

Verbale dell'Assemblea dei Soci

riunita in sessione ordinaria l'11 novembre 1963 presso la sede sociale per deliberare sul seguente Ordine del Giorno:

- 1) *Approvazione del verbale dell'Assemblea tenuta in data 6 maggio 1963;*
- 2) *Ammissione di nuovi Soci;*
- 3) *Elezione delle cariche sociali per il prossimo triennio '64-66.*

L'Assemblea ha inizio alle ore 21, in seconda convocazione, sotto la presidenza dell'ing. Mario Catella.

Il Presidente dichiara aperta l'Assemblea e ringrazia con commosse parole tutti i Colleghi che hanno collaborato al successo delle varie iniziative; esprime il vivo suo rincrescimento nel lasciare la presidenza della Società e la consuetudine di lavoro con cari e valenti amici.

Esponde quindi un bilancio dell'attività svolta negli ultimi tre anni ed in particolare nell'ultimo anno, augurando a coloro che dirigeranno la Società nel prossimo triennio proficuo lavoro.

Il Presidente annuncia che è in corso di stampa un Annuario con l'elenco dei Soci e notizie sulla Società; esso potrà essere aggiornato ogni tre anni con successive edizioni.

1) Il verbale dell'Assemblea tenuta in data 6 maggio 1963 è approvato nel testo pubblicato sul numero di maggio 1963 di « Atti e Rassegna Tecnica ».

2) Il Segretario dà lettura dei nominativi dei Colleghi che, dopo l'Assemblea dello scorso giugno, hanno presentato domanda di ammissione alla Società. Essi sono:

- Arch. Saverio Bacco;
- Arch. Giovanni Brino;
- Ing. Giuseppe Burzio;
- Arch. Cesare Carbone (neolaureato);
- Ing. Mario Alberto Chiorino (neolaureato);

- Ing. Carlo Donatelli;
- Ing. Loris Garda;
- Arch. Carlo Graffi;
- Ing. Michele Minuto (neolaureato);
- Ing. Carlo Montecchio (neolaureato);
- Arch. Maria Teresa Navale Baudino;
- Ing. Serafino Nebiolo;
- Ing. Giovanni Ollivero;
- Arch. Alda Panizza;
- Ing. Cornelio Ricci;
- Ing. Claudio Vaglio Berné (neolaureato);
- Arch. Vittoria Valz Blin;
- Ing. Umberto Vigna-Taglianti (neolaureato);
- Ing. Emilio Zangelmi;

Il Comitato Direttivo, vagliate le relative domande, ne ha deliberato l'accettazione.

3) L'Assemblea nomina quali scrutatori per le elezioni delle cariche sociali i Colleghi: arch. Emilio Giay, ing. Carlo Mortarino, Ing. Claudio Michela. Hanno quindi luogo le votazioni a scrutinio segreto per la nomina del Presidente, di due Vice-Presidenti e di dieci Consiglieri, per il triennio '64-'66. Risultano eletti:

- *Presidente:* Ing. Arch. Mario Dezutti;
- *Vice Presidente:* Ing. Guido Paolo Bonicelli; Arch. Nino Rosani;
- *Consiglieri:* Arch. Amedeo Albertini; Ing. Guido Benzi; Ing. Carlo Bertolotti; Ing. Carlo Brayda; Arch. Roberto Gabetti; Arch. Emilio Giay; Ing. Luigi Goffi; Arch. Enrico Pellegrini; Ing. Ugo Rossetti; Ing. Alberto Russo-Frattasi.

È allegata al verbale la « Relazione dei Soci scrutatori » in cui si riferisce sullo svolgimento delle votazioni e si riporta il computo dei voti scrutinati.

Il Presidente dichiara chiusa l'Assemblea verso le ore 23, proseguendo gli scrutatori lo spoglio delle schede fino all'ultimazione dello scrutinio.

Relazione dei Soci Scrutatori nelle Elezioni

Nella qualità di Scrutatori nominati dall'Assemblea dei Soci per le elezioni dette in oggetto — eseguito lo spoglio delle schede e verificata la validità — comunichiamo quanto segue:

A) Hanno partecipato alla Elezione del Presidente n. 81 soci, Numero schede valide 81.

I risultati sono a favore di: Mario Dezutti n. voti 71; Guido Bonicelli (4); Guido Benzi (1); Carlo Bertolotti (1); Carlo Brayda (1); Ugo Piero Rossetti (1); Flavio Vaudetti (1); Scheda bianca (1); Totale voti 81.

Precisiamo che al nominativo Guido Bonicelli corrispondono due soci.

B) Hanno partecipato alle elezioni per la nomina dei due Vicepresidenti n. 79 soci.

Abbiamo accertato la validità di n. 157 voti, avendo escluso un voto perchè completato con scrittura di altra mano. Sei schede portano correzioni, ma le abbiamo considerate valide in quanto chiaramente eseguite dal votante.

I risultati sono: a favore di Nino Rosani, arch. (voti n. 55); Guido Bonicelli, junior, ing. (44); Guido Bonicelli, senior (12); Carlo Brayda (9); C. Alberto Bordogna, arch. (4); Enrico Pellegrini, arch. (4); Flavio Vaudetti, arch. (4); Ugo Piero Rossetti, ing. (3); Guido Benzi, ing. (2); Carlo Bertolotti, ing. (2); Roberto Gabetti, arch. (2); Ferruccio Grassi, arch. (2); Guido Bonicelli, senior (1); Nicola Mosso, arch. (1); Mario Roggero, arch. (1); Carlo Villa, ing. (1); Voti non utilizzati (10); Voti totali 79×2 158; Voto annullato (1); Voti validi (157).

C) Hanno partecipato alla elezione dei dieci consiglieri n. 79 soci, e l'elezione è stata svolta contemporaneamente a quella detta in B) per i due Vicepresidenti.

Voti utilizzabili (n. 790); Voti non utilizzati (128); Voti utilizzati (662);

Voto non valido (1) (nominativo ripetuto due volte sulla stessa scheda); Voti validi (n. 661).

I risultati sono: a favore di: 1. Carlo Brayda (voti n. 44); 2. Ugo Piero Rossetti (39); 3. Guido Benzi (37); 4. Alberto Russo Frattasi (35); 5. Carlo Bertolotti (34); 6. Enrico Pellegrini (32); 7. Amedeo Albertini (31); 8. Roberto Gabetti (29); 9. Luigi Goffi (29); 10. Emilio Giay (27); 11. Luciana Rabezana (24); 12. Ottavio Siniscalco (24); 13. Vittorio Lemal (23); 14. Mario Sarzotti (19); 15. Giorgio Ceretti (18); 16. Ettore Giordana (17); 17. Giuseppe Varaldo (15); 18. Gianni Vaccaro (13); 19. Carlo Mortarino (12); 20. Flavio Vaudetti (12); 21. Piero Giustina (9); 22. Vittorio De Bernocchi (8); 23. Biondillo, Martiny, Moretto (7); 26. Bonicelli junior, Soleri, Villa (6); 29. Bordogna, Rosani (5); 31. Bizzarri, N. Mosso (4); 33. Bonicelli, Cavallari-Murat, Cavallera, Dolza, Giay, Maciotta, Mazitelli, L. Mosso, Rondelli, Travostino (3); 43. Aimo-Boot, Alby, Barba Navarretti, F. Barbero, M. Brunetti, Coccino,

Ghigi, Maina, Mollì Boffa (2); 52. Bairati, Bonicelli senior, Castello, Corona, Cuzzi, De Rossi, L. Giay, E. Giordana, Giraud, F. Goffi, Grassi, Lacchia, Me-sturino, D. Morelli, L. Norzi, Ratti, Richieri, Roggero, Salvestrini, Trovati, G. Zuccotti (1).

Osserviamo che:

a) la contemporaneità dello svolgimento delle operazioni di votazione per i due Vicepresidenti e per i dieci Consiglieri ha comportato alcune dispersioni di voti.

b) l'attribuzione di alcuni voti è risultata incerta per mancata indicazione dei nomi nel caso di soci aventi lo stesso cognome o anche lo stesso nome.

c) Voti attribuiti a *non Soci*: per future elezioni sarà opportuno la affissione nella sala delle votazioni dell'elenco completo dei Soci.

Gli scrutatori: Giay arch. Emilio, Michela ing. Claudio, Mortarino ing. Carlo.

Gli elementi dell'architettura ogivale nell'arredo barocco piemontese (14 maggio).

L'arch. prof. Enrico Pellegrini esaminò l'evoluzione dell'arredo piemontese, fin dai tempi medioevali, ravvisando influenze di stili e tecniche diverse.

Guarino Guarini e l'architettura barocca piemontese (22 maggio).

Il prof. arch. Roberto Pane, dell'Università di Napoli, profondo studioso del Guarini, rievocò le sue grandiose creazioni architettoniche e gli influssi europei della sua personalissima opera, commentando una serie di splendide proiezioni.

Tutela e valorizzazione dei centri storici piemontesi (29 maggio).

Il Prof. arch. Mario Passanti e il prof. arch. Giampiero Vigliano, ricordati i più suggestivi ambienti in cui l'architettura si inserisce mirabilmente nel paesaggio piemontese, presentarono significativi esempi del danno irreparabile che può ad essi derivare quando non si tutela con severità e amore la loro conservazione.

Restauro a edifici barocchi del Piemonte (4 giugno).

L'arch. prof. Umberto Chierici, Sovrintendente ai Monumenti, illustrò, con l'ausilio di splendide diapositive, l'efficace opera svolta per la conservazione e la valorizzazione di palazzi e castelli piemontesi.

Visite alle varie sezioni della Mostra del Barocco Piemontese (luglio-ottobre)

Furono successivamente visitati: Palazzo Madama (4 Luglio), Palazzo Reale (12 Luglio) e la Palazzina di Caccia di Stupinigi (12 Ottobre), con guida e illustrazione del prof. Nino Carboneri, del dott. Vittorio Viale e della Dott.ssa Noemi Gabrielli, rispettivamente.

Viaggio in Inghilterra con visita alle Città Nuove (12-16 giugno).

Furono visitate le città di Stevenage, Crawley e Harlow, sorte recentemente nei dintorni di Londra, con la guida dei tecnici inglesi impegnati nella progettazione e nella gestione dei nuovi centri.

Esperienza di esercizio delle prime centrali elettronucleari (27 giugno).

La conferenza dell'ing. Renato Lazzerini fu tenuta di concerto con l'Associazione Termotecnica Italiana e con l'Associazione Elettrotecnica Italiana.

Visita alla nuova Sede Centrale dell'Istituto Bancario S. Paolo di Torino (1 luglio).

L'arch. Mario Dezzutti, che ne curò la realizzazione, illustrò i complessi lavori di restauro e nuova costruzione, nell'imminenza dell'inaugurazione.

Visita alla Centrale elettronucleare Enrico Fermi di Trino Vercellese (2 luglio).

Si svolse in collaborazione con l'Associazione Elettrotecnica Italiana e su invito dell'Impresa esecutrice delle opere civili.

Visita al Cantiere della Diga di Place Moulin (13 luglio).

Il Consorzio Elettrico del Buthier offerse ai Soci l'opportunità di visitare tale imponente opera, in fase di avanzata realizzazione.

Visita alle opere di Francesco Gallo (22 settembre).

Il prof. Nino Carboneri, profondo conoscitore dell'opera del grande architetto barocco, fu appassionata guida nella visita alle più significative realizzazioni del Gallo in un suggestivo itinerario da Carrù a Fossano, passando per Vicoforte e Mondovì.

Convegno Internazionale sui Problemi Grafici nell'Ingegneria e nell'architettura (27-29 settembre).

Si svolse con numerosa e qualificata partecipazione di docenti e studiosi italiani e stranieri; di esso si è data particolareggiata cronaca.

Notizie e impressioni sulle Città Nuove di Stevenage, Crawley e Harlow (12 dicembre).

Il prof. arch. Flavio Vaudetti parlò sulle straordinarie esperienze effettuate dagli inglesi in campo urbanistico; seguì la proiezione di films e fotografie riprese durante il viaggio sociale dello scorso giugno.

Ventilazione termica e sue applicazioni, in particolare per gallerie e trafori (17 dicembre).

La conferenza fu tenuta dall'ing. Giuseppe Boido, in collaborazione con l'Associazione Termotecnica Italiana.

Elenco riviste ricevute in cambio con « ATTI E RASSEGNA TECNICA » consultabili presso la biblioteca della Società

PUBBLICAZIONI ITALIANE:	
Atti dell'Accademia delle Scienze	<i>Jugoslavia</i> Elektrotehkniski (Beograd)
Giornale del Genio Civile Ingegneria meccanica L'Ingegnere Ingegneria nucleare La Tecnica Italiana La ricerca scientifica Rivista delle Poste e telecomunicazioni	<i>Unione Sovietica</i> Rivista di Architettura
Edilizia Moderna Termotecnica Il calore Audiotecnica Rivista Aeronautica Industria del cemento Tecnica ospedaliera La tecnica dei trasporti L'installatore italiano La fonderia italiana Metallurgia L'Alluminio Asfalto, bitume, catrame Vitrum Cantieri Produttività Quaderni di studi	<i>Stati Uniti</i> Electrical Engineering (New York) Electronics (New York)
RIVISTE ESTERE:	<i>Cina</i> Scientia Sinica
<i>Inghilterra</i> Engineering (London) Electronics (London)	<i>Rumenia</i> Documentare Technica (Bucarest) Bulletin d'études et recherches (Bucarest)
<i>Polonia</i> Archiwium Inzynieri Ladowes (Warsawa)	<i>Francia</i> Construction (Dunod - Paris) Centre scientifique et technique du bâtiment (Paris)
	<i>Germania</i> Die Bautechnik
	<i>Svizzera</i> Construction de la Suisse Romande Bulletin technique de la Suisse Romande Plan (Revue de Urbanistique)
	<i>Spagna</i> Revista de Ciencia aplicada Quadernos de Architectura - Catalogna

Enti e Società sostenitori

Acquedotto Municipale di Torino - Amministrazione Provinciale di Torino - Azienda Elettrica Municipale - Camera Commercio di Torino - Cartiere Burgo S.p.A. - Cassa di Risparmio di Torino - Ceat S.p.A. - Cogne S.p.A. - Concerie di Borgaro S.p.A. - Fiat S.p.A. - Giustina & C. S.p.A. - Impresa Ing. E. Recchi - Imprese Italiane all'Estero S.p.A. - Istituto Bancario S. Paolo di Torino - Marchino & C. S.p.A. - Officine Savigliano S.p.A. - Ing. C. Olivetti & C. S.p.A. - Ordine Architetti della Provincia di Torino - Ordine Ingegneri della Provincia di Torino - Pininfarina - RAI - Reale Mutua Assicurazione - Rexim Bugnone S.p.A. - R.I.V. S.p.A. - S.I.P. S.p.A. - S.T.E.T. S.p.A. - Unione Industriale di Torino.

Manifestazioni svolte nell'anno 1963

Pavimentazioni, coibentazioni e finiture negli stabilimenti industriali (10 gennaio).

Con due relazioni su detto tema l'ing. Giovanni Cenere e l'arch. Nino Rosani conclusero il ciclo di conferenze sugli impianti industriali, iniziato nell'autunno del '62. Avevano in precedenza parlato l'ing. Ezio Doriguzzi, l'ing. Aldo Frezet e l'ing. Aurelio Vaccaneo su argomenti di loro specifica competenza.

La nostra è l'epoca più grande nella storia dell'umanità per l'architettura (14 febbraio).

Il prof. arch. Giò Ponti espose una serie di originali e interessanti considerazioni sulle realizzazioni e sulle possibilità dell'epoca nostra, istituendo significativi confronti con i tempi passati.

Tecnica dei piani di industrializzazione nelle zone sottosviluppate (12 marzo).

Il prof. ing. Vittorio Zignoli descrisse i problemi nuovi e vasti che detti piani impongono di risolvere, giovandosi di sue recenti esperienze in Africa.

Consegna dei Premi Torino 1962 (14 marzo).

In una solenne cerimonia svolta a Palazzo Lascaris, alla presenza delle massime autorità, il Ministro On.le Emilio Colombo consegnò i Premi Torino 1962 all'ing. Gaudenzio Bono per la FIAT, al Cavaliere del Lavoro Pininfarina e all'ing. prof. Giuseppe Gabrielli. Sul numero di aprile della Rivista è stata pubblicata la cronaca dell'avvenimento.

Ciclo di Conferenze e visite, organizzate in occasione della Mostra del Barocco Piemontese (maggio-giugno).

Esse furono tenute con grande successo di pubblico in preparazione della grande manifestazione torinese.

La Mostra del Barocco Piemontese (3 maggio).

Il dott. Vittorio Viale, Direttore della Mostra, presentò la grandiosa iniziativa della Città di Torino, illustrandone ampiamente le varie sezioni e le più importanti opere raccolte.

COLLEGHI SCOMPARI

Ricordiamo con commosso rimpianto i Collegi che ci hanno lasciato nell'anno che volge al termine e rivolgiamo agli Scomparsi il nostro reverente pensiero. Al lutto delle Famiglie la Società Ingegneri e Architetti prende affettuosa partecipazione. Nelle brevi note che seguono ci limitiamo a richiamare i tratti salienti della Loro attività professionale.

Biagio Beria nato a Torino nel 1889. Si laureò in Ingegneria Industriale Mecc. nel 1914 presso il Politecnico di Torino. Direttore di stabilimento alla FIAT, passò successivamente alla SNIA Viscosa, ove attese allo studio, alla progettazione e alla costruzione di macchinari e impianti divenendo Direttore Generale Tecnico della Società. Fu successivamente Amministratore Delegato e Direttore Generale della RIV. Nel 1940 passò alla Società Vetrocoke di cui venne poi nominato Presidente. Valente tecnico e amministratore, fu Presidente della « Fondazione Politecnica Universitaria ».

Italo Bertoglio nato a Torino nel 1878. Si laureò in Ingegneria Industriale presso il Politecnico di Torino nel 1903. Libero professionista, si occupò particolarmente di perizie come consulente del Tribunale.

Federico Boggio Bertinet nato a Genova nel 1894. Si laureò in Ingegneria Civile nel 1920 presso il Politecnico di Torino. Valente Imprenditore, eseguì e diresse un grande numero di costruzioni quale titolare di una impresa edile.

Caimi Iardi M. Vittoria nata a Formia nel 1928. Si laureò in Architettura presso il Politecnico di Torino nel 1953. Si distinse nella progettazione di scuole e case d'abitazione, partecipando con successo a importanti concorsi. Conseguì brillantemente l'abilitazione all'insegnamento di Materie tecniche e Disegno e fu insegnante nelle scuole medie di tali materie.

Ugo Casadio nato a Bologna nel 1889. Libero professionista, si occupò in Italia e all'estero di progettazione e costruzione nel campo degli apparecchi e degli impianti di sollevamento e trasporto.

Guido De Bernardi nato a Torino nel 1894. Si laureò in Ingegneria Civile nel

1921 presso il Politecnico di Torino. Si distinse nella progettazione ed esecuzione di impianti sportivi.

Adolfo Dessalles nato a Roma nel 1888. Si laureò in Ingegneria presso il Politecnico di Torino nel 1913. Direttore presso gli stabilimenti Bauchiero, dopo la prima guerra mondiale fondò una azienda di prodotti chimici. Nel 1924 costituì una società per la produzione di conduttori elettrici, di cui era contitolare; al suo sviluppo si dedicò con passione e intelligenza. Presidente fin dalla sua costituzione dell'Ass. Prov. Industriali Gomma e Cavi Elettrici, ebbe importanti cariche nelle organizzazioni della categoria.

Antonio Giberti nato a Isole del Liri (Frosinone) nel 1883. Si laureò in Ingegneria Civile presso il Politecnico di Torino nel 1908. Valente professionista nel campo dell'ingegneria civile e particolarmente esperto nella progettazione di opere in cemento armato, eseguì costruzioni di notevole importanza come palazzi per uffici, stabilimenti industriali, ponti, restauri e consolidamenti. Ricordiamo lo studio svolto in collaborazione con il Prof. Albenga delle volte sottili eseguite nel 1927 per conto dell'Aeronautica.

Arturo Midana nato a Torino nel 1898. Si laureò in Architettura presso il Politecnico di Torino nel 1922. Studioso di chiara fama, diede fondamentali contributi alla storia dell'arte e dell'artigianato piemontesi con studi e pubblicazioni esemplari; ricordiamo « L'arte del legno in Piemonte nel Sei e nel Settecento » e « Il Duomo di Torino ». Restaurò ville e castelli e si interessò di problemi urbanistici, collaborando alla stesura del piano regolatore di Torino. Fu Presidente della Società Piemontese di Archeologia e Belle Arti. La malattia gli impedì di condurre a termine la gran-

diosa sistemazione del palazzo Turinetti di Pertengo in Piazza San Carlo.

Aldo Morbelli nato a Orsara (Alessandria) nel 1903. Si laureò in architettura presso l'Istituto Superiore di Architettura di Roma nel 1928. Si occupò nei primi anni della sua attività di restauri a monumenti piemontesi e della sistemazione dei musei vaticani. Vinse nel 1938 il concorso per la ricostruzione del Teatro Regio di Torino, che lo impegnò fino alla sua morte in una laboriosa e contrastata progettazione. Professionista colto e versatile, progettò ville, stabilimenti, teatri, chiese; ricordiamo l'Auditorium torinese della RAI e il palazzo uffici pure della RAI che sta sorgendo a Porta Susa.

Manlio Muzzoli nato a Cortona (Arezzo) nel 1907. Si laureò in Ingegneria Industriale Meccanica presso il Politecnico di Torino nel 1929. Fu Direttore del Servizio Esperienze e Ricerche della Società RIV e successivamente Direttore della Sezione Materie Plastiche, al cui sviluppo dedicò tutte le sue energie. Libero Docente in Metallurgia, i risultati delle sue ricerche scientifiche furono pubblicati in tutto il mondo. Fondatore e Presidente dell'Associazione Nazionale Materie Plastiche e Resine Sintetiche, e dell'UNIPLAST, coprì importanti cariche presso l'Unione Industriale, L'UNI, l'ISO. Fu direttore e animatore del Salone Europeo delle Materie Plastiche e di importanti istituzioni scientifiche.

Ettore Pittini nato a Gemona del Friuli nel 1894. Si laureò in Architettura presso la R. Scuola di Ingegneria di Torino nel 1923. Valente professionista, si distinse nella progettazione di importanti costruzioni tra cui ospedali e opere pubbliche. Si dedicò anche con passione all'insegnamento, essendo stato Libero Docente di Architettura Tecnica ed Incaricato di materie architettoniche nel Politecnico di Torino.

Aniceto Raineri nato a Vercelli nel 1883. Laureato in Ingegneria civile nel 1920 presso il Politecnico di Torino. Eseguì importanti opere nel campo civile e industriale quale apprezzato dirigente di impresa edile.

Silvestro Rolando nato ad Alessandria nel 1883. Si laureò in Ingegneria Industriale Meccanica presso il Politecnico di Torino nel 1921. Funzionario Ministeriale, fu direttore di esercizio della Ferrovia Biella-Novara e negli ultimi anni insegnante di Fisica presso l'Istituto Industriale di Biella.

RASSEGNA TECNICA

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

LA COSTRUZIONE DELLE MACCHINE: PROGRESSI E PROBLEMI

RENATO GIOVANNOZZI, Professore ordinario e Direttore dell'Istituto di Costruzione di Macchine, in occasione dell'inaugurazione dell'anno accademico 1963-64 del Politecnico di Torino ha svolto il tema: « La costruzione delle macchine: progressi e problemi », nella prolusione, che si pubblica, seguendo l'ormai tradizionale consuetudine, sull'Annuario del Politecnico e sulla nostra rivista per gentile concessione.

Chiunque confronti le condizioni attuali della nostra vita con quelle anche solo di dieci o quindici anni fa, non può fare a meno di constatare, fra i sintomi più vistosi dei cambiamenti che si sono prodotti da allora, la sempre maggiore diffusione delle macchine in ogni ramo dell'attività umana.

Questa diffusione è legata non solo al maggior benessere generale, ma anche a un continuo perfezionamento delle macchine stesse e alla possibilità di produrre secondo progetti più razionali, e mediante tecniche sempre più convenienti dal punto di vista economico.

Per effetto di questo febbrile sviluppo della meccanizzazione, i problemi posti dalla costruzione delle macchine hanno assunto ampiezza e importanza sempre maggiore, e hanno dato fortissimo impulso a ricerche scientifiche e tecniche di ogni genere, facendo fra l'altro definitivamente giustizia della convinzione, fino a pochi anni fa radicata in certe industrie, che per costruire macchine efficienti e capaci di resistere alla concorrenza siano sufficienti l'empirismo e il buon senso.

Un lavoro di ricerca teorica e sperimentale addirittura immenso è stato poi richiesto dallo studio di quelle macchine che sono al

vertice delle attuali possibilità della scienza e della tecnica, fra le quali sono da ricordare in primo luogo quelle dell'industria aeronautica e aerospaziale, quali i motori aeronautici e i motori a razzo.

In questi campi così ardui, il risultato finale è frutto naturalmente non solo dei progressi della parte meccanica, che pure non manca mai e presenta sempre difficoltà notevoli, ma anche e spesso soprattutto, dallo sforzo compiuto in tanti altri rami della scienza, la termodinamica, la metallurgia, l'aerodinamica, la gasdinamica, l'elettrotecnica, l'elettronica, ecc.

Gli immensi aiuti finanziari di cui, per ragioni politiche o militari, hanno usufruito e usufruiscono queste costruzioni, per le quali conta soltanto il risultato, mentre la preoccupazione della spesa è relativamente secondaria, ne fanno un caso assai diverso da quello delle macchine normali, per la cui costruzione la convenienza economica costituisce un limite insormontabile.

Se vogliamo comunque, con generalizzazione necessariamente arbitraria, tentare di precisare quali siano stati, negli ultimi 10-15 anni, cioè all'incirca nel periodo successivo alla seconda guerra mondiale, i principali progressi

verificatisi nel campo della costruzione delle macchine, penso che si debbano esaminare separatamente i procedimenti tecnologici di costruzione, i limiti e le caratteristiche delle prestazioni raggiunte, i concetti e i metodi della progettazione.

I progressi in questi tre campi appaiono caratterizzati rispettivamente dall'estendersi dell'automazione e delle lavorazioni plastiche in genere accanto a quelle con asportazione di truciolo; dagli aumenti dei carichi, delle velocità, delle potenze; e infine dal generalizzarsi del concetto che occorre studiare la macchina dal punto di vista dinamico e non soltanto dal punto di vista statico, e che pertanto nello studio della forma e delle dimensioni dei suoi vari organi deve essere tenuto sempre presente questo fatto fondamentale.

Si sono inoltre verificati miglioramenti talora fortissimi delle caratteristiche di resistenza di molti materiali metallici e non metallici, notevoli perfezionamenti di soluzioni costruttive tradizionali, introduzione e sviluppo di molte nuove soluzioni e innovazioni.

Non mi è certo possibile nel breve tempo che ho a disposizione sviluppare tutti questi punti principali, ciascuno dei quali meriterebbe una ampia esposizione,

tanto più che, come l'esperienza dimostra, nell'ultimo oratore di una cerimonia la qualità che più si apprezza è senza dubbio la brevità.

Penso perciò che sarò scusato se mi limiterò a pochi rapidi cenni, necessariamente frammentari, su questi progressi, soffermandomi appena più a lungo su un problema meccanico di grande importanza ad essi strettamente collegato: quello delle vibrazioni.

Nel campo delle lavorazioni con asportazione di truciolo, negli ultimi 15 anni si sono generalizzate per l'acciaio velocità di taglio sui 100-120 m/l'. Ormai lo sforzo di molte aziende è diretto soprattutto a ridurre i tempi passivi.

Formano oggetto di molti studi utensili in speciali ceramiche, coi quali si possono raggiungere velocità di taglio di 600 m/l'. L'impiego di tali utensili, che pongono d'altra parte il problema dello smaltimento del truciolo, è in parte ostacolato dalla loro fragilità, per cui, a quanto mi consta, il loro uso è per ora limitato alla tornitura di profili senza discontinuità (ad es. i tamburi dei freni).

Nella rettifica, dalle normali velocità periferiche delle mole di 20-30 m/s, si è passati, in alcune recentissime realizzazioni russe e tedesche, ai 60 m/s e si parla di toccare i 90 m/s.

L'aumento quantitativo della produzione ha naturalmente favorito lo sviluppo della riproduzione dei vari pezzi per lavorazione plastica di stampaggio a caldo o a freddo. Analogamente si sono sviluppate le fusioni in conchiglia, cioè dentro uno stampo in acciaio, e le pressofusioni, cioè le fusioni in conchiglia sotto pressione.

Con queste ultime, si ottengono pezzi complicatissimi con tolleranze dell'ordine di qualche decimo di mm e con migliori caratteristiche di resistenza.

Si vanno inoltre sempre più diffondendo le lavorazioni per

rullatura, ricalcatura, trafilatura. Cito l'esempio diffusissimo delle flettature ottenute per rullatura a freddo e quello di ingranaggi ottenuti, in Ungheria, per trafilatura a freddo, con tolleranze di pochi centesimi di millimetro.

La difficoltà e la spesa per la costruzione mediante lavorazione di macchina degli stampi, formati da materiali molto duri, sono in generale assai forti.

Da qualche anno sono stati introdotti con ottimi risultati nuovi procedimenti per la lavorazione degli stampi sia mediante elettroerosione, sia mediante corrosione elettrolitica.

Nel primo caso il materiale viene asportato per scintillamento, facendo cioè scoccare fra la superficie che deve essere asportata e un elettrodo, in rame o in rame-tungsteno o in grafite, che ha la forma complementare a quella del pezzo da eseguire, una serie continua di scintille. La frequenza e la precisione di finitura superficiale sono tanto più elevate quanto minore è la lunghezza della scintilla stessa. Nella lavorazione di una matrice con una recente macchina a scintillamento, nelle tre fasi di sbazzatura, semifinitura e finitura si producevano ad es. scintille con frequenze rispettive di 2.000, 20.000 e 180.000 al secondo, ottenendo rugosità superficiali di 10, 2,5 e 1 micron. Nella fase di finitura la lunghezza della scintilla era di 0,015 mm.

