

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

Problemi nelle moderne tendenze dell'architettura industriale

AUGUSTO CAVALLARI-MURAT analizza, dapprima, sotto aspetto estetico, la convergenza al limite tra azione tecnica ed azione artistica. Successivamente individua argomenti distributivi ed argomenti strutturali che hanno nella gestazione architettonica dei vincoli tecnici incoercibili sul piano materiale ma plasmabili sul piano del linguaggio. La ricerca delle dimensioni e delle proporzioni ottimali delle maglie distributive dell'edilizia industriale e la analoga ricerca modulativa degli elementi strutturali ai fini economici vengono spiegate al lume delle attuali teorie matematiche della programmazione lineare e dei grafi. Gli schemi funzionali distributivi dei fabbricati per il lavoro e per gli uffici, contribuenti alla evidenziazione dei tragitti e dei volumi specializzati e differenziati, vengono utilizzati anche come strumenti compositivi.

Per afferrare mentalmente le moderne tendenze dell'architettura industriale occorre ricondurre l'indagine ai problemi più essenziali dei temi che l'edilizia è chiamata a risolvere nel dare impalcatura e talora anche struttura ai cicli produttivi adeguandosi al compito di fornire degli speciali strumenti di lavoro. Fornendo una strumentalità pratica l'architettura, come al solito nel suo ambito essenziale, compie anche attività estetica, dando forma alla materia di sua pertinenza, consolidandola in una autoformativa immagine da valere nel linguaggio artistico.

Ma l'immagine architettonica è qui realizzata ponendosi al limite delle possibilità di concessioni che l'artista fa alla tecnica e perciò anche all'estremo lembo delle facoltà d'arricchire dall'interno del processo di formazione l'immagine stessa con i pretesti offerti dalla implicita esistenza di così massicci vincoli pratici.

Se c'è un campo dell'attività artistica che offra al critico d'arte una esemplare casistica di quella che può apparire, pure non essendola che nella situazione di tendenza al limite, la coincidenza dell'azione artistica con l'azione tecnica, questo potrebbe essere il campo dell'architettura industriale. Tant'è vero che i più sensibili critici d'arte, i quali sono tanto più sensibili quanto più coscienti

dell'importanza delle illuminazioni teoriche e filosofiche all'operare critico, amano oggi cimentarsi nell'analisi della personalità d'artisti attivi nel cosiddetto *industrial design* in grossa ed in piccola scala. Interessanti risultati in proposito di tale analisi si trovano in antichi e recenti studi di Argan su Gropius e sulla Bauhaus, gli ultimi dei quali saggi vengono complicati dalla parallela ed integratrice indagine sociologica, con l'implicito maggior pericolo delle aberrazioni prospettiche in conseguenza di contaminazioni utopiche e di vizi critici classificati dall'estetica come moralistici.

De Saint Exupery mise bene in evidenza quanta forza espressiva esista nelle forme che hanno conseguito attraverso una controllata purificazione quella bellezza di valore assoluto che è esente dai più o meno facili orpelli dell'espressionismo, per cui l'ala dell'aeroplano, l'anfora archeologica ed un seno d'una fidiaca statua s'apparentano e si identificano quasi nell'essenza spirituale della forma d'arte ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ A.C.M. *Quesiti estetici posti dall'unificazione nell'architettura metallica*, Milano, Costruzioni Metalliche, 1960; IDEM, *Pretesti razionali e di gusto nella forma dei ponti d'oggi*, Milano, Costruzioni Metalliche, 1960; IDEM, *Attualità e rischi nei barocchismi dell'industrial Design*, Torino, Rivista Pininfarina, IV, 1963. IDEM, *Problemi d'architettura*, nel

È questo il problema della coincidenza al limite dell'azione tecnica e dell'azione artistica.

Ebbene, trasferendo a scopo d'indagine il concetto di architettura industriale in tale problema estetico, si deve constatare che è necessario considerare più volte il meccanismo dell'azione tecnica che può condurre e che può anche non condurre al risultato estetico. Principalmente sono i processi di generazione della forma alimentati dalla materia strutturale e quelli forniti dalla materia distributiva che offrono i più produttivi risultati per la critica dell'arte.

Per materia strutturale si intendono tutte quelle proposte conformative che mirano a determinare un guscio di chiusura e di protezione dello spazio che sia solido, duraturo, di facile esecuzione, di ridotto costo, di agevole manutenzione e d'elastica utilizzabilità.

Per materia distributiva si definiscono tutti quei pretesti d'articolazione e di dimensionamento dello spazio contenuto nei predetti gusci e che conducono a realizzare cicli produttivi razionali ed economici contingenti ed impianti continuativi ed a sistemare in modi altrettanto razionali ed organici i movimenti delle macchine e degli uomini.

volume « Problemi d'architettura nelle costruzioni in acciaio », Roma, Ed. Cremonesi, 1967.

Queste due materie tecniche dopo opportune elaborazioni nella mente e nel sentimento del progettista confluiscono nella materia artistica, divenendo tutt'uno con essa, per cui il progettista, autocontrollandosi come artista, potrà dire con lo Scamozzi, stupefatto quasi di tale miracolo, che « la struttura fa ornamento da se stessa ». In tale attimo felice della sintesi l'azione tecnica è dunque azione d'arte, e non è più operabile una analisi anatomizzante, separante cioè l'aspetto tecnico dall'aspetto artistico.

Persa ne sarebbe la distribuzione del tutto e degli elementi costituenti, annullandosi quel principale fattore di bellezza che è la totalità teorizzata dall'estetica idealistica e che anche le successive scuole hanno salvata chiamandola in molteplici altri modi.

Ciò dico perché è necessario sgombrare la mente durante il discorso intrapreso dalla seduzione di equivoci che autorizzino lo storico dell'arte a considerare l'architettura industriale come paludamento esteriore per l'edilizia industriale.

Vista nell'accezione detta, l'architettura non può consistere nella semplice ornamentazione aggiunta, non è più l'incrostazione antica di ordini canonici o di fogliame d'acanto oppure di qualsiasi attuale surrogato di quegli ordini e di quei motivi floreali; essendo invece cosa essenziale, la quale sotto certi aspetti è la cosa stessa.

Ognuno che abbia dimestichezza con le pagine della storia dell'architettura dedicata all'industria moderna ha notato frequentemente la seduzione di arrestare l'analisi critica all'epidermide, senza entrare negli organismi esaminati per controllare se l'immagine veramente artistica non è al di là di quelle incrostazioni lodate e se non investa invece tutta l'organizzazione delle materie strutturali e distributive, sino a dare con la movenza generale e particolare della forma un autentico segno di linguaggio poetico, come dev'essere ogni architettura.

Per concludere questa introdu-

zione generale si deve perciò ammettere che sia necessario approfondire la conoscenza delle materie fondamentali tecniche (strutturali e distributive, sino ad assumerne padroneggiamento magistrale e poi successivamente approfondire quei modi caratteristici di sublimazione sul piano dell'arte.

La materia distributiva, che come s'è velocemente anticipato contempla cicli produttivi, servizi impiantistici e movimenti di macchine e di uomini, può facilmente dominarsi unendo l'esperienza professionale di chi fa architettura e di chi fa ingegneria industriale.

L'architettura ha i suoi concetti speciali finalizzati al compito di strutturare in un primo tempo l'edilizia. L'ingegneria industriale ha altri differenti concetti caratterizzati dalla finalità propria di dominare mentalmente il ciclo produttivo. Si tratta dunque di condurre due famiglie di concetti a produrre schematizzazioni capaci di consolidarsi in concreto.

Tali due famiglie di concetti o delle derivate schematizzazioni non debbono tuttavia ignorarsi e non dovranno neppure precludersi l'una all'altra.

I cosiddetti diagrammi funzionali distributivi dell'architettura, che non sono altro che la speciale conversione grafica dei concetti e delle schematizzazioni architettoniche predette, logicamente e conseguentemente includono nella propria organizzazione i corrispondenti diagrammi dei cicli produttivi. I primi daranno luogo ad un maggior numero di spunti per l'ideazione formale con la implicita maggiore libertà di scelta. I secondi saranno invece più consequenziali, ma non escludendo che la genialità e l'esperienza ne vincolino talmente la propria natura da non considerarsi anch'essi pretesti d'una speciale attività inventiva.

La grande novità di questi ultimi tempi è costituita dal significato bivalente della grafia adottata nella diagrammazione: è spunto visivo per la immaginazione formale ma anche è strumento mate-

matizzante per la razionalizzazione concettuale.

La soluzione soddisfacente ad alcune condizioni distributive è conseguibile mediante un laborioso lavoro combinatorio intuitivo di schematizzazioni grafiche; bensì la soluzione soddisfacente è ritrovabile con maggior rapidità, e con minore errore utilizzando procedimenti matematici esatti. In tale significato va vista quella teoria dei grafi, la quale ebbe la sua pietra fondamentale nel celebre saggio del matematico svizzero Leonardo Eulero nel 1736. È stato detto che dal punto di vista matematico la teoria dei grafi sembrava allora piuttosto futile, dato che si applicava in gran parte a giochi ed a indovinelli per lo svago, ma che recentemente sviluppi delle teorie matematiche hanno dato un forte impulso alle applicazioni dei modelli matematici derivati dalla teoria degli insiemi, come avveniva già nel secolo scorso nella teorizzazione dei circuiti elettrici e nella diagrammazione molecolare.

Oystein Ore ricorda che attualmente vi sono argomenti di matematica pura, per esempio la teoria delle relazioni matematiche, per le quali la teoria dei grafi, ramo della topologia, è lo strumento naturale, ma essa si applica anche a numerosi problemi di carattere molto pratico: a problemi di assegnazione, di trasporti, di flussi in una rete di tubazioni ed in generale ai cosiddetti problemi di programmazione (2). La topologia è collegata all'algebra ed alla teoria delle matrici, tuttavia soventemente non richiede un impiego di grossi apparati algoritmici: ragione per cui è di facile impiego anche da parte di tecnici applicativi, quali gli ingegneri e gli architetti.

Il saggio euleriano cennato apparve negli atti dell'Accademia della Scienze di Pietroburgo, non appena l'autore si trasferì in Rus-

(2) C. BERGE, *Théorie des graphes et ses applications*, Paris, Dunod, 1958; D. ORE, *Theory of Graphy*, Providence Rhode Island, American Mathematical Society Colloquium Publications, XXXVIII, 1962; IDEM, *I grafi e le loro applicazioni*, Bologna, Zanichelli, 1965.

sia, cedendo il posto di Berlino al torinese Luigi Lagrange (3).

