress on Rheology, Brown University, Providence, R. I., 26-30 August 1963; [5] C. ELATA, J. TIROSCH, *Frictional Drag Reduction*, Israel Journal of Technology, 3 (1964) p. 1; [6] LINDGREN, E. RUNE, *Some aspects of the Change between Laminar and Turbulent Flow of Liquids in Cylindrical Tubes*, «Arkiv för Fysik», 7 (1953), p. 293; [7] *Reader Service Card*, (Circle 316 on), «Chemical Engineering», August 1966; [8] G. PEZZOLI, *Problemi di moto uniforme di fluidi in condotti*, l'Energia Elettrica, Febbraio 1969.

POMPE GABBIONETA

S.p.A.

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

20131 MILANO Via Paisiello 10



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

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

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

Direttore responsabile: **AUGUSTO CAVALLARI-MURAT**

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

STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE - TORINO

COPERTURE IMPERMEABILI

GAY

di Dott. Ing. V. BLASI

Impermeabilizzazioni e manti
per tetti piani o curvi, cornicioni,
terrazzi, sottotetti, fondazioni.

VIA MAROCHETTI 6. TORINO. TEL. 690.568

DOTT. ING. VENANZIO LAUDI

IMPIANTI RAZIONALI TERMICI

E IDRICO SANITARI

TORINO - VIA MADAMA CRISTINA 62

TELEF. DIREZIONE: 683.226 • TELEF. UFFICI: 682.210

SIET

SOCIETÀ INDUSTRIE ELETTRICHE TORINO

IMPIANTI *elettrici antideflagranti* - PROIETTORI
LINEE *trasporto energie* - Centrali e cabine elettriche -
IMPIANTI *elettrici industriali e civili di ogni tipo*

TORINO - VIA CHAMBERY 39 - TEL. 70.17.78 - 70.17.79
ROMA - VIA DEI CRISPOLTI 11 - TEL. 43.38.41 - 43.39.91

DITTA Zaglio Mario

TORINO - Via Monte di Pietà N° 1
Tel. 546.029

Tutti i tipi di CEMENTO comuni e speciali, Nazionali ed Esteri
CALCE di ogni qualità
GESSI da forma e da Costruzioni

ING. TURBIGLIO & GARIGLIO

TORINO - VIA GATTINARA 11 - TEL. 87.75.96-87.34.95

IMPIANTI A CONVEZIONE
RADIAZIONE

civile ed industriale ad acqua calda

Acqua surriscaldata a vapore

Centrali termiche

Condizionamento dell'aria

Essiccatoi

IMPIANTI IDROSANITARI

Eredi Traschetti

INDUSTRIA SPECIALIZZATA INSTALLAZIONE GRANDI IMPIANTI

Anno di fondazione 1898

IMPIANTI TERMICI - RADIAZIONE - AEROMECCANICI - CONDIZIONAMENTO
IDRO-SANITARI - LAVANDERIE - CUCINE - GESTIONE IMPIANTI DI RISCALDAMENTO

Sede: TORINO - Via P. Baiardi, 31 - Telefono 67.54.44 (4 linee)