Le scintille vengono fatte scoccare in un liquido dielettrico mantenuto in circolazione ed opportunamente filtrato.

I tempi di lavorazione dipendono naturalmente dalle dimensioni e dalla forma dello stampo, e sono normalmente dell'ordine di grandezza delle 1-10 ore.

Con l'elettroerosione si possono anche eseguire affilature di utensili e rettifiche di superficie piane e curve con altissima precisione.

L'asportazione del materiale avviene per effetto elettrolitico, grazie al passaggio della corrente

fra un elettrodo in rame puro che riproduce il negativo del pezzo e il blocco da lavorare, attraverso soluzione conduttrice acida o salina che viene iniettata sotto pressione (ad es. 14 kg/cm²) fra elettrodo e pezzo da lavorare.

La densità di corrente è dell'ordine dei 155 A/cm². Il metodo, detto anche Anocut, è stato messo a punto dalla ditta americana Pratt e Whitney per ottenere alcuni particolari di reattori aeronautici di forma complessa e in materiali durissimi (ad es. leghe di titanio). Con questo procedimento, la durezza del materiale non costituisce in alcun modo una particolare difficoltà. Le macchine della Pratt e Whitney finora costruite assorbono una corrente massima di 10.000 ampere.

La rugosità superficiale del pezzo finito oscilla fra i 7 e i 25 micron circa.

Un procedimento molto moderno, sviluppo dall'industria atomica americana e usato anche nell'industria missilistica, è quello dello stampaggio elettromagnetico, designato col nome di magnetform. Esso consiste nel lanciare una serie di impulsi di corrente di durata brevissima (10-20 milionesimi di secondo) e di altissima intensità (oltre un milione di ampere) in un avvolgimento posto all'interno o all'esterno (nel caso di un tubo), o su una faccia (nel caso di una piastra) del pezzo da deformare plasticamente, appoggiato sopra lo stampo. Ad ogni passaggio di corrente nell'avvolgimento si producono nel pezzo, correnti parassite che reagiscono sul campo magnetico inducente, dando luogo a pressioni magnetiche fino a circa 3500 atmosfere.

Nella macchina che si trova attualmente in commercio gli impulsi di corrente si susseguono alla frequenza normale di 10 al secondo. In ognuno di essi viene immagazzinata una energia massima di 625 kJm.

Sono pure in continuo progresso i procedimenti di automazione che mirano a far compiere al-

le macchine lavorazioni secondo programmi prestabiliti, mediante apparecchiature di comando per lo più elettroniche, elettromeccaniche o idrauliche, nelle quali può essere introdotto, mediante camme, mediante nastro magnetico perforato, mediante schede perforate, mediante un pezzo campione da copiare ed in altri modi ancora, il programma della lavorazione stessa. L'apparecchiatura comanda automaticamente le varie fasi della lavorazione, con guadagno di precisione, di tempo e di spesa.

Nelle macchine più avanzate di questo tipo, esiste addirittura la possibilità di far eseguire all'utensile un profilo espresso da una certa equazione analitica: ciò è ottenuto mediante un calcolatore elettronico per il quale vengono compilati opportuni programmi in uno degli speciali linguaggi usati per tali calcolatori.

L'argomento, di grande attualità, è naturalmente amplissimo. Basti qui averlo accennato, e sottolineare il fatto che a chi confronta la situazione attuale con quella di solo 10 anni fa, appare chiara la tendenza generale ad automatizzare più che sia possibile, anche nelle piccole e medie industrie.

L'operaio specializzato, che durante la costruzione controlla mano mano la precisione delle varie dimensioni del pezzo, appare perciò destinato a scomparire, per essere sostituito da un tecnico elettronico o comunque da una persona capace di scrivere e inserire nel meccanismo il « programma » della lavorazione.

Dall'immenso sviluppo delle materie plastiche siamo tutti testimoni, tecnici e non tecnici. Si deve però sottolineare l'importanza sempre crescente di questi materiali nelle costruzioni meccaniche vere e proprie.

Oggi si costruiscono in materie plastiche ingranaggi, cuscinetti, scatole, ventole, gabbie per cuscinetti a rotolamento, speciali cuscinetti a rotolamento,

boccole, anelli di tenuta ecc. e addirittura scafi, carrozzerie, pannelli, cabine ecc.

Le resistenze unitarie a trazione di questi materiali sono di solito dell'ordine di grandezza di 3-15 kg/mm², ma in compenso il loro peso specifico è così basso che, a parità di peso, possono aversi resistenze dello stesso ordine di grandezza di quelle dell'acciaio.

Esistono poi materie plastiche speciali irrobustite con fibre di varia natura (es. fibre di vetro) con le quali si arriva a carichi di rottura di 30-40 ed anche 60 kg/mm², cioè dello stesso ordine di grandezza di quello di un acciaio dolce.

Ne ricorderò più avanti una vistosa applicazione in un modernissimo turbogetto.

Particolarmente diffusi sono ormai gli ingranaggi in materie plastiche e adottati ovunque è possibile, per la silenziosità, l'economia di costruzione, il piccolo coefficiente di attrito, la facilità di lubrificazione.

I cuscinetti in materie plastiche hanno pure proprietà preziose, su cui qui per brevità si sorvola.

Per velocità di pochi metri al secondo, con lubrificazione abbondante e raffreddamento, essi arrivano a sopportare ad es. pressioni specifiche sui 100 kg/cm².

In tema di novità degli ultimi anni penso che sia bene far cenno anche dei cuscinetti lubrificati a gas, anziché a liquido.

In questi cuscinetti le pressioni necessarie ad equilibrare il carico esterno possono essere dovute al moto relativo delle superficie lubrificate, oppure più spesso (cuscinetti pressurizzati) ad un'alimentazione sotto pressione attraverso opportuni canali o forellini praticati in una parte della superficie attiva del cuscinetto.

In quasi tutti i cuscinetti lubrificati a gas è poi presente la lubrificazione cosiddetta di accostamento, dovuta a piccole variazioni periodiche di spessore del velo di lubrificante.

Poiché la viscosità dell'aria è

circa la millesima parte di quella dei comuni lubrificanti, ne risulta proporzionalmente ridotta la capacità di carico dei cuscinetti lubrificati ad aria in confronto a quella dei cuscinetti lubrificati a liquido. In compenso, mentre la viscosità dei lubrificanti liquidi diminuisce al crescere della temperatura, quella dei gas aumenta.

Adottando per il perno e il cuscinetto materiali capaci di resistere a temperature elevate e con coefficiente di dilatazione poco diverso, è così possibile sopportare condizioni di funzionamento nelle quali nessun lubrificante liquido potrebbe resistere. È chiaro inoltre che la lubrificazione a gas si presta particolarmente bene nel caso di altissime velocità.

Nel 1959 fu tenuto negli Stati Uniti il primo simposio internazionale su questo nuovo tipo di cuscinetto, il cui funzionamento è stato già oggetto anche di molti studi teorici.

Questi cuscinetti sono usati in reattori nucleari e anche in missili per evitare particolari difficoltà connesse rispettivamente alle tenute e alla alterazione del lubrificante liquido per effetto di radiazioni, alle alte temperature o per altri motivi speciali.

Nell'impianto atomico inglese di Harwell esistono cuscinetti lubrificati ad aria che funzionano alla temperatura di 400°C, e per breve tempo, anche di 500°C.

Per dare un'idea dei progressi compiuti nelle macchine in fatto di potenza, carico, velocità, il campo che più si presta è indubbiamente quello dei motori, per i quali riporto qui qualche sommario dato di confronto, in forma, come dicono gli anglosassoni, miscelanea.

Se consideriamo dapprima i motori delle attuali autovetture vediamo che negli ultimi 10-15 anni si sono verificati aumenti dei numeri di giri del 12-20 %, e aumenti di potenza per litro di cilindrata del 30-50 %, arrivando ai 50-60 CV/l.

Grazie al miglioramento dei materiali impiegati e alla maggiore precisione della costruzione, sono pure notevolmente aumentate, di circa il 30-40 %, le durate di questi motori, che toccano ormai i 100.000 km senza revisione.

Nei grossi motori Diesel a 2 tempi per propulsione navale si è passati a potenze per litro circa doppie (da 1,2 a 2,4 CV/l, e a pesi per cavallo circa metà (da 80 a 40 kg/CV). Nel recentissimo motore 900 S della FIAT Grandi Motori, si è arrivati alla potenza di 2100 CV per cilindro, contro un massimo di 770 CV/cil. di 15 anni fa.

Nei Diesel veloci a 4 tempi, per trazione ferroviaria e altri impieghi, si è passati dai 5-7 ai 13 CV/l (eccezionalmente ai 23 CV/l), e dai 13-14 kg/CV agli 8 kg/CV fino a toccare, in un motore molto spinto della stessa FIAT Grandi Motori, addirittura gli 1,7 kg/CV.

Ma il campo dove i progressi sono stati più spettacolari è indubbiamente quello dei motori aeronautici e aerospaziali.

Alcune indicazioni frammentarie possono dare solo un'idea molto pallida di quanto è stato fatto in questo campo.

Nell'immediato dopo guerra, verso il 1950-52, sui migliori aerei civili da trasporto, come l'Armagnac, il Boeing Stratocruiser, erano installate potenze massime di circa 14.000 CV, con 3500 CV per motore.

Negli aerei civili Boeing 707 e 720, sono oggi installati 4 turbofans JT 3D-3 Pratt e Whitney, ciascuno dei quali sviluppa una potenza equivalente di circa 53 mila CV.

Parlo qui di potenza equivalente, malgrado la poca chiarezza concettuale di questo parametro, per agevolare i confronti.

Nell'immediato dopoguerra, i pochi turboreattori esistenti, tutti per uso militare, sviluppavano al decollo spinte massime non superiori ai 1500 kg.

Attualmente sul caccia ameri-

cano F 105 D è installato un turbogetto J75-P-19W della General Electric, il quale fornisce una spinta di 12.000 kg, con una potenza equivalente di circa 77.000 CV. Sul bombardiere supersonico North American XB-70, detto Valkiria, è in corso di installazione, dopo aver effettuato circa 4700 ore di prova, il motore YJ93 della General Electric, il quale sviluppa una spinta di 13.600 kg, con una potenza equivalente di 88.000 CV.

Con questo motore il Valchiria volerà a Mach 3, cioè con velocità pari a 3 volte quella del suono.

Mentre nel 1945 i turboreattori esistenti dovevano essere completamente revisionati dopo 50-100 o al massimo 200-400 ore di funzionamento, l'intervallo fra le revisioni degli attuali turbogetti normali è di alcune migliaia di ore di funzionamento.

Nei motori R. Da. 7 della Rolls Royce, montati sui Viscount, e su altri aerei commerciali, tale intervallo è già di 4000 h e sta per essere portato a 4500 h.

Nessun motore di automobile si sogna di arrivare a tanto.

Una novità notevole degli ultimi anni, che non si sa bene se chiamare aeronautica o terrestre e che penso meriti qui di essere sia pure incidentalmente accennata, è quella dei veicoli a cuscino d'aria.

Un getto periferico di aria in pressione rivolto verso il basso e verso l'interno crea sotto il veicolo stesso un cuscino d'aria in pressione che lo tiene distaccato dal terreno.

La tenuta dell'aria sul contorno è di solito facilitata anche da un « orlo » o « gonnella » (*skirt* degli inglesi) in materiale deformabile.

Il veicolo resta così distaccato, sia pur di poco, dal suolo e dall'acqua e può fungere pertanto anche da veicolo anfibia. Di questo tipo di veicolo, sono oggi in corso, in Inghilterra, dove esso è stato inventato, nonché in America e in Russia, svariate realiz-

zazioni per usi civili e militari. Le prospettive del suo sviluppo appaiono estremamente incoraggianti.

Voglio infine ricordare i velivoli cosiddetti VTOL e STOL (*Vertical take off landing* e *Short take off landing*) capaci di decollare e atterrare verticalmente o comunque in spazi brevissimi. La forza verticale di sostentamento è ottenuta mediante deflessione di getti del turboreattore, oppure mediante turbogetti appositi da sostentazione.

La Rolls Royce produce uno di questi turbogetti, lo RB 162, con un rapporto spinta/peso pari a 16,5 e che sembra stia per arrivare a 20.

Per quanto mi consta, è previsto l'impiego di 4 unità, di questo turbogetto anche nel velivolo VTOL italiano FIAT G 95/4, un caccia da appoggio tattico progettato dal mio illustre amico e collega Prof. Gabrielli.

In questo turbogetto tutta la parte a monte della camera di combustione (ingresso aria, corpo compressore, pale compressore) è in resina rinforzata con fibre di vetro.

Il motore presenta interessantissime soluzioni meccaniche, connesse alla relativa brevità del suo impiego, su cui qui non è possibile trattarsi.

Ma tutti questi progressi, benché impressionanti, impallidiscono se si passa a considerare i motori a razzo.

Nel 1945 la Vergeltungswaffe 2, la cosiddetta V2, che era un vero gioiello dell'ingegneria d'allora, aveva un peso iniziale di 12.980 kg, e un solo motore, che sviluppava una spinta di 27.200 kg.

Il Saturno C-5, il razzo attualmente in studio, destinato a portare gli americani sulla luna, avrà al decollo un peso di 2 milioni e 700.000 chili e sarà composto di 3 stadi. Il primo stadio sarà azionato da 5 motori a razzo F-1, con una spinta totale di 3 milioni 400.000 kg, pari a quella di più di cento V2 messe insieme.

Il secondo stadio sarà azionato

da 5 motori J-2, ciascuno dei quali darà in quota una spinta di 90.000 kg. Il terzo stadio avrà un unico motore J-2. Con questi motori il Saturno C-5 potrà lanciare 120 tonnellate in un'orbita terrestre, 45 tonnellate in un'orbita lunare e 35 tonnellate in una missione lunare.

Ho già detto che i progressi compiuti nella costruzione delle macchine hanno posto e pongono infiniti problemi a tutti i rami della scienza e della tecnica. Per dare un esempio della complessità di questi problemi, cercherò di dare un'idea del problema, squisitamente meccanico, delle vibrazioni delle macchine e dei loro elementi.

Questo problema diviene sempre più sentito col crescere delle velocità e presenta spesso difficoltà e complicazioni grandissime. Ne dò qui cenno in forma affatto generale ed elementare, cercando di chiarirne i principali aspetti teorici anche a coloro dei miei cortesi ascoltatori che non abbiano per avventura troppa dimestichezza con problemi del genere.

Gli specialisti vogliono perciò scusarmi se udranno ripetere cose a loro ben note.

Qualunque corpo sottoposto a un urto o spostato comunque dalla sua posizione di equilibrio statico, e poi abbandonato a se stesso può vibrare secondo un certo numero, teoricamente infinito, di frequenze proprie, che dipendono dalla forma del corpo dalle condizioni di vincolo e dalle caratteristiche elastiche del materiale.

Ad ognuna di queste frequenze corrisponde un diverso modo di vibrare, cioè corrispondono certi rapporti diversi delle ampiezze massime di spostamento nei vari punti, o, come si dice, corrispondono una diversa forma della deformata elastica. Un esempio ben noto è quello di una corda elastica, tesa e fissa agli estremi, che può, opportunamente pizzicata, vibrare con varie frequenze, tanto più elevate quanto maggiore è il numero di nodi e di ventri della corrispondente deformata.

Le oscillazioni di questo tipo sono dette oscillazioni libere. A causa delle varie resistenze passive, i cosiddetti smorzamenti, essi si estinguono più o meno rapidamente nel tempo, come si estingue il suono di una campana percossa dal battaglio.

Si ha invece una oscillazione forzata se si applica al corpo una forza pulsante, variabile nel tempo con legge periodica, ad es. sinusoidale.

Possono allora darsi due casi. Se la frequenza della forza eccitatrice è nettamente diversa da tutte le frequenze proprie del sistema, l'ampiezza di vibrazione risulta limitata, in genere non pericolosa.

Se invece la frequenza della forza eccitatrice coincide (o è molto prossima) a una delle frequenze proprie del sistema, si ha la cosiddetta risonanza e l'ampiezza di vibrazione tende, in assenza di smorzamento, a crescere oltre ogni limite.

Solo la presenza degli smorzamenti, che per fortuna non mancano mai, limita tale ampiezza ad un valore finito. Il verificarsi di una condizione di risonanza costituisce dunque un pericolo più o meno grave di vibrazione eccessiva e quindi anche di rottura, ed è causa di rumore, e irregolarità di funzionamento.

Qualunque corpo o sistema o macchina ha pertanto un certo numero di punti deboli, costituiti dalle sue frequenze proprie e non è in grado di resistere efficacemente a una forza variabile secondo una di queste frequenze.

Le cose vanno all'incirca come in un organismo dotato di un sistema nervoso.

Quando uno dei nervi viene toccato direttamente, ad esempio dal trapano di un dentista, ne segue una sensazione acutissima, apparentemente non proporzionata alla esiguità della azione meccanica di contatto, che può portare al collasso del paziente.

Il problema che si pone è pertanto anzitutto quello di evitare la risonanza.

Ciò è però spesso impossibile, o comunque assai difficile, per due motivi fondamentali, e cioè sia perchè di forze eccitatrici non ce n'è mai una sola, ma parecchie, con varie ampiezze e frequenze multiple intese di una frequenza fondamentale, e sia perchè tutte queste frequenze per lo più non sono costanti, ma variano proporzionalmente al numero di giri della macchina.

Infatti una grandezza che varia periodicamente con una certa frequenza, come le forze pulsanti che agiscono nelle macchine, è in realtà composta, come ci insegna lo sviluppo in serie di Fourier, dalla somma di un certo numero, generalmente infinito, di termini sinusoidali, di cui il primo, la fondamentale, ha la frequenza suddetta, e gli altri, le armoniche, hanno frequenze multiple intese della frequenza fondamentale, secondo un rapporto detto « ordine della armonica ».

L'ampiezza delle forze eccitrici cresce in generale con la velocità di rotazione; se si tratta di forze di inerzia, come le forze centrifughe, cresce col quadrato della velocità.

Fortunatamente nella pratica, a causa dei diversi ordini di grandezza delle ampiezze delle armoniche e dei coefficienti di smorzamento e per altri motivi, solo un numero relativamente piccolo di armoniche eccitrici e di frequenze proprie, di solito quelle di ordine più basso, deve essere preso in considerazione per quanto riguarda i pericoli della risonanza e più generalmente della vibrazione.

Il problema di cui ho adesso accennato l'impostazione concettuale è quello delle vibrazioni forzate. La sua soluzione richiede la determinazione delle frequenze proprie del sistema, la determinazione delle frequenze e ampiezze delle forze eccitrici (analisi armonica), la determinazione delle possibili condizioni di risonanza, il calcolo delle vibrazioni in condizioni di risonanza e non

di risonanza, tenuto conto dei prevedibili smorzamenti.

Se poi il calcolo e lo studio sperimentale suddetto portano a risultati inaccettabili, occorre modificare in sede di progetto pesi e rigidità, in modo da far variare opportunamente le caratteristiche vibratorie della macchina stessa, ricorrendo eventualmente anche all'aggiunta di opportuni smorzatori ad attrito, dinamici, pendolari ecc.

Ma anche un altro problema molto importante si incontra spesso nelle macchine, quello delle vibrazioni autoeccitate.

Tali vibrazioni si hanno quando lo spostamento dell'elemento vibrante produce una somministrazione di energia all'elemento stesso da parte di una sorgente esterna di energia (un motore, una corrente fluida ecc.) secondo una certa legge.

L'ampiezza della vibrazione risulta in tal caso dipendente sia dalla legge suddetta, sia dagli smorzamenti esistenti.

Derivano da oscillazioni di questo tipo, le quali si producono con frequenza prossima a una delle frequenze proprie, i movimenti degli alberi investiti dal vento, il formarsi delle onde marine e molti altri fenomeni naturali e della nostra vita quotidiana.

Per fare un esempio di problemi di vibrazione immaginiamo di considerare dapprima, a fermo, la girante di una turbina a gas, cioè un disco che porta a sbalzo alla periferia un certo numero di palette radiali. Disco e palettatura sono in materiale ad altissima resistenza. La prima impressione è quella di trovarsi di fronte ad un insieme ineccepibilmente rigido, per il quale girare a velocità costante, sia pure elevata, sarà estremamente facile.

Ma se, alla luce di quanto si è visto, esaminiamo meglio la situazione, ci accorgiamo che ogni palette nella sua rotazione riceve degli impulsi periodici nei passaggi davanti agli ugelli da cui escono i gas della combustione, prodotti dalle varie camere di

combustione, mentre possono nascere su di essa, per effetto delle forze aerodinamiche, oscillazioni autoeccitate, il cosiddetto « flutter ».

Ogni palette può vibrare con un certo numero, in teoria infinito, in pratica fortunatamente finito, di frequenze proprie flessionali, torsionali, e flessionali-torsionali accoppiate, e analogamente il disco può vibrare flessionalmente, cioè con spostamenti in direzione normale al suo piano medio, torsionalmente, con spostamenti in direzione periferica, radialmente con spostamenti in direzione radiale, nonché con vibrazioni torsionali-radiali accoppiate.

Tutta la girante è poi montata sopra un albero rotante, per cui il complesso girante-albero può a sua volta essere soggetto a vibrazioni torsionali e flessionali.

I sopporti dell'albero e la carcassa del motore non sono poi infinitamente rigidi, ma in qualche misura elastici e questa elasticità può dar luogo a ulteriori complicazioni dei fenomeni vibratorii.

Di fronte a tutti questi pericoli di vibrazione e di risonanza, la nostra girante ci si rivela del tutto diversa da come ci appariva a fermo, ci appare cioè come un complesso esposto a una serie numerosissima di cause di eccitazione ed estremamente sensibile, in date circostanze, all'azione di almeno alcune di esse.

È un cambiamento di prospettiva analogo a quello che si è verificato quando, dopo che certi grandi uomini della nostra storia ci erano stati descritti nei libri di scuola come la quintessenza di tutte le virtù, abbiamo appreso, leggendo le loro vere biografie, che di punti deboli, almeno in campo sentimentale, anch'essi ne avevano avuti parecchi.

In base ai cenni precedenti, è facile rendersi conto delle difficoltà di calcolo e sperimentali che può presentare lo studio teorico e pratico delle vibrazioni in una macchina. Allo stato attuale delle

nostre conoscenze questo studio non sempre può essere coronato da completo successo. Tuttavia, l'inquadramento teorico del fenomeno, e la paziente indagine sperimentale svolta alla luce di questo inquadramento, permettono in generale di evitare gli errori più gravi e di dominare in buona parte questo nemico numero uno del buon funzionamento delle nostre macchine, un nemico inafferrabile che combatte una guerriglia di tipo partigiano, agendo senza pietà quando la macchina è in movimento e scomparendo completamente quando la macchina è ferma.

Ricordo, incidentalmente, che allo studio sperimentale delle vibrazioni dà oggi un grande aiuto l'impiego iniziato nel dopo guerra e oggi largamente generalizzato, degli estensimetri elettrici, i cosiddetti *strain gages*.

Questi estensimetri sono costituiti, come è noto, da un sottile filo metallico calibrato ripiegato in più anse, che viene, con uno speciale cemento, incollato sulla superficie del pezzo da studiare o sull'elemento deformabile di un dato strumento di misura. La variazione di resistenza elettrica dovuta alla dilatazione locale produce, in un ponte di Wheatstone inizialmente equilibrato, un segnale che può essere rivelato da un oscilloscopio, un oscillografo o un registratore. È così possibile vedere l'andamento della vibrazione nei vari punti della macchina ed anche in organi in moto rotatorio, mediante contatti striscianti, che tuttavia, per le velocità più elevate, sono causa di perturbazione dei segnali, dato fra l'altro che vibrano essi stessi.

Poiché le vibrazioni producono non soltanto rumore, ma, da un lato, spostamenti delle parti vibranti, dall'altro aumento degli sforzi a cui tali parti sono sottoposte, la loro eliminazione o riduzione può avere per scopo principale la riduzione dei rumori o degli spostamenti o delle sollecitazioni di queste parti o di più d'uno di questi effetti.

Il caso classico in cui ci si preoccupa soprattutto di ridurre gli spostamenti è quello delle macchine utensili di precisione. In questo campo ha regnato, fino a pochi anni fa, un empirismo quasi completo. Da qualche anno al problema è stato dato un inquadramento teorico razionale basato sul concetto che le oscillazioni delle macchine utensili sono per lo più oscillazioni autoeccitate, inquadramento che sembra molto ben confermato dall'esperienza. Ciò consente di prevedere per un prossimo domani, malgrado i probabili aumenti di velocità, una migliore precisione, pur con diminuzione delle rigidità e dei pesi.

Il caso più frequente è però quello in cui le vibrazioni sono pericolose soprattutto perché possono portare alla rottura per fatica, cioè alla rottura dovuta alla ripetizione ad oltranza di un dato sforzo periodico.

Mentre, nelle costruzioni civili, le cause dei cedimenti e dei crolli, sono, non sempre, ma per lo più da attribuire a insufficiente resistenza statica, le rotture degli organi delle macchine sono nella quasi totalità rotture dovute a sollecitazioni variabili ripetute, cioè rotture per fatica.

Tali rotture seguono, come è noto, leggi completamente diverse da quelle delle rotture statiche e su di esse influiscono una quantità di fattori quali la finitura superficiale, le dimensioni del pezzo, eventuali deformazioni plastiche superficiali ed altri ancora.

Il numero di cicli di affaticamento a cui può resistere un dato organo cresce col diminuire della sollecitazione, fino a diventare praticamente infinito se la sollecitazione scende sotto il cosiddetto limite di fatica.

Benché questi concetti siano acquisiti da molto tempo, solo negli ultimi anni, per quanto ho avuto la possibilità di osservare, la loro applicazione è divenuta assai più generale, e si è diffusa universalmente la coscienza del pericolo insidioso costituito dalle rotture di fatica.

Attualmente perciò il costruttore che si ostinasse ad ignorare

tale pericolo sarebbe assai più inescusabile di quanto non fu Teti, allorché, immergendo nelle acque del Lete il piccolo Achille per dargli l'invulnerabilità, non si preoccupò di far sì che anche il suo tallone venisse bagnato da quell'acqua miracolosa.

La difesa contro questo pericolo si fa soprattutto adottando forme opportune e materiali adatti, nonché ricorrendo a trattamenti superficiali di pallinatura e rullatura e in altri modi.

Poiché tuttavia le rotture di fatica hanno origine notoriamente in corrispondenza a piccole imperfezioni locali del materiale che si trovano, sia sulla superficie, sia anche all'interno dell'elemento sottoposto a fatica, l'innalzamento dei carichi di lavoro dei materiali fino ai valori massimi previsti, o, se vogliamo il massimo snellimento e alleggerimento degli organi delle macchine, possono essere raggiunti senza sacrificio della necessaria sicurezza soltanto se si può essere certi che sul nostro elemento di macchina manchino, in superficie e nell'interno, difetti locali particolarmente gravi, i quali cioè non rientrino nella categoria delle imperfezioni della struttura cristallina del materiale stesso, ma siano di entità per così dire macroscopica, come le cricche, le rigature, le segregazioni, gli sdoppiamenti, le soffiature ecc.

Tali difetti possono essere presenti nel materiale grezzo, oppure essere prodotti da operazioni tecnologiche varie (rettifica, tornitura, saldatura, ecc.).

Per questa ragione, durante e dopo la seconda guerra mondiale, hanno avuto grande impulso le ricerche per riuscire a scoprire gli eventuali difetti superficiali ed interni di un dato elemento di macchina.

Le prime applicazioni dei metodi ideati a tale scopo si sono avute di solito dapprima nell'industria aeronautica, ove le esigenze della leggerezza e della sicurezza sono ugualmente importanti, poi in altre industrie belliche. Infine, come sempre accade, si è passati alle applicazioni sempre più diffuse delle costruzioni normali.

Le prove suddette, chiamate comunemente « prove non distruttive », in quanto la prova lascia intatto il pezzo provato, sono essenzialmente, secondo l'ordine cronologico della loro apparizione nell'industria, la radiografia industriale, l'esame magnetoscopico, l'esame con ultrasuoni.

Anche l'Istituto di Costruzione di Macchine del nostro Politecnico possiede da qualche anno le attrezzature per l'esecuzione di tali prove, di cui sempre maggiore ci perviene la richiesta per le applicazioni più svariate.

Benché le prove non distruttive forniscano risultati prevalentemente qualitativi e l'apprezzamento della entità numerica dei difetti rivelati dipenda in parte dall'esperienza dell'operatore, la loro utilità resta grandissima, essendo le sole prove che consentano di esaminare lo stesso elemento che verrà poi impiegato in servizio, e non un altro elemento simile.

La radiografia industriale con raggi X consente di esaminare spessori tanto più elevati quanto maggiore è la tensione raggiungibile nel tubo generatore.

Ad es. con una tensione di 260 mila volt, quale si può raggiungere nell'apparecchio del nostro Istituto, possono esaminarsi spessori di acciaio fino a circa 40 mm.

Con una sorgente di cobalto radioattivo si generano raggi γ capaci di attraversare spessori fino a 20-30 cm di acciaio. Col betatrone si può giungere fino a 50 cm di acciaio.

Si comprende tuttavia come la difficoltà dell'interpretazione della radiografia cresca con lo spessore dei pezzi esaminati.

Si deve aggiungere che la radiografia si presta particolarmente bene per l'esame delle fusioni e delle saldature, mentre non fornisce in generale indicazioni chiare nel caso dei pezzi ottenuti per lavorazione plastica.

È ormai pratica comune l'esecuzione sistematica delle radiografie di getti importanti, dei giunti saldati per apparecchi in pressione ecc. e la conservazione in archivio delle radiografie stesse

per qualunque contestazione futura.