È noto come il « problema dei ponti di Königsberg », città della Prussia Orientale collocata sulle sponde e su due isole del Pregel, fiume attraverso il quale si gettavano sette ponti. Sui sette ponti avveniva la passeggiata domenicale degli abitanti di Königsberg. Per curiosità giocosa Eulero intese dimostrare che non era possibile organizzare il percorso in modo tale che partendo da un punto prestabilito di raduno si potesse farvi ritorno dopo avere attraversato ciascun ponte una sola volta (fig. 1).

Lo storico « grafo di Eulero » è dunque il capostipite della ricerca di un itinerario dotato di particolari condizioni vincolative. È perciò capostipite di problemi distributivi tipici dell'architettura in generale; ed ha già dato luogo a suggerirne l'uso in una pianta adatta per una esposizione, per disciplinare con targhe monitorie il traffico del pubblico onde passare davanti ad ogni oggetto esposto nelle vetrine una sola volta ed anche talora due volte, una lungo l'andata ed una, sulla faccia opposta della vetrina, nel ritorno d'uscita.

Altri problemi distributivi risolti con la teoria matematica dei grafi sono quelli di speciali zonizzazioni urbanistiche ed architettoniche che traggono pretesto dalla analogia con la ricerca altrettanto famosa nella storia della scienza « ipotesi delle carte geografiche a quattro colori », indispensabile peraltro nell'industria tipografica sotto il nome attuale di teorema dei cinque colori.

Altri problemi di grafi, che si possono chiamare planari, sono quelli della ricerca del ristretto numero di disegni effettivamente possibili nell'arte del mosaico e quindi della tecnologia del settore produttivo di tali materiali da rivestimento nell'edilizia oppure anche quello della scelta dello

(3) Dei rapporti epistolari di Eulero coi nostri grandi illuministi padani ho scritto in *Giovanni Poleni e la costruzione architettonica*, Padova, Accademia Patavina di Scienze Lettere ed Arti, suppl. Atti e Memorie, LXXIV, 1963.

schema strutturale per capannoni di minore peso. (4).

Qui al Politecnico di Torino, nel mio Istituto, è stata messa a fuoco nell'ultimo lustro la soluzione al quesito di ricostruire i mosaici di lotti edificati negli antichi isolati cittadini disegnandone l'ignota forma avvalendosi esclusivamente di informazioni catastali non figurate (5).

Problemi di traffico viario a sen-

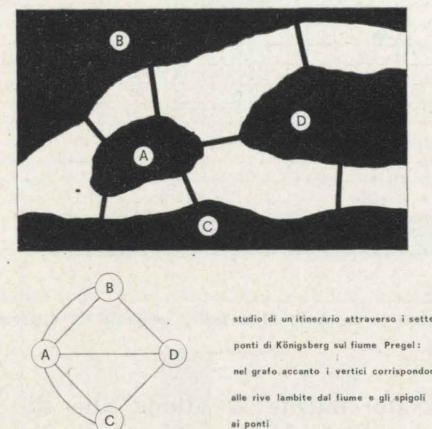


Fig. 1 - Lo storico grafo dei ponti di Eulero.

so unico con itinerario minimo oppure con flusso massimo, sono oggi attualissime applicazioni della teoria dei grafi, usate correntemente nell'ingegneria urbanistica, applicazioni delle quali ricordo una per tutte quella impostata dall'ISIDA per Palermo (6).

Quest'ultimo gruppo di problemi utilizza oltre che il teorema di Eulero quello di Hamilton (1859) che originariamente servì ad impostare la razionalizzazione dell'utilizzazione dell'acqua di pozzi annessi a confinanti fondi rustici messi in crisi dall'alterna insufficienza dei singoli punti d'attingimento. Hamilton ricorse a dei grafi poliedrici, i quali meglio si adattano alle ricerche ottimali del minimo dispendio d'energia nella percorrenza degli archi o lati che nei grafi congiungono i nodi o vertici di siffatti speciali diagrammi.

(4) G. GUERRA, *Scelta dello schema strutturale di un hangar con l'uso dei grafi*, Monografie sulla metodologia della progettazione, Napoli 1966.

(5) Nel volume di imminente pubblicazione « *Forma urbana e architettura nella Torino barocca* ».

(6) ISIDA, *Indagine sul traffico di Palermo*, 1965.

L'articolazione dell'itinerario, che una successione di archi tali che il termine di ciascuno, escluso l'ultimo, coincida con l'origine del successivo, e la sua lunghezza, pongono due modi differenti di concepire un riordino di fenomeni distributivi in coordinazione ridotti a modello simulatore matematico. Possono prevalere istanze di ubicazione razionalizzata nello spazio e possono far valere la loro prevalenza istante di durata temporale razionalizzata in successioni puntuali in orario concatenato.

Non si dimentichi che modello importante di simulazione per la programmazione economica è la cosiddetta programmazione lineare, la quale ha assunto nel settore economico i più svariati nomi. Si tratta sempre di massimizzare delle funzioni obiettive rispettando dei sistemi vincolati ed introducendo delle apposite variabili di comodo (7). Se ne fa impiego nella grande programmazione territoriale coordinando nel bilancio economico e nello scadenziario del piano più imprese di differente potenzialità e rendimento, come dimostra uno studio della ISES (ex Unra) cui ho dato recentemente la prefazione (8). Tale programmazione potrebbe contemplare, anziché autonome e distanziate Ditte imprenditoriali, alcuni reparti della stessa impresa impegnati in un comune ed unico fine tecnico-economico condizionato da una spesa autorizzata dal bilancio economico.

Nella tecnica della programmazione industriale evidentemente le varie fasi che compongono un piano localizzandole nel tempo con l'individuazione delle reciproche influenze, nell'ambito dei grafi, si notano parecchie denominazioni dei cosiddetti Sistemi di Programmazione per Cammino Critico (SPCC) (9), dei quali i più noti

(7) F. VIAN e G. JOB, *Appunti per l'economia aziendale*, Torino, Levrotto 1966.

(8) ISES, *La programmazione negli interventi di edilizia prefabbricata*, Quaderno di Edilizia Sociale, 1, Roma, 1967.

(9) S. G. ZADERENKO, *Sistemi di programmazione per cammino critico*, World Science e Technology Publ. Butte, Mont, USA, 1966.

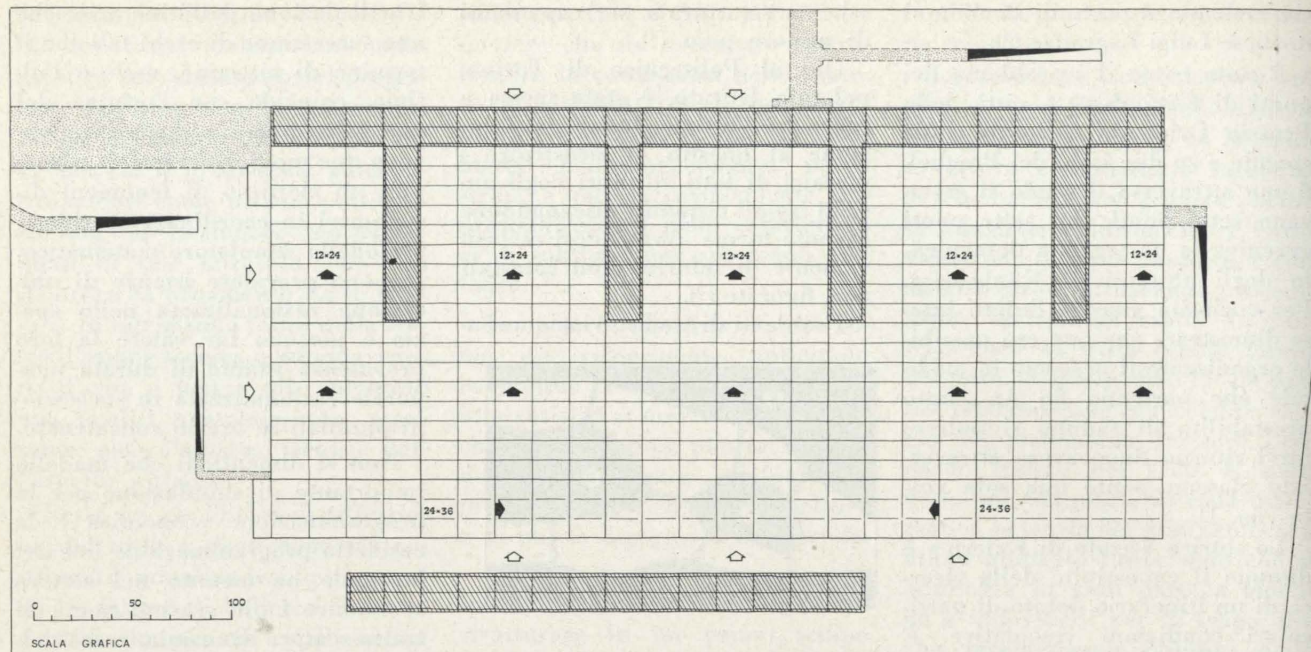


Fig. 2 - Edificio industriale con lavorazioni concatenate in parallelo ed in serie, integrate da attrezzature a pettine per i servizi e per il personale.

sono i *PERT*, *CPM*, *MAN SCHEDULING*, *RAMPS*, mentre in Italia il più noto è il *PERT* (10).

Non è qui la sede di dettagliare ulteriormente nella definizione degli elementi essenziali agli effetti della tecnica aziendale per la formulazione della concatenazione temporale d'un *PERT* mediante cicli in fase, vincoli di precedenza tra fase e fase e durata delle singole fasi elementari critiche e non critiche. Sembra tuttavia sufficiente quanto finora detto per concludere agli effetti della progettazione edilizia, quali potrebbero essere i problemi di attualità: la scelta delle dimensioni e delle proporzioni del fabbricato industriale.

(10) A. RUSSO FRATTASI, *Un tentativo di applicazione del PERT ad una linea di montaggio*, Milano Atti dell'XI Congresso AMI, 1964. Forse è utile spiegare le predette sigle: *Pert* è l'abbreviazione di: Program Evaluation and Review Technique, ossia «Tecnica di elaborazione, valutazione e controllo di programmi»; *Cpm* è l'abbreviazione di «Critical Path Method» ossia «Metodo di cammino critico», ideato nel 1957 per gli impiegati della compagnia Du Pont de Nemour, USA; *Man scheduling* o *Manpower Allocation Procedure* (MAP); un metodo dei SPCC che si occupa di distribuzione di mano d'opera e risorse; *Ramps*: è l'abbreviazione di «Resource Allocation and Multi-Project Scheduling», ossia «Distribuzione di risorse e programmazione di progetti multipli».