L'esame magnetoscopico, applicato nell'industria aeronautica già poco prima della seconda guerra mondiale, si effettua sottoponendo il pezzo da esaminare, che deve essere di materiale magnetico, a un forte campo magnetico opportunamente orientato, e applicando sulla sua superficie, a secco o in sospensione liquida una fine polvere di materiale magnetizzabile. Eventuali discontinuità del materiale corrispondenti a difetti superficiali o molto vicini alla superficie del pezzo producono un addensamento locale delle linee di flusso rivelato da raggruppamenti delle particelle di materiale magnetico.

Il metodo presenta il vantaggio della semplicità e della generalità (l'unica condizione è che il materiale sia magnetico).

Il metodo più moderno e suscettibile dei maggiori sviluppi è quello degli ultrasuoni, cioè di vibrazioni meccaniche ad altissime frequenze (normalmente da un milione fino a cinque milioni al secondo, eccezionalmente fino a 20-25 milioni al secondo).

Tali vibrazioni sono ottenute portando in risonanza mediante un circuito elettrico ad alta frequenza, un trasduttore, cioè un cristallo (di solito di quarzo) dotato di proprietà piezo elettriche, in cui quindi una differenza di potenziale applicata a due facce opposte produce una variazione di distanza fra di esse e viceversa.

Appoggiando il trasduttore sul pezzo da esaminare si genera un fascio d'onde le quali viaggiano con determinate velocità, secondo percorsi rettilinei e sono parzialmente riflesse, deviate o attenuate da difetti, discontinuità di struttura, superficie di separazione, materiali diversi ecc.

Dalla entità della riflessione, o deviazione o attenuazione, rilevabile sullo schermo di un oscilloscopio, si può risalire alla entità e alla posizione dei difetti o delle discontinuità.

Con gli ultrasuoni non esistono praticamente, nel campo della meccanica, limiti agli spessori da esaminare.

Si può infatti, volendo, arrivare fino a 3, o addirittura in apparecchi speciali, fino a 30 m di spessore.

La sensibilità dipende dalla struttura del materiale. Con un materiale a grana fine, si può arrivare ad es. a rilevare difetti di qualche centesimo di millimetro a una distanza di 10-20 cm dalla superficie.

Eccellenze, Signore, Signori, qualunque sia il campo della costruzione meccanica a cui volgiamo lo sguardo, assistiamo dunque a un rapido e fecondo progresso che apporta all'uomo benefici inestimabili, lo libera da secolari servitù, gli apre la porta delle conquiste più ardite, ed è per lui motivo di giusta fierezza e soddisfazione.

Questo progresso, questo fervore di attività, di potenza, di velocità, questo moltiplicarsi del numero e delle prestazioni delle macchine incidono profondamente, in un modo o nell'altro, sulla vita materiale e spirituale di ciascuno di noi, e pongono perciò dei problemi che non sono soltanto tecnici, ma anche umani e morali.

Vorrei perciò concludere la mia esposizione accennando, non come tecnico, ma semplicemente come uomo, a uno di questi problemi che mi sembra fra i più attuali: quello dell'eccessiva invadenza materiale e morale delle macchine, anche se può sembrare strano che ne parli proprio una persona che per il suo ufficio si occupa essenzialmente della loro costruzione.

La macchina, ideata e costruita dall'uomo per sottomettere il mondo esterno e per affermarsi su di esso, tende oggi invece a prendergli la mano e a divenire per lui un fine e non un mezzo, un padrone e non un servitore.

Facilitando i nostri spostamenti, sostituendoci in un numero sempre maggiore di operazioni e compiendole in tempi sempre più brevi, incalzandoci col ritmo sempre più intenso che noi stessi le imprimiamo, la macchina tende, e in parte è già riuscita, a trascinare l'uomo, come un organo meccanico in un ciclo di lavora-

zione, in una vita che gli è sotto molti aspetti innaturale, perchè febbrile, troppo veloce, senza silenzio, senza meditazione interiore, senza sufficiente riposo.

Come un esercito anonimo e sterminato le macchine hanno invaso le città e le loro vie, cambiandone addirittura l'aspetto, e stanno invadendo in massa compatta anche le nostre case, dove man mano ci andiamo restringendo per far loro posto.

A causa delle macchine, la nostra vita si svolge con un incessante rumore di fondo che ci logora i nervi, nè ci è ormai più possibile godere della vista delle nostre chiese e piazze più belle, dei nostri palazzi più armoniosi, permanentemente circondati e quasi assediati dai parcheggi, in quell'equilibrio di volumi e di spazi con cui li avevano ideati e costruiti i nostri padri.

Eppure l'uomo non solo continua ad avere per le macchine, per tutte le macchine, l'indulgenza che hanno per i figli certi genitori troppo deboli, ma spesso, dimenticando che la macchina è stata costruita da lui stesso e per se stesso, se ne fa, più o meno consciamente, una specie di idolo, ricavandone un senso di falsa sicurezza e illudendosi, come tutti gli adoratori degli idoli, che potrà riceverne protezione e conforto. Così disorientato l'uomo d'oggi potrebbe davvero far sue le parole di Margherita, turbata dalle fallaci lusinghe di Faust:

*Meine Ruh ist hin;
Mein Herz ist schwer,
Ich finde sie nimmer
und nimmermehr.*

La mia pace è perduta, il mio cuore è triste. Non posso ritrovarla più, mai più.

Dovremo veramente rassegnarci a non trovare più questa pace? O non saprà piuttosto l'uomo ristabilire nella sua vita quella gerarchia di valori che discende dalle grandi verità della sua esistenza e della sua natura? Penso che questo possa essere il nostro augurio e la nostra speranza.

Renato Giovannozzi

Sulla risoluzione numerica delle equazioni del "guscio piatto"

Il pannello paraboloidico poco svergolato soggetto a taglio

P. CICALA e G. L. VENTURA determinano lo stato di tensione nei pannelli paraboloidici a pianta quadrata appoggiati sul contorno e soggetti a forze tangenti al contorno stesso. Il presente articolo prosegue, come Parte III, lo studio iniziato a pubblicare nel fascicolo di Settembre di Atti e Rassegna Tecnica, da pag. 303 a pag. 313.

Introduzione.

Un pannello di parete sottile con superficie media a forma di paraboloide iperbolico con generatrici parallele in pianta può sostenere un carico verticale uniformemente distribuito in regime di « tensione tangenziale pura », ossia con un sistema di tensioni che, su qualunque sezione fatta secondo una retta, generatrice o direttrice, della superficie media, presenta una risultante diretta secondo la retta stessa. In termini più generali si può affermare: dato un quadrilatero sghembo qualsiasi, il guscio avente per superficie media il paraboloide contenente questo quadrilatero può sopportare un carico uniforme nella direzione della congiungente i punti medi delle due diagonali del quadrilatero, mediante il regime di tensioni sopra indicato. Gli elementi che riquadrano il pannello ricevono gli sforzi che quello trasmette nella direzione più opportuna, di regola, per la loro resistenza: basterà che essi siano ancorati in modo da potere scaricare sui vincoli lo sforzo assiale che ricevono dal pannello perchè il sistema suindicato di tensioni si possa attuare. Così il pannello della fig. 19a, il cui contorno $OACB$ si proietta in pianta nel rettangolo $OADB$, soggetto al carico verticale p può essere tenuto in equilibrio mediante le forze $-T$ uniformemente distribuite sui lati. Si costituisce una razionale struttura disponendo tre altri pannelli si da realizzare un complesso simmetrico rispetto ai piani verticali contenenti due lati adiacenti del pannello. Se i quattro pannelli sono ugualmente caricati, essi si sostengono a vicenda equilibrando le forze sugli elementi di riquadro del piano OAB e quindi scaricano sul vincolo in C la risultante del carico p e delle

forze ricevute sui lati orizzontali di contorno.

Se invece il pannello non ha modo di scaricare su adeguati elementi di riquadro le forze tangenziali sopra menzionate, il suo comportamento risulta peggiorato in misura considerevole: l'equilibrio si stabilisce in un regime che si scosta da quello della lastra per accostarsi a quello della piastra. Alle tensioni membranali suaccennate si aggiungono le sollecitazioni create dalle forze taglianti T (fig. 19b). Queste sollecitazioni vennero analizzate in uno studio assai accurato da Duddeck ⁽¹⁾, mediante la teoria del guscio piatto. Lo stesso problema sarà qui preso in esame mediante i procedimenti numerici presentati nelle due Parti precedenti. Per quanto la situazione di carico e di vincolo sul contorno ammessa da Duddeck rappresenti una schematizzazione alquanto lontana dalle condizioni che si incontrano in pratica, tuttavia il problema ha interesse come caso limite. Il confronto dei risultati ottenuti con i due procedimenti, entrambi approssimati, fornisce inoltre utili indicazioni circa l'opportunità eventuale di affinamenti.

Le equazioni fondamentali.

Si consideri il pannello a pianta quadrata $GHJK$, di lato L ; secondo la teoria del guscio piatto non esercita alcuna influenza la posizione del vertice del paraboloide, intervenendo solo il parametro $\delta^2 z / \delta x \delta y = k$. Il pannello si suppone appoggiato sul contorno, attuando le condizioni (21). Si suppone inoltre che sui quattro lati agiscano solo forze tangenti ai lati stessi, uniformemente ripar-

⁽¹⁾ H. DUDDECK, Die Biegetheorie der flachen hyperbolischen Paraboloidschale, Ingenieur Archiv, p. 44-78, 1962.

tite, di intensità T . Per quanto riguarda le componenti di tensione parallele al piano base si riscontra una antimetria rispetto ai piani xz e yz . Nel regime flessionale si ha invece simmetria rispetto agli stessi piani. Si può quindi limitare il calcolo alla parte delimitata in pianta dai lati a, b, c, d ; questi saranno divisi in 5 parti uguali. In relazione alle notazioni precedentemente introdotte, si avrà $a = b = L/2$, $n = 5$. La numerazione delle maglie e dei tratti di contorno è indicata nella fig. 1b. Sui lati esterni si ha

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_y = 0 \quad \bar{\tau} = T/hL = c \quad \text{sul lato } a \\ \bar{\sigma}_x = 0 \quad \bar{\tau} = c \quad \text{sul lato } b \end{aligned}$$

Per la anzidetta antimetria sui lati c, d si deve avere $\bar{\sigma}_x = \bar{\sigma}_y = 0$.

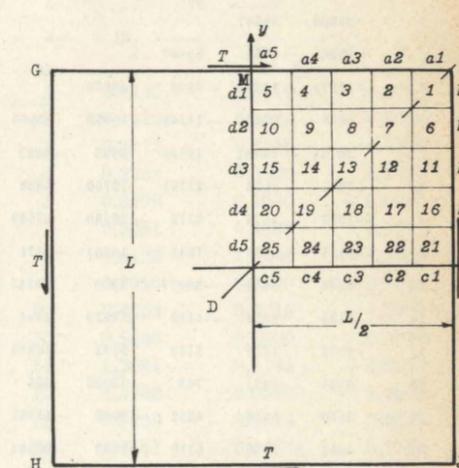
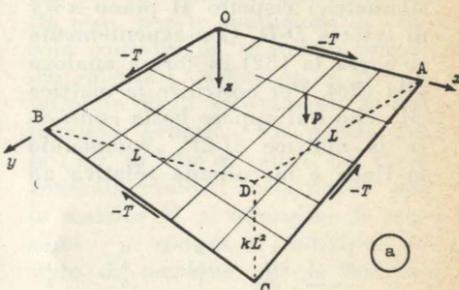


Fig. 19 - Rappresentazioni schematiche del pannello.

In analogia a quanto s'è fatto nel Caso II di applicazione, nella Parte II, si porrà una condizione I uguagliando la $\bar{\tau}$ sul contorno (c o d) alla τ nella maglia adiacente: ciò in questo caso corrisponde alla reale situazione per la parte confinante. Inoltre si porrà una condizione II richiedendo che la somma delle τ in ogni fila di maglie valga $5c$.

Nel presente caso la (14) può scriversi

$$(4I - P_1 - P_2) \tau = 2E (\hat{\gamma}_x + \hat{\gamma}_y) + P' \bar{\tau}_x + P'' \bar{\tau}_y - 4Ek w \quad (32)$$

La formazione delle matrici P_1 e P' è stata illustrata nella Parte II (fig. 8). Essa è presentata anche nella fig. 20, facendo uso della sottomatrice di base, indicata con B nella stessa figura. Le prime 5 colonne della matrice P' si riferiscono ai tratti $a1-a5$; le altre 5 ai tratti $c1-c5$. Per tener conto della condizione I si dovranno aggiungere alle ultime 5 colonne di P_1 quelle di P' per ottenere la P_1' che, all'estremità della diagonale ha la matrice $-B$.

Struttura e carichi si presentano simmetrici rispetto al piano $x=y$ di traccia $D-D$. Conseguentemente si porrà la (32) in forma analoga alla (26). Per costruire la matrice M_7' che qui appare basta contrarre la matrice $4I-2P_1'$ sommando la linea e la colonna relativa ad

$$P_1 = \begin{pmatrix} -3B & B & . & . & . \\ B & -2B & B & . & . \\ . & B & -2B & B & . \\ . & . & B & -2B & B \\ . & . & . & B & -3B \end{pmatrix} \quad P' = \begin{pmatrix} 2B & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & B & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & 2B & . & . & . \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 9 & 7 & 5 & 3 & 1 \\ 7 & 7 & 5 & 3 & 1 \\ 5 & 5 & 5 & 3 & 1 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Fig. 20 - Formazione delle matrici P' e P_1 mediante la sottomatrice base B .

ogni maglia fuori diagonale ⁽²⁾ con quella relativa alla sua simmetrica. La matrice così ottenuta è presentata nella fig. 21; poiché essa è simmetrica sono omessi gli elementi sotto la diagonale. La (32) assume dunque la forma

$$M_{7s}' \tau_s = 4E M_{10} \hat{\gamma}_s + 2 P_a c - 4Ek w_s \quad (33)$$

La matrice M_{10} , formata come è detto nella Parte II, è qui presentata nella fig. 22. La matrice P_a contiene nelle prime 5 linee la $2B$ e nelle altre 10 ha elementi nulli. La colonna $\hat{\gamma}_s$ contiene 5 scorrimenti incogniti, che possono essere eliminati mediante la condizione II. Questa si scrive

$$M_{10}' \tau_s = 5c \quad (34)$$

essendo c una colonna di 5 elementi uguali a c .

⁽²⁾ Ossia: dalla $4I-2P_1'$ si costruisce una matrice $15 \cdot 25$ con la linea 2 formata dalla somma delle linee 2 e 6 della originaria, e così via; da questa si ottiene la M_{7s}' operando sulle colonne come prima sulle linee.

È facile verificare che le (33) e (34) risultano verificate ponendo identicamente $w=0$, $\tau=c$, $\gamma=c/E$. Quindi per le differenze $\tau-c$, $\hat{\gamma}-c/E$ valgono le (26) e (27) la cui soluzione dà

$$(\tau-c) = -4Ek M_r w_s \quad (35)$$

La matrice M_r è presentata nella parte inferiore della fig. 21, omettendo gli elementi sopra la diagonale data la simmetria della matrice.

Per gli spostamenti w si fa una posizione (19) adoperando le tre funzioni

$$\begin{aligned} f_1 &= \cos(\pi x/L) \cos(\pi y/L) \\ f_2 &= 0,5 \cos(\pi x/L) \cos(3\pi y/L) + 0,5 \cos(3\pi x/L) \cos(\pi y/L) \\ f_3 &= \cos(3\pi x/L) \cos(3\pi y/L) \end{aligned} \quad (36)$$

con le quali le condizioni (21) restano soddisfatte. Con queste si costruisce la matrice M_9 e quindi per contrazione la M_{9s} come è detto per il caso II nella parte II: la matrice è riportata nella fig. 23.

	1	2	3	4	5	7	8	9	10	13	14	15	19	20	25	
	29	12	15	9	3	-7	-5	-3	-1		14	15	19	20	25	1
1	69360					7	-2	3	1	-5	-3	-1				2
2	-29880	59597				-12	4	-13	-2	10	1	2	-3	-1		3
3	-22365	-7754	53867			-3	-10	11	-8	-5	7	-6	6	-1	-1	4
4	-11079	-12240	-9599	48976		-1	-1	-8	6		-5	5	-3	2	1	5
5	-6036	-9722	-14149	-16058	45965	16	3	6	2	-5	-3	-1				7
7	26161	-44861	19188	3795	-4283	125702	18	-4	1	5	-2	1	-3	-1		8
8	7875	-3673	-21791	12760	4828	-35949	72913	24	-5	-8	4	-7	6	-1	-1	9
9	-1005	-4675	8712	-20580	17549	-27059	-16268	68254	13	-1	-6	4	-3	2	1	10
10	-3151	-6388	1645	16265	-8371	-17834	-17024	-20254	61500	12	1	2	-3	-1		13
13	8844	5659	-30077	4829	10745	14156	-38280	13701	4764	140737	14	-4	3	-2	-1	14
14	4134	4028	-4133	-13420	9391	3602	-7223	-16366	15959	-37055	73984	11	-4	1	1	15
15	1512	1739	2133	5431	-10815	-998	-5620	10221	-5343	-35325	-25574	64386	8	-1	-1	19
19	4341	6471	768	-12035	455	9883	4224	-26460	5881	13787	-36520	17741	128290	7		20
20	3610	6416	4252	-2940	-11337	9779	6506	-4848	-17852	4739	-7678	-7819	-53275	68741	3	25
25	4065	7956	6119	-2698	-15442	13336	11309	-2668	-29933	15078	7902	-40408	29197	-31733	117515	

Fig. 21 - Sopra i tratti di divisione: matrice $\frac{1}{2} M_{7s}'$. Sotto i tratti di divisione: matrice $2.10^6 M_r$.

	1	2	3	4	5
1	1
2	1	1	.	.	.
3	1	.	1	.	.
4	1	.	.	1	.
5	1	.	.	.	1
7	.	1	.	.	.
8	.	1	1	.	.
9	.	1	.	1	.
10	.	1	.	.	1
13	.	.	1	.	.
14	.	.	1	1	.
15	.	.	1	.	1
19	.	.	.	1	.
20	.	.	.	1	1
25	1

Fig. 22 - Matrice M_{10} .

Facendo uso delle (17) e (19) che si scrivono

$$E s_n^2 M_8 A = \frac{2L^2 k}{25} M_{9s} \tau_s, w = M_{9s} A$$

e della (35) si ottiene in definitiva

$$\begin{aligned} (s_n^2 M_8 + \frac{8L^2 k^2}{25} M_{9s} M_r M_{9s}^*) A = \\ = \frac{2L^2 k}{25E} M_{9s} c \quad (37) \end{aligned}$$

dove M_8 è una matrice diagonale di elementi (1; 12,5; 81) π^4/L^2 . Il secondo membro può più semplicemente esprimersi mediante i valori $2c \int f_i dx dy/E$. Così si ottiene il sistema

$$\begin{aligned} (1238 + K) A_1 - 2393 A_2 + 4782 A_3 = C \\ - 2393 A_1 + (6441 + 12,5K) A_2 - 14941 A_3 = \frac{1}{3} C \\ 4782 A_1 - 14941 A_2 + (50429 + 81K) A_3 = \frac{1}{9} C \quad (38) \end{aligned}$$

essendo

$$\begin{aligned} K &= 10^5 \frac{25 \pi^4 s_n^2}{8 k^2 L^4} \\ C &= 10^5 \frac{25 c}{2\pi^2 Ek} \end{aligned}$$

Conclusioni.

Interessa anzitutto rilevare che l'equazione risultante (20) assumerebbe la medesima forma (37) σ , in luogo delle forze tangenziali T , si applicasse un carico verticale uniforme $p=2chk$. Quindi, se si fa tendere a zero lo svergolamento del pannello, indicato dal parametro k , sotto un dato

carico p il comportamento della parete si va approssimando a quello di una piastra, assumendo importanza preponderante il termine in s_n^2 nel primo membro della (37); contemporaneamente vanno decrescendo le tensioni tangenziali, come mostra la (28). Invece, per assegnati valori delle forze T al diminuire di k vanno decrescendo gli spostamenti w e il campo di tensione τ tende a diventare uniforme. Il sistema (38) permette dunque di seguire il processo di transizione dalla configurazione di guscio piatto a quella di piastra, dipendentemente dal parametro kL^2/s_n , adimensionale, che è l'unica variabile dalla quale dipendono i valori dei coefficienti delle incognite A nel sistema (38). I calcoli vennero eseguiti per $kL^2/s_n=43,3$ e $173,25$, valori considerati dal Duddeck nelle applicazioni numeriche. Nel primo caso si ottenne

$$\begin{aligned} EkA_1/c = 18,386, EkA_2/c = \\ = 0,7170, EkA_3/c = -0,0305 \end{aligned}$$

nel secondo

$$\begin{aligned} EkA_1/c = 173,577, EkA_2/c = \\ = 24,800, EkA_3/c = -3,1975 \end{aligned}$$

I valori dei rapporti τ/c ottenuti nel primo caso per le 15 maglie che fanno parte di un settore di 45° sono riportati presso i circoletti che li rappresentano, nella fig. 24a. Nella stessa figura sono segnate con linea continua le curve che rappresentano i rapporti τ/c ottenuti da Duddeck: le curve sono ricavate dai grafici della nota citata mediante interpolazione, con una lieve correzione per dare valore 1 all'ordinata media dei diagrammi. Si sono inoltre calcolati i valori dei rapporti $(M_x + M_y)/2(1+\nu)T$ essendo M_x il momento rispetto alla generatrice della superficie media, per tratto unitario di questa, sulla sezione con un piano parallelo a x e M_x l'analogo momento unitario sulla sezione parallela a y . I valori di questo rapporto adimensionale sono riportati nella fig. 24b, indicati con circoletti presso le curve ricavate dai grafici di Duddeck.

Il rapporto anzidetto, proporzionale a $\nabla^2 w$, si può considerare come rappresentativo dello stato di tensione flessionale della pa-

rete: esso presenta valori simmetrici rispetto ai piani $x=\pm y$, oltre che ai piani $x=0$ e $y=0$. I calcoli delle stesse grandezze per $kL^2/s_n=173,25$ indicarono un accordo con i risultati di Duddeck meno soddisfacente di quello presentato nella fig. 24. È probabile che le deviazioni siano dovute al limitato numero di termini negli sviluppi adottati per w : mentre qui si usò un'espressione trinomia, Duddeck adottò sviluppi con 20 termini. Tuttavia i risultati essenziali rivelano una notevole concordanza. Il valore massimo di τ/c fu ottenuto nella maglia 5 (e simmetriche): esso è di 4,17, superiore del 7% al valore massimo trovato da Duddeck, nella stessa regione. Il valore minimo $\tau/c = -4,11$ fu ottenuto nella maglia 1: il valore più basso trovato da Duddeck, nella stessa regione è $< 3,3$. Il valore più alto $(M_x + M_y)/2(1+\nu)T = 3,8$ venne trovato nella maglia 14: il massimo trovato da Duddeck ($=4,1$) cade presso la maglia 15.

Si conclude che, per valori di $kL^2/s_n \approx 25$ o inferiori si ottengono risultati notevolmente precisi pur col semplice sistema (38). Da esso, per le condizioni di vincolo considerate, si hanno immediatamente i coefficienti A per lo sviluppo degli spostamenti w nel pannello generico. Da questi con la (35), in base ai valori, del tutto generali, indicati nella fig. 21 per la matrice M_r , si ottengono le tensioni τ e quindi si individua lo stato di tensione per le compo-

	1	2	3
1	0,0245	0,0710	0,2061
2	0,1420	0,3606	0,8968
3	0,2212	0,4316	0,6420
4	0,2788	0,3800	0,1420
5	0,3090	0,3090	-0,8090
7	0,2061	0,4484	0,9755
8	0,6420	1,0194	1,3968
9	0,8090	0,8090	-0,3090
10	0,8968	0,5710	-1,7601
13	0,5000	0,5000	0,5000
14	1,2601	0,5194	-0,2212
15	1,3968	0,0684	-1,2601
19	0,7939	-0,1394	0,0245
20	1,7601	-0,9484	0,2788
25	0,9755	-0,8800	0,7939

Fig. 23 - Matrice M^* .

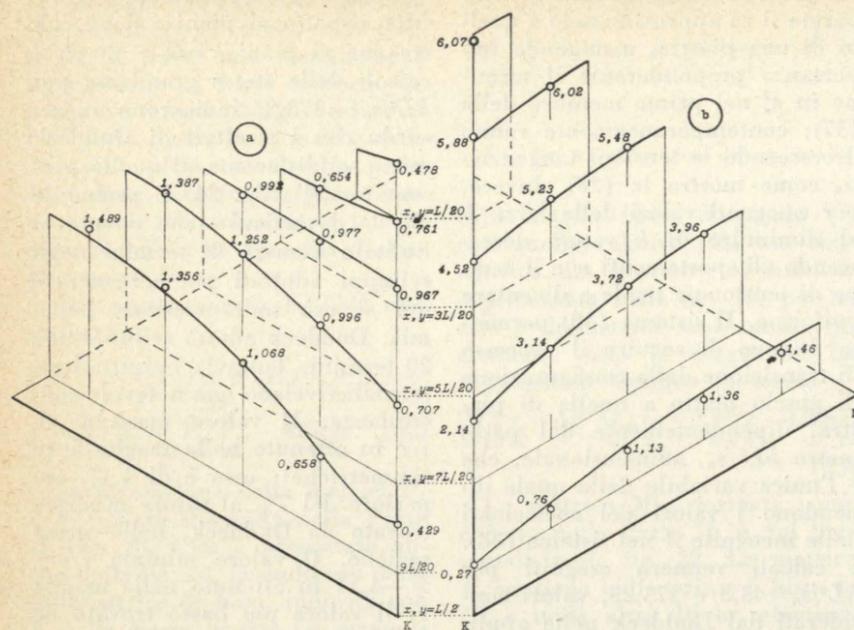


Fig. 24a - Diagrammi di τ/c lungo le parallele al contorno nei punti medi delle maglie per un ottavo di pannello.

Fig. 24b - Diagrammi di $(M_x + M_y)/2(1 + \nu)T$.

Misura dello smorzamento interno col vibroforo Amsler: nuovi procedimenti di rilevazione e di calcolo

PASQUALE MARIO CALDERALE riferisce su alcune modifiche, suggerite dalla personale esperienza, apportate al metodo di misura dello smorzamento interno mediante il Vibroforo Amsler.

1. Argomento del lavoro.

Il Vibroforo Amsler [1] [2] è un pulsatore ad alta frequenza (fino a 300 Hz), costituito da un sistema rispondente allo schema di fig. 1, cioè da due masse m_1 , m_2 ($m_2 \gg m_1$) collegate da due molle in serie (una delle quali è costituita dallo stesso provino in esame), aventi rispettivamente rigidità c_p e c_o .

Mediante una complessa apparecchiatura elettronica, tale sistema è eccitato in risonanza. Il provino lavora pertanto in trazione-compressione, con un dato precarico imposto dall'operatore.

Interrompendo l'eccitazione della macchina, è possibile, mediante un apposito apparecchio, registrare fotograficamente l'oscil-

logramma di estinzione dell'oscillazione.

Poiché buona parte della perdita di energia che porta a tale estinzione è quella dovuta allo smorzamento interno del materiale del provino, si può, con opportuno procedimento, determinare il valore di tale smorzamento.

Si deve sottolineare il fatto che con questa macchina, a differenza di quanto normalmente accade con le precedenti, è possibile senza difficoltà eseguire misure di smorzamento con precarico. Possono inoltre con grande facilità raggiungersi carichi molto elevati prossimi o anche superiori al limite di fatica.

Nel presente lavoro si riferisce brevemente su alcune difficoltà in-

contrate nell'applicazione del procedimento Amsler originale per la determinazione dello smorzamento, e si indicano alcune varianti ad esso apportate.

Tali varianti riguardano la valutazione dell'effetto di smorzamento della sola macchina e l'elaborazione degli oscillogrammi ottenuti.

2. Valutazione delle perdite della macchina.

Come in precedenti lavori, si fa qui riferimento allo « smorzamento relativo ψ », definito (O. Föppl), come il rapporto fra l'energia ΔL assorbita dal materiale per ciclo e l'energia potenziale massima L nella posizione di massima ampiezza (ΔL e L si riferi-

menti nella superficie media ⁽³⁾).

Per valori alti di kL^2/s_n i grafici delle varie caratteristiche di sollecitazione o di spostamento presentano andamento fortemente accidentato e quindi i risultati ottenibili con le espressioni indicate possono risultare meno precisi. Si osserva che anche gli sviluppi adottati da Duddeck mostrano una convergenza lenta per valori alti del parametro anzidetto. Del resto, crescendo questo parametro, la teoria del guscio piatto tende a perdere valore, mentre d'altra parte si entra nel campo di validità delle soluzioni « di striscia », con forti localizzazioni di sforzi ⁽⁴⁾.

P. Cicala e G. L. Ventura

⁽³⁾ Si noti che, per quanto riguarda le σ , essendosi concentrata la resistenza lungo le dividenti delle maglie, si valutano i valori medi: per determinare le eventuali punte locali di tensione si dovrebbe ricorrere ad estrapolazioni.

⁽⁴⁾ P. CICALA, Pannelli paraboloidici sollecitati a taglio, Atti Acc. Scienze Torino, vol. 97, 1963.

scono di solito all'unità di volume):

$$(1) \quad \psi = \frac{\Delta L}{L}$$

Nei limiti della proporzionalità fra tensioni e deformazioni è anche:

$$(2) \quad \psi = 2\delta,$$

indicando con δ il decremento logaritmico, cioè la diminuzione del logaritmo naturale dell'ampiezza in un periodo di una oscillazione libera smorzata, o anche, con ottima approssimazione, la diminuzione percentuale di ampiezza in un periodo.

Detti δ , δ'_0 i decrementi logaritmici quando nella macchina è inserito rispettivamente il provino di cui si vuole misurare lo ψ e un provino campione di smorzamento « nullo », con un calcolo riportato in un fascicolo della casa Amsler [1], si giunge alla relazione:

$$(3) \quad \psi = 2 \frac{f_0^2}{f_0^2 - f^2} (\delta - \delta'_0)$$

nella quale f , f_0 sono le frequenze proprie della macchina con e senza (corto circuito) il provino.

Per l'applicazione della (3) si richiedono due oscillogrammi di estinzione [col provino in istudio (δ) e col provino campione (δ'_0)] e la misura delle frequenze f_0 in corto circuito ed f col provino ⁽¹⁾.

Poiché ψ dipende dall'ampiezza della sollecitazione, nei due oscillogrammi suddetti, i decrementi δ , δ'_0 devono misurarsi a parità di sollecitazione, cioè a parità di ampiezza dell'oscillazione.

Applicando successivamente la (3) ai vari punti dei due oscillogrammi, si rileva la variazione di ψ con l'ampiezza della sollecitazione.

Nella (3) il termine sottrattivo corrisponde alla parte di energia dissipata in un ciclo non per lo smorzamento interno del provino, ma per le altre perdite che si hanno nella macchina.

⁽¹⁾ Incidentalmente si fa presente che nelle prove eseguite dall'A. dal 1960 ad oggi, è risultato vantaggioso l'uso di un contatore elettronico, mediante il quale si ha una misura istantanea e precisa del valore della frequenza.

Secondo la Casa Amsler [1], tali perdite sono entro larghi limiti indipendenti dalla frequenza e anche dall'ampiezza dell'oscillazione.

Per i materiali con elevato smorzamento ($\psi \approx 0,1$), il δ'_0 è piccolo rispetto a δ e perciò la sua misura esatta non ha grande importanza.

Per materiali con piccolo smorzamento ($\psi \approx 0,03$) il δ e il δ'_0 sono invece assai prossimi e perciò, poiché ψ è proporzionale alla loro differenza, occorre maggiore esattezza nella loro misura.

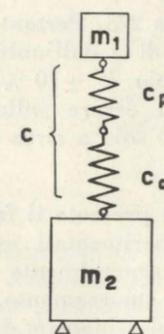


Fig. 1

L'uso del provino di smorzamento « nullo » si basa sull'ammissione che, con tale provino, le perdite siano esclusivamente quelle dovute alla macchina e che tali perdite siano uguali a quelle che si hanno quando la macchina vibra col provino in istudio, giacché, nei due casi, per quanto riguarda la macchina, niente è cambiato: né frequenza, né ampiezza, né forma del complesso vibrante.

L'uso di un provino di smorzamento « nullo » presenta tuttavia tre inconvenienti di ordine pratico, consistenti il primo nel fatto che la curva di estinzione ha una pendenza sull'asse delle ascisse così bassa da renderne imprecisa la misura, il secondo nel fatto che non è chiaro e sicuro come possa ottenersi un provino con smorzamento nullo, il terzo infine consistente nell'affaticamento del provino, cui con-

segue una variazione delle sue caratteristiche di smorzamento.

Si è stati perciò indotti a vedere se non fosse possibile determinare la perdita dovuta alla sola macchina con una prova in corto circuito, senza il provino campione ⁽²⁾.

In tale prova, mancando la deformabilità del provino interposto, si ha naturalmente una frequenza e una pendenza dell'oscillogramma alquanto più elevate ⁽³⁾ che quando è inserito il provino.

Se le perdite dovute alla macchina sono perciò, come asserisce la casa Amsler, circa indipendenti dalla frequenza, eseguendo la misura della perdita in corto circuito e col provino campione, a parità di ampiezza deve trovarsi all'incirca lo stesso valore di tale perdita.

Immaginando dunque di misurare in corto circuito oltre che la frequenza f_0 , anche il decremento logaritmico δ_0 , con un calcolo che per brevità si omette, si giunge alla relazione:

$$(4) \quad \psi^* = \frac{2f_0^2}{f_0^2 - f^2} \left[\delta - \delta_0 \frac{f_2}{f_0} \right]$$

l'applicazione della quale richiede l'esecuzione di due oscillogrammi di estinzione, uno col provino da studiare, l'altro in corto circuito, mentre si evita l'uso del provino di smorzamento solo teoricamente nullo.

Se l'ipotesi da noi fatta è attendibile, i valori di ψ calcolati, a parità di ampiezza, mediante le formule (3) e (4), devono risultare uguali o di poco diversi e

⁽²⁾ Questo procedimento fu sperimentato per la prima volta nella tesi di laurea dell'Ing. A. Accornero « Studio teorico e sperimentale dei materiali per anelli elastici per pistoni; progetto di anelli elastici a pressioni variabili e di una macchina per costruirli », svolta nell'Istituto di Costruzione di Macchine del Politecnico di Torino, sotto la direzione del Prof. R. Giovannozzi.

⁽³⁾ Tale pendenza nella prova in corto circuito aumenta sia per il ridursi del periodo dell'oscillazione, sia per il fatto che a parità di perdita assoluta, risulta aumentata, per la mancanza dell'energia elastica del provino, la perdita percentuale, cui il decremento logaritmico, e quindi tale pendenza, sono proporzionali.

deve inoltre essere soddisfatta la relazione:

$$(5) \quad \lambda = \frac{f^2}{f_0^2} \frac{\delta_0}{\delta_0'} \approx 1$$

che discende dal confronto delle (3) e (4).

Coi materiali da noi sperimentati, l'uguaglianza degli ψ calcolati coi due metodi è risultata sempre verificata entro i limiti di precisione delle misure.

Nella tabella che segue sono riportati alcuni pochi valori miscelanei dei valori di ψ , calcolati con la (3) e con la (4), nonché i valori del rapporto λ , estratti a caso da alcune centinaia di analoghi calcoli e misure.

Materiali	σ_{\max} kg/mm ²	σ_{\min} kg/mm ²	$\psi \times 10^3$	$\psi^* \times 10^3$	λ	$\frac{\Delta\psi}{\psi} \%$
CG2 [4]	85	5	6,11	6,05	0,91	0,98
	75	15	4,63	4,78	1,09	3,2
BO [6]	85	5	3,19	3,18	0,99	0,31
	64	2	3,44	3,20	0,89	7,0
	64	2	3,98	3,85	0,94	3,3
B1 [6]	56	2	4,32	4,08	0,89	5,6
	56	2	4,29	4,11	0,92	4,2
B2 [6]	40	2	6,07	5,80	0,88	4,4
	40	2	6,30	6,22	0,96	1,3
B3 [6]	32	2	9,26	9,31	1,02	0,54
	32	2	7,83	8,05	0,90	2,8

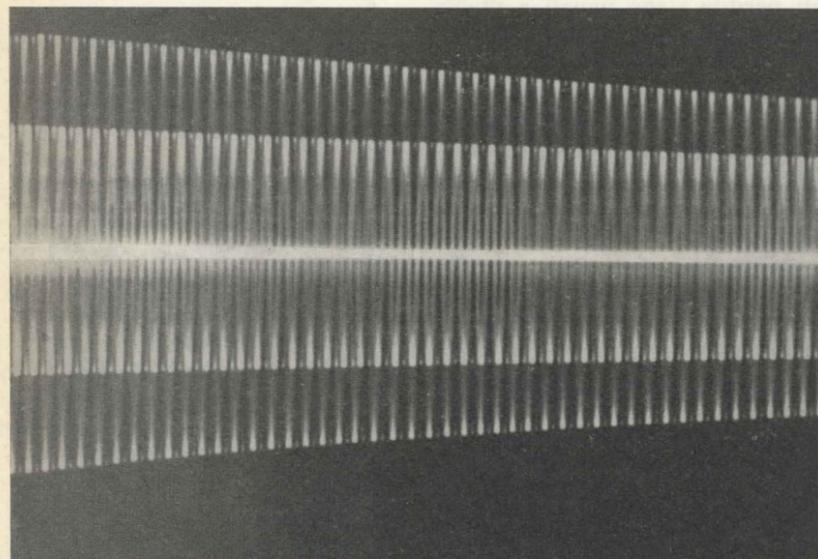


Fig. 2

L'errore relativo $\frac{\Delta\psi}{\psi}$ è espresso dalla formula:

$$(6) \quad \frac{\Delta\psi}{\psi} = \frac{|\psi - \psi^*|}{\psi} = 2 \frac{f^2}{f_0^2 - f^2} \frac{\delta_0}{\psi} (1 - \lambda)$$

Per gran parte degli acciai da noi sperimentati, aventi smorzamenti piuttosto bassi, e con le dimensioni di provini adottate, i rap-

porti $\frac{\delta_0}{\psi}$ ed $\frac{f^2}{f_0^2 - f^2}$ erano dell'ordine di grandezza di $\frac{1}{6} \div \frac{1}{3}$ e ri-

spettivamente $2/3$. Pertanto a uno scostamento di ψ dall'unità uguale ad esempio a $\pm 10\%$, corrispondeva un errore sullo smorzamento pari solo a circa il $2,5 \div 5\%$.

Se si tiene presente il fatto che gli acciai sperimentati erano in gran parte, generalmente parlando, a basso smorzamento, e che con altri acciai meno « duri » la misura della perdita dovuta alla macchina richiede, a parità di precisione relativa, una precisione assoluta minore, si ha motivo di ritenere che il procedimento indicato possa nella maggior parte dei casi sostituire vantaggiosa-

mente il procedimento basato sull'uso del provino con smorzamento « nullo ».

3. Elaborazione degli oscillogrammi.

La determinazione dei decrementi logaritmici richiede in sostanza la determinazione della pendenza di una curva di estinzione, tangente agli oscillogrammi in corrispondenza ai punti di massimo.

La casa Amsler consiglia appunto di tracciare « a sentimento » una tale linea di inviluppo e di determinare poi la pendenza mediante la misura della sottotangente.

A questo riguardo l'esperienza ha mostrato che su tale procedimento di misura ha una influenza non trascurabile l'abilità e l'esperienza dell'operatore. Si deve infatti osservare che la forma della curva di estinzione non è definita in modo concettualmente chiaro, mentre è noto che il tracciamento grafico della tangente a una curva anche ben definita presenta sempre un certo grado di imprecisione. D'altra parte, per effetto delle dimensioni del raggio luminoso che traccia l'oscillogramma, la linea corrispondente risulta di spessore finito e in particolare risultano appiattiti i vertici dell'oscillogramma stesso. La fig. 2 mostra un oscillogramma in grandezza naturale, la fig. 3 mostra alcune creste dello stesso oscillogramma ingrandite circa trenta volte.

Per eliminare o almeno ridurre le cause di imprecisione suddette, che riescono particolarmente evidenti quando la pendenza dell'oscillogramma è molto piccola, si è provato a rappresentare analiticamente la curva di estinzione, misurando i valori delle ordinate massime di un certo numero di creste dell'oscillogramma e facendo uso del metodo dei minimi quadrati.

Per tale rappresentazione, dopo alcuni tentativi effettuati nell'Ufficio Calcoli Numerici dell'Istituto Matematico del Politecnico di Torino, al quale l'A. rivolge il suo ringraziamento, è risultata parti-

colarmente opportuna e soddisfacente una formula del tipo:

$$(7) \quad \bar{y} = \frac{a}{x^2 + bx + c} \quad (a, b, c \text{ costanti})$$

nella quale \bar{y} e x sono rispettivamente le ordinate e le ascisse (asse dei tempi) della curva di estinzione.

Dette x_i, y_i ($i=1, 2, \dots, n$) i valori delle coordinate misurate sull'oscillogramma opportunamente ingrandito, i coefficienti a, b, c , in base al metodo dei minimi quadrati, risultano definiti dal sistema di equazioni (4)

$$(8) \quad \begin{cases} -na + [Y]b + [X]c = -[Z] \\ -[Y]a + [Y^2]b + [XY]c = -[YZ] \\ -[X]a + [XY]b + [X^2]c = -[Y^2] \end{cases}$$

nel quale si è posto

$$x y^2 = Z, x y = Y, y = X,$$

e le parentesi quadre indicano le sommatorie estese agli n punti per i quali sono state rilevate le coordinate x_i, y_i . (Ad es.

$$[X] = \sum_{i=1}^n X_i).$$

Posto

$$(9) \quad s = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n-1}}$$

si giudica la bontà dell'approssimazione raggiunta, verificando che sia

$$(10) \quad |\varepsilon| < 3s.$$

Per dedurre dalla (7) il decremento logaritmico

$$(11) \quad \delta = \frac{\Delta y}{y} = \frac{l}{T}$$

(l = sottotangente della curva di estinzione, T = periodo, Δy = diminuzione di ampiezza di un periodo) (fig. 4), essendo noto T , basta calcolare solo i coefficienti b e c . Si ha infatti

$$(12) \quad l = \frac{Dx^2 + bDx + cD}{2Dx + bD}$$

(4) Il sistema (8) è ottenuto minimizzando la

$$\begin{aligned} \varphi(a, b, c) &= \sum_{i=1}^n \varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2 = \\ &= \sum_{i=1}^n (Z + bY + cX + a)^2. \end{aligned}$$

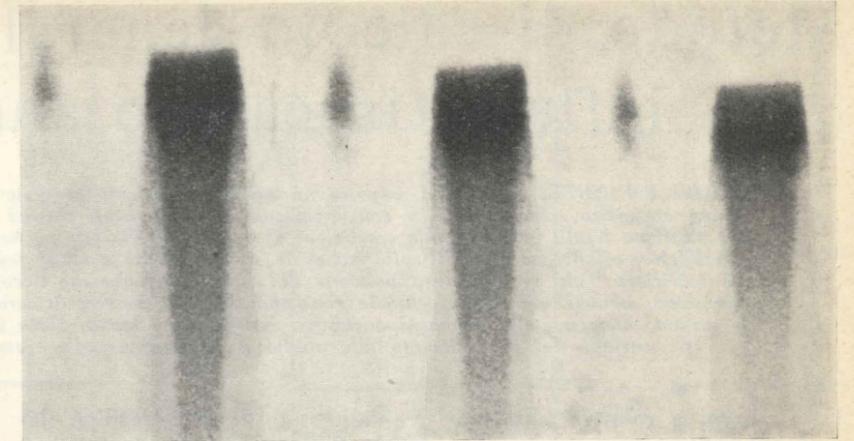


Fig. 3

in cui è

$$(13) \quad D = \begin{vmatrix} -[Y]^2 + n[Y^2] & n[XY] - [X][Y] \\ n[XY] - [X][Y] & n[X^2] - [X]^2 \end{vmatrix}$$

$$(14) \quad bD = \begin{vmatrix} [Z][Y] - n[YZ] & n[XY] - [X][Y] \\ [Z][X] - n[Y^2] & n[X^2] - [X]^2 \end{vmatrix}$$

$$(15) \quad cD = \begin{vmatrix} n[Y^2] - [Y]^2 & [Z][Y] - n[YZ] \\ n[XY] - [X][Y] & [Z][X] - n[Y^2] \end{vmatrix}$$

Il procedimento esposto ha il pregio essenziale di evitare ogni influenza personale nella elaborazione degli oscillogrammi e di consentire un tracciamento normale della curva di estinzione, effettuando automaticamente una interpolazione fra le varie creste dell'oscillogramma di ordinate non sempre regolarmente variabili.

Naturalmente esso è più complicato della lettura a vista, ma si ritiene che possa ugualmente riuscire di utilità in molti casi. Disponendo di un calcolatore elettronico, il suo impiego può divenire di uso corrente.

4. Osservazioni conclusive.

In conclusione si ritiene che gli adattamenti e le varianti apportate al procedimento originale per

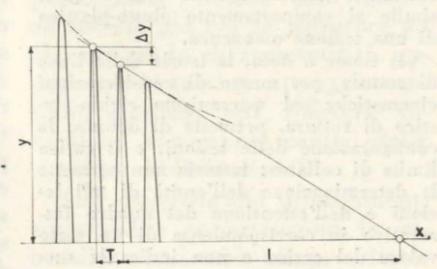


Fig. 4

la misura dello smorzamento interno dei materiali mediante il vibroforo Amsler possano riuscire in molti casi di utilità a chi, come lo scrivente, debba eseguire molte misure di questa caratteristica dei materiali.

L'A. ringrazia vivamente il Prof. Renato Giovannozzi, Direttore dell'Istituto di Costruzione di Macchine del Politecnico di Torino, per i consigli di cui gli è stato largo durante l'esecuzione del presente lavoro.

Pasquale Mario Calderale

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Determination de l'amortissement des matériaux en utilisant un tambour enregistreur photographique*, fasc. 89/16 della Casa Amsler.
- [2] A. TENOT, *Note concernant l'amortissement interne des matériaux et sa détermination à l'aide des pulseurs électro-magnétique Amsler*, Mem. Soc. Ing. Civ. Fr. 104, 5/6 (1951).
- [3] M. RUSSENBARGER, *A new Amsler high speed fatigue testing machine*, Pubbl. Amsler.
- [4] P. M. CALDERALE, *Smorzamento interno e affaticamento in un acciaio ad alta resistenza*, Atti del 1° Convegno Nazionale sulla Fatica in Aeronautica, Roma (1960).
- [5] P. M. CALDERALE, *Ricerche sullo smorzamento interno*, La Ricerca Scientifica, 33, 2, II A, vol. 3 (1963).
- [6] P. M. CALDERALE, *Smorzamento interno e sensibilità all'intaglio*, Atti della Accademia delle Scienze di Torino (dicembre 1963).

Metodo di calcolo generale delle lastre inflesse in campo anelastico

CARLO EMANUELE CALLARI imposta un metodo di calcolo generale per le strutture iperstatiche in campo anelastico, che prende in considerazione gli adattamenti plastici che su di esse si verificano, e che risultano legati, oltre che alle condizioni di carico e di vincolo, anche alla forma reale dei diagrammi sforzi-deformazioni verificantisi sulle zone di struttura sulle quali si sono superati i limiti di elasticità del materiale. Tale procedimento permette di seguire gradualmente l'evoluzione dei fenomeni di plasticizzazione, nonché una loro eventuale retrogradazione, al crescere di carichi esterni, analizzando soltanto le sezioni interessate dai fenomeni anelastici. Nel presente lavoro viene in particolare esaminata l'applicazione del procedimento allo studio a fessurazione ed a rottura delle lastre piane.

I - Principi e relative basi teoriche (1).

Nel presente lavoro ci siamo proposti di studiare il regime statico delle lastre piane inflesse oltre il limite elastico, tenendo conto della graduale apparizione degli adattamenti originati dalla plasticizzazione del materiale, oppure, nel caso di strutture in calcestruzzo armato, anche dalla sua fessurazione. Il concetto informatore della ricerca è stato quello di seguire l'evoluzione del regime statico della lastra, prima in campo elastico e successivamente in campo anelastico (2), senza quindi dover ricorrere a predeterminate configurazioni di fessurazione o di rottura, come è necessario, ad esempio, per calcolare il carico di collasso di una lastra con il metodo delle « linee di rottura » [2].

Il metodo di calcolo proposto, ed esposto nel seguito, è valido per qualsiasi tipo di struttura in campo anelastico; in questa sede verrà in particolare applicato alle lastre piane inflesse, nelle quali permette di determinare, a parti-

(1) I concetti essenziali del procedimento di calcolo esposto nel presente lavoro sono stati presentati dall'autore al colloquio « Dalles », nel quadro delle riunioni del Comité Européen du Béton (Wiesbaden, aprile 1963) nella comunicazione: « Tentative d'établissement d'une méthode générale pour le calcul anelastico des dalles en flexion » (Bulletin du C. E. B., n. 38) [1].

(2) Col termine generale « campo anelastico » del comportamento di una struttura, comprendiamo complessivamente sia il campo di deformazioni propriamente plastiche (quali sono ad esempio quelle che si verificano in una sezione inflessa non parzializzata dopo aver superato il momento limite elastico), sia il campo di deformazione che si verificano oltre la fessurazione nelle strutture in cemento armato, soggette a

re dallo stato di sollecitazione elastico, le zone in cui successivamente si entra in campo anelastico (o in cui si verificano le fessure) al crescere del carico esterno; al limite si può anche giungere per questa via a determinare la configurazione di rottura, che sarà definita come quella che per prima fa raggiungere a una sezione il momento di rottura.

Lo studio graduale dell'evoluzione dei fenomeni anelastici nelle lastre presenta tuttavia il maggior interesse nel campo della fessurazione delle strutture in cemento armato e in c. a. precompresso; infatti attualmente non si conosce un modo per valutare l'entità del carico che produce un certo grado di fessurazione, o di deformazione, anche quando si sia stabilita la configurazione finale delle lesioni per mezzo della teoria delle linee di rottura (3).

Il principio su cui si fonda il procedimento in esame è quello

parzializzazione; in questo ultimo caso si hanno infatti dapprima deformazioni plastiche nel calcestruzzo teso, poi nuovamente un campo elastico a sezione parzializzata, infine deformazioni plastiche nel calcestruzzo compresso e nel ferro teso. L'insieme di questi fenomeni è però equivalente a una graduale riduzione della rigidità della struttura dopo la fessurazione che si traduce in un incurvamento del diagramma sforzi-deformazioni; qualitativamente esso è quasi simile al comportamento elasto-plastico di una sezione omogenea.

(3) Come è noto, la teoria delle linee di rottura, per mezzo di considerazioni cinematiche sul meccanismo rigido-plastico di rottura, permette di definire la configurazione delle lesioni, e il carico limite di collasso; tuttavia non permette la determinazione dell'entità di tali lesioni e dell'estensione del quadro fessurativo in corrispondenza di un certo valore del carico e non indica la successione in cui esse appaiono al crescere del carico.

che consiste nell'analizzare i fenomeni anelastici che si verificano in un corpo mediante l'introduzione di opportune « coazioni » che permettono di calcolare l'effetto delle deformazioni non elastiche che si verificano quando il materiale supera certi limiti di sollecitazione; lo stato di equilibrio elasto-plastico di un corpo si può infatti interpretare come la sovrapposizione dell'effetto elastico delle forze esterne, e dell'effetto, anche esso elastico, delle deformazioni anelastiche localizzate in certe zone del corpo stesso, e dovute alla plasticizzazione od alla fessurazione del materiale. Le deformazioni anelastiche, il cui effetto statico è valutato mediante lo studio di opportuni stati di coazione, sono funzioni delle sollecitazioni a cui sono soggette le singole zone di struttura; tali funzioni sono relazioni fra sforzi e deformazioni, che, partendo dal comportamento elastico del materiale, seguono il suo comportamento fino alla rottura.

2 - Caratteristiche dei procedimenti di calcolo ispirati alla teoria degli « adattamenti plastici ».

Alcuni procedimenti di calcolo in campo plastico di strutture iperstatiche, che seguono il concetto degli « adattamenti plastici » sono già stati proposti da vari Autori; in questo paragrafo ne richiameremo brevemente le caratteristiche essenziali, al fine di poter poi istituire un confronto col metodo proposto. I metodi basati sugli adattamenti plastici consentono, come è noto, lo studio del regime statico di una struttura tenendo conto delle reali leg-

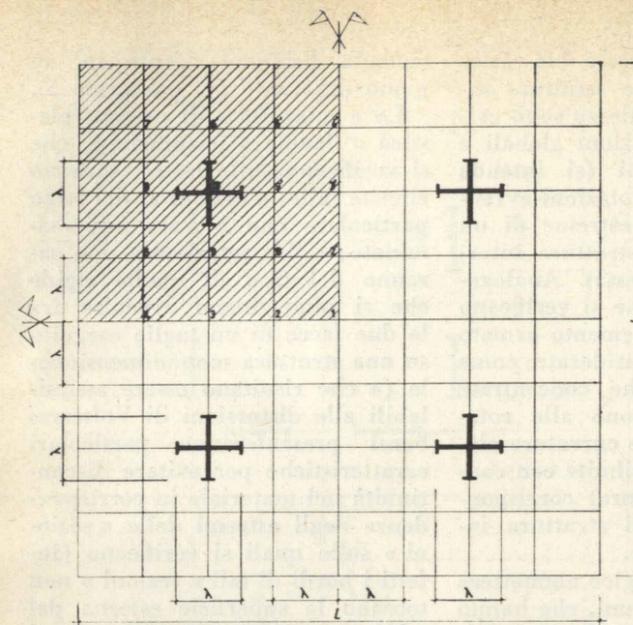


Fig. 1a

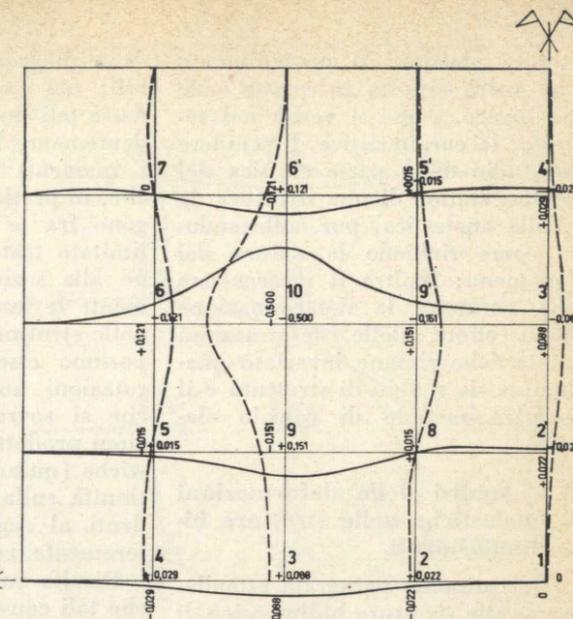


Fig. 1b

gi sforzi-deformazioni del materiale nonché delle condizioni di congruenza ai vari stadi della plasticizzazione [6]. Tali procedimenti si possono dividere in due categorie: alla prima appartengono i procedimenti « gradual », che permettono di seguire l'evoluzione della plasticizzazione durante l'accrescimento del carico con una legge qualsiasi, di tener conto di una eventuale retrogradazione della plasticizzazione, e di determinare in modo univoco le zone plasticizzate della struttura; alla seconda appartengono i metodi di verifica « a posteriori », i quali, partendo da una ipotizzata configurazione e da un predeterminato grado di plasticizzazione, verificano la compatibilità con i vincoli delle conseguenti deformazioni totali della struttura (4). Ne segue che la configurazione di rottura così scelta e verificata « a posteriori » per la congruenza delle deformazioni, è « possibile » ma non è necessariamente quella alla quale si perviene analizzando l'evolversi dei fenomeni di plasticizzazione; con la scelta predeterminata delle sezioni plasticizzate non è infatti possibile tener conto di eventuali retrogradazioni della plasticizzazione né degli effetti prodotti da

(4) A questa categoria appartengono, ad esempio, il « metodo delle rotazioni imposte » di G. Macchi, ed il metodo di Guyon, per il calcolo delle travature iperstatiche [3] [4] [11].

un accrescimento non contemporaneo dei carichi esterni; tali fenomeni possono portare, sulla stessa struttura, a più configurazioni di plasticizzazione, e non a quell'unica, che considerazioni più o meno intuitive portano a scegliere « a priori ». Inoltre particolari condizioni di vincolo, rigidità o forma della struttura, possono permettere l'estensione della plasticizzazione a zone estese della struttura stessa, oppure limitarla nell'intorno delle zone più caricate (come avviene ad esempio nelle travi o lastre riposanti su appoggio elastico continuo); anche quest'ultimo fenomeno risulta evidentemente di difficile valutazione in una scelta aprioristica delle sezioni plasticizzate.

Con i metodi « a posteriori » il calcolo pratico deve essere condotto per successive approssimazioni, in quanto non è possibile valutare a priori il rapporto fra i gradi di plasticizzazione delle varie sezioni; la stessa determinazione « a priori » delle sezioni plasticizzate diviene poi difficile ed incerta già per le travature ad elevato grado di iperstaticità oppure per le travi su appoggio continuo elastico; tali difficoltà aumentano ancora nel campo delle strutture bidimensionali.

Alla categoria dei procedimenti « gradual » appartengono le generalizzazioni nel campo elasto-plastico di procedimenti di cal-

colo elastico delle strutture (5); tali procedimenti permettono lo studio completo del comportamento elasto-plastico della struttura; risultano però molto spesso laboriosi nell'applicazione pratica, in quanto, per tener conto della congruenza delle deformazioni elasto-plastiche, presentano tutte le difficoltà del calcolo elastico da cui derivano, sommate a quelle proprie dalla maggior complessità del legame fra sforzi e deformazioni del materiale in

(5) Un procedimento graduale è, ad esempio, la generalizzazione del metodo diretto di calcolo delle strutture iperstatiche eseguite dal Levi per la trave incastrata rigidamente ed elasticamente agli estremi [9] e per la trave continua simmetrica a tre campate [10]; tale procedimento può utilizzare sia i diagrammi momenti-curvature che, più semplicemente, i diagrammi momenti-rotazioni. Una equazione algebrica di terzo grado che permette di calcolare a priori il rapporto fra il momento effettivamente raggiunto a rottura sull'appoggio e il momento limite della sezione stessa, per la trave simmetrica a tre campate soggetta a un carico concentrato in mezzzeria, è stata data da G. Macchi [3].

Nel campo delle lastre piane la generalizzazione dell'equazione di Lagrange ottenuta da F. Levi (vedi bibliografia [7] e il paragrafo 3.2 del presente lavoro) fornirebbe la soluzione del problema quando si sostituissero le curvature impresse costanti con analoghe curvature (o rotazioni) funzioni del momento totale (somma del momento prodotto elasticamente dai carichi e del momento di redistribuzione) che si verifica sulle sezioni plasticizzate (a parte la difficoltà di risoluzione pratica del problema).

campo plastico. Il procedimento che verrà esposto in questa sede ha invece, come si vedrà nel seguito, la caratteristica di scindere lo studio della parte elastica del regime statico di una struttura da quella anelastica, pur collegandole come richiede la natura del fenomeno; inoltre il meccanismo che permette la determinazione degli effetti delle deformazioni anelastiche rimane invariato qualunque sia il tipo di struttura e il relativo metodo di calcolo elastico.