Naturalmente si allude alle dimensioni ed alle proporzioni globali dell'edificio; i quali valori a loro volta determinano la dimensione e le proporzioni delle maglie dei capannoni.

Concentrando l'attenzione sul fabbricato raccolto in pianta rettangolare (il che non esclude che lo stesso, discorso possa applicarsi anche alle conformazioni ad *I*, ad *U* ad *E*, ad *F*, ad *L*, a *C* ed a *T* o doppio *T* e loro combinazioni), ciò significa che volendo alloggiare nel suo interno un flusso di produzione a cicli concatenati, adattandolo ad utilizzare navate disposte in tre modi tipici: in parallelo o in serie oppure in parallelo ed in serie (fig. 2) nella duplice finalità della ottimalità temporale e della ottimalità spaziale, si potrà adire ad una duplice ma coordinata ricerca mediante grafi per le indagini spaziali.

Si tratterà per l'edilizia d'un laborioso lavoro di sperimentazione della ottimale conformazione geometrica dell'edificio globale e della maglia o delle maglie elementari costituenti, che oggi è possibile pensare data l'esistenza d'idonei strumenti matematici e data la facilità di ricorso al calcolo elettronico.

Certo è che, ammesso che sia vantaggiosa la ricerca additata, il volume prismatico da accogliere

entro un guscio architettonico di chiusura e protezione verrà determinato all'infuori di qualsiasi scelta di natura estetica. Quella tale proporzione dell'intero edificio e delle interne maglie nel rapporto $R'' = \frac{L''_1}{L''_2}$, per esempio, e non il rapporto $R' = \frac{L'_1}{L'_2}$, oppure l'altro rapporto $R''' = \frac{L'''_1}{L'''_2}$, sarà per l'artista un dato tecnico incoercibile, salvo lievissime varianti, e che pertanto andrà accolto come tutti quei dati immutabili che se una riplasmazione avranno nel processo gestativo della forma artistica (fig. 3), questa rimodellazione la troveranno in un equilibrio dinamico delle forme linguistiche.

Quelle tali dimensioni e proporzioni saranno, ciononostante, da indagare anche in fase critica a posteriori per soppesare quei pure lievi accenni alla espressione in quella condizione limite per cui l'azione tecnica è anche azione artistica rinunciando all'ambito architettonico di sapore espressionistico.

Come per ogni fenomenologia al limite, occorre una carrellata nei tempi prima e dopo il miracolo della apparizione della forma attiva d'arte.

Analoghi risultati si possono trarre sull'impiego di processi tecnici produttivistici atti a scegliere

la modulazione costruttiva del guscio di chiusura e protezione.

Un primo gruppo di spunti produttivistici è nel ricorso a priori alle modulazioni unificative della regolamentazione ufficiale, di stato o di gruppo economico. La unificazione a livello internazionale è ancora molto arretrata. Confronti tra i diversi regimi unificativi nazionali può tuttavia offrire lo spunto a dimensionamenti polivalenti (fig. 4) attraverso i confini politici.

La modulazione parietale in orizzontale ed in verticale, tracciata sul guscio permette di legare tali reticolati strutturali a quelli distributivi interni ed urbanistici. La scelta di maglie di dimensione e di proporzione appropriata, si può battere come filigrana insieme alle falsarighe che la progettistica utilizza prendendole nei modi precedentemente suggeriti.

Ad evitare equivoci, è bene sottolineare che le proposte di maglie combinatorie dalla illustrazione prodotta vanno utilizzate anche proliferandole mediante prodotti adeguati con gli iniziali termini della serie dei numeri naturali interi e primi.

La tendenza più raffinata degli architetti dediti all'architettura industriale è verso un uso della congruenza di falsarighe distributive e costruttive. Ne consegue il rinascimento di quei mezzi di armonizzazione del tutto con il particolare, dei quali i classici dell'antichità si compiacevano includendoli nella categoria estetica della «*concininitas*» (11).

Ma esiste anche un altro gruppo di spunti produttivistici direttamente conducenti a modulazioni specifiche nella serie chiusa od anche nella serie aperta della prefabbricazione (12).

(11) A.C.M., *Le proporzioni canoniche e l'unità delle arti del pensiero rinascimentale barocco e romantico specialmente tra i trattatisti dell'architettura*, Torino, «Atti e Rassegna Tecnica», aprile 1952; IDEM, *Progettazione industriale e programmazione operativa dell'edilizia*, Torino, «Atti e Rassegna Tecnica», 1962; IDEM, *Finalità ed impegno artistico nella progettazione della prefabbricazione edilizia*, Roma, Industria Italiana del Cemento, giugno, 1964.

(12) C. PASSADORE, *Ricerca di moduli universali nella coordinazione modulare* «Atti e Rassegna Tecnica», Torino ottobre 1960.

È di nuovo la programmazione grafica o lineare che detta, attraverso razionalizzazione delle fasi industriali di produzione dei gusci (pareti, pavimenti, solai, soffitti, tetti, travi, infissi, ecc.), la specifica modulazione da confrontarsi con quella unificativa consigliata od imposta dall'alto, e poi

artisti si nota trasformando un mondo di strumentalità, afferabile solo immaginando ad occhi chiusi molteplici e non causali filigrane, in un mondo di estasi, confortato dai modi propri della genialità, quale ad esempio l'uso singolare ed estroso della colorazione vivacissima. Un

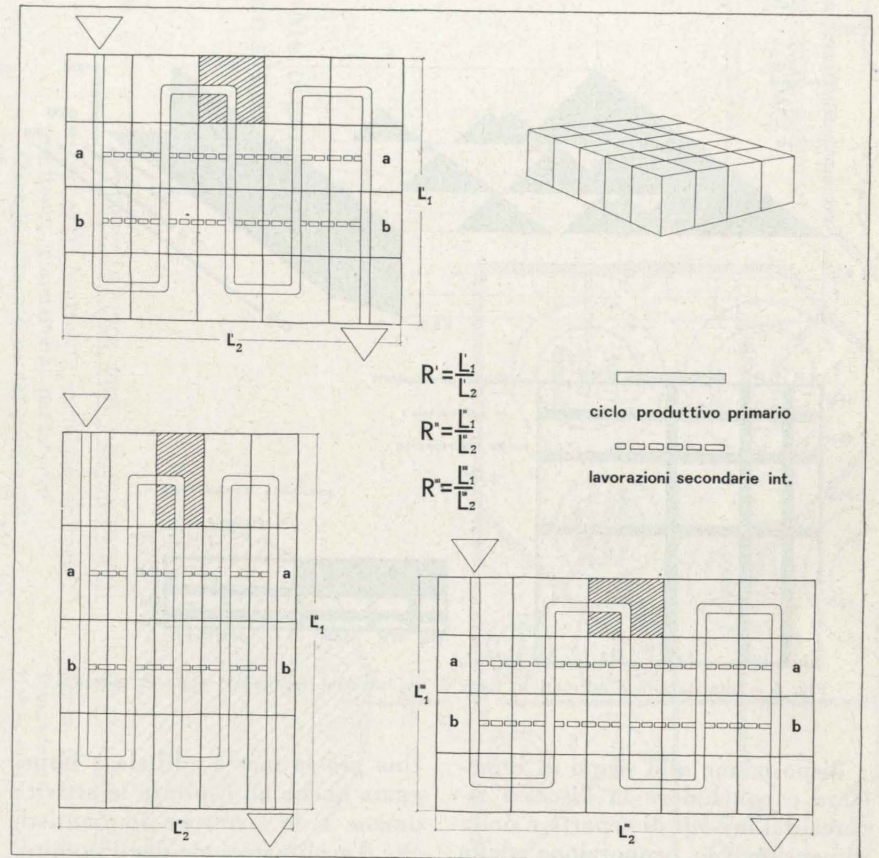


Fig. 3 - Ricerca delle dimensioni e proporzioni ottimali delle maglie in fabbricati industriali.

da sciogliersi in base a criteri di organizzazione scientifica del cantiere di assemblaggio e dei trasporti (13).

Non so dire se il gruppo Owing, Skidmore e Merrill abbia avuto nella sua tematica compositiva completo l'iter ideativo sin qui descritto per l'officina per la H. J. Heinz Company Pittsburgh Pennsylvania. Quel ch'è certo è che sul piano critico l'unghia degli

(13) A. MONTE, *Applicazione del PERT alla progettazione e costruzione di un nuovo stabilimento industriale*, Torino, Atti e Rassegna Tecnica, marzo 1965; A. RUSSO FRATTASI, *La progettazione industriale in funzione del flusso di produzione*, Atti Conferenze sui criteri funzionali per la progettazione e l'esercizio degli stabilimenti industriali, Padova, Istituto Veneto Arti grafiche, 1965.

gusto in cui Euclide sposa Mondrian rendendolo più concreto ed accettabile nell'ambiente dell'industria. Quanto si è lontani da Ronchamp!

La scuola di Mies der Rohe è la matrice più importante delle attuali espressioni architettoniche in tema industriale.

Chi fermasse il discorso sui pretesti innescativi della fantasia artistica, che altresì sono vincoli pesanti, limitandolo alle categorie dei reticoli modulari costruttivi e distributivi farebbe opera non documentaria e non storica.

L'argomento distributivo va ripreso.

Le schematizzazioni del flusso produttivo, che hanno più fasi realizzative nell'ambito dello studio

organizzativo, quali i diagrammi per la individuazione delle macchine nel duplice aspetto di ricerca delle aree coperte da macchine e di aree intermedie per i mezzi di trasporto e per gli stocks, verranno integrate con i diagrammi di tentativo per l'inserimento delle predette aree somma nell'area

giocosi del più fascinosa maniera tardo rinascimentale. Ricordo Guarini quando ammoniva a dare l'impressione di sollevare con lievità il pesante « che sembrasse miracolo ». Il fatto produttivo però non è l'unico fenomeno di cui si interessò l'architettura industriale.

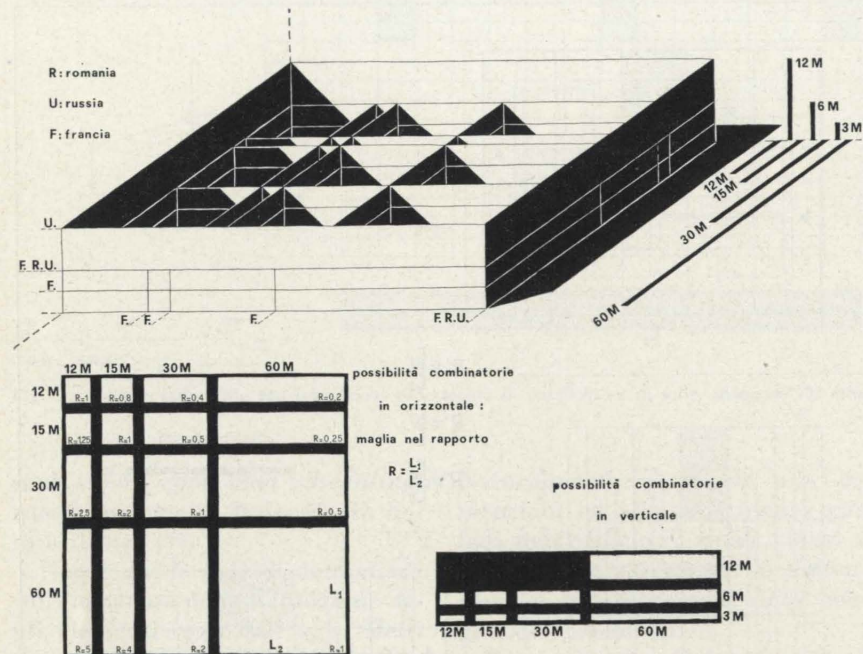


Fig. 4 - Informazioni e raffronti in tema di modulazione industriale nell'area europea.

a disposizione allo scopo di impostare e concludere la discussa ricerca del lay-out di reparto e della dimensione e proporzione della maglia.

Il progettista dell'edilizia non deve essere assente a questo momento basilare dell'ideazione pure apparentemente lontana da ciò che ci si è abituati erroneamente a chiamare architettura. Qui nascono i più importanti suggerimenti per la traduzione in rappresentazione espressiva dei fatti cui si darà guscio. A volte il ciclo produttivo è quasi spoglio. Si presenta efficacissimo quadro d'ambiente nella sua nudità esemplare ed emozionante.

L'architettura, intesa come scenografia disegnata sulla scena stessa, talora si riduce a quasi nulla: qualche elemento strutturale esile (esile, trasparente, filiforme) viene librato nello spazio a costituire suggerimento di coordinate di riferimento, mobilitando tutto l'armamentario di smalzati modi

Una grossa massa edilizia è impegnata anche ad ospitare le attività umane e le strutture impiantistiche d'acclimatazione degli uomini. Qui sorreggono nell'analisi gli schemi funzionali distributivi della tradizione progettativa architettonica (14).

Un organismo industriale viene analizzato (tavola allegata) inseguendo: a) ogni tragitto ed ogni sosta possibile degli uomini separati in due gruppi, gli operai e gli impiegati (i primari ed i terziari); b) ogni itinerario dei mezzi di trasporto delle merci in entrata come materiali greggi o semilavorati ed in uscita come semilavorati o finiti; c) ogni modo di comunica-

(14) Qui si allegano due schemi funzionali distributivi, per gli impianti industriali e per i palazzi degli uffici, usati nei miei corsi di Architettura Tecnica II nella Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino. Nella didattica da me usata dal 1952, il mio assistente Vincenzo Borasi ha redatto i due tabelloni riprodotti.

zione orizzontale e verticale, localizzandolo in maniera prima inusitata; d) ogni aggruppamento ed incolonnamento dell'impiantistica fissa di servizio, anche questi con più attenzione che per il passato; e) ogni possibile semplificazione e caratterizzazione dei volumi edilizi variamente specializzati; f) ogni logico essenziale legame con l'ambiente urbano dell'intorno zonale e territoriale.

Siffatta analisi conduce a caratterizzare in modo molto sintomatico zone di lavoro manuale da quelle dove si svolge lavoro intellettuale, queste ultime da trattarsi in modo adeguato alla tipologia degli uffici, che oggi si tende a tenere presso le fabbriche nella minor quantità utile al servizio ed a trasferire in altra zona del territorio, nei centri direzionali quella residua ma cospicua parte che è più proficua avvicinare alle similari attrezzature terziarie della clientela e della concorrenza.

Lo schema funzionale degli uffici di presidenza e di agenzia locale, con le connesse attività economiche ed assistenziali (tav. allegata), se può ancora essere considerato nell'ambito dei fabbricati industriali condurrebbe però ad allungare troppo il discorso. Lo si ricorda perché soprattutto le attività economiche in servizio del complesso imprenditoriale e le attività in assistenza degli impianti vi sono analizzate con maggiore ricchezza di dettagli e di segnalazioni di esigenze tecnico costruttive che non nello schema funzionale dell'impianto industriale qui prodotto in forma semplificata e didattica.

Altrettanta chiara caratterizzazione deriva dalla considerazione delle molteplici linee di flusso del personale terziario e primario attraverso i reparti di produzione.

Tendenza attuale è quella di portare tale flusso nei punti di impiego della manodopera e dei controllori nella maniera più ordinata possibile e senza disturbare chi lavora. Si mobilita la tecnica analoga del flusso nelle stazioni ferroviarie; si impiegano corsie di scorrimento a livello, ma si preferiscono sottopassaggi o sovrappassaggi.

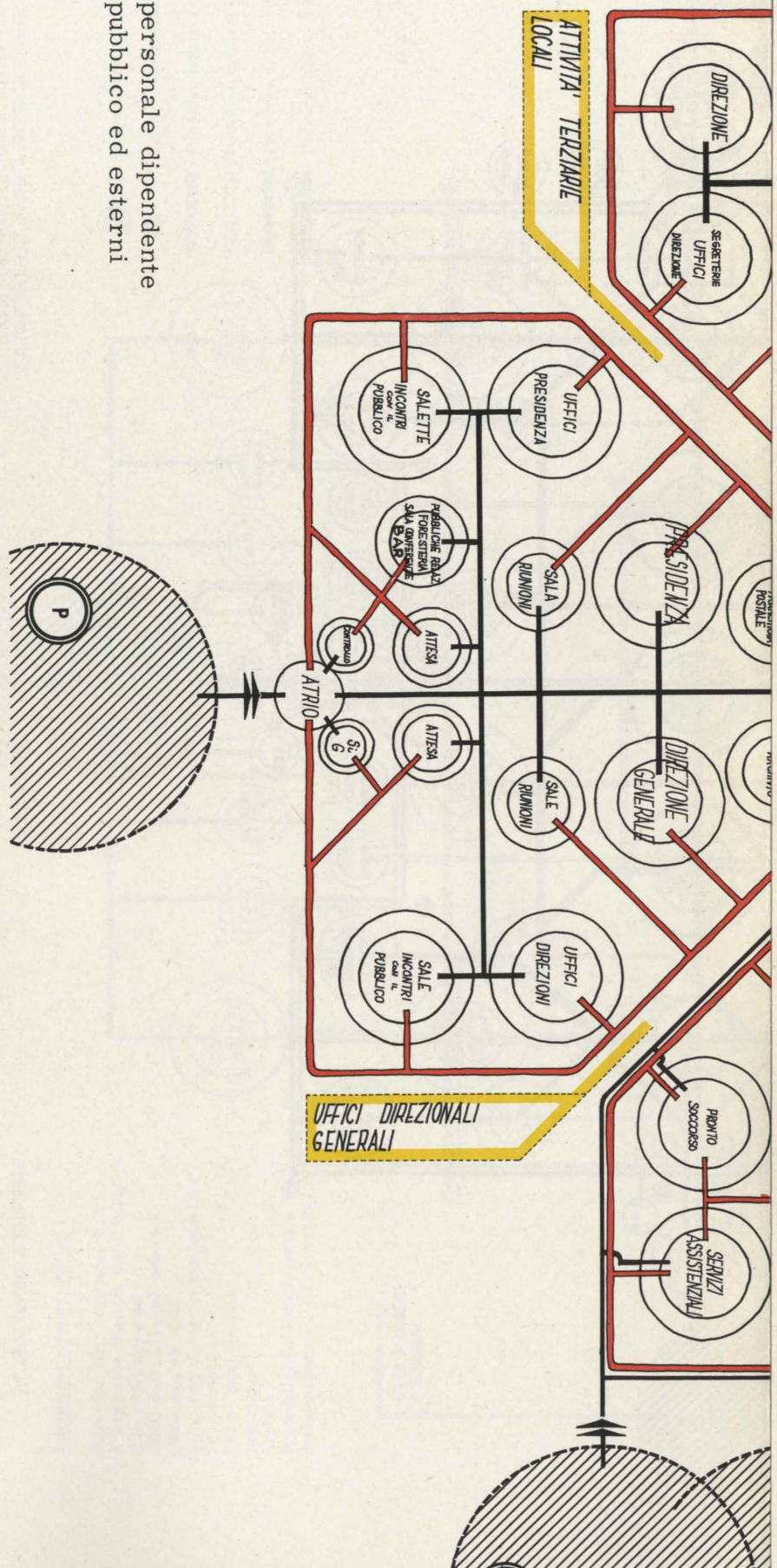
Talora il sovrappassaggio obbli-

SERVIZI ECONOMICI
 Ingresso, controllo
 Portineria
 Attesa
 Spogliatoio operai, S. i.
 Direzione economica
 Ufficio tecnico
 Centrali impianti
 Garage autovetture e autocarri di servizio
 Posta
 Magazzini
 Depositi e officine manutenzione
 Elaboratori meccanografici
 S. i., scale, ascensori, montacarichi
 Pronto soccorso
 S. i., scale, ascensori, montacarichi, ecc.

ATTREZZATURE PER I DIPENDENTI
 Ingressi, controlli, cartoline-orologio
 Artese, guardaroba, parlario
 Garage autovetture del personale
 Spogliatoi, S. i.
 Mensa, zone svago e riposo
 Bar, cafeteria, spacci
 Circolo
 Sports
 Servizi sociali (biblioteca, banca, uffici consulenze)
 Rappresentanze sindacali
 Servizi assistenziali (ambulatori, servizi mutualistici, asili nido, pensionati, colonie marine e montane)

UFFICI DIREZIONALI GENERALI
 Atrio, controllo, guardaroba, S. i.
 Presidenza
 Uffici della presidenza
 Sala riunioni
 Salette incontri con il pubblico
 Sala conferenze, foresteria, pubbliche relazioni, mostre, pubblicità, attesa, bar
 Direzione generale
 Uffici direzioni (ufficio legale, amm. tivo, del bilancio, affari generali, divisioni, del personale, costruzioni, tecnico, commerciale estero, commerciale interno, relazioni con le consociate).
 Sale riunioni
 Sale incontri con il pubblico, attesa
 Protocollo, franchigia postale
 Archivio
 S. i., scale, ascensori, montacarichi, ecc.