3 - Analisi delle deformazioni anelastiche nelle strutture bidimensionali.

Nel presente paragrafo estenderemo alle strutture bidimensionali alcuni concetti propri del calcolo delle travi e al di là del limite elastico e ricorderemo le caratteristiche dei procedimenti di calcolo dell'effetto delle distorsioni impresse nelle lastre piane.

3.1) Caratteristiche delle sezioni resistenti e delle deformazioni anelastiche nelle strutture inflesse bidimensionali.

Le deformazioni che intervengono nelle strutture inflesse oltre il limite elastico sono essenzialmente delle curvature anelastiche che si verificano nelle zone in cui si è superato il momento limite elastico delle sezioni resistenti; nel campo delle strutture monodimensionali l'esame delle linee di influenza delle distorsioni, e ancor più l'osservazione sperimentale che le deformazioni plastiche tendono a concentrarsi in un piccolo intorno delle sezioni più sollecitate [5], hanno portato a ritenere accettabile l'analisi globale delle curvature plastiche che si verificano nell'intorno di una sezione mediante la sostituzione del loro effetto complessivo con quello prodotto da una rotazione localizzata sulla sezione stessa e di ampiezza uguale a quella che si verifica fra gli estremi della zona soggetta alle curvature plastiche. Tale ipotesi semplifica evidentemente sia il rilievo sperimentale delle relazioni fra sforzi e deformazioni, sia il calcolo pratico delle strutture, in quanto rende possibile, sulla sezione in esame, la definizione, in modo univoco,

di un diagramma a sole due variabili; nel caso delle strutture inflesse tali due grandezze sono evidentemente le rotazioni globali e i momenti flettenti (si intende che, in pratica, le rotazioni avvengono fra le facce estreme di un limitato tratto di struttura intorno alla sezione stessa). Analogamente le fessure che si verificano nelle strutture in cemento armato possono essere considerate come rotazioni anelastiche concentrate che si sovrappongono alle rotazioni prodotte dalle curvature elastiche (quindi distribuite con continuità sulla struttura) corrispondenti al regime di struttura interamente reagente.

Risulta quindi logico ammettere che tali considerazioni, che hanno portato a risultati confermati dall'esperienza nel campo delle travi iperstatiche, siano ancora valide nel campo delle strutture bidimensionali.

Occorre però a questo punto definire, quale significato assuma, in una struttura bidimensionale; il concetto di « sezione » resistente, e di « rotazione » che su di essa si verifica.

Dal momento che nelle lastre non si hanno sollecitazioni costanti su sezioni che tagliano tutta la struttura, è necessario, per analizzarle con precisione punto per punto, considerare sezioni limitate che non interessino la totalità della lastra; sulla larghezza di tali sezioni si considereranno le sollecitazioni costanti e pertanto tale larghezza verrà scelta pari ad una opportuna frazione dei lati della lastra; nel seguito parlando di una generica « sezione » di lastra si intenderà sempre che essa sia di questo tipo, che non interrompe completamente la connessione del solido; si ammetterà che i dati caratteristici di tale sezione, come ad esempio il momento di fessurazione o di rottura, o, nell'insieme, il suo diagramma momenti-rotazioni, siano quelli propri di una striscia isolata di lastra di larghezza pari a quella della sezione, salvo le opportune modifiche che tengono eventualmente conto della bidimensionalità della struttura reale, come, ad esempio, la variazione del valore del momento di rottura determinato in prove monoassiali quando intervenga una

seconda flessione agente in un piano differente (v. paragrafo 5).

Le « rotazioni » di origine plastica o dovute a fessurazione, che si verificano sulle lastre, saranno riferite alle « sezioni » del tipo particolare che è stato ora esaminato; tali « rotazioni » non saranno del tipo di quelle rigide che si immaginano avvenire fra le due facce di un taglio eseguito su una struttura monodimensionale (e che risultano essere assimilabili alle distorsioni di Volterra) bensì presenteranno particolari caratteristiche per evitare discontinuità nel materiale in corrispondenza degli estremi delle « sezioni » sulle quali si verificano (infatti i bordi di tali « sezioni » non toccano la superficie esterna del solido ma rimangono interni ad essa). Le caratteristiche di tali « rotazioni » sono quelle proprie delle distorsioni del tipo detto « di Somigliana » (6); nelle lastre definiremo quindi come « rotazione » quel moto (non rigido) fra le due facce del taglio eseguito su una « sezione » che ha come caratteristiche di spostamento quelle relative alla distorsione di Somigliana di pura rotazione.

(6) Le distorsioni studiate dal Somigliana [8] hanno la proprietà di non interessare tutta una sezione trasversale del corpo su cui sono applicate ma soltanto frazioni di essa; in altre parole il taglio che si esegue sul corpo per imprimere ai bordi opportuni spostamenti relativi non interrompe completamente la sua connessione, non dovendo i suoi estremi trovarsi sulla superficie esterna, come avviene per i tagli sui bordi dei quali si imprime gli spostamenti relativi caratteristici delle distorsioni di Volterra. La funzione che rappresenta gli spostamenti relativi dei bordi del taglio caratteristici delle distorsioni di Somigliana, presenta un massimo in mezz'aria del taglio ed è nulla, insieme alle sue derivate prime, sui bordi del taglio, in modo che non sorgano, in tali punti, delle sollecitazioni infinite; la deformazione impressa che si valuterà nei calcoli sarà il valor medio di quelle, variabili, che si verificano lungo il taglio. I risultati quantitativi si possono ritenere esatti purché la lunghezza del taglio sia sufficientemente piccola in confronto con le dimensioni del corpo su cui sono eseguiti.

I tagli che occorre eseguire in un corpo, e, in particolare, in una lastra, per applicare le distorsioni di Somigliana, hanno le medesime caratteristiche delle « sezioni » di lastra come sono state da noi definite al paragrafo 3.1; pertanto tali distorsioni si potranno generalmente applicare alle « sezioni » che si considerano sulla lastra.

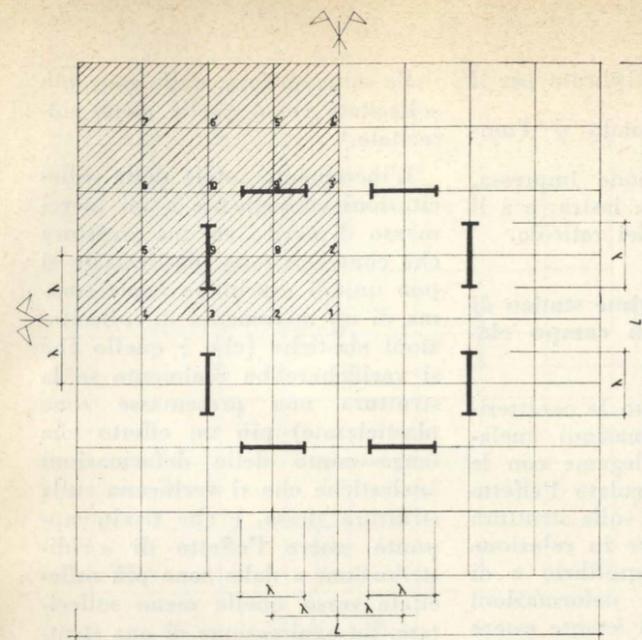


Fig. 2a

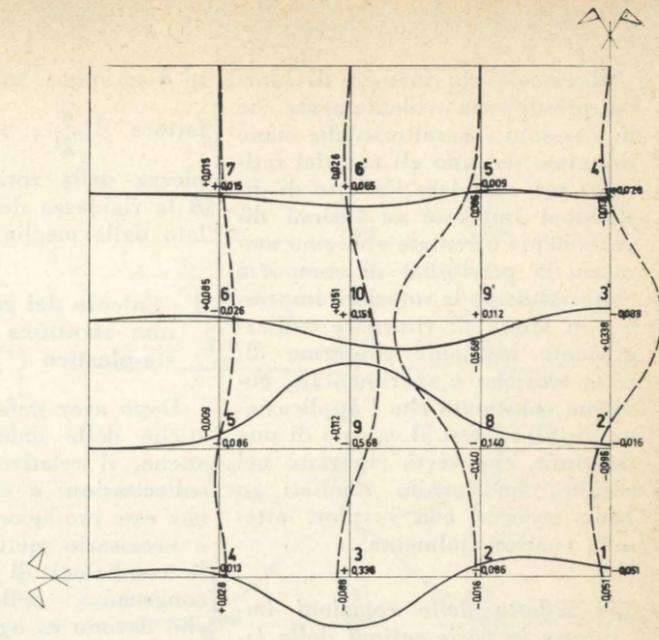


Fig. 2b

3.2) Calcolo dell'effetto delle deformazioni anelastiche nelle lastre mediante distorsioni impresse.

L'effetto delle deformazioni anelastiche su una generica struttura è uguale a quello di opportuni stati di coazione.

Nel caso delle strutture inflesse monodimensionali tali stati di coazione saranno quelli prodotti da distorsioni rigide (di Volterra) di pura rotazione.

Nelle strutture bidimensionali è stata invece dimostrata da F. Levi [7] la necessità di considerare precisamente delle coazioni del tipo delle distorsioni « di Somigliana » al fine di poter analizzare punto per punto lo stato di deformazione anelastico. L'effetto di queste distorsioni sulla lastra è ancora un effetto elastico; il relativo stato di sollecitazione è stato calcolato dal medesimo Autore nel caso particolare di curvature impresse su certe « sezioni » di lastre rettangolari, mediante una generalizzazione del metodo di Marcus delle differenze finite (7).

(7) Dopo aver ricavato l'equazione di Lagrange in forma generalizzata, tenendo cioè conto delle curvature impresse, è evidentemente possibile risolvere il problema con un qualsiasi metodo di calcolo elastico delle lastre; il metodo di Marcus presenta tuttavia notevoli vantaggi dal punto di vista del calcolo pratico. Dal lavoro [7] riportiamo brevemente la forma assunta dall'equazione

Utilizzando il metodo delle differenze finite risulta evidentemente comodo, per il calcolo pratico, adottare il valore λ del lato del reticolo come larghezza delle « sezioni » che si considerano sulla struttura, e lunghezza dei tagli su cui si applicano le distorsioni di Somigliana.

Le espressioni dei momenti nel generico punto della lastra, riportate dal lavoro [7] nella nota (7) sono state da noi modificate per poterle applicare al calcolo degli effetti prodotti da rotazioni anziché da curvature impresse, in accordo con la considerazione del diagramma momenti-rotazioni. A tal fine abbiamo ammesso che l'effetto di una rotazione $\bar{\varphi}$ impressa su una « sezione » sia equi-

valente ad una curvatura $\bar{\mu}$ distribuita su un tratto di lunghezza l' finita ma sufficientemente limitata per la precisione dei risultati; nel calcolo col metodo di Marcus, che noi seguiremo, risulta comodo assumere anche l' pari a λ , lato della maglia del reticolo di calcolo (8); nel caso delle lastre quadrate, che svolgeremo dettagliatamente, si ha un'ulteriore semplificazione in quanto si può far coincidere con λ anche la larghezza delle « sezioni » della lastra. Le espressioni dei momenti nel punto generico della lastra varranno in questo caso:

$$m_{kx} = \frac{B}{\lambda^2} [\Delta_{kx}] - B \left(\frac{\bar{\varphi}_{kx}}{\lambda} + \nu \frac{\bar{\varphi}_{ky}}{\lambda} \right)$$

$$m_{ky} = \frac{B}{2} [\Delta_{ky}] - B \left(\frac{\bar{\varphi}_{ky}}{\lambda} + \nu \frac{\bar{\varphi}_{kx}}{\lambda} \right)$$

$$m_{kxy} = \frac{B(1-\nu)}{4\lambda^2} [\Delta_{kxy}]$$

(8) La lunghezza λ deve essere un sottomultiplo sufficientemente piccolo del lato della lastra, al fine di dare una buona approssimazione ai risultati; infatti il valore delle rotazioni impresse è variabile lungo il taglio di modo che considerare il valor medio è concesso solo se il taglio stesso è limitato. Un altro motivo che limita l'estensione del taglio è dato dal fatto che i diagrammi di momento sulle lastre sono per lo più rapidamente variabili; infine sia l'approssimazione di considerare l'effetto di una rotazione impressa equivalente a quello di una curvatura distribuita sulla lunghezza λ , sia il procedimento stesso di calcolo, che utilizza le differenze finite, sono tanto più precisi quanto più l'intervallo di divisione è piccolo.

$$\Delta^2 \zeta + \left[\frac{\delta^2}{\delta x^2} (\bar{\mu}_x + \nu \bar{\mu}_y) + \frac{\delta^2}{\delta y^2} (\bar{\mu}_y + \nu \bar{\mu}_x) \right] = \frac{p}{B};$$

riportiamo inoltre le espressioni che forniscono i momenti per unità di lunghezza nel punto generico k , vertice di una maglia della suddivisione secondo Marcus (si è indicato con Δ_k la somma algebrica degli spostamenti verticali dei punti del reticolo adiacenti a k ; gli altri simboli hanno significato noto):

$$m_{kx} = \frac{B}{\lambda^2} [\Delta_{kx}] - B (\bar{\mu}_{kx} + \nu \bar{\mu}_{ky})$$

$$m_{ky} = \frac{B}{\lambda^2} [\Delta_{ky}] - B (\bar{\mu}_{ky} + \nu \bar{\mu}_{kx})$$

$$m_{kxy} = \frac{B(1-\nu)}{4\lambda^2} [\Delta_{kxy}]$$

Il calcolo col metodo di Marcus presuppone evidentemente che le «sezioni» caratteristiche siano orientate secondo gli assi del reticolo; per calcolare l'effetto di distorsioni impresse su sezioni diversamente orientate abbiamo ammesso la possibilità di comporre vettorialmente le rotazioni impresse; in attesa di ritornare sull'argomento mediante conferme dirette teoriche e sperimentali, abbiamo constatato che l'applicazione di tali ipotesi al calcolo di una struttura, che verrà riportato nel seguito, ha fornito risultati in buon accordo con i valori ottenuti sperimentalmente.

3.3) Effetto delle rotazioni impresse in varie sezioni della lastra quadrata appoggiata al contorno.

In vista del calcolo anelastico delle lastre, da noi impostato sistematicamente, e di cui riferiremo prossimamente, abbiamo svolto in dettaglio il calcolo delle sollecitazioni che si verificano nella generica lastra quadrata appoggiata al contorno, con vertici fissi, e soggetta ad alcuni tipi di rotazioni impresse. Il calcolo è stato svolto col metodo di Marcus; il lato λ del reticolo è pari a un ottavo del lato, come pure la larghezza delle «sezioni» considerate.

Nelle figure 1, 2, 3, 4 sono indicate le «sezioni» su cui sono impresse le distorsioni; in particolare nelle figure 1 e 4 sono indicati gli schemi di applicazione di due coppie di rotazioni uguali impresse su sezioni incrociate ai quarti e agli ottavi delle diagonali, il cui effetto complessivo è equivalente a quello di distorsioni impresse su sezioni orientate a 45° rispetto al reticolo e dirette secondo la diagonale.

Nelle medesime figure si sono inoltre riportati per un quadrante di lastra, i diagrammi dei momenti m_x e m_y per unità di lunghezza che si verificano sulle parallele ai lati di contorno intervallate di un ottavo del lato; sono pure stati calcolati i momenti torcenti, che non sono invece rappresentati. I momenti sono espressi dal coefficiente riportato

in diagramma, moltiplicato per il fattore $B \cdot \frac{\bar{\varphi}}{\lambda^2}$, essendo $\bar{\varphi}$ l'ampiezza della rotazione impressa, B la rigidezza della lastra, e λ il lato della maglia del reticolo.

4 - Calcolo del regime statico di una struttura in campo elasto-plastico (9).

Dopo aver definito le caratteristiche delle deformazioni anelastiche, il relativo legame con le sollecitazioni e calcolato l'effetto che esse producono sulla struttura è necessario mettere in relazione le condizioni di equilibrio e di congruenza delle deformazioni che devono in ogni istante essere soddisfatte nella struttura che si trova in regime elasto-plastico.

Nel paragrafo seguente definiremo un'equazione, che chiameremo equazione caratteristica di ogni sezione plasticizzata, che ci permetterà di risolvere il problema nel caso generale di una qualsiasi struttura iperstatica, seguendo i concetti esposti nei paragrafi 1 e 2.

4.1) Equilibrio e congruenza durante l'accrescimento delle sollecitazioni su una sezione plasticizzata di una struttura iperstatica.

Consideriamo una generica sezione (10) di una struttura inflessa iperstatica soggetta a carichi esterni in cui si sia raggiunto il momento limite elastico; è noto che a partire da questo punto, e al crescere del carico, il momento flettente su tale sezione cresce meno rapidamente che in campo elastico, e che contemporaneamente le sollecitazioni crescono più rapidamente su altre sezioni, non ancora giunte in campo anelastico; tale fenomeno è usualmente denominato «ridistribuzione»

(9) Il procedimento di calcolo delle strutture in regime anelastico che viene qui esposto, è valido per qualsiasi genere di sollecitazioni che sia necessario prendere in esame; noi faremo però riferimento concreto a strutture inflesse, e quindi ai momenti flettenti.

(10) Tale sezione sarà quella consueta per una struttura monodimensionale; sarà invece del tipo definito in precedenza per le lastre.

delle sollecitazioni, dalle zone più sollecitate verso quelle meno sollecitate.

L'incremento totale delle sollecitazioni conseguente a un incremento di carico su una struttura che contenga zone plasticizzate si può quindi esprimere come somma di un incremento di sollecitazioni elastiche (che è quello che si verificerebbe realmente se la struttura non presentasse zone plasticizzate) più un effetto che tenga conto delle deformazioni anelastiche che si verificano sulla struttura stessa, e che risulta appunto essere l'effetto di «ridistribuzione» dalle zone più sollecitate verso quelle meno sollecitate. Su ogni sezione di una struttura che si trovi nelle condizioni sopradescritte si può pertanto scrivere la seguente equazione (che definiremo come equazione caratteristica della sezione) che lega il momento iniziale e quello finale di una generica fase di incremento del carico:

$$M_{in} + \Delta M_{en} + M_{rn} = M_{fn} [a]$$

dove:

M_{in} è il momento iniziale della fase di applicazione dell'incremento di carico ΔP , sulla generica sezione ennesima della struttura;

M_{fn} è il momento finale della stessa fase di carico;

ΔM_{en} è l'incremento elastico di momento sulla sezione n dovuto all'incremento di carico ΔP (e cioè l'incremento che si avrebbe se la struttura fosse ancora completamente elastica);

M_{rn} è il momento di redistribuzione sulla sezione n dovuto all'apparizione di rotazioni anelastiche sulle sezioni della struttura che hanno superato il momento limite elastico.

In tale espressione M_i è noto, essendo il momento a cui è soggetta inizialmente la sezione in esame, e a partire dal quale si esaminano gli effetti dell'incremento di carico; ΔM_e è supposto potersi ricavare da un calcolo elastico adatto alla struttura in esame; M_f è l'incognita, mentre M_r è funzione degli incrementi delle

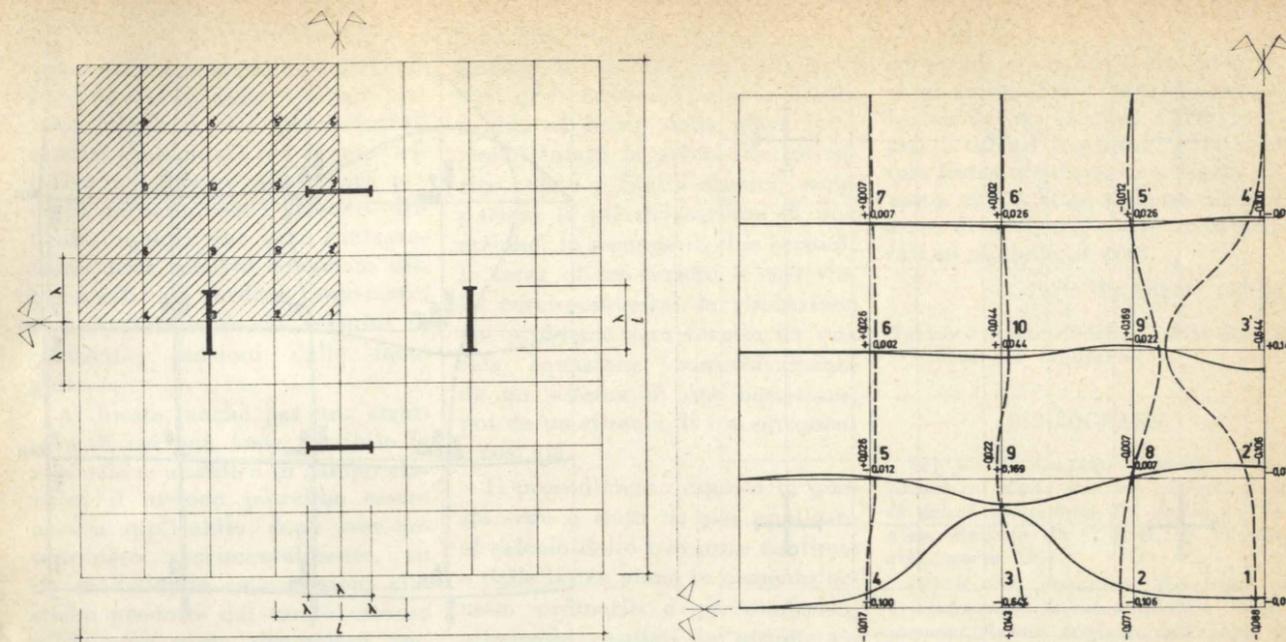


Fig. 3a

Fig. 3b

rotazioni anelastiche (11) che si verificano sulle sezioni plasticizzate della struttura al crescere del carico. Essendo le rotazioni legate ai momenti tramite i diagrammi momenti-rotazioni, si potrà esprimere M_r in funzione della incognita M_f . Stabilita infatti, sulla sezione j -esima la espressione della rotazione plastica in funzione del momento nella forma generica:

$$(\alpha_{pl})_j = \varphi_j (M) \quad (\text{con } j = a, b, \dots, n \text{ essendo } a, b, \dots, n$$

(11) Il momento di redistribuzione è funzione della differenza fra la rotazione plastica finale e quella iniziale, poiché tale differenza è la parte di deformazione che deve essere resa congruente dopo aver supposto un aumento di momento sulla sezione simile a quello che si avrebbe in regime elastico. Consideriamo infatti una generica sezione il cui diagramma momenti-rotazione è indicato in fig. 5 (Il primo tratto, rettilineo, corrisponde alla fase elastica, estrapolata nella linea tratteggiata). In seguito a un incremento di carico, la sezione, che si trova in campo anelastico, ha subito un incremento di momento (da M_i a M_f); in corrispondenza la rotazione totale è passata (seguendo il diagramma, nel tratto A-B) da α_i a α_f . Si può tuttavia osservare che la medesima configurazione finale può essere raggiunta considerando un incremento di momento secondo una legge uguale a quella elastica (tratto A-C, parallelo al ramo elastico della curva) a patto di aggiungere una opportuna rotazione per ristabilire la congruenza delle deformazioni rispetto alle sollecitazioni raggiunte. Tale rotazione (che si verifica in più di quella corrispondente all'incremento elastico) è appunto rappresentata dal segmento C-B, che esprime la differenza $\alpha_{plf} - \alpha_{pl i}$.

le sezioni plasticizzate); se ne deduce l'incremento di rotazione plastica durante la fase di accrescimento del momento da M_i a M_f (l'indice i sta per iniziale, l'indice f per finale):

$$[\Delta \alpha_{pl}]_j = (\alpha_{pl, f} - \alpha_{pl, i})_j = \varphi_j (M_f - M_i)_j [b]$$

L'effetto elastico delle rotazioni plastiche unitarie sulla struttura è stato preventivamente calcolato (vedi paragrafo 3.2); il momento di redistribuzione totale sulla sezione n -esima si potrà quindi esprimere come somma dei momenti parziali dovuti ai singoli incrementi di rotazione plastica (incogniti, ma legati ai momenti) che si verificano sulle sezioni della struttura che hanno superato il limite elastico; si avrà cioè:

$$M_{rn} = \sum_{j = a, b, \dots, n} k_{n,j} (\Delta \alpha_{pl})_j [c]$$

dove $k_{n,j}$ è il momento prodotto sulla sezione n da una distorsione unitaria impressa sulla sezione j (tali coefficienti sono appunto quelli ottenuti dal calcolo elastico preliminare dell'effetto delle rotazioni impresse $\bar{\varphi}$).

La [c], tenendo presente la [b], si può scrivere:

$$M_{rn} = \sum_{j = a, b, \dots, n} k_{n,j} [\varphi_j (M_f - M_i)_j] [d]$$

In tal modo il momento di redistribuzione sulla generica sezione n viene espresso in funzione dei momenti finali di tutte le sezioni plasticizzate. Sostituendo nella [a] l'espressione [d] del momen-

to di redistribuzione, si ottiene: $(M_i)_n + (\Delta M_e)_n + \sum_{j = a, b, \dots, n} k_{n,j} [\varphi_j (M_f - M_i)_j] = (M_f)_n [a_1]$

In tale forma l'equazione caratteristica contiene solo i termini noti e i momenti che si raggiungono sulle sezioni plasticizzate, per l'incremento di carico applicato alla struttura; tali momenti sono appunto le incognite del problema.

Ciascuna equazione caratteristica contiene poi soltanto termini incogniti relativi alle sezioni plasticizzate; tuttavia ogni equazione contiene tutte le incognite. Si può quindi concludere che per studiare il regime statico di una struttura in campo elasto-plastico è necessario e sufficiente prendere in considerazione le sezioni su cui si è superato il limite elastico, risolvendo il sistema formato dalle relative equazioni caratteristiche (12).

(12) Ne risulta che il calcolo pratico è più rapido quando si esamina il comportamento della struttura poco oltre i limiti elastici, per il minor numero di zone plasticizzate; proseguendo il calcolo verso la rottura il numero di sezioni da considerare aumenta (in minor misura nelle travature e maggiormente nelle lastre per l'alto grado di iperstaticità anche interna che esse presentano) con un conseguente maggior lavoro di calcolo; tuttavia si possono in tal caso effettuare alcune semplificazioni, come verrà analizzato in un lavoro sul calcolo delle lastre in cemento armato di prossima pubblicazione, per rendere più rapido anche il calcolo a rottura.

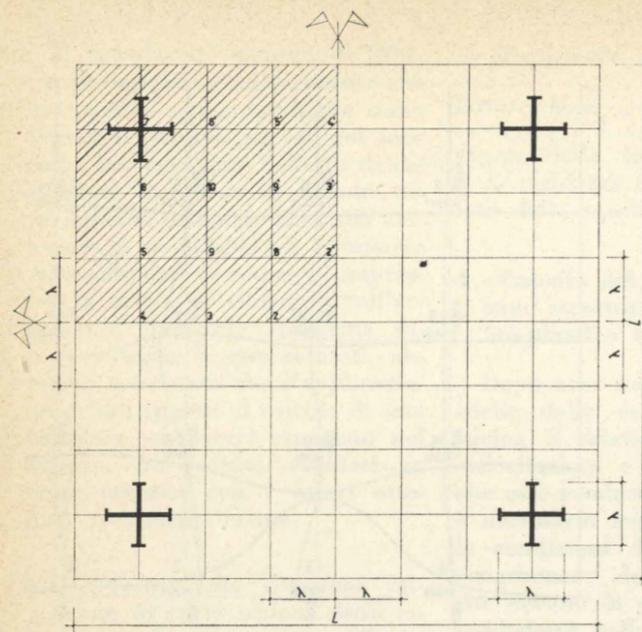


Fig. 4a

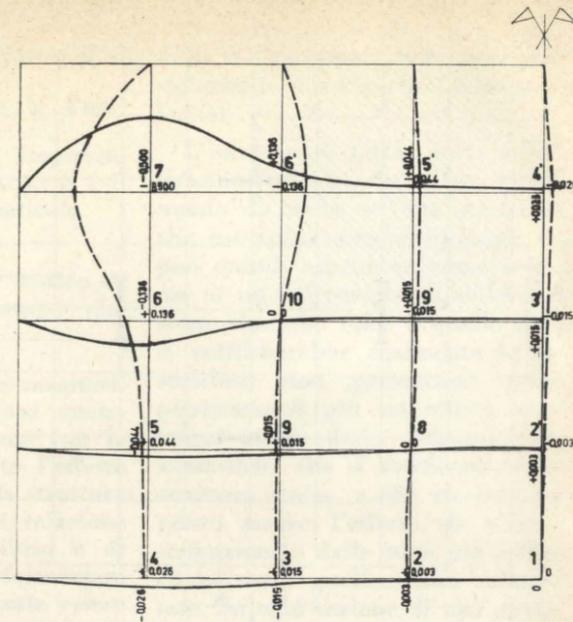


Fig. 4b

È poi da notare che l'equazione [a], e quindi la [a₁], vale anche per una sezione S non plasticizzata, assumendo in tal caso la forma:

$$M_{i,s} + \Delta M_{es} + \sum_{j=a,b,\dots,n} k_{s,j} [\varphi_j (M_f - M_{i,j})] = M_{fs}$$

Tale equazione non contiene però altri termini incogniti relativi allo stato di plasticizzazione della struttura oltre a quelli che compaiono nelle equazioni caratteristiche delle sezioni plasticizzate. Determinati infatti i momenti di redistribuzione sulle j sezioni plasticizzate, tramite i relativi momenti M_f (v. espressione [d]), il termine M_{rs} si calcola per proporzionalità, essendo funzione soltanto di questi ultimi, e non di M_{fs}.

4.2) Dettagli di applicazione del procedimento.