ATTIVITA' TERZIARIE LOCALI
 Atrio, controllo, guardaroba, S. i.
 Direzione
 Segreteria, uffici della direzione
 Attesa
 Dirigenti locali (agenzia, concessionari, ecc.)
 Segreteria, uffici dei dirigenti locali
 Attesa
 Salone incontri con il pubblico
 Sale incontri con il pubblico
 Protocollo, franchigia postale
 Archivio
 S. i., scale, ascensori, montacarichi



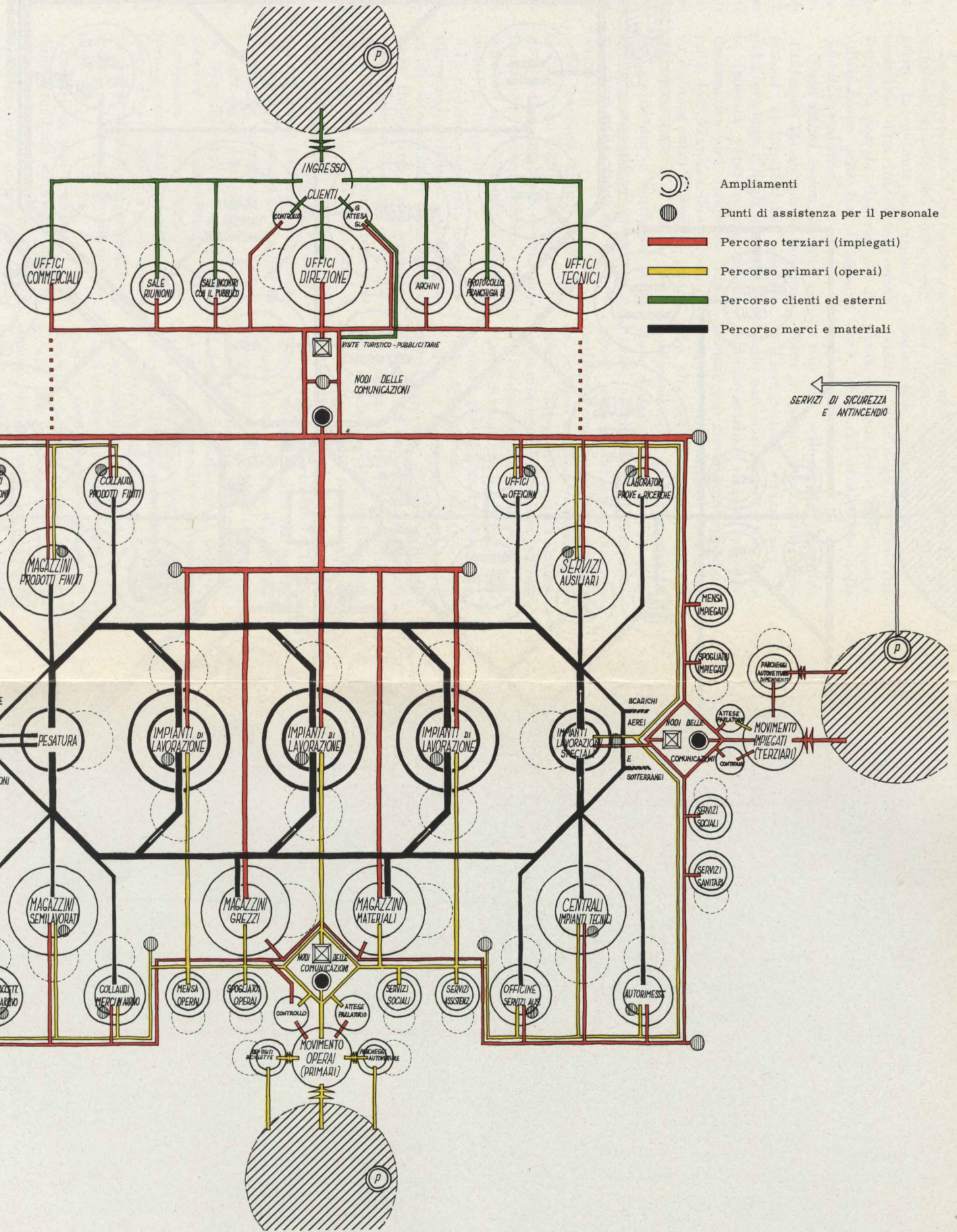
POLITECNICO DI TORINO - ISTITUTO DI ARCHITETTURA TECNICA

DIAGRAMMI DIDATTICI A CORREDO DEL CORSO DI ARCHITETTURA II NELL'ANNO ACCADEMICO 1965-1966

SCHEMA FUNZIONALE DISTRIBUTIVO PER UN EDIFICIO INDUSTRIALE

Attività dei terziari (uffici)

- Ingresso, atrio controllo, G.S.i.
- Attese, sale incontri con il pubblico
- Ufficio del direttore
- Uffici segreterie del direttore
- Uffici capi servizio
- Uffici segreterie dei capi servizio
- Ufficio tecnico
- Ufficio commerciale
- Sale riunioni
- Archivi
- Protocollo, franchigia postale
- Scale, ascensori, montacarichi, S. i.



Attrezzatura per il personale

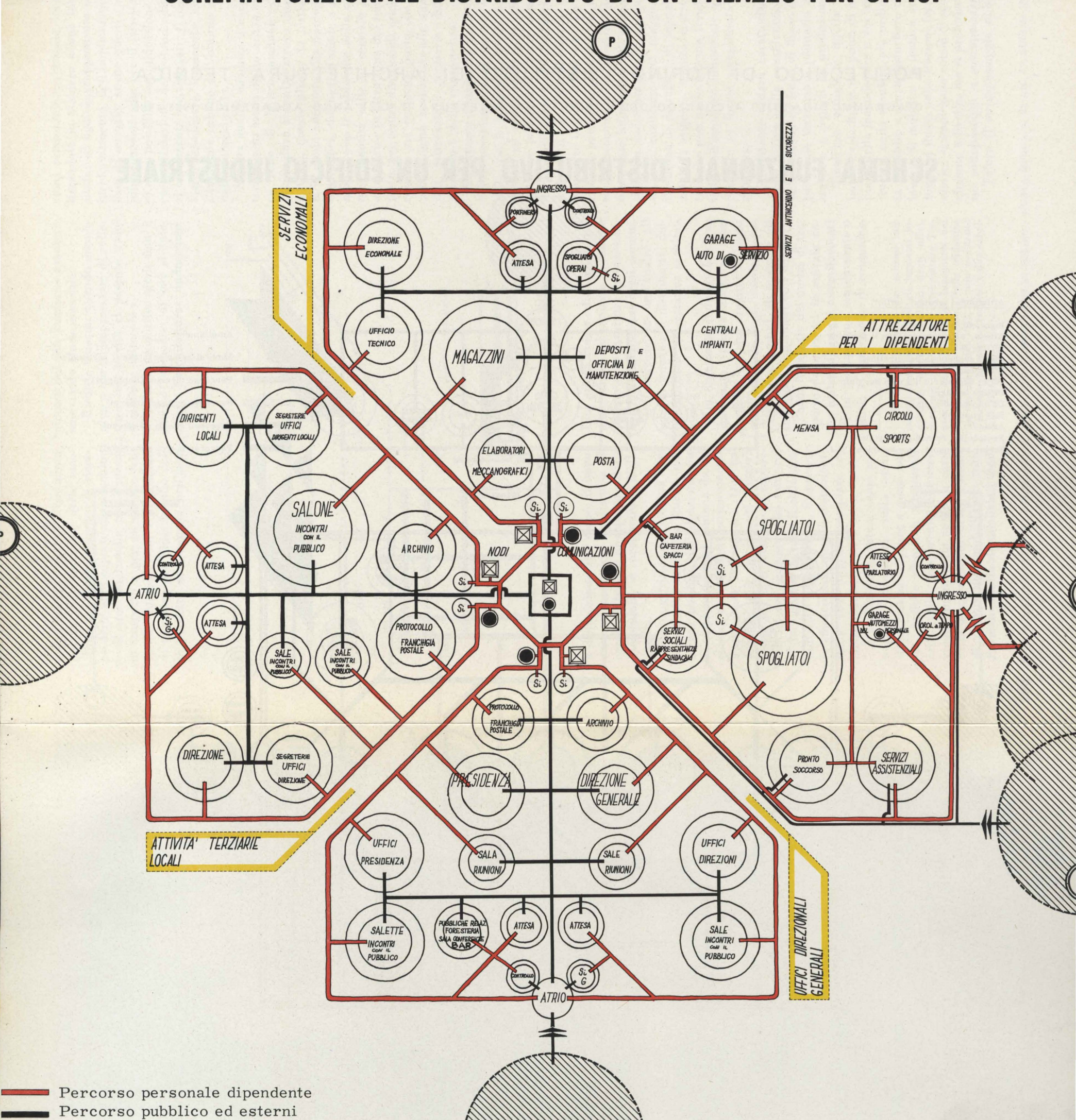
- Servizi movimento operai e movimento impiegati (depositi biciclette e motocicli, parcheggi autovetture del personale, atrio, spoglio, segnale luminoso ad accensione casuale, controllo, G., S. i.)
- Spogliatoi operai e spogliatoi impiegati (armadietti personali, fontanelle, lavabi, docce, S. i.)
- Servizi assistenziali e sociali per operai e per impiegati (mensa o refettorio, self service, con annessi servizi di cucina; bar, distributori automatici; S. i.; sale da gioco e per il riposo, aree per la ricreazione all'aperto; banca, sportelli distribuzione salari, o per raccolta quote, tasse, ecc; circolo ricreativo; e sportivo, sede per iniziative culturali, biblioteca; uffici consulenze, rappresentanze sindacali e di fabbrica; asili infantili e scuole di specializzazione.
- Servizi assistenziali sanitari per operai e per impiegati (visite mediche generali e specialistiche, visite ambulatoriali, pronto soccorso, ricoveri ospedalieri, asili nido, assistenza ai pensionati).
- Punti di assistenza (nodi di comunicazione: scale, ascensori, montacarichi; S. i.; distribuzione di mezzi di conforto)
- Servizi di sicurezza e antincendi.