Come risulta da quanto esposto al paragrafo 4.1, il procedimento proposto consente di separare nettamente il calcolo degli effetti elastici e di quelli anelastici e di collegarli globalmente per mezzo dell'equazione caratteristica delle sezioni plasticizzate; tale equazione permette infatti di determinare l'incremento di sollecitazione nella struttura, che, oltre a equilibrare l'incremento di carico esterno che l'ha prodotta, produce contemporaneamente deformazio-

ni che sono compatibili coi vincoli e con le leggi sforzi-deformazioni delle sezioni della struttura (13).

La determinazione della legge di accrescimento delle sollecitazioni in una struttura in campo anelastico risulta legata, per qualsiasi tipo di struttura, alla risoluzione del sistema formato dalle equazioni caratteristiche delle sezioni plasticizzate; risulta invece evidentemente diverso il metodo di calcolo delle sollecitazioni elastiche dovute al carico esterno, e di quelle dovute alle distorsioni impresse unitarie, che verranno poi determinate nella loro effettiva grandezza, e posizione, dal calcolo delle condizioni di congruenza elasto-plastica, mediante le equazioni caratteristiche.

Il procedimento, anche in accordo con il suo assunto, di determinare l'evoluzione dei fenomeni di plasticizzazione di una struttura, va evidentemente applicato per tappe successive in modo da poter prendere in esame le zone che successivamente, al crescere

(13) Il calcolo esposto nel paragrafo precedente è valido anche se il diagramma momenti-rotazioni varia da sezione a sezione, e non introduce complicazioni; questo fatto è particolarmente interessante per le lastre in cemento armato, nelle quali si presenta quasi sempre, nel calcolo in fase di esercizio, l'opportunità di distribuire l'armatura in quantità variabile da zona a zona della struttura.

del carico, superano i limiti elastici (14); tuttavia esso è diretto, non richiede cioè approssimazioni successive. Il metodo proposto ha quindi il vantaggio di richiedere sempre soltanto la risoluzione di sistemi di equazioni algebriche; la parte più complessa del calcolo, quando essa sia necessaria, è limitata alla determinazione elastica separata degli effetti (elastici) dei carichi e delle distorsioni che forniscono i coefficienti costanti che intervengono nelle equazioni caratteristiche; tali coefficienti sono tuttavia tabellabili, per strutture simili (15); ne segue ad esempio che, mentre per le travi continue il procedimento offre le stesse difficoltà analitiche

(14) Il procedimento pratico per condurre il calcolo varia evidentemente con la forma assunta del diagramma momenti-rotazioni; nel paragrafo 4.3, esamineremo in dettaglio il caso del diagramma composto da segmenti rettilinei, caratteristico delle sezioni inflesse in c. a. e in c. a. p.; comunque, in generale, si dovrà procedere ad analizzare, per incrementi limitati di carico, l'incremento di sollecitazione elastico e quello di redistribuzione sulle sezioni caratteristiche della struttura, in modo da individuare quelle, fra queste sezioni, che entrano in campo plastico in conseguenza dell'incremento di carico.

(15) La tabellazione esistente nella bibliografia degli effetti elastici dei carichi esterni su vari tipi di struttura è già molto estesa, e ancor più si potrà estendere con l'impiego dei calcolatori elettronici; analoga tabellazione dovrà essere impostata per le distorsioni impresse, sui vari tipi di struttura. Attualmen-

(equazioni algebriche) di altri metodi diretti di calcolo elasto-plastico, derivati dai procedimenti elastici classici, già nel campo delle lastre piane (e più ancora per volte, serbatoi, ecc.) presenta difficoltà minori che non l'integrazione delle relative equazioni differenziali di ordine superiore, complicate ancora dai termini di plasticità, funzioni delle incognite.

Al limite, anche per una struttura di cui non fosse possibile la risoluzione analitica in campo elastico, il metodo potrebbe essere ancora applicabile, dopo aver determinato sperimentalmente, su un modello, le sollecitazioni elastiche prodotte dal carico esterno e da opportune distorsioni impresse. In definitiva, almeno le strutture più comuni, mediante l'utilizzazione di tabelle degli effetti dei carichi e delle distorsioni, il calcolo elastoplastico di una struttura risulta privo di difficoltà. La lunghezza del procedimento dipende non più dal numero delle incognite iperstatiche come nei calcoli elastici, ma dal minore o maggior numero di sezioni plasticizzate; ne segue che per le travi continue e i telai, nelle quali generalmente la plasticizzazione tende a concentrarsi in poche zone, il calcolo sarà piuttosto breve; nel caso delle lastre, che presentano invece una notevole redistribuzione su tutta la struttura, il lavoro sarà più lungo (16); resta tuttavia il vantaggio della notevole semplicità di calcolo. È

te, a cura del prof. Massonnet, è in corso presso l'Università di Liegi, la tabellazione degli effetti delle distorsioni di Somigliana nelle lastre piane; nel campo delle travature, tuttavia, il calcolo dell'effetto delle distorsioni di Volterra è facilmente eseguibile mediante i consueti metodi (p. es. equazione dei tre e quattro momenti, metodo di Cross, ecc.).

(16) Si deve però tener presente che l'analisi poco oltre i limiti di servizio non si estende a molte «sezioni»; il calcolo a rottura invece, che comporta la plasticizzazione di quasi tutta la lastra, si può semplificare con una approssimazione sulla forma del diagramma momenti-rotazioni, come è esposto a proposito delle lastre in cemento armato, nel lavoro di prossima pubblicazione, citato alla nota (12).

inoltre da osservare che, per ogni tipo di struttura, il calcolo risulta rapido all'inizio della plasticizzazione; infatti la prima fase di carico, oltre i limiti elastici, comporterà la plasticizzazione di una sezione, la seconda di due sezioni, la terza di tre sezioni e così via. In corrispondenza, la risoluzione del problema sarà fornita da una sola equazione, successivamente da un sistema di due equazioni, poi da un sistema di tre equazioni e così via.

Il procedimento esposto in questa sede è stato da noi applicato al calcolo delle travature continue e delle lastre piane in cemento armato ordinario e precompresso, ottenendo risultati in ottimo accordo con le prove sperimentali; è noto infatti che per tali strutture sono poco aderenti alla realtà le ipotesi formulate dalla teoria degli adattamenti completi a rottura (metodo delle cerniere plastiche per le travi, e metodo delle linee di rottura per le lastre), va-

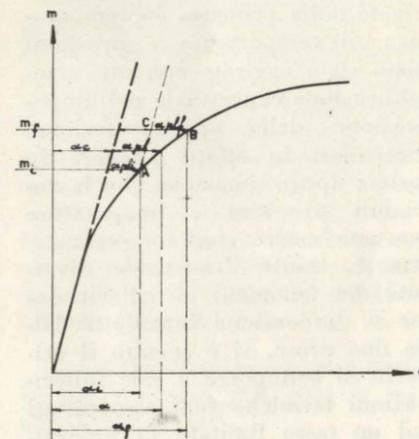


Fig. 5

lido invece per le strutture metalliche.

In un lavoro di prossima pubblicazione riporteremo le espressioni che assumono le formule generali ricavate nel presente lavoro, quando si assuma come diagramma momenti-rotazioni la trilatera (diagramma composto di tre segmenti rettilinei) a pendenza decrescente, della quale è stato dimostrato, da numerose esperienze di vari Autori, il buon accordo

col comportamento reale delle sezioni inflesse in cemento armato; in tale lavoro saranno pure riportati i calcoli numerici svolti per una lastra quadrata in cemento armato che è stata oggetto di una serie di accurate prove sperimentali su modello al vero.

Carlo Emanuele Callari

Torino - Istituto di Scienza delle Costruzioni del Politecnico.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. E. CALLARI, *Tentative d'établissement d'une méthode générale pour le calcul anelastique des dalles en flexion*, Bulletin du C. E. B., n. 38, Parigi, marzo 1963.
- [2] K. W. JOHANSEN, *Beregning af krydsarmerede Jaernbetonpladers Brudmoment* (lavoro originale dell'autore in cui è esposto il procedimento), Bygningsstatistiske Meddelelser (Copenaghen), vol. 3, 1931. L'esposizione del procedimento e l'applicazione a vari casi particolari è riportata dettagliatamente, fra gli altri, nei lavori: L. L. JONES, *Ultimate Load Analysis of Reinforced and Prestressed Concrete Structures*, Londra 1962; G. STEINMANN, *Dalles et planchers dalles*, Bulletin du C. E. B., n. 36, Parigi, marzo 1962.
- [3] G. MACCHI, *Ridistribuzione dei momenti in campo anelastico e a rottura nelle travi continue precomprese*, Symposium su la «Plasticità nella Scienza delle Costruzioni», Varenna 1956.
- [4] G. MACCHI, *Proposition de calcul par la théorie des rotations imposées*, Bollettino del C. E. B., n. 21, 1960.
- [5] G. MACCHI, *Etude jusqu'à rupture de la relation moment-rotation dans les poutres precontraintes*, III Congresso F. I. P., Berlino 1958.
- [6] F. LEVI, *Fenomeni di adattamento e calcoli a rottura*, Accademia nazionale dei Licei - Recenti progressi della scienza delle costruzioni, Roma, marzo 1953.
- [7] F. LEVI, *Superfici di influenza e fenomeni di adattamento nelle lastre piane*, Giornale del Genio Civile, maggio 1950.
- [8] C. SOMIGLIANA, *Sulle deformazioni elastiche non regolari*, Atti del IV Congresso dei matematici, vol. III, Roma 1908.
- [9] F. LEVI, *Analisi dei fenomeni anelastici proseguita fino a rottura*, Giornale del Genio Civile, marzo 1954.
- [10] F. LEVI, *Phénomènes d'adaptation et calculs à rupture dans les constructions hyperstatiques en béton armé*, Revue C. Tijdschrift, agosto 1961.
- [11] Y. GUYON, *Béton précontraint*, Paris, 1958, vol. II, *Constructions hyperstatiques*.

Prove di sollecitazioni termiche su tubi in cemento a. precompresso

LUIGI GOFFI fornisce un breve resoconto di una serie di prove di coazioni termiche su cilindri in cemento armato precompresso recentemente condotte all'ISMES di Bergamo nel quadro di un programma di ricerche finanziato dall'ANIDEL-ENEL. La finalità ultima delle prove è il controllo del comportamento statico degli schermi dei reattori nucleari soggetti a sollecitazioni di origine termica, dei quali i cilindri stessi possono considerarsi modelli in scala opportuna.

1. Notoriamente i reattori nucleari sono provvisti di schermi in calcestruzzo (in particolare a forma cilindrica) ai quali è demandata la funzione di schermaggio delle radiazioni nonché spesso la funzione di contenimento delle pressioni indotte dai fluidi all'interno del reattore.

In tal caso lo schermo cilindrico del reattore è sottoposto ad un cemento statico provocato da due distinte cause; esso è cioè sottoposto alle sollecitazioni indotte dalla pressione interna ed alle coazioni termiche indotte dall'alta temperatura all'interno del reattore.

L'opportunità dell'impiego della precompressione nella realizzazione di questi schermi è stata verificata presso l'ISMES di Bergamo mediante una ricerca sperimentale su tubi in c.a.p. che possono considerarsi modelli in scala opportuna delle strutture di schermaggio e contenimento dei reattori.

La sperimentazione sui cilindri in c.a.p. è stata preceduta sempre presso la ISMES di Bergamo da una prima fase di analoghe esperienze di coazioni termiche su cilindri in c.a. normale (realizzato con inerti baritici e magnetitici) (1).

2. Le prove che hanno costituito l'oggetto della seconda parte della ricerca e di cui si riferisce in questa sede, si sono svol-

(1) I risultati di quella prima serie di prove riportati negli articoli citati alla nota (3) del presente articolo, hanno messo chiaramente in luce in particolare:

— il mediocre comportamento dei cilindri sprovvisti di armatura in cui per differenze di temperatura di 60-70°C, sono apparse lesioni a tutta altezza ed a piena profondità tali da dividere in 2 o più parti il tubo stesso;

— l'importante ruolo delle armature metalliche che anche in modesta percentuale hanno assicurato l'integrità della

te su tubi (in calcestruzzo realizzato con inerti normali) precompressi assialmente ed anularmente a mezzo di armature ancorate per aderenza.

Con analogia alle condizioni di esercizio del prototipo l'effetto termico è stato simulato sul modello disponendo al suo interno, in corrispondenza dell'asse, un elemento lineare riscaldante costituito da resistenze elettriche atte a creare un campo piano di temperatura a simmetria di rotazione coincidente con la simmetria del provino.

L'effetto della pressione all'interno del prototipo può essere naturalmente riprodotto sul modello mediante l'opportuno impiego di un fluido in pressione. Le difficoltà operative che sarebbero derivate dalla presenza contemporanea di temperature e pressioni sono state aggirate con una semplificazione concettuale nell'impostazione della sperimentazione. Potendosi in effetti ritenere in prima approssimazione che le variabili pressioni e temperature possano essere studiate separatamente, stante l'essenziale diversità dei fenomeni di sollecitazione e di coazione introdotti dalle due cause, si è seguito il criterio di sottoporre a sole sollecitazioni termiche tubi assoggettati ad un tasso limitato di precompressione, supponendo in questa schematizzazione che la pressio-

struttura, sfogando le coazioni termiche in un sistema di microfessure (sulla superficie di estradosso del tubo) tanto più diffuse e minute quanto più elevata e diffusa era la sezione dell'armatura;

— l'inadeguatezza di un tentativo di calcolo elastico (anche nell'ipotesi di parzializzazione del calcestruzzo in trazione) per interpretare i risultati sperimentali i quali forniscono un quadro sensibilmente più ottimistico di quanto prospettato dalla teoria; donde l'importante ruolo giocato dagli adattamenti plastici per lo sfogo delle coazioni termiche.

ne di un fluido nell'interno del tubo abbia ridotto il valore di una ipotetica precompressione iniziale.

In altri termini si è supposto che all'interno del contenitore, le cui pareti siano precompressi inizialmente a valori consueti ($60 \div 80 \text{ kg cm}^{-2}$), agisca una pressione tale da provocarne la parziale decompressione fino ad un valore residuo cui si sovrappongano le sollecitazioni di origine termica. Sono evidenti le obiezioni

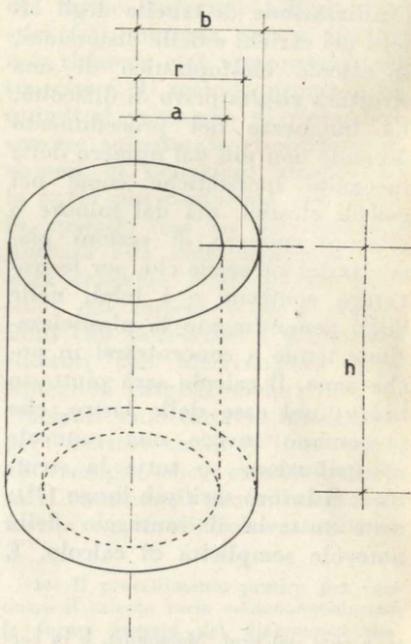


Fig. 1. Elementi geometrici dei tubi sperimentati

ni connesse a questo schema di ragionamento, specie allorché si spinga la sperimentazione ad un gradiente termico cui corrisponda un regime di tensioni per le quali non sia applicabile il principio di sovrapposizione degli effetti.

Le limitazioni connesse alla descritta condotta di sperimentazione (giustificata dalla notevole semplicità operativa) non ci sembrano tuttavia togliere alla ricerca l'essenza fondamentale del suo interesse.

3. La sperimentazione si è svolta su elementi cilindrici cavi in calcestruzzo come in fig. 1 delle seguenti caratteristiche geometriche: diametro interno 55 cm., diametro esterno 72 cm. (dove spessore del tubo 8,5 cm.), altezza 75 cm. I tubi sono tutti precompressi a mezzo di fili in acciaio armonico ancorati per aderenza; a fenomeni lenti scontati le sollecitazioni risultano rispettivamente secondo le indicazioni fornite dalla Soc. Vianini, costruttrice dei tubi (2):

nel calcestruzzo

$$\text{assialmente } \sigma_{zz} = -23,9 \text{ kg cm}^{-2}$$

$$\text{anularmente } \sigma_{\varphi\varphi} = -28 \text{ kg cm}^{-2}$$

nell'acciaio

$$\text{assialmente } \sigma = + 9320 \text{ kg cm}^{-2}$$

$$\text{anularmente } \sigma = + 10475 \text{ kg cm}^{-2}$$

Per l'introduzione delle coazioni termiche, in analogia alle modalità della prima serie di prove su tubi in c.a. ordinario, è stato ancora impiegato l'elemento lineare riscaldante costituito di resistenze elettriche, di lunghezza pari circa all'altezza del tubo e disposto sull'asse del medesimo in modo tale da stabilire un campo piano di temperatura a simmetria di rotazione (fig. 2).

L'elemento riscaldante conferisce all'atmosfera all'interno del tubo graduali incrementi di temperatura cui consegue, nello spessore del tubo stesso, un gradiente di temperatura $T-T_0$ (T è la temperatura della superficie di intradosso e T_0 quella della superficie di estradosso).

Nella fase di prova, il gradiente di temperatura $T-T_0$ viene incrementato progressivamente, tut-

(2) L'armatura di precompressione è costituita longitudinalmente da n. 22 $\varnothing 4$ ed anularmente da 20 spire $\varnothing 3$ a ml. L'acciaio armonico ha le seguenti caratteristiche: carico di rottura 180 kg mm^{-2} , carico di snervamento (allo 0,2%) 140 kg mm^{-2} .

Il calcestruzzo dei tubi ha carico di rottura non inferiore a 450 kg cm^{-2} . I cilindri sono stati approntati dalla Soc. Vianini di Roma che ha seguito in questo caso i metodi consueti di fabbricazione dei suoi tubi in c.a.p.

Ci è gradito rivolgere alla Soc. Vianini un vivo ringraziamento per la cortesia con cui essa ha voluto collaborare alla nostra ricerca fornendoci il materiale di sperimentazione con caratteristiche conformi alle nostre esigenze.

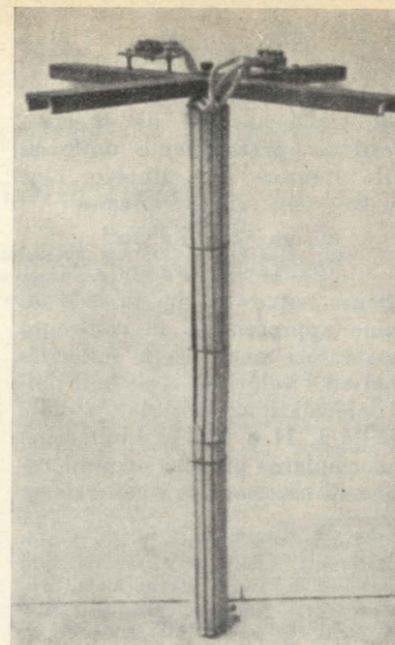


Fig. 2. Elemento lineare riscaldante all'interno del tubo.

tavia con lentezza sufficiente, talché si possa supporre di avere in ogni istante un campo di temperature praticamente stazionario.

Le temperature sono state progressivamente misurate sulla superficie interna del tubo mediante un sistema di coppie termoelettriche, per la superficie esterna mediante un'apparecchiatura a contatto diretto ed a lettura istantanea.

Alle misure termiche sono state associate misure di deformazioni relative su basi per estensimetro rimovibile Mayes, stabilite all'estradosso del tubo (fig. 3).

4. La sperimentazione si è svolta per i singoli tubi con le seguenti modalità:

— per il primo cilindro si è proceduto ad un normale e graduale incremento della temperatura al suo interno ottenendo all'

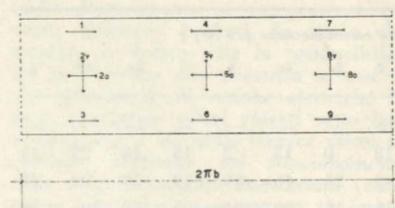


Fig. 3. Sviluppo della superficie di estradosso del tubo con la collaborazione delle basi per estensimetro Mayes.

l'intradosso ed all'estradosso le temperature di 189°C e 84°C rispettivamente ($T-T_0 = 105^\circ\text{C}$) dopo circa 8 ore 30'. Le letture estensimetriche più rilevanti, misurate ai vari livelli termici sono riportate nella Tabella I;

— per il secondo cilindro sperimentato si è potenziata l'attrezzatura di riscaldamento, ottenendo in 5 ore 30' temperature di 280°C e di 102°C rispettivamente sulle superfici di intradosso ed estradosso ($T-T_0 = 178^\circ\text{C}$). La tabella II fornisce gli elementi sperimentali di questa prova;

— per il tubo n. 3 si è realizzata una più forte differenza di temperatura tra intradosso ed estradosso, raffreddando con acqua corrente la superficie esterna del modello, trattata previamente con un velo di Gavinil impermeabilizzante. In questa circostanza, dopo 4 ore circa di riscaldamento, si ottennero temperature all'intradosso ed all'estradosso di 233°C e 24°C e cioè una differenza di 209°C . La tabella III reca gli elementi sperimentali relativi al modello n. 3.

5. I rilievi sperimentali del comportamento dei cilindri in prova possono essere confrontati a quanto consegue dal calcolo teorico nell'ipotesi di perfetta elasticità del calcestruzzo.

Nello studio precedente (3) erano stati calcolati i valori degli sforzi indotti dalle coazioni termiche (per campi di temperatura stazionari) in tubi cilindrici di lunghezza limitata non vincolati alle estremità.

In punti non molto prossimi alle estremità del tubo (che cioè non risentano delle perturbazioni di bordo), le espressioni delle sollecitazioni risultano rispettivamente:

all'estradosso

$$\sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{zz} = -4 GK \left\{ -\frac{1}{\log b/a} + \frac{2}{b^2/a^2 - 1} \right\} \quad (1)$$

(3) L. GOFFI, Il regime degli sforzi in un tubo cilindrico in calcestruzzo, ecc., «L'Energia Elettrica», gennaio 1962; E. FUMAGALLI, Esperienze termiche su modelli e materiali, «L'Energia Elettrica», gennaio 1962; Id., Calcestruzzi da schermaggio biologico per reattori di potenza, «L'Energia Elettrica», febbraio 1960.

all'intradosso

$$\sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{zz} = -4GK \left\{ -\frac{1}{\log b/a} + \frac{2b^2/a^2}{b^2/a^2 - 1} \right\} \quad (2)$$

ove si sia posto:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}, \quad K = \frac{1}{4} \cdot \frac{1+\mu}{1-\mu} \cdot \alpha \cdot (T - T_0),$$

con E modulo elastico del calcestruzzo, μ coefficiente di Poisson, α coefficiente di dilatazione lineare.

Con riferimento alle dimensioni dei modelli e ponendo $E = 350.000 \text{ kg cm}^{-2}$, $\mu = 0,2$, $\alpha = 1,5 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, le sollecitazioni termiche risultano, in funzione della differenza di temperatura $T - T_0$:

all'estradosso

$$\sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{zz} = +3,51(T - T_0) (\text{kg cm}^{-2}, \text{ }^\circ\text{C})$$

all'intradosso

$$\sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{zz} = -3,04(T - T_0) (\text{kg cm}^{-2}, \text{ }^\circ\text{C})$$

Ad esse vanno beninteso sovrapposte sollecitazioni di precompressione, praticamente uniformi nello spessore del cilindro, cioè nei due sensi rispettivamente:

$$\sigma_{zz} = -23,9 \text{ kg cm}^{-2}$$

$$\sigma_{\varphi\varphi} = -28 \text{ kg cm}^{-2}$$

Senza tentare in questa sede un esame approfondito di confronto tra i valori teorici delle sollecitazioni ed i valori sperimentali delle deformazioni unitarie⁽⁴⁾ delle tabelle I, II e III, ci limiteremo a formulare qualche considerazione di carattere più generale.

(4) Per mettere in rapporto con le sollecitazioni i valori delle deformazioni unitarie di deduzione sperimentale, debbono essere scontate da queste ultime le dilatazioni conseguenti all'incremento di temperatura della superficie di estradosso del modello, sulla quale sono applicate le basi di misura.

TABELLA I

Tempo (ore)	Temperature (°C)			Lecture estensimetriche ($\epsilon \times 10^3$)											
	T	T ₀	T - T ₀	1	2 ₀	2 _v	3	4	5 ₀	5 _v	6	7	8 ₀	8 _v	9
0	18	18	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.00'	57	23	34	33	25	32	23	35	29	28	23	33	28	30	23
3.00'	86	36	50	48	43	49	36	31	38	55	34	42	41	44	31
5.00'	135	68	67	79	72	88	64	69	82	82	59	85	74	85	62
7.00'	170	82	88	92	90	97	80	82	95	93	72	95	103	98	61
8.30'	189	84	105	93	85	79	77	82	120	69	66	88	103	79	62

TABELLA II

Tempo (ore)	Temperature (°C)			Lecture estensimetriche ($\epsilon \times 10^3$)											
	T	T ₀	T - T ₀	1	2 ₀	2 _v	3	4	5 ₀	5 _v	6	7	8 ₀	8 _v	9
0	18	18	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	84	32	52	29	33	29	23	34	36	30	23	36	34	38	23
3	113	47	66	47	41	41	36	51	51	39	31	51	47	47	30
5	259	91	168	106	110	133	107	92	102	120	111	111	79	102	90
5.30'	280	102	178	75	123	141	200	118	133	116	197	95	98	102	116

TABELLA III

Tempo (ore)	Temperature (°C)			Lecture estensimetriche ($\epsilon \times 10^3$)											
	T	T ₀	T - T ₀	1	2 ₀	2 _v	3	4	5 ₀	5 _v	6	7	8 ₀	8 _v	9
0	18	10	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.30'	94	12	82	23	11	21	13	18	0	13	2	13	18	25	13
1.00'	145	14	131	31	16	39	36	33	23	46	19	19	39	90	25
2.00'	203	15	188	49	49	72	52	46	44	90	36	25	70	106	36
3.00'	224	23	201	57	62	77	54	51	54	93	27	37	79	103	44
3.30'	233	24	209	51	60	77	59	54	51	90	40	30	66	98	41

La constatazione, verificata dall'esame dei singoli cilindri durante e dopo la prova, dell'assenza di fessurazioni sulla superficie di estradosso, comporta l'ammisione che in tali punti le sollecitazioni corrispondenti non superino come trazioni la resistenza a rottura del materiale⁽⁵⁾.

Se si applicano le espressioni elastiche delle sollecitazioni conseguenti alle coazioni termiche, si osserva che già per differenze di temperatura $T - T_0$ non molto elevate si verificherebbero sollecitazioni di trazione tali da annullare ben presto la modesta precompressione iniziale e superare i limiti di resistenza a trazione del calcestruzzo (ad es. per $T - T_0 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ si avrebbe all'estradosso un campo isotropo di trazioni di $\approx 70 \text{ kg cm}^{-2}$).

Occorre pertanto attribuire alla plasticità del calcestruzzo (associata presumibilmente alla temperatura elevata ed ai possibili fenomeni viscosi nei materiali) un ruolo determinante nel senso dello sfogo delle coazioni termiche senza che derivino incrementi proporzionali di sollecitazioni, con analogia a quanto osservato nella prima fase di prova su modelli in c.a. ordinario.

Ed è ancora importante rilevare, sempre con riferimento ai risultati della prima fase sperimentale, l'effetto della precompressione nel senso di impedire l'apertura di fessure anche in corrispondenza a gradienti termici elevati.

Se si considera che le fessurazioni sui tubi in c.a. normale della I.a serie di prove erano intervenute già per modesti gradienti termici ($T - T_0 \approx 60 \div 70 \text{ }^\circ\text{C}$), è fatto di riconoscere alla precompressione un ruolo, ai fini del contenimento delle coazioni termiche, di portata più vasta di quanto possa essere messo in relazione all'effetto statico elastico di una modesta precompressione iniziale.

Luigi Goffi

(5) La fessurazione si era invece ampiamente verificata per la prima serie di prove su cilindri in c.a. ordinario, ed a questo fenomeno, cui corrisponde una progressiva riduzione della rigidità della struttura (tale da sottrarla progressivamente al cemento delle coazioni termiche) era stato attribuito l'eccellente comportamento dei provini stessi.

PROBLEMI

Un forse non trascurabile parametro del condizionamento

RENATO GRIGNOLIO richiama l'attenzione sui probabili riflessi fisiologici di un insufficiente livello di ionizzazione nell'aria condizionata rispetto all'aria naturale

Circa settanta anni or sono diligenti e tenaci osservazioni, cui in parte diede l'avvio qualche caso fortuito, aprirono la strada non sempre scevra da contrasti e da facili diffidenze alle moderne, e probabilmente ancor superficiali, nozioni sulla importanza dei pur percentualmente infinitesimi fattori vitaminici nella alimentazione.

Le spesso patologicamente gravi ed anche tragiche conseguenze della carenza di tali fattori essenziali al ciclo vitale animale (analogamente del resto alla importanza di ben identificati ormoni nello sviluppo dei vegetali) erano da molti secoli empiricamente note; tali furono, sotto certi aspetti, accentuate peraltro da un disordinato svolgersi della evoluzione tecnica che, come in infiniti altri casi, alterò condizioni di ambiente e di vita senza possedere le conoscenze tecniche necessarie a far prevedere le conseguenze di tali alterazioni.

Sembra del resto questa una legge generale cui soggiace l'evoluzione tecnica; secondo cui ogni attuazione che anche indirettamente modifichi le preesistenti condizioni di ambiente e biologiche, nel più generale significato del termine, provoca uno spostamento di equilibri in direzione quasi mai prevedibile dal quale segue l'insorgere di nuove esigenze in un ciclo illimitato che si direbbe segua una spirale. Difficile giudicare in quale senso questa sia percorsa.

Quali che vogliono essere le proporzioni di dimensione tra due diversi argomenti di cui uno studiato da molti decenni, l'altro sinora scarsamente affrontato, con nitido parallelismo con quanto sopra esposto osserviamo che è praticamente ancora agli inizi lo sviluppo delle applicazioni di massa della tecnica del condizionamento estivo dell'ambiente in cui l'uomo lavora o soggiorna. Tecnica suggerita dal bisogno sempre sentito dall'uomo di migliorare le condizioni del suo ricovero e di difendersi dalle inclemenze atmosferiche in qualunque senso queste si manifestino.

Mentre però per il condizionamento invernale (semplice riscaldamento con al massimo una certa empirica umidificazione dell'aria per riportarla ad una accettabile umidità relativa) esiste una millenaria esperienza ed anche sicuramente un lunghissimo periodo di adattamento fisiologico, non altrettanto può dirsi per quanto riguarda il condizionamento estivo.

Una prima differenza funzionale sta nel fatto che l'individuo che affronti rigide temperature esterne uscendo da un ambiente riscaldato, ha di norma cura di proteggersi con vestiario supplementare il che, ovviamente, lo mette in condizioni di superare con facilità uno sbalzo di temperatura anche rilevante. Evidentemente sarebbe pressoché assurdo invertire l'operazione in presenza di condizionamento estivo. Ma ciò, ed altre analoghe considerazioni, esula da quanto qui in esame.

Necessita invece mettere in rilievo un probabilmente non trascurabile fattore che viene ad aggiungersi ai comuni parametri che regolano il condizionamento dei locali destinati al soggiorno dell'uomo. Ed a tale scopo è opportuno premettere alcuni cenni sulle caratteristiche fisiche dell'aria, nel modo più sommario possibile.

Tutti i gas, e quindi l'aria formata dalla miscela di gas diversi, sono costituiti da molecole a loro volta ottenute da un più o meno stabile raggruppamento di atomi. Questi ultimi grossolanamente descrivibili come formati da un nucleo e da un numero, variabile dall'una all'altra sostanza, di elettroni ruotanti intorno a quello su ben determinate orbite.

L'elettrone possiede una carica elettrica ben determinata convenzionalmente considerata negativa; il nucleo, a sua volta, carica elettrica positiva eguale in modulo alla somma delle cariche degli elettroni che lo circondano. Nel suo complesso l'atomo è neutro e neutra la molecola composta dal raggruppamento di atomi.

Sta però il fatto che, con frequenza probabilistica, sotto l'effetto di cause fisiche esterne, l'atomo originariamente neutro può perdere almeno uno dei suoi elettroni. Ciò comporta la temporanea e contemporanea esistenza di una carica elettrica negativa (l'elettrone) libera e vagante e di una analoga carica elettrica positiva (l'atomo in cui la carica positiva del nucleo viene algebricamente addizionata con la carica negativa dell'elettrone perduto).

Fisicamente ciò permette di giustificare la conducibilità elettrica (tra l'altro con caratteristica negativa) dei gas i quali diversamente si comporterebbero come dielettrici perfetti. In modo elementare si deduce che la conducibilità dei gas, dovuta alla presenza in essi di alte percentuali di cariche elettriche libere, raggiunge valori elevati sotto basse pressioni e ciò nella tecnica viene ad esempio utilizzato nel funzionamento delle comuni lampade fluorescenti (complesse interazioni comportano in queste l'emissione di quanti di luce di piccola lunghezza d'onda i quali eccitano la sostanza fluorescente depositata sull'involucro trasparente). Fermo tuttavia re-

stando che anche sotto pressioni normali ed anche molto superiori a quella atmosferica la ionizzazione (termine chiaramente indicante la descritta esistenza di cariche elettriche libere: ioni) può attribuire al gas alti livelli di conduttanza. Ciò si osserva ad esempio nel caso dell'arco voltaico; delle lampade a vapori di Hg ad alta e sur pressione; in un particolare caso di altissima ionizzazione sotto alte pressioni da me già altrove descritto⁽¹⁾.

Nell'aria naturale che ci circonda si è ovviamente ben lontani da manifestazioni di tale rilevanza. Ma un ben valutabile livello di ionizzazione sussiste praticamente in ogni tipo di aria naturale.

In natura molti sono gli agenti ionizzanti tra cui sperimentalmente accertabili con facilità: raggi ultravioletti; radiazioni corpuscolari solari; raggi cosmici di altissima penetrazione; tensioni elettriche della atmosfera; strofinio ventoso dell'aria sulle rocce e frantumazione dell'acqua sulle scogliere; e molti altri.

Il tempo di esistenza degli ioni presenti è probabilisticamente limitato (l'elettrone libero tende a ricongiungersi con l'atomo positivo che incontra nel suo moto); d'altra parte diversi tra gli agenti ionizzanti agiscono secondo un diagramma di intensità variabile nel tempo ed in particolare variabile con le ore della giornata. Pertanto il numero di ioni esistenti in un centimetro cubico di aria (ml) non può essere costante. Statisticamente può asserirsi che tale numero di ioni nell'aria normale vari da poche centinaia a varie migliaia per ml. Grossolanamente da 500 a 10.000, pur essendosi rilevati livelli di ionizzazione in alcuni casi eccezionalmente imponenti.

Il numero di Avogadro ci dice che in una gr.mol di gas sono contenute $6,07 \times 10^{23}$ molecole. Un gas in condizioni normali contiene pertanto $2,7 \times 10^{19}$ molecole per ml. Percentualmente la quantità di ioni esistenti nell'aria naturale nello stesso ml viene espressa da una frazione dell'ordine di 10^{-16} a 10^{-15} rispetto al numero di molecole neutre presenti. Si tratta di una quantità effettivamente infinitesima; ma diverso aspetto assume la questione ove si consideri che la quantità di aria che ogni ora viene a contatto con i 100 mq circa di superficie polmonare, effettuando attraverso a questa complessi scambi con la corrente di sangue, contiene un totale di cariche elettriche sufficiente a caricare un piccolo condensatore elettrico quale di corrente uso nella tecnica.

Una elementare considerazione suggerisce che se questa è una delle caratteristiche fisiche dell'ambiente in cui, in un indubitabile e complesso equilibrio, si svolge la vita animale che noi conosciamo, non sia lecito, senza grave ed incognito rischio, arbitrariamente sottrarre al ciclo vitale un fattore cui di certo, tra molti altri, il comportamento della cellula viva è condizionato. Ciò, facendo magari conto su di una facoltà di adattamento in realtà più modesta di quanto si voglia ritenere.

(1) « Atti e Rassegna Tecnica », n. 6, 1958.

I N D I C E N O M I N A T I V O

degli Autori che hanno collaborato negli anni 1947-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63.

In romano i numeri delle annate della nuova serie I, 1947 - II, 1948 - III, 1949 - IV, 1950 - V, 1951 - VI, 1952 - VII, 1953 - VIII, 1954 - IX, 1955 - X, 1956 - XI, 1957 - XII, 1958 - XIII, 1959 - XIV, 1960 - XV, 1961 - XVI, 1962 - XVII, 1963.

In base alle pur scarse conoscenze scientifiche attuali, possiamo osservare che la vita della cellula è basata su complessi e ben poco noti equilibri di sistemi colloidali dai quali è formato il protoplasma cellulare. E che l'equilibrio di esistenza di un sistema colloidale è legato alle cariche elettriche dei suoi componenti.

Ben severi ed in verità non sempre facilmente accessibili sviluppi teorici e sperimentali relativi alle sottili e complesse questioni di chimica-fisica nel campo biologico, già in tempi non del tutto recenti hanno indagato le relazioni tra funzioni cellulari, polarizzazione elettrica delle cellule, equilibrio elettrochimico dei loro componenti. È probabile che sia molto lontana, se pur possibile, una enunciazione di leggi precise in proposito. Ma, ai modesti effetti di quanto qui in esame, è già sufficiente l'aver rilevato con ragionevole attendibilità una inscindibile, anche se non rigorosamente valutata, relazione tra una caratteristica fisica dell'aria ambiente e ciclo vitale che in questa si svolge.

Parrebbe persino che lo stato di ionizzazione dell'aria abbia anche qualche influenza sulla conservazione refrigerata di prodotti vegetali dotati di metabolismo e sulle così dette malattie da frigorifero.

Sta ora il fatto che in un tradizionale impianto di riscaldamento di qualsivoglia tipo il problema dello stato di ionizzazione dell'aria praticamente non sussiste. Il normale ricambio con l'aria esterna e l'azione degli elementi riscaldanti non sono tali da provocare forti variazioni nel numero di ioni contenuti nell'aria naturale. Anzi lo stesso noto inconveniente dell'annerimento delle pareti sovrastanti ai normali radiatori termici, legato a fenomeni di elettricità statica, dimostra l'esistenza, se non il potenziamento, di un sensibile livello di ionizzazione dell'aria e della carica elettrica delle particelle solide contenute nella stessa dopo avvenuto il riscaldamento.

Inversamente accade per gli impianti di condizionamento estivo dell'aria. Le operazioni di filtrazione, raffreddamento e condensazione di umidità, ecc. sono tali da praticamente annullare le poche cariche elettriche che rendono l'aria attiva dal punto di vista elettro-fisiologico. Il ricambio periodico, effettuato attraverso alle stesse apparecchiature, periodicamente distrugge la esigue ionizzazione che si manifesta in ambiente chiuso.

Certamente molti fattori, molto spesso empiricamente inquadrati nella definizione di « vita sedentaria », influiscono negativamente sul generale stato di benessere degli organismi animali. Ma una analisi approfondita dei vari fattori in gioco comporterebbero certo definizioni tecnicamente più precise.

Un esercizio fisico svolto all'aria aperta fornisce senso di benessere e risultati migliori che non qualsiasi esercitazione nelle chiuse palestre della città. La differenza non può essere ricercata in qualche minima percentuale in più od in meno di ossigeno o di anidride carbonica (la quale ultima, del resto, è indispensabile fattore eccitante la respira-

zione — come ben sappiamo dopo ricerche sperimentali per la realizzazione di autorespiratori e di impianti di rigenerazione aria per ambienti ermetici). L'afflusso di aria da alti strati, conseguente ad alte pressioni barometriche locali, che fa dire con un senso di benessere: « sembra di essere in montagna », non apporta in realtà aria sensibilmente più ricca di ossigeno; tutto al più sarà aria alquanto impoverita di polveri ed impurezze, fatto peraltro che si verifica anche dopo una pioggia di qualche durata. Si tratta ragionevolmente di aria ad un più alto livello di ionizzazione.

In sostanza: una lunga serie di osservazioni di pubblico e corrente dominio conferma il diverso valore che può essere fisiologicamente attribuito ad una aria nelle sue caratteristiche naturali e ad una aria alterata nelle sue qualità fisiche da un ambiente artificiale. Tra queste qualità non sembra, allo stato attuale delle conoscenze, oltre ai normali parametri di temperatura, pressione, grado igrometrico, contenuto di impurezze e batteriologico, possa essere inserito altro che il parametro tra tutti meno empiricamente valutabile: cioè il grado di ionizzazione. La stessa igienicamente ben fondata raccomandazione di aprire al sole i locali di abitazione trova forse una più precisa giustificazione nel potere ionizzante che non in quello battericida della luce solare.

Ed è autorevole e documentata convinzione recente che il sangue agisca sui tessuti non solo con il semplice trasporto di sostanze chimiche ma anche, con essenziale importanza, per il contenuto e l'apporto di cariche elettriche indispensabili all'equilibrio della fase colloidale ed alla vita delle cellule.

Una seria delusione, non già di ordine tecnico ma bensì di ordine squisitamente fisiologico, incontrata in un severo problema di condizionamento, costrinse per la prima volta, molti anni or sono, a fissare l'attenzione sul descritto fattore oltre che su altri elementi del condizionamento.

Si trattava di colonne motorizzate destinate ad un delicato compito di rilevamento tecnico da effettuarsi in zone eminentemente ostili alla vita dell'uomo. Necessitavano infatti lunghe permanenze in strenuo isolamento, ad oltre mille chilometri dalla costa, in terreno rigorosamente desertico, con clima caratterizzato da temperature diurne dell'aria spesso superiori ai 50°C, umidità relativa del tutto irrisoria, escursione termica diurna imponente non essendo raro il caso di minime notturne inferiori allo 0°C, e grado di ionizzazione dell'aria molte volte superiore a quello medio della costa. Il tutto accompagnato dalla presenza di un campo elettrico dell'aria con elevatissimo potenziale con situazione tale da impedire talvolta materialmente l'impiego delle apparecchiature radio di collegamento a causa delle vivaci scariche che le parti metalliche fornivano per fenomeni di elettricità statica.

In tale situazione, unita al sempre dominante problema del rifornimento di acqua, spesso lontana qualche centinaio di chilometri dalla zona di impiego, il

problema tecnico del condizionamento era eccezionalmente grave. Ma, tenuto conto della necessità di alleviare le durissime condizioni di vita del personale, apparve necessario risolverlo; nè le apparecchiature meccaniche automatiche diedero luogo ad inconvenienti di rilievo.

Risultarono però insostenibili le condizioni fisiologiche del personale soggiornante nei vani condizionati, dopo i primi giorni di funzionamento nelle zone di impiego; là dove sulla costa, in ben più favorevoli condizioni di clima, i parametri del condizionamento erano apparsi più che soddisfacenti. Apparve paradossalmente saggio in quella occasione rinunciare al condizionamento limitandosi ad un modesto riscaldamento notturno (con pompa di calore). Ma si volle pur sommariamente indagare sulle ragioni dell'insuccesso, che apparvero in primo luogo doversi addebitare alla artificiale rottura del già difficile equilibrio di adattamento fisiologico alle dure caratteristiche dell'ambiente.

In secondo luogo si riscontrò che spesso l'aria condizionata non raggiungeva, a causa della troppo bassa umidità assoluta dell'aria ambiente, un sufficiente grado di umidità relativa; ed erroneamente non era stata prevista l'umidificazione là dove di norma si ha una condensazione di acqua.

In terzo luogo venne sperimentalmente accertato che un sensibile miglioramento era fornito dalla ionizzazione artificiale dell'aria condizionata; ed in tale senso, onde avere una prima conferma utile per eventuali altri casi (particolarmente in relazione ad alcuni previsti impianti di condizionamento anti-gas in ciclo chiuso), vennero ripetute, con esito che apparve nitidamente favorevole, prove sia in aria condizionata che in aria semplicemente confinata a temperatura ambiente.

Anche livelli elevati di ionizzazione diedero buoni risultati soggettivi; non è possibile precisare se, come appare probabile, una eccessiva ionizzazione dell'aria divenga col tempo dannosa; ma in ogni caso sembra certo il danno fisiologico conseguente ad una lunga permanenza in aria privata, in tutto od in parte, di una sua caratteristica sempre presente nell'aria naturale.

Non è da escludere che, da parte specialmente di soggetti particolarmente sensibili, lagnanze generiche circa le condizioni di vita in ambienti condizionati siano provocate da una inconscia sensazione di carenza nell'aria di questo soggettivamente imponderabile fattore; sensazioni negative che possono essere assimilate, od inversamente in realtà condurre, a tenui manifestazioni di claustrofobia; stando però il fatto che assai più raramente il desiderio, ad esempio, di finestre aperte si manifesta durante il periodo di condizionamento invernale.

La questione richiederebbe certo, e richiederà, approfondito esame sperimentale; ma comunque sembrerebbe prudenzialmente indispensabile garantire nell'aria condizionata, ed in modo effettivo, il medio livello di ionizzazione dell'aria naturale.

Renato Grignolio

- | | | |
|---|--|--|
| <p>Abramson A., VII, 135.
Accardi F., I, 23, 35, 53, 81, 121, 148, 184, 249, 296, 311.
Ackermann J., VI, 122.
Agosteo L. U., XV, 389.
Alander K., XIII, 107.
Albenga G., II, 33 - III, 81, 173, - VI, 151 - VII, 301 - IX, 58 - X, 289 - XI, 87, 511.
Albini F., IX, 129.
Albini R., XIV, 266, 279.
Alfieri G., XIV, 259 - XV, 225.
Aloisio, IX, 163, 168, 171.
Amoretto G., XIII, 75.
Amour A. E., VIII, 480 - IX, 204, 269, 327.
Amprimo M., X, 176.
Anselmetto G., IV, 33 - VIII, 487.
Antonino P., XVI, 106, 231.
Ariano R., VIII, 258 - IX, 75.
Arneodo C., VIII, 393, 424 - X, 7, 53.
Asta A., VI, 280.
Astengo G., I, 51, 103, 169, 236 - IX, 146, 166.
Azzolini A., XII, 258.
Bairati C., VI, 105 - VII, 277 - VIII, 307 - X, 419 - XVI, 426 - XVII, 375.
Baldacci R. F., II, 36, 68.
Baldini G., XIII, 288 - XVI, 99 - XVII, 254, 314, 339.
Balzanelli M., V, 253.
Banfi A., VII, 133, 137.
Barattini B., VI, 364.
Barba Navaretti G., XV, 113.
Barbero M., VII, 438.
Barbetti U., II, 6, 125 - III, 257 - IV, 18 - VIII, 82 - IX, 198.
Barets J., XVII, 186.
Basili F., VII, 430.
Becchi C., I, 8, 185 - II, 21, 101, 193 - III, 115 - IV, 105, 113 - VIII, 267 - XII, 343 - XIII, 36, 88.
Belgiojoso L., VI, 193.
Bellero C., VII, 284.
Bellincioni G., II, 11.
Belluzzi O., VI, 301.
Beltramo-Ceppi P., XV, 229.
Benedettini O., IV, 133.
Benfratello G., XI, 387.
Benini C., XI, 174.
Benzi G., I, 21, 37, 73 - VI, 167.
Berenger M., XIII, 373.
Berlanda F., V, 194, 302 - VI, 161 - VII, 50 - VIII, 84, 471 - IX, 121, 264 - X, 168, 337 - XIII, 251 - XV, 50 - XVI, 26.
Bernardi M., IX, 203.
Bertolini L., XV, 325.
Bertolotti C., I, 248 - VII, 46, 464 - VIII, 74, 271 - IX, 63 - XI, 527, 557 - XII, 64 - XIII, 225, 317 - XV, 209 - XVI, 388.
Bertolotti S., VI, 251.
Bianchi F., XV, 259.
Bianco M., I, 146, 182, 236.
Biddau G., II, 219 - V, 196.
Biffignandi G., XVI, 9.
Bill M., VI, 135.
Biondolillo F., XIII, 284.
Biraghi P., IX, 198.
Boella M., VI, 249.
Boario G., IX, 16.
Bochi V., X, 106.
Böhm A., VII, 123 - XII, 142.
Boido G., II, 214 - IX, 3 - XIV, 359 - XVII, 70, 361.
Boffa G., I, 266.
Bona C., F., VII, 383.
Bono S., IX, 217 - X, 432 - XII, 102.
Bonadè Bottino V., II, 178 - V, 289 - XIII, 117.
Bonardi L., I, 78.
Bonicelli F., IX, 439.
Bonicelli G., I, 47 - VII, 52 - IX, 267 - X,</p> | <p>342, 346 - XI, 377 - XII, 30 - XIV, 373 - XVI, 435.
Bonicelli G., VII, 260 - XI, 157.
Boninsegna A., VII, 140.
Bordogna C. A., IX, 130.
Bordone-Sacerdote C., XVII, 326.
Bordoni P. G., II, 37.
Borelli R., II, 88 - III, 30, 261, 280.
Borini A., V, 294, 307.
Borini F., III, 114.
Bormida E., X, 205.
Botto Micca M., I, 139 - XVI, 153.
Bozino A., XIV, 80.
Brachet L., X, 219.
Braggio R., VII, 227 - XIII, 119.
Brayda C., XVII, 73.
Brezzi L., XI, 182, 225, 231.
Brino G., XVII, 297.
Brozzu M., XIII, 172, 445.
Bruggeling A. G. S., IX, 357.
Brunetta G., V, 86, 150, 397 - XVI, 111, 441.
Brunetti M., I, 105 - IV, 14 - VI, 57, 287 - VIII, 169 - IX, 225.
Bruscaglioni R., X, 196.
Cabras M., XVII, 286.
Cacciolla P., XVI, 147.
Caciotto M., IX, 314.
Cadež M., XIII, 381.
Caimi E., IX, 285.
Calderale P. M., XVII, 275, 428.
Callari C. E., XVI, 37 - XVII, 53, 242, 432.
Calovolo M., XIV, 271, 290.
Cambi E., VI, 388, 435 - VII, 141.
Camerana G. C., VI, 1.
Caminiti C., VII, 65.
Camoletto C. F., VIII, 419 - XI, 55.
Camoletto E., VI, 49.
Canegallo A., I, 49.
Candeo Cicogna J., XV, 270.
Canina A. G., XIII, 370.
Cannata D., XI, 26.
Capetti A., III, 129 - V, 201 - VII, 341 - XIII, 260 - XIV, 361 - XVI, 432.
Carati L., XII, 22.
Carducci C., III, 41 - VIII, 154 - IX, 111.
Carello F., X, 216.
Carena A., VI, 2.
Carmagnola P., VII, 233.
Carmina M., VI, 387, 430.
Caronia S., VI, 125.
Carrara N., VI, 230.
Carravetta R., XI, 397.
Carrer A., XIII, 423.
Carte B., XI, 67.
Casci C., I, 119, 191 - V, 210.
Castellani C., VI, 185.
Castiglia C., I, 182, 195 - V, 21, 88 - IX, 398.
Catella M., V, 93.
Catella V., XII, 319 - XVI, 117.
Cavallari-Murat A., II, 19, 21, 22, 35, 45, 100, 103, 138, 195 - III, 89, 259, 275 - IV, 49, 56 - V, 270 - VI, 110, 136, 167, 193, 305, 368 - VII, 213, 465 - VIII, 209, 320 - IX, 19, 126 - X, 35, 109, 155, 470 - XI, 1, 47, 313, 539 - XII, 116, 221, 231, 263 - XIV, 233, 395 - XV, 29, 96, 103 - XVI, 240, 369 - XVII, 231, 367.
Cavani G., XV, 120.
Cavinato A., V, 65.
Celidonio A., XIII, 298.
Celli A., VII, 90.
Cenere, IX, 169.
Cenna P., XVI, 125.
Cereghini M., VII, 82 - VIII, 145.
Ceresa P., V, 131 - IX, 120 - X, 179.
Cerza G., X, 398.
Cesarami G., XI, 356.
Cesoni G., XVII, 41.</p> | <p>Chaillot M. R., VI, 381, 396.
Chambers E., XIII, 327.
Chiattono M., IX, 5.
Chiaudano S., XI, 42, 70 - XIII, 193.
Chiesa A., XIV, 251.
Chioldi C., VI, 220.
Chiorino M. A., XVII, 287.
Chretien H., VI, 387, 425.
Ciampolini G., X, 398.
Cicala P., IX, 409 - XVII, 303, 425.
Cigliuti G., III, 118.
Cini M., I, 164.
Ciribini G., X, 297.
Cirilli V., XVI, 1.
Clerici L., III, 118.
Coates W., VI, 380, 390.
Coccino E., VIII, 82, 161.
Codegone C., I, 81, 100, 206, 242, 253 - II, 3, 35, 51, 85, 100, 102, 162, 163, 174, 206, 207, 225, 240 - III, 148, 211, 229, 233 - IV, 60, 129 - V, 1, 229, 237, 297, 333 - VI, 77, 166, 167, 172, 313 - VII, 1, 41, 216, 460 - VIII, 119, 294, 417 - IX, 277, 297 - X, 123, 309, 447 - XI, 93 - XII, 93, 195, 294, 298 - XIII, 281 - XV, 154 - XVII, 39, 323.
Coli L., XVII, 73.
Collins N., VII, 149.
Colnaghi G., XVI, 246.
Colombino P. V., 145.
Colombino R., VII, 422 - XIII, 77 - XIV, 299.
Colonnetti G., III, 282 - V, 191 - VI, 353 - IX, 415 - XI, 85 - XIII, 442 - XV, 91.
Cordiano E., VII, 408.
Corinaldesi N., XV, 367.
Corona G., XI, 369 - XVII, 275.
Costa P., I, 118.
Cravero D. G., V, 55.
Cravero R., IV, 34 - V, 299, 301, 302, 378 - IX, 205 - X, 481 - XI, 28, 80, 373 - XII, 424 - XIII, 111.
Cremona I., III, 49.
Cuniberti G. B., IV, 106, 118.
Cuttica A., XIV, 63.
Dall'Aglio B., VII, 268, 449 - VIII, 364, 398, 420.
Dalla Verde A., I, 23 - VIII, 185.
Dalmasco G., VI, 30.
Danese G., X, 94.
Dannecker S., XI, 186.
Dardanelli G., I, 177, 199, 207, 232, 243, 273, 306 - II, 25, 35, 54, 100 - IV, 8 - V, 322 - XIII, 141.
Dardanelli P., I, 11 - V, 9 - XVI, 395.
D'Armini P., XVI, 49.
Daverio A., XIV, 67.
Deangeli G., X, 101.
De Bernardi IV, 115.
De Bernardi Ferrero D., XIII, 451.
De Cerma P., XVI, 255.
Decker E., V, 25 - IX, 154, 170, 173.
Del Felice S., XII, 22.
Delzanno G., VIII, 52.
Denti R., IV, 110.
Derossi P., XVII, 391.
Dezzuti M., IV, 43.
D'Isola A., XII, 118.
Didée L., VI, 385, 412.
Di Majo F., I, 39, 223 - II, 185 - IV, 81.
Di Mento F., V, 202.
Di Modica G., V, 206.
Dolza C., XVI, 408.
Donato L. F., II, 37, 74 - III, 95 - IV, 161.
Douglas Scotti F., IX, 221.
Dudley L., VI, 386, 416.
Egidi G., VI, 256 - VII, 156.
Fabbri Colabich C., XIII, 21.
Facchini L., II, 26.
Faraone G., XVI, 341.</p> |
|---|--|--|