Impianti di lavorazione

- Officine di produzione e montaggi dei pezzi prodotti dalle officine, catene di lavorazione.
- Uffici di officina (per i capi officina; uffici: personale, controllo produzione, controllo qualità, sicurezza del lavoro, prorti interventi, manutenzione e servizi ausiliari).
- Laboratori
- Collaudo materiali acquistati o provenienti da lavorazioni esterne
- Collaudo prodotti finiti
- Servizi movimento merci e materiali : accettazione grezzi e semilavorati da terzi; spedizione prodotti finiti (ingresso, controllo, attesa, portineria, servizi di accettazione, pesatura, disimballaggio, controlli, collaudi, magazzini materie prime e depositi per le centrali degli impianti tecnici, magazzini semilavorati, servizi di imballaggio, controlli, collaudi, pesatura, spedizione, magazzini prodotti finiti o in spedizione)
- Servizi ausiliari (autorimesse, depositi macchinari mezzi di trasporto e sollevamento; officine manutenzione fabbricati, impianti, macchinari e mezzi di trasporto)

Centrali impianti tecnici e servizi economici (impianti rete telefonica, citofonica, telescriventi e ponti radio, impianti rete energia elettrica, uso illuminazione e uso industriale; rete aria compressa (e posta pneumatica), gruppi elettrogeni, impianti termici e refrigerazione per produzione acqua calda o surriscaldata e vapore o acqua refrigerata e ghiaccio; impianti di ventilazione, acclimatazione, riscaldamento e refrigerazione; impianti televisivo a circuito chiuso; impianti idrici per la rete dell'acqua industriale e la rete dell'acqua potabile; rete antincendi, rete impianti tecnologici speciali (aria compressa, verniciatura, difesa da radiazioni); rete degli scarichi, aerei e sotterranei; magazzini e depositi relativi a dette centrali di impianti.

SCHEMA FUNZIONALE DISTRIBUTIVO DI UN PALAZZO PER UFFICI



— Percorso personale dipendente
 — Percorso pubblico ed esterni

SERVIZI ECONOMICI

Ingresso, controllo
 Portineria
 Attesa
 Spogliatoio operai, S. i.
 Direzione economica
 Ufficio tecnico
 Centrali impianti
 Garage autovetture e autocarri di servizio
 Posta
 Magazzini
 Depositi e officine manutenzione
 Elaboratori meccanografici
 S. i., scale, ascensori, montacarichi

ATTREZZATURE PER I DIPENDENTI

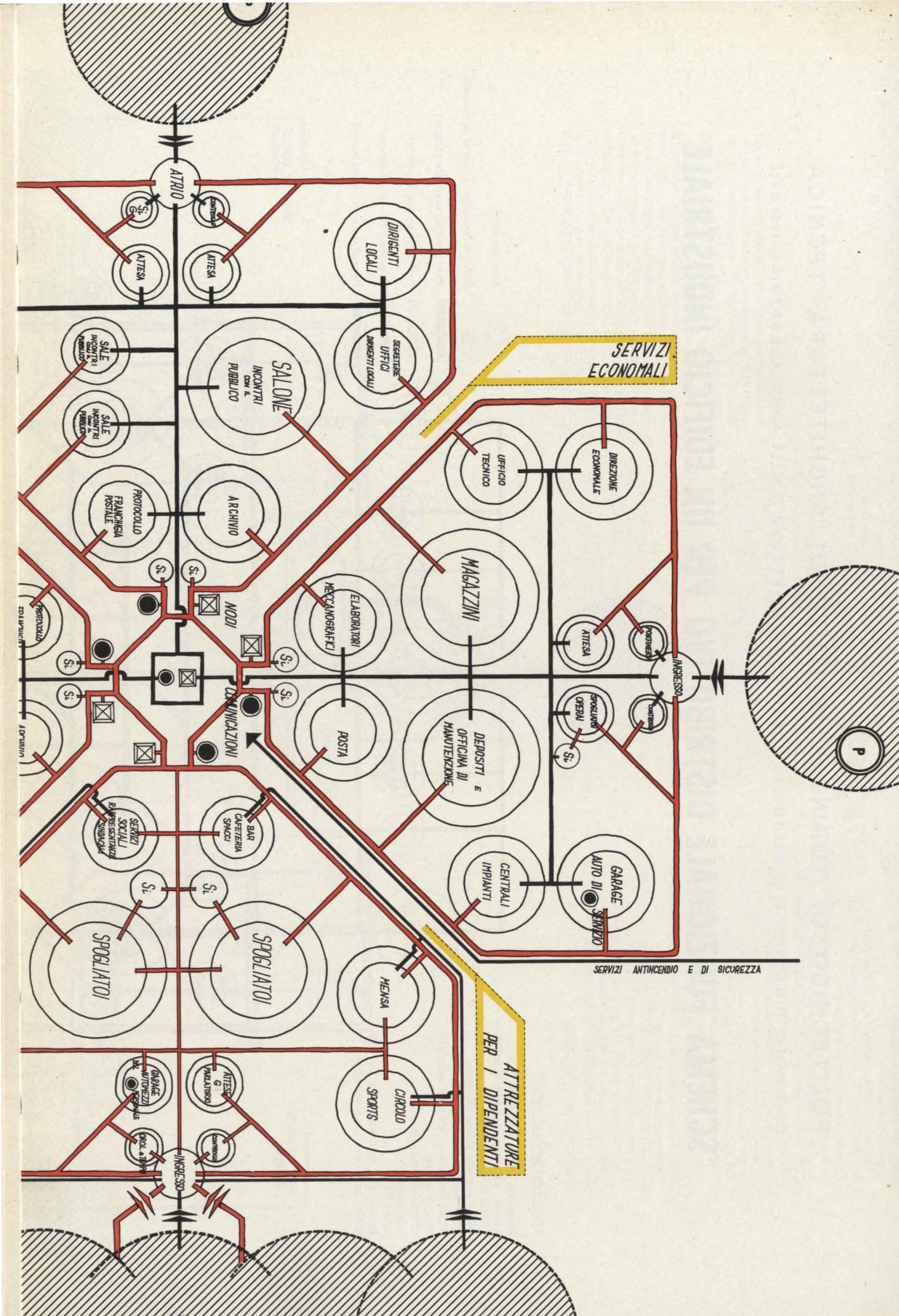
Ingressi, controlli, cartoline-orologio
 Attese, guardaroba, parlatorio
 Garage autovetture del personale
 Spogliatoi, S. i.
 Mensa, zone svago e riposo
 Bar, cafeteria, spacci
 Circolo
 Sports
 Servizi sociali (biblioteca, banca, uffici consulenze)
 Rappresentanze sindacali
 Servizi assistenziali (ambulatori, servizi mutualistici, asili nido, pensionati, colonie marine e montane)
 Pronto soccorso
 S. i., scale, ascensori, montacarichi, ecc.

UFFICI DIREZIONALI GENERALI

Atrio, controllo, guardaroba, S. i.
 Presidenza
 Uffici della presidenza
 Sala riunioni
 Salette incontri con il pubblico
 Sala conferenze, foresteria, pubbliche relazioni, mostre, pubblicità, attesa, bar
 Direzione generale
 Uffici direzioni (ufficio legale, amm. tivo, del bilancio, affari generali, divisioni, del personale, costruzioni, tecnico, commerciale estero, commerciale interno, relazioni con le consociate).
 Sale riunioni
 Sale incontri con il pubblico, attesa
 Protocollo, franchigia postale
 Archivio
 S. i., scale, ascensori, montacarichi, ecc.

ATTIVITA' TERZIARIE LOCALI

Atrio, controllo, guardaroba, S. i.
 Direzione
 Segreterie, uffici della direzione
 Attesa
 Dirigenti locali (d'agenzia, concessionari, ecc.)
 Segreterie, uffici dei dirigenti locali
 Attesa
 Salone incontri con il pubblico
 Sale incontri con il pubblico
 Protocollo, franchigia postale
 Archivio
 S. i., scale, ascensori, montacarichi



SCHEMA FUNZIONALE DISTRIBUTIVO DI UN PALAZZO PER UFFICI

ga a riplasmazione delle tipiche strutture di tetto, inserendo nelle strutture portanti di tali coperture; cioè nelle travi principali o secondarie, delle autentiche passerelle pensili molto più impegnative dei pure necessari camminamenti per la pulizia dei lucernari e per la manutenzione dei manti impermeabili. Il sovrappassaggio è sovente realizzato nella stessa tecnica costruttiva dei capannoni (per esempio in ferro se tutto il resto è in ferro). Tuttavia l'inserzione a pettine dei servizi assistenziali e di confort per le maestranze FIAT realizzata con corpi in cemento armato, può anche autorizzare una infiltrazione tra le strutture metalliche di elementi in cemento armato. Il sottopassaggio sembra invece di prammatica realizzata in cemento armato ordinario o prefabbricato.

La distribuzione d'aria e di gas a posti di lavoro implica analoghi accorgimenti strutturali, sui quali la tendenza più aggiornata e raffinata porge molta attenzione in polemica con i grossolani progettisti strutturalisti solamente attenti ai fatti della statica. Sull'interesse del fenomeno tecnico della trasformazione d'una trave portante in un tubo insieme portante e struttura d'impianto ho altrove attirato l'attenzione, additando che si tratta della rivelazione d'una nuova sensibilità progettistica esemplare anche sotto aspetto didattico ⁽¹⁵⁾. D'altra parte è anche didatticamente interessante il concetto nuovo che si acquisisce del tetto nei fabbricati industriali, la quale copertura non è più solo un elemento costruttivo di chiusura e protezione (cioè vestito, parapigiogia ed ombrello) ma è anche apparecchio di sollevamento e trasporto (cioè veicolo o via di corsa di qualche veicolo).

⁽¹⁵⁾ A.C.M. *La progettazione edilizia industriale in relazione ai fattori strutturali; tecniche ed indirizzi costruttivi degli edifici industriali* in Atti Conferenze su i criteri funzionali per la progettazione e l'esercizio degli stabilimenti industriali, Padova, Istituto Veneto Arti Grafiche, 1965; IDEM, *Alleggerimento delle strutture reticolari mediante sforzi secondari*, Torino, Atti e Rassegna Tecnica, dicembre 1949; IDEM, *Evoluzione delle strutture murarie come membrature portanti e come membrature di chiusura*, Torino, Atti e Rassegna Tecnica 1953.

La sospensione al tetto dei materiali di transito può financo suggerire la costante sospensione a mezz'aria d'un intero magazzino sempre a portata di mano per la utilizzazione nelle fasi d'impiego dei cicli produttivi.

Quest'ultimi aspetti tecnici costituiscono spunti per le interpretazioni architettoniche, essendo dei precedenti e degli inneschi alla fantasia verso un'espressione drammatica dei fenomeni dinamici dell'organizzazione produttiva ospitata entro il guscio e talora agevolata come se il guscio fosse, non copertura o sostegno, bensì anche e soprattutto strumento e macchina nella catena del ciclo industriale.

Le tendenze attuali dell'architettura sono particolarmente sensibili ad una maniera di drammatizzazione espressionistica degli impianti fissi e mobili di sollevamento e trasporto.