Fasola N. G., VI, 123.
 Fasola R., VII, 80.
 Fassò C. A., XII, 47.
 Ferraresi G., XVI, 402.
 Ferrari E., V, 119.
 Ferrari G. A., XIII, 387, 392.
 Ferrari M., I, 136.
 Ferraro Bologna G. E., III, 151 - V, 215.
 Ferrero G., IV, 123.
 Ferroglio L., I, 356 - II, 106, 130, 143, 164.
 Ferro V., XI, 110.
 Filippa G., V, 224.
 Filippi C., I, 80.
 Filippi F., VIII, 387 - IX, 80, 254, 279 - X, 316 - XV, 356 - XVII, 380.
 Filippini A., XII, 197.
 Filippini S. F., III, 131.
 Fischer H.-F., XIII, 330.
 Fischetti P., XIV, 248.
 Flaminio E., XVI, 246.
 Förchtgott J., XIII, 396.
 Forte F., XVI, 319.
 Fossi E., XVI, 183.
 Franchi E., VII, 159.
 Franco P. R., XIII, 339.
 Fresia G., XIV, 263.
 Frola E., II, 83 - VI, 315.
 Friess H., VII, 161.
 Frigerio G., XII, 130.
 Fulcheri G., III, 271.
 Funghini G., XVII, 265.
 Furia A., XV, 229.
 Gabetti R., VI, 157 - VII, 92 - VIII, 133, 143, 324 - X, 127, 145 - XVI, 159, 212, 257 - XVII, 351.
 Gabrielli G., VIII, 89 - X, 369.
 Gayet R., XV, 286.
 Galassini M., XI, 217.
 Gallino T., IV, 119.
 Gamba M., II, 200.
 Gandi L., IX, 16.
 Gardella I., VI, 193.
 Gariglio A., IX, 242.
 Gazzola A., XIII, 404.
 Georgii W., XIII, 325.
 Genero U., IX, 293.
 Gentile G., XI, 225, 231.
 Geuna S., XVI, 261.
 Gerbier N., XIII, 411.
 Gherardelli L., XI, 423, 426.
 Ghivarello R., XVII, 197.
 Ghiotti M., XVI, 422.
 Ghyka M., VI, 122.
 Giaccherio E., XV, 162.
 Giacosa D., III, 137 - VII, 342.
 Gial E., I, 149 - IX, 166.
 Giammari A., IX, 39.
 Giannelli A., IV, 47.
 Giannelli E., VII, 168.
 Giardini V., II, 167.
 Giedion S., VI, 124.
 Giordana C., V, 185.
 Giovannozzi R., V, 230 - XV, 340 - XVII, 417.
 Gigli A., III, 221 - VI, 227.
 Giupponi F., IV, 151.
 Gloria G., XI, 124.
 Ghetti A., XI, 240, 250, 261.
 Gobbi G., XVI, 153.
 Goffi A., I, 25, 148, 185, 187, 250, 275, 376 - II, 27, 28, 101, 141, 161, 206, 222, 239 - III, 39, 269, 281 - V, 33, 282, 308 - VIII, 386 - XIII, 184.
 Goffi E., VII, 473.
 Goffi F., X, 91.
 Goffi L., XVII, 250, 294, 440.
 Gorla C., I, 269 - II, 101 - IV, 8.
 Gorrini O., VII, 366.
 Gramigna R., VI, 46.
 Grandis V. G., X, 439.
 Grassi F., VIII, 300.
 Grignolio R., XII, 223 - XIV, 307, 381, XV, 18, 82 - XVI, 238 - XVII, 67, 443.
 Grignolo F., I, 191.
 Grosso G., IX, 261 - XIV, 199.
 Guala F., III, 173.
 Guarneri G., XVII, 271.
 Guiotto M., VIII, 157.
 Guyon Y., V, 149 - IX, 369.
 Haantjes J., VII, 170.
 Hadwich F., XIV, 34.
 Hellet F., VI, 122.
 Hill A. W., IX, 394.
 Hugony E., XIV, 293.
 Incarbone G., X, 402.
 Indri E., XI, 261, 267.
 Israel H., XIII, 343.
 Istomin G. A., XVI, 357.
 Jacobacci F., X, 224, 327, 367, 409, 445, 481 - XI, 31, 33, 81, 163 - XII, 260, 281, 317, 341, 384, 425 - XIII, 144, 152, 185, 257, 294, 323, 372 - XIV, 223.
 Jahoda M., XVI, 329.
 Jarre G., III, 146.
 Jona G., XVII, 326.
 Jossa F., II, 37.
 Kayser H., VI, 123.
 Kelopuu B., IX, 352.
 Kraus C., I, 368.
 Lanino B., IX, 23.
 Larizza P., VIII, 97.
 Laudi V., II, 215 - IX, 8.
 Lauletta E., XVII, 250.
 Le Corbusier, VI, 127.
 Le Grand Y., XVI, 333.
 Le Méme H., X, 148.
 Lesca C., XIV, 46.
 Levi F., I, 131 - II, 35, 204 - III, 267, V, 88, 265, 322 - VIII, 402 - IX, 345, 377 - XII, 216 - XIII, 164 - XV, 191, 318.
 Levi Montalcini G., I, 169 - III, 54, 176 - VI, 115, 204 - VII, 481, 485 - VIII, 303.
 Levi R., XIII, 245.
 L'Hermite R., II, 35, 59.
 Little R. V., VII, 174.
 Liwischitz M., VI, 271.
 Locati L., VIII, 5 - X, 390.
 Lodigiani G., XVI, 399.
 Lomazzi G., XI, 225.
 Lombardi P., VI, 297 - XV, 123 - XVII, 323.
 Lo Monaco T., XIII, 234.
 Lonoce C., V, 219.
 Losana V., XIV, 55.
 Maceraudi P., VIII, 433.
 Machne G., XI, 196.
 Macnamara T. C., VII, 149.
 Maggi F., XII, 138 - XIII, 43, 98 - XIV, 191, 315 - XV, 73, 105.
 Maggiora L., V, 96 - VI, 163.
 Maiorca S., I, 95, 259 - IV, 23, 146.
 Malatesta S., VI, 239.
 Manassero A., XIV, 352.
 Mandel P., VII, 180.
 Manfredi, IX, 166, 172.
 Manini G., III, 156.
 Marangoni N., VIII, 446.
 Marcello C., XI, 273.
 Maroni E., XI, 410.
 Marchisio M., I, 300.
 Marciandi G., XVI, 255.
 Marcianta A., V, 202.
 Marini L., XIII, 321.
 Maritano O., XVI, 222.
 Marocchi D., XIII, 230.
 Martellotta R., XVI, 106, 231.
 Martini C., X, 385.
 Martiny F., XVI, 287.
 Marzolo F., XI, 428.
 Massa N. L., V, 91.
 Mauri R., IX, 130.
 Mautino R., X, 405.
 Mazza C., XII, 309, 379.
 Mazzarino L., X, 154.
 Medici M., VI, 185.
 Melis A., II, 176 - VIII, 312 - IX, 137 - X, 300.
 Merlino F. S., V, 88.
 Mesturino V., I, 76, 365.
 Mezzana M., X, 457.
 Micheletti G. F., I, 246, 372 - II, 22, 149 - V, 286 - VII, 23 - VIII, 341 - XII, 95, 203 - XIV, 51 - XVII, 329.
 Midana A., III, 45 - V, 51 - IX, 157, 172 - X, 278.
 Mirone L., XII, 283 - XV, 14 - XVI, 61.
 Moccagatta V., XII, 153 - XIV, 416.
 Molinari M., X, 18.
 Molli Boffa S., VIII, 160 - IX, 159 - X, 271.
 Mollino C., III, 59 - VI, 116, 193 - VII, 89, 461 - VIII, 161, 453.
 Moncelli F., I, 368.
 Mondelli R., IX, 242.
 Monge M., XV, 371.
 Montabone O., VII, 402.
 Montaldo M., XIV, 41.
 Montanari V., VII, 408.
 Monteforte S., X, 104.
 Morandini Frisa A., XV, 419.
 Morandi R., XII, 264.
 Morbelli A., I, 5 - II, 93 - V, 83.
 Morbiducci, IX, 164.
 Morelli D., XIII, 295.
 Moretto A., V, 285.
 Mortarino C., II, 21, 100, 191.
 Mosca S., X, 16.
 Moschetti S., VI, 35.
 Mossi M. T., IV, 114.
 Mosso L., VIII, 317 - XII, 399.
 Mosso N., VI, 439 - V, 255.
 Musso E., III, 246.
 Muzio G., II, 20.
 Negarville C., I, 285.
 Negri di Sanfront P., XIV, 288 - XV, 243.
 Negro F., VI, 17.
 Nervi P. L., II, 35, 66, 118 - IV, 5 - VI, 125 - XV, 165.
 Neuber H., XIV, 27.
 New D. H., IX, 366.
 Nicola S., V, 194.
 Nicolich A., VII, 185.
 Noè L., XI, 290.
 Norzi E., V, 313.
 Norzi L., VI, 315 - XVI, 197, 229, 417.
 Norry M., I, 297.
 Noseda G., XI, 439.
 Obert G., II, 36, 67 - IX, 89 - X, 82.
 Occella E., V, 243 - VIII, 61 - XI, 561 - XII, 130, 327, 386 - XV, 23, 109 - XVII, 314, 337, 339.
 Oddone E., IV, 121.
 Oglietti A., XIV, 239.
 Oltrasi L., VIII, 467.
 Orain F., VII, 189.
 Orefice A., VIII, 49.
 Oreglia M., VIII, 337 - XIV, 418.
 Orlandini O., VI, 168 - VII, 52 - VIII, 88 - XI, 162.
 Orsolino F., XVI, 147.
 Paderi F., XI, 203.
 Paduart A., IX, 385.
 Pagella A., XV, 251.
 Palazzi F., VIII, 278.
 Palazzi-Trivelli F., XII, 351.
 Pallavicini S., VII, 192.
 Palm E., XIII, 417.
 Panchaud, II, 35, 38.
 Panetti M., II, 175 - V, 47, 189 - VII, 302 - VIII, 486 - XI, 121.
 Panizza A., V, 284.
 Pariani A., V, 328.
 Parisot I., VI, 393, 400.
 Parolini G., VI, 382, 390.
 Passadore G., XIV, 333.
 Passanti M., V, 97, 109 - VI, 89 - VIII, 459.
 Pedrini A., XIII, 213.
 Pedrini P., XII, 422.
 Pellegrini E., I, 44 - IV, 37 - VII, 33 - VIII, 120, 162, 333 - IX, 420 - X, 210 - XV, 1, 133 - XVI, 3, 225 - XVII, 60, 193, 215, 280.
 Pellitteri G., XVII, 398.
 Penciolelli G., VI, 384, 397.
 Peri G., II, 232 - III, 235 - V, 184 - VI, 82 - VIII, 1, 345 - IX, 27.
 Persia M., VII, 354.
 Perucca E., I, 288 - V, 358 - IX, 273 - X, 1, - XIV, 366.
 Pezzoli G., XI, 207.
 Picchi M., VI, 273.
 Pilutti A., VI, 360 - VIII, 86 - X, 142.
 Pinolini F., IX, 188.
 Piperno G., IV, 142.
 Pizzetti G., I, 2, 63 - II, 36 - VII, 37, 72 - VIII, 193, 369.
 Pollice U., IX, 32.
 Pollone G., XII, 305.
 Portalupi A., XV, 401.
 Porzio C., IX, 322 - XIV, 76 - XV, 54.
 Pozzo U., I, 60 - IX, 183 - XIII, 149.
 Pugliese S., VII, 194.
 Pugno G. A., XVII, 347.
 Pugno G. M., V, 352 - VI, 136, 140 - IX, 47 - X, 73, 463 - XIII, 1 - XIV, 226.
 Quaglia A., II, 96, 123 - V, 12, 34 - XI, 161 - XII, 254 - XIV, 85.
 Quaglia M., XIII, 57.
 Queney P., XIV, 1.
 Rabezzana L., XI, 59.
 Racugno C., VI, 54 - IX, 94.
 Raethjen P., XIII, 345.
 Ragazzi P., VIII, 349.
 Ragazzoni A., VIII, 82.
 Ratti F., III, 34.
 Rava S., VI, 364.
 Ravelli I., VII, 10.
 Rebaudi A., XII, 39.
 Reggio G. L., IX, 123 - X, 173.
 Reinhardt M., XIV, 10.
 Reiter E. R., XIII, 355.
 Renacco N., I, 236 - VI, 89 - IX, 164 - X, 166 - XV, 202.
 Ribet G., VIII, 235.
 Ricci G., V, 239, 345.
 Riccio G., X, 329.
 Rigamonti R., V, 72.
 Righi R., III, 239.
 Rigotti A., I, 127, 202 - II, 18 - XI, 74.
 Rigotti G., III, 255 - IV, 91, 173 - V, 102 - VIII, 284 - IX, 138, 167, 426 - X, 149, 235, 411 - XI, 5, 74, 347, 559 - XIII, 187, 240 - XIV, 181 - XV, 179, 307 - XVI, 16.
 Rivoira F., V, 233.
 Rizzotti A., I, 169 - II, 236.
 Rocco A., II, 13.
 Roggero M. F., VII, 419 - VIII, 139, 330 - IX, 115, 119 - X, 127, 137 - XI, 16, 95 - XVI, 89 - XVII, 223.
 Roggiapane C., IX, 124.
 Rolfo F., III, 165.
 Romano U., VIII, 199.
 Rondelli A., VIII, 163 - X, 167.
 Ronchegalli R., XV, 238.
 Rosani N., XII, 412.
 Rosati U., I, 277 - V, 157.
 Rossetti U. P., VI, 93, 356 - VII, 120.
 Rossetti U., XIII, 66, 166 - XIV, 341 - XVI, 44.
 Rossi C., XV, 380 - XVI, 341.
 Rossi G., I, 71.
 Rossi G. C., II, 236, 238.
 Rossi P., III, 140.
 Rossi V., XI, 100 - XIV, 175, 209 - XVII, 199.
 Rovesti P., XV, 15.
 Rubatta A., XI, 433.
 Russo-Frattasi A., VII, 240, 281 - VIII, 379 - IX, 245, 289 - X, 22, 472 - XI, 106 - XII, 105, 209, 370 - XIII, 29, 49, 199, 311 - XIV, 388 - XV, 145 - XVI, 293.
 Sacchi A., XVII, 323.
 Sacco F., I, 326.
 Sacerdote G. C., III, 225, 227 - IX, 22 - XVII, 326.
 Sacerdote U., X, 405.
 Sala L., II, 158.
 Sanpaulesi L., XI, 67.
 Sappa O., IX, 25.
 Sartorio A., II, 234 - III, 242.
 Sartoris L., V, 142.
 Savelli B., VII, 196.
 Savio F., IX, 285.
 Savoia A., I, 46, 203.
 Savoje F., VI, 387, 421.
 Scalabrini M., XII, 22.
 Scanagatta G., I, 320.
 Schiavetto A., XIII, 181.
 Schröter F., VII, 197.
 Schumm D. C., IX, 36.
 Sclopis G., V, 327.
 Scob M. V., VI, 381, 394.
 Scorer R. S., XIV, 22.
 Selmo L., IV, 30, 77 - VI, 169, 191.
 Semenza C., XI, 287, 294 - XII, 26.
 Serantoni P., I, 79 - II, 85.
 Sesia D., XVII, 73.
 Sibilla F., VII, 272.
 Simonelli G., V, 121.
 Speiser A., VI, 123.
 Speranza E., XV, 386.
 Stabellini L., VI, 320 - VIII, 253.
 Stefanutti U., IX, 11.
 Stellingwerff G., XIII, 92.
 Stradelli A., II, 231 - IX, 1.
 Stragiotti L., I, 359 - II, 23 - IV, 62, 68, 87 - VIII, 61, 105.
 Stubenruss F., VI, 26.
 Supino G., VI, 322 - XI, 300.
 Supino P., VII, 220.
 Szemere G., IV, 94.
 Tascheri E., VI, 8.
 Tak W., VI, 384, 408.
 Tedeschi L., VIII, 164.
 Tedeschi R., I, 248, 271.
 Tiberio U., VI, 244.
 Todros A., V, 194.
 Tomassoni G., XVI, 364.
 Tondi A., XV, 248.
 Tonini D., XI, 302, 447.
 Tonini M., XI, 213.
 Tonini P., IX, 291.
 Toniolo S. B., I, 224.
 Torazza Zerbi G., X, 333.
 Torazzi F., VI, 22.
 Toscano A., III, 68.
 Tournon G., II, 153 - VI, 328 - VII, 307, 317, 492 - VIII, 15 - IX, 315 - X, 427 - XI, 545 - XII, 83 - XVII, 179, 235.
 Trichet A., VII, 201.
 Trincherio G., V, 317 - VI, 43.
 Trompeo G., XII, 226, 258.
 Trompetto A., VIII, 475 - XV, 118.
 Trovati G., XI, 513.
 Turel A., VI, 123.
 Vaccaneo A., I, 208 - II, 216 - IV, 143 - V, 317 - VI, 173 - VII, 245 - IX, 177 - XIII, 153 - XVII, 1, 205.
 Vacchelli P., II, 36.
 Vagnetti L., XVII, 382.
 Vairano N., IX, 131.
 Valente M., XI, 367.
 Vallauri G., XI, 165.
 Vallese L., VI, 217.
 Vallini A., VI, 273.
 Vantongerloo G., VI, 126.
 Vaudetti F., VII, 335, 455 - VIII, 42 - IX, 434 - XI, 16, 451 - XII, 228.
 Vecchiacchi F., VI, 267.
 Ventura G. L., XVII, 307, 425.
 Verwilt M. Y., XVI, 54.
 Vergani M., XIV, 273.
 Verzone P., XII, 111.
 Viale V., V, 173 - VII, 251 - XII, 278.
 Vian P., III, 121.
 Vigliano C., IX, 174 - 431, 435 - X, 60, 435 - XI, 16, 451 - XII, 1 - XV, 63 - XVI, 265, 298.
 Villa M., VII, 204.
 Villanova A., IX, 283.
 Vinaj C., V, 359.
 Viotti D., V, 219.
 Viotto P., I, 17, 113 - VII, 108 - X, 229.
 Vitali G., VI, 40.
 Vittori O., XIV, 26.
 Vivivi P., VI, 379, 389 - VII, 206, 330.
 Voillot L., XV, 321.
 Webber J. S., XV, 279.
 Wenter Marini G., VIII, 161.
 Wittkower R., VI, 121.
 Wöhle W., XVI, 347.
 Wolf M., VII, 100.
 Wood K., XIII, 368.
 Woolf S. J., XV, 299.
 Zabert S., XI, 43.
 Zanone E., I, 67.
 Zanovello A., XI, 304.
 Zecchini Q., XII, 348.
 Zeglio P., XII, 300, 420.
 Zignoli V., I, 21, 51, 81, 146, 161, 182, 229, 279, 351 - II, 81, 117, 189 - III, 23, 103, 110 - IV, 167 - V, 80 - VI, 79, 136, 343 - VII, 97 - VIII, 377 - X, 193 - XII, 288, 359 - XIII, 18 - XV, 223, 291, 365.
 Zocchi A., XV, 410.
 Zorzi L., II, 33.
 Zunini B., III, 266 - VII, 3, 53.

Fasola N. G., VI, 123.
 Fasola R., VII, 80.
 Fassò C. A., XII, 47.
 Ferraresi G., XVI, 402.
 Ferrari E., V, 119.
 Ferrari G. A., XIII, 387, 392.
 Ferrari M., I, 136.
 Ferraro Bologna G. E., III, 151 - V, 215.
 Ferrero G., IV, 123.
 Ferroglio L., I, 356 - II, 106, 130, 143, 164.
 Ferro V., XI, 110.
 Filippa G., V, 224.
 Filippi C., I, 80.
 Filippi F., VIII, 387 - IX, 80, 254, 279 - X, 316 - XV, 356 - XVII, 380.
 Filippini A., XII, 197.
 Filippini S. F., III, 131.
 Fischer H.-F., XIII, 330.
 Fischetti P., XIV, 248.
 Flaminio E., XVI, 246.
 Förchtgott J., XIII, 396.
 Forte F., XVI, 319.
 Fossi E., XVI, 183.
 Franchi E., VII, 159.
 Franco P. R., XIII, 339.
 Fresia G., XIV, 263.
 Frola E., II, 83 - VI, 315.
 Friess H., VII, 161.
 Frigerio G., XII, 130.
 Fulcheri G., III, 271.
 Funghini G., XVII, 265.
 Furia A., XV, 229.
 Gabetti R., VI, 157 - VII, 92 - VIII, 133, 143, 324 - X, 127, 145 - XVI, 159, 212, 257 - XVII, 351.
 Gabrielli G., VIII, 89 - X, 369.
 Gayet R., XV, 286.
 Galassini M., XI, 217.
 Gallino T., IV, 119.
 Gamba M., II, 200.
 Gandi L., IX, 16.
 Gardella I., VI, 193.
 Gariglio A., IX, 242.
 Gazzola A., XIII, 404.
 Georgii W., XIII, 325.
 Genero U., IX, 293.
 Gentile G., XI, 225, 231.
 Geuna S., XVI, 261.
 Gerbier N., XIII, 411.
 Gherardelli L., XI, 423, 426.
 Ghivarello R., XVII, 197.
 Ghiotti M., XVI, 422.
 Ghyka M., VI, 122.
 Giaccherio E., XV, 162.
 Giacosa D., III, 137 - VII, 342.
 Gial E., I, 149 - IX, 166.
 Giammari A., IX, 39.
 Giannelli A., IV, 47.
 Giannelli E., VII, 168.
 Giardini V., II, 167.
 Giedion S., VI, 124.
 Giordana C., V, 185.
 Giovannozzi R., V, 230 - XV, 340 - XVII, 417.
 Gigli A., III, 221 - VI, 227.
 Giupponi F., IV, 151.
 Gloria G., XI, 124.
 Ghetti A., XI, 240, 250, 261.
 Gobbi G., XVI, 153.
 Goffi A., I, 25, 148, 185, 187, 250, 275, 376 - II, 27, 28, 101, 141, 161, 206, 222, 239 - III, 39, 269, 281 - V, 33, 282, 308 - VIII, 386 - XIII, 184.
 Goffi E., VII, 473.
 Goffi F., X, 91.
 Goffi L., XVII, 250, 294, 440.
 Gorla C., I, 269 - II, 101 - IV, 8.
 Gorrini O., VII, 366.
 Gramigna R., VI, 46.
 Grandis V. G., X, 439.
 Grassi F., VIII, 300.
 Grignolio R., XII, 223 - XIV, 307, 381, XV, 18, 82 - XVI, 238 - XVII, 67, 443.
 Grignolo F., I, 191.
 Grosso G., IX, 261 - XIV, 199.
 Guala F., III, 173.
 Guarneri G., XVII, 271.
 Guiotto M., VIII, 157.
 Guyon Y., V, 149 - IX, 369.
 Haantjes J., VII, 170.
 Hadwich F., XIV, 34.
 Hellet F., VI, 122.
 Hill A. W., IX, 394.
 Hugony E., XIV, 293.
 Incarbone G., X, 402.
 Indri E., XI, 261, 267.
 Israel H., XIII, 343.
 Istomin G. A., XVI, 357.
 Jacobacci F., X, 224, 327, 367, 409, 445, 481 - XI, 31, 33, 81, 163 - XII, 260, 281, 317, 341, 384, 425 - XIII, 144, 152, 185, 257, 294, 323, 372 - XIV, 223.
 Jahoda M., XVI, 329.
 Jarre G., III, 146.
 Jona G., XVII, 326.
 Jossa F., II, 37.
 Kayser H., VI, 123.
 Kelopuu B., IX, 352.
 Kraus C., I, 368.
 Lanino B., IX, 23.
 Larizza P., VIII, 97.
 Laudi V., II, 215 - IX, 8.
 Lauletta E., XVII, 250.
 Le Corbusier, VI, 127.
 Le Grand Y., XVI, 333.
 Le Méme H., X, 148.
 Lesca C., XIV, 46.
 Levi F., I, 131 - II, 35, 204 - III, 267, V, 88, 265, 322 - VIII, 402 - IX, 345, 377 - XII, 216 - XIII, 164 - XV, 191, 318.
 Levi Montalcini G., I, 169 - III, 54, 176 - VI, 115, 204 - VII, 481, 485 - VIII, 303.
 Levi R., XIII, 245.
 L'Hermite R., II, 35, 59.
 Little R. V., VII, 174.
 Liwischitz M., VI, 271.
 Locati L., VIII, 5 - X, 390.
 Lodigiani G., XVI, 399.
 Lomazzi G., XI, 225.
 Lombardi P., VI, 297 - XV, 123 - XVII, 323.
 Lo Monaco T., XIII, 234.
 Lonoce C., V, 219.
 Losana V., XIV, 55.
 Maceraudi P., VIII, 433.
 Machne G., XI, 196.
 Macnamara T. C., VII, 149.
 Maggi F., XII, 138 - XIII, 43, 98 - XIV, 191, 315 - XV, 73, 105.
 Maggiora L., V, 96 - VI, 163.
 Maiorca S., I, 95, 259 - IV, 23, 146.
 Malatesta S., VI, 239.
 Manassero A., XIV, 352.
 Mandel P., VII, 180.
 Manfredi, IX, 166, 172.
 Manini G., III, 156.
 Marangoni N., VIII, 446.
 Marcello C., XI, 273.
 Maroni E., XI, 410.
 Marchisio M., I, 300.
 Marciandi G., XVI, 255.
 Marcianta A., V, 202.
 Marini L., XIII, 321.
 Maritano O., XVI, 222.
 Marocchi D., XIII, 230.
 Martellotta R., XVI, 106, 231.
 Martini C., X, 385.
 Martiny F., XVI, 287.
 Marzolo F., XI, 428.
 Massa N. L., V, 91.
 Mauri R., IX, 130.
 Mautino R., X, 405.
 Mazza C., XII, 309, 379.
 Mazzarino L., X, 154.
 Medici M., VI, 185.
 Melis A., II, 176 - VIII, 312 - IX, 137 - X, 300.
 Merlino F. S., V, 88.
 Mesturino V., I, 76, 365.
 Mezzana M., X, 457.
 Micheletti G. F., I, 246, 372 - II, 22, 149 - V, 286 - VII, 23 - VIII, 341 - XII, 95, 203 - XIV, 51 - XVII, 329.
 Midana A., III, 45 - V, 51 - IX, 157, 172 - X, 278.
 Mirone L., XII, 283 - XV, 14 - XVI, 61.
 Moccagatta V., XII, 153 - XIV, 416.
 Molinari M., X, 18.
 Molli Boffa S., VIII, 160 - IX, 159 - X, 271.
 Mollino C., III, 59 - VI, 116, 193 - VII, 89, 461 - VIII, 161, 453.
 Moncelli F., I, 368.
 Mondelli R., IX, 242.
 Monge M., XV, 371.
 Montabone O., VII, 402.
 Montaldo M., XIV, 41.
 Montanari V., VII, 408.
 Monteforte S., X, 104.
 Morandini Frisa A., XV, 419.
 Morandi R., XII, 264.
 Morbelli A., I, 5 - II, 93 - V, 83.
 Morbiducci, IX, 164.
 Morelli D., XIII, 295.
 Moretto A., V, 285.
 Mortarino C., II, 21, 100, 191.
 Mosca S., X, 16.
 Moschetti S., VI, 35.
 Mossi M. T., IV, 114.
 Mosso L., VIII, 317 - XII, 399.
 Mosso N., VI, 439 - V, 255.
 Musso E., III, 246.
 Muzio G., II, 20.
 Negarville C., I, 285.
 Negri di Sanfront P., XIV, 288 - XV, 243.
 Negro F., VI, 17.
 Nervi P. L., II, 35, 66, 118 - IV, 5 - VI, 125 - XV, 165.
 Neuber H., XIV, 27.
 New D. H., IX, 366.
 Nicola S., V, 194.
 Nicolich A., VII, 185.

Bigliografia annotata	pag. 143	P. DEROSI, <i>Dall'industrial design al suo strumento grafico</i>	pag. 391
Indice della località e degli edifici	» 153	G. PELLITTERI, <i>L'arte grafica nelle sue applicazioni</i>	» 398
G. TOURNON, <i>Misuratori a diaframma per canali a sezione trapezia</i>	» 179	R. GIOVANNOZZI, <i>La costruzione delle macchine: progressi e problemi</i>	» 417
J. BARETS, <i>Evoluzione delle tecniche di prefabbricazione</i>	» 186	P. CICALA e G. L. VENTURA, <i>Sulla risoluzione numerica delle equazioni del « guscio piatto ». Il pannello paraboloidico poco svergolato soggetto a taglio</i>	» 425
E. PELLEGRINI, <i>Alcuni elementi condizionatori del disegno e della composizione architettonica</i>	» 193	P. M. CALDERALE, <i>Misura dello smorzamento interno col vibroforo Amsler: nuovi procedimenti di rivelazione e di calcolo</i>	» 428
A. VACCANEO, <i>Impostazione tecnico-economica delle centrali termiche, al servizio di industrie metalmeccaniche, effettuanti produzione di energia elettrica a ricupero</i>	» 205	C. E. CALLARI, <i>Metodo di calcolo generale delle lastre inflesse in campo anelastico</i>	» 432
E. PELLEGRINI, <i>Le suggestive applicazioni all'idea architettonica di cinque pericolosi principi di Leo Frobenius</i>	» 215	L. GOFFI, <i>Prove di sollecitazioni termiche su tubi in cemento armato precompresso</i>	» 440
G. TOURNON, <i>Esame sperimentale dell'efflusso sopra le traverse trascinabili</i>	» 235		
C. E. CALLARI, <i>Effetti termici e fenomeni di adattamento nelle volte sottili cilindriche</i>	» 242	PROBLEMI	
E. LAULETTA e L. GOFFI, <i>Il metodo Moiré: principi ed applicazioni</i>	» 250	R. GRIGNOLIO, <i>Su alcuni aspetti dell'impiego dell'aria compressa</i>	pag. 67
G. FUNGHINI, <i>I traffici su rotaia nell'inquadramento regionale</i>	» 265	G. BOIDO, <i>Lotta « anti smog »</i>	» 70
G. GUARNIERI, <i>Un serbatoio per le ferriere acciaierie di Lesegno (Mondovì)</i>	» 271	R. GHIVARELLO, <i>Come nacque il viale dei Colli di Torino</i>	» 197
P. M. CALDERALE e G. CORONA, <i>Prove sistematiche a fatica di un acciaio ad alta pressione: effetto della frequenza di prova</i>	» 275	V. ROSSI, <i>Uomo « isolato » è mezzo salvato</i>	» 199
E. PELLEGRINI, <i>Gli elementi dell'architettura ogivale nell'arredo barocco piemontese</i>	» 280	M. F. ROGGERO, <i>A proposito del concorso per il nuovo Centro Direzionale di Torino</i>	» 223
M. CABRAS, <i>Un altare del Viana nel Duomo di Cagliari</i>	» 286	<i>La Costituzione dell'Organizzazione Internazionale di Studio sulla Fatica delle Funi Metalliche</i>	» 230
M. A. CHIORINO, <i>Gusci ellissoidici per serbatoi</i>	» 287	A. CAVALLARI-MURAT, <i>Problemi scientifici del disegno</i>	» 231
L. GOFFI, <i>Una sperimentazione su bulloni ad alta resistenza</i>	» 294	G. BALDINI, <i>Indagini sulle condizioni elastiche di elementi tubolari impiegati nella tecnologia petrolifera</i>	» 254
P. CICALA, <i>Sulla risoluzione numerica delle equazioni del « guscio piatto » - Parte I: La teoria elastica del pannello piatto di paraboloidi iperbolico nella formazione matriciale</i>	» 303	G. BRINO, <i>Letteratura e terminologia architettonica</i>	» 297
G. L. VENTURA, <i>Parte II: Procedimento di calcolo del pannello piatto di paraboloidi iperbolico</i>	» 307	G. F. MICHELETTI, <i>Lavorabilità dei materiali metallici e prove ad essa relative</i>	» 329
G. BALDINI e E. OCCELLA, <i>Abbattimento idraulico subacqueo di rocce pseudocoerenti</i>	» 314	A. CAVALLARI-MURAT, <i>L'ornamentazione strutturalista e la Chiesa</i>	» 367
C. CODEGONE, C. LOMBARDI e A. SACCHI, <i>Sulla tenuta dei serramenti per l'edilizia</i>	» 323	R. GRIGNOLIO, <i>Un forse non trascurabile parametro del condizionamento</i>	» 443
C. BORDONE-SACERDOTE, G. JONA e G. G. SACERDOTE, <i>Rilievi di elettroencefalogrammi su soggetti il cui capo è sollecitato da vibrazioni meccaniche</i>	» 326		
G. BALDINI e E. OCCELLA, <i>Il contributo dei trasporti interni di miniera alla meccanizzazione sotterranea</i>	» 339	NOTIZIARIO	
G. A. PUGNO, <i>Sorgenti luminose lineari ad arco di cerchio</i>	» 347	E. OCCELLA, <i>Il Congresso minerario internazionale di Salisburgo</i>	pag. 337
R. GABETTI, <i>Alloggi economici a New York: oggi</i>	» 351	REGOLAMENTAZIONE TECNICA	pag. 72-264-302
G. BOIDO, <i>Ventilazione termica e sue applicazioni ed in particolare per gallerie e trafori</i>	» 361	RECENSIONI	pag. 232
C. BAIRATI, <i>Il disegno quale simbolo evocatore di forme</i>	» 375	CONVEGNI	» 264
F. FILIPPI, <i>I problemi grafici nell'ingegneria</i>	» 380	CONGRESSI	» 264
L. VAGNETTI, <i>I problemi grafici nella Istruzione Superiore</i>	» 382	ARGOMENTI SPECIALI DELL'ANNATA	
		Nel fascicolo di gennaio: <i>Impianti di condizionamento</i> (di pagg. 37)	
		Nel fascicolo di marzo: <i>Notizie sull'attività di Ingegneri e Architetti del Sei e Settecento in Piemonte</i> (di pagg. 100)	
		Nel fascicolo di novembre: <i>Convegno internazionale sui problemi grafici nell'Ingegneria e nell'Architettura</i> (di pagg. 42).	

Direttore responsabile: **AUGUSTO CAVALLARI-MURAT**

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

STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE - TORINO