La casistica registrata nelle classificazioni critiche va dall'impiego di sottolineature mediante la mera tinteggiatura che vivacizza esaltandole le esistenze quasi metastofeliche di macchine dalla presenza ossessiva, come certi carri a ponte rosseggianti, alla creazione di scenografia disegnata da superfici diafane e filiformi tralici inviluppanti lo spazio di transito di merci e di operatori.

Tuttavia si deve notare, che alla sceneggiatura di semplicistica maniera espressionistica (alla Mendelson per intenderci) è subentrata una sottile maniera metafisica di sottolineatura ed anche meglio di allusivo suggerimento di volumi e di superfici quasi non visibili.

La visione non è diretta. La visione è mediata attraverso un concetto rivelato, quasi un pensiero espressivo, uno svolgimento mentale, sunteggiato per segni essenziali ma discontinui ⁽¹⁶⁾.

I segni linguistici sono, organizzati orchestralmente, la composizione artistica. Si valgono della schematizzazione provvisoria mediante la quale l'artefice, che è anche artista, ne ha intuito il valore espressivo per la narrazione definitiva a posteriori. Una narrazio-

⁽¹⁶⁾ A.C.M. *La teoria della pura visibilità e l'architettura*, Torino, Atti e Rassegna Tecnica, febbraio 1957.

ne che non è più la materia tecnica, esistenzialmente tangibile e logica. Una narrazione che avrà i caratteri dell'illogicità pure fingendo d'essere fedele alla logica e sarà forma del sentimento della logica.

Ciò che seduce ora il critico d'arte è appunto la maturazione dell'architettura industriale, la quale non si accontenta più delle schematizzazioni singole, esigendo sempre più ricche, molteplici, integrative introduzioni schematiche alla autentica realtà, in ciò collimando con l'analogia maturazione della tecnica aziendale. Ambedue, architettura ed organizzazione, tendono ad affrontare un problema con più schematizzazioni, le quali sovrappendosi nella iniziale fase gestativa si chiarificano in una ineffabile definitiva sintesi di immagini e di concetti.

Nell'architettura industriale, forse ancor più che nell'architettura civile residenziale, questo fatto estetico è facilmente sperimentabile. Concetti e schemi visivi distributivi ed impiantistici; concetti e schemi visivi strutturali; concetti e schemi visivi nell'ambito compositivo; sono i tratti salienti per lo sperimento documentario della storia dell'architettura. In tale storia tuttavia si dirà che perlustrando l'arte tettonica d'oggi dalla residenza all'industria, in una speciale carrellata panoramica attraverso le classificazioni dell'urbanistica, i concetti e gli schemi visivi dei fatti distributivi ed impiantistici costituiscono la tematica predominante e caratterizzante dell'architettura industriale.

Nell'architettura industriale, pure senza compiacersi contentutisticamente, si legge dentro, si porta alla luce qualcosa dell'operare umano, si legge *intus*: c'è dunque quella intelligenza alla quale l'Umanesimo e l'Illuminismo si rivolsero e che, strano caso, qui ci ha obbligato a parlare di Leonardo Eulero, uno dei più eminenti introduttori di quello spirito nuovo che oggi si chiama rivoluzione industriale e che ha appunto nel settore industriale una sua architettura di così scarso impegno apparente da essere monumento di una era di speciale civiltà essenziale.

Augusto Cavallari-Murat

Ricerca sulle vibrazioni autoeccitate nel processo di rettifica

B. BARTALUCCI e G. G. LISINI esaminano i fenomeni di instabilità che sorgono durante il processo di rettifica limitando fortemente la durata dell'utensile e peggiorando sensibilmente lo stato superficiale e le caratteristiche geometriche dei pezzi lavorati. Espongono inoltre il lavoro compiuto per la messa a punto delle attrezzature sperimentali necessarie per lo studio del comportamento dinamico del sistema mola-macchina-pezzo nell'operazione di rettifica esterna a tuffo e propongono un modello matematico, allo scopo di interpretare e chiarire il fenomeno.

1. INTRODUZIONE.

I fenomeni vibratorii che hanno luogo nel corso della lavorazione di rettifica sono stati descritti da vari autori [1] [2] [3] [4] [12]. Per fare riferimento ad un caso concreto si consideri l'operazione di rettifica cilindrica esterna « a tuffo » indicata schematicamente nella figura 1.

La mola W ruota alla velocità Ωw attorno al proprio asse a mentre il pezzo L , portato dalle punte c e c' , ruota con velocità Ω_L attorno all'asse b parallelo al primo. La mola è dotata altresì di una velocità di avanzamento u normale agli assi suddetti e nel loro piano; tale movimento, portando la mola a contatto con il pezzo, produce l'asportazione del materiale per effetto della azione abrasiva della mola. Nel corso di tale operazione si riscontrano alcuni fenomeni che possono compromettere seriamente l'andamento della lavorazione.

I principali sono:

a) si generano vibrazioni di frequenza relativamente elevata e di ampiezza generalmente crescente che mettono a duro cemento la resistenza meccanica della macchina e peggiorano le caratteristiche di precisione, in genere assai elevate, che questa normalmente possiede;

b) sulla mola si generano delle ondulazioni di ampiezza crescente con conseguente non uniforme variazione delle caratteristiche di taglio della superficie attiva;

c) anche sul pezzo si formano ondulazioni, sebbene di entità minore di quelle sulla mola, e corrispondentemente peggiora la finitura della superficie lavorata.

Il tempo occorrente affinché la ampiezza delle vibrazioni raggiun-

ga valori proibitivi è spesso dell'ordine di diversi minuti, ma ciò nonostante il fenomeno rimane nella sua gravità.

Fenomeni analoghi si presentano anche nei processi di rettifica interna e di rettifica piana [2] [4].

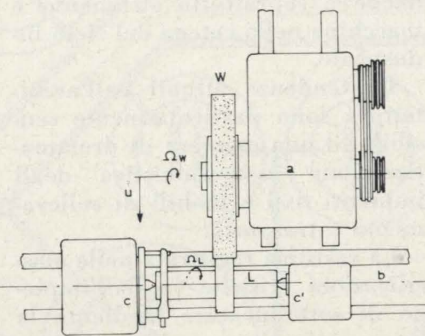


Fig. 1 - Schema di operazione di rettifica esterna a tuffo.

Nei primi lavori il sorgere delle vibrazioni è stato attribuito a forze eccitrici che si generano nella macchina, dovute alla presenza di ingranaggi, cinghie ed alla non perfetta equilibratura degli organi rotanti. Tuttavia ciò non spiega la continua variazione della ampiezza e della frequenza delle oscillazioni; per giunta la frequenza di queste risulta assai elevata e non corrisponde a nessuna frequenza di possibili forze alternative presenti nella macchina. Gli studi effettuati nell'ultimo decennio sulla instabilità del processo di taglio hanno portato a concludere che, anche nel caso della rettifica, siamo in presenza di condizioni di instabilità; lo studio è assai più difficile rispetto alle altre macchine utensili (ad esempio torni, fresatrici, trapani) a causa delle particolari caratteristiche di tale processo.

Su questo argomento sono stati compiuti numerosi studi; le ricerche sulla instabilità che si manifesta durante la rettifica tengono

conto della particolarità del processo (usura della mola e formazione di ondulazioni). Nei lavori pubblicati è riportata una notevole quantità di dati sperimentali, dei quali sono qui riassunti gli aspetti fondamentali:

a) l'ampiezza delle ondulazioni e delle vibrazioni cresce con il tempo [2], [3], [4], [11], [12] con legge esponenziale [4]; alcuni hanno constatato una successiva diminuzione, col tempo, dell'ampiezza, ma tutti sono concordi sulla crescita iniziale;

b) la frequenza decresce con il tempo secondo la maggioranza degli sperimentatori [3], [12]; in altri casi tale variazione non è stata riscontrata [2];

c) l'ampiezza cresce più rapidamente al crescere della rigidità del contatto mola-pezzo e quindi influiscono su tale crescita tutti i parametri che influiscono su quella (diametro del pezzo, materiale, velocità del pezzo, velocità della mola, velocità di avanzamento ecc.) [3], [6], [4];

d) le ondulazioni sul pezzo corrispondenti alle vibrazioni autoeccitate hanno una ampiezza assai minore di quelle sulla mola [2], [11];

e) le vibrazioni auto-eccitate sono modulate alla frequenza di rotazione della mola [4], [11], [12].

L'instabilità del processo di rettifica non ha però ancora trovato una completa ed esauriente spiegazione teorica, in grado di rendere ragione della notevole quantità di dati sperimentali disponibili. Ciò è dovuto indubbiamente alla complessità del fenomeno, che presenta chiare caratteristiche non lineari, ed al gran numero di parametri da cui è influenzato.

Lo studio di Pahlizsch e Cuntze [4] presenta alcuni aspetti interessanti e conclusivi; tuttavia si può obiettare che esso è limitato ad una schematizzazione del sistema vibrante eccessivamente semplice

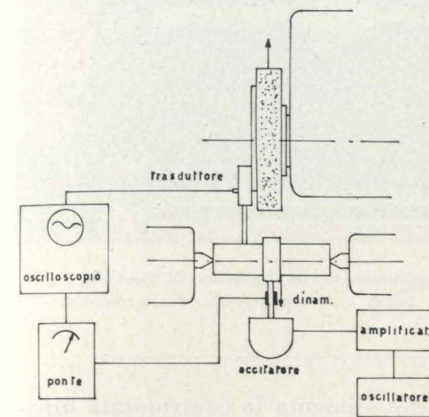


Fig. 2 - Rilevamento della risposta armonica della macchina.

e che è difficile, se non impossibile, riscontrare in pratica.

Il lavoro di Snoeys [12] si limita a riportare alcuni risultati ottenuti per mezzo di un calcolatore analogico, senza però definire un modello matematico che stia alla base del calcolo. Lo studio è sostanzialmente effettuato ad anello chiuso, ignorando tutti i procedimenti, già affermati, per lo studio della stabilità dei sistemi in controreazione, fondati sul principio di analizzare separatamente ciascun blocco ad anello aperto. Sono evidenti i vantaggi di questo ultimo modo di procedere; fra l'altro, quando

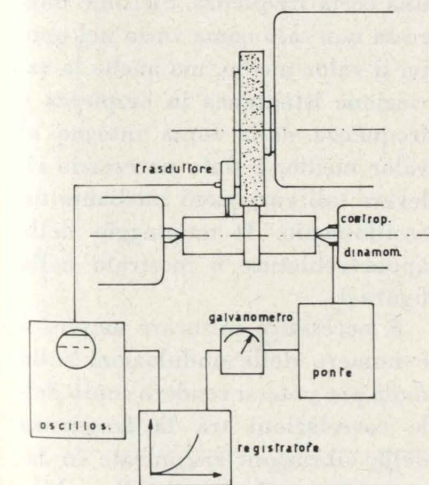


Fig. 3 - Determinazione della caratteristica della rigidità di contatto mola-pezzo.

nell'anello sono presenti elementi lineari e non lineari, è spesso possibile separare i secondi dai primi semplificando in definitiva lo studio stesso.

Il presente lavoro espone le basi di una ricerca sulle vibrazioni autoeccitate nella operazione di rettifica a tuffo, che ha per oggetto:

a) la messa a punto della strumentazione occorrente per effettuare le prove sperimentali;

b) una indagine sperimentale preliminare per stabilire la possibilità di adottare un modello matematico semplificato del processo, valido solo in regime lineare.

È opportuno ricorrere, come primo tentativo, ad un modello lineare per affrontare in modo graduale le notevoli difficoltà presentate dal problema. Inoltre non essendo ammissibile la presenza di non-linearità molto marcate, una linearizzazione è sempre possibile, entro un campo di variazione dei parametri, che deve essere opportunamente delimitato. Se l'esperienza dimostra che tale campo non è eccessivamente ristretto, la schematizzazione proposta può avere una reale importanza pratica. Infine gli eventuali mezzi impiegati per impedire le vibrazioni autoeccitate agiranno in modo tanto più efficace, quanto più contrasteranno le vibrazioni al loro sorgere, anziché quando queste abbiano raggiunto un'ampiezza relativamente elevata. Quindi è presumibile che l'azione di tali dispositivi debba svolgersi prevalentemente in regime lineare.

2. DESCRIZIONE DEI METODI IMPIEGATI PER LE MISURE.

Le principali misure sperimentali riguardano:

a) la funzione di trasferimento della macchina [9];

b) la deformazione della zona di contatto mola-pezzo in funzione della forza di contatto;

c) la componente radiale della forza di taglio in funzione dell'avanzamento della testa porta

mola ed in funzione del tempo (ad avanzamento costante);

d) l'entità delle ondulazioni sulla mola.

La funzione di trasferimento della macchina, calcolata sull'asse

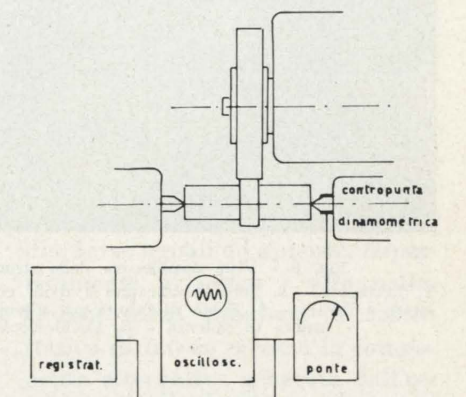


Fig. 4 - Rilevamento dello sforzo di taglio durante la lavorazione.

immaginario, definisce la rigidità dinamica della struttura meccanica del complesso macchina utensile-pezzo sotto l'azione di carichi alternativi a frequenza variabile. Con la seconda misura si determina la rigidità del contatto mola-pezzo (sia pure in condizioni statiche), che risulta una funzione non lineare della forza di contatto. Infine dalla terza si può risalire alla forza di contatto, assegnato il valore dell'avanzamento della testa porta mola; ciò è necessario per definire il « punto di lavoro » sulle caratteristiche di cui al punto b).

Tra i diversi procedimenti che possono essere impiegati per la determinazione della funzione di trasferimento della macchina è stato scelto quello che consiste nell'eccitare separatamente mola e pezzo, rilevando le vibrazioni relative e sommandole vettorialmente. Lo schema è riportato nella figura 2.

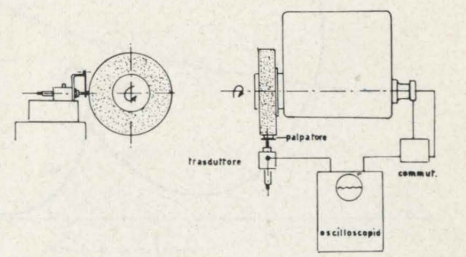


Fig. 5 - Rilevamento del numero e dell'ampiezza delle ondulazioni sulla mola.

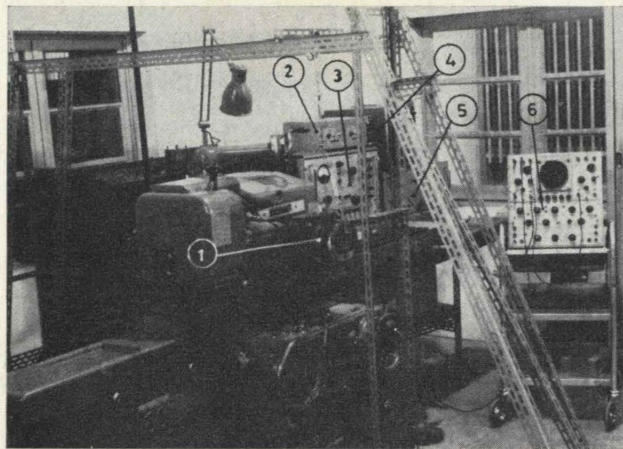


Fig. 6 - Vista complessiva della strumentazione.
1, Eccitatore - 2, Servoamplificatore a diodi controllati - 3, Oscillatore a decadi - 4, Ponte di misura per estensimetri - 5, Amplificatore di potenza - 6, Oscilloscopio DISA.

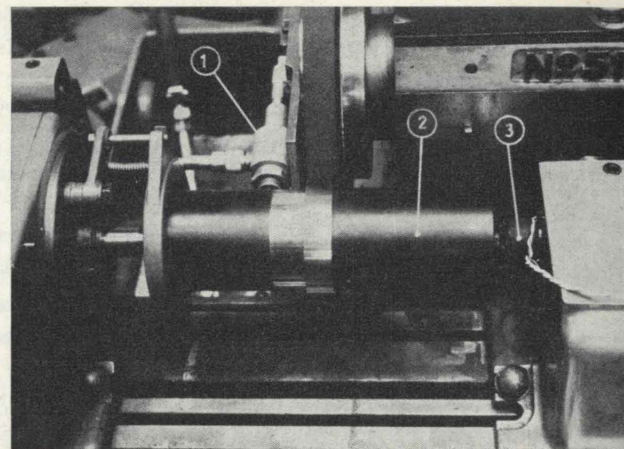


Fig. 8 - Determinazione della rigidità di contatto.
1, Rilevatore - 2, Pezzo - 3, Contropunta dinamometrica.

Seguendo questa via risulta minore il numero di apparecchi necessario, più semplice la messa a punto dei medesimi e l'esecuzione delle misure; aumenta però considerevolmente il tempo occorrente per l'esecuzione della prova.

La determinazione della curva caratteristica della rigidità di contatto può essere eseguita misurando l'avvicinamento tra l'asse della mola e l'asse del pezzo e disponendo sulla mola un trasduttore di posizione montato quanto più

possibile vicino alla zona di contatto. La forza è misurata con una contropunta dinamometrica opportunamente tarata (fig. 3).

Le prove riguardanti la componente radiale della forza di taglio sono due. Una determina la dipendenza della forza di taglio dall'avanzamento adottato, individuando per ogni avanzamento il valor medio della forza. Sono stati realizzati diversi avanzamenti ed è stato letto il valore della forza sul galvanometro del ponte di misura

che alimenta la contropunta dinamometrica. L'inerzia meccanica dell'apparecchio garantisce il valor medio desiderato. Nella seconda prova viene invece misurata la variazione della forza di taglio in funzione del tempo, mantenendo costante l'avanzamento e limitandosi al periodo antecedente al verificarsi di vibrazioni di ampiezze relativamente elevate, essendo questo il periodo in cui si inizia la formazione delle onde sulla mola. Con apposito apparecchio è stato registrato, in funzione del tempo, il segnale dato dalla contropunta dinamometrica. In effetti con il registratore adoperato si individua soltanto il valor medio dello sforzo di taglio, ma non si possono seguire le variazioni di questo oltre una certa frequenza. Siccome interessa non solo come varia nel tempo il valor medio, ma anche la variazione istantanea in ampiezza e frequenza della forza intorno al valor medio, è stato necessario rilevare tali variazioni mediante un oscilloscopio. Il montaggio delle apparecchiature è mostrato nella figura 4.

È necessario misurare ampiezza e numero delle ondulazioni sulla mola per potersi rendere conto delle correlazioni tra la frequenza delle vibrazioni riscontrate in lavorazione e il numero di onde e tra l'ampiezza di entrambe; è ne-

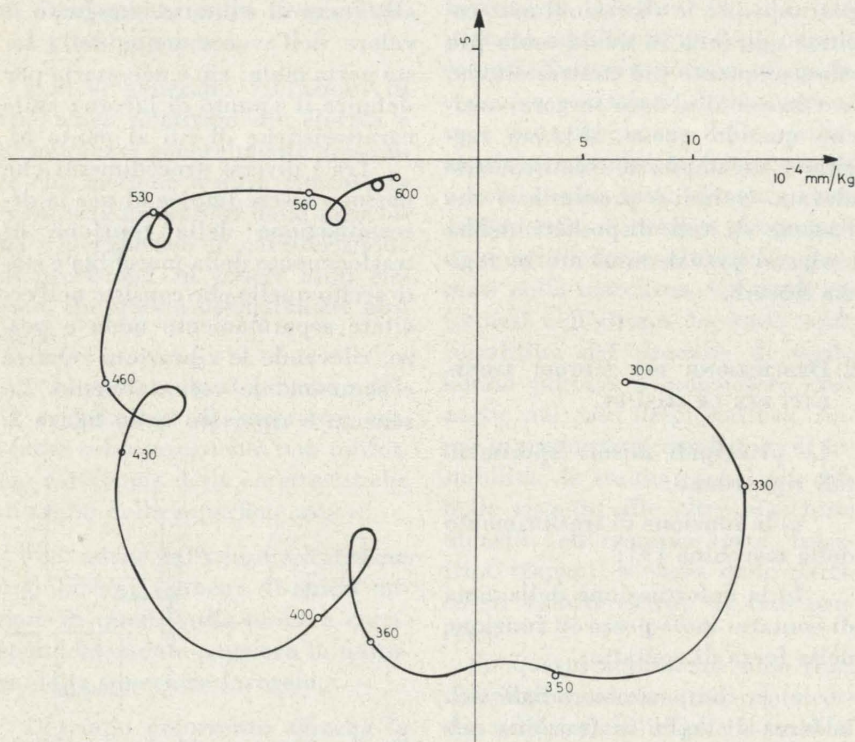


Fig. 7 - Curva di risposta della macchina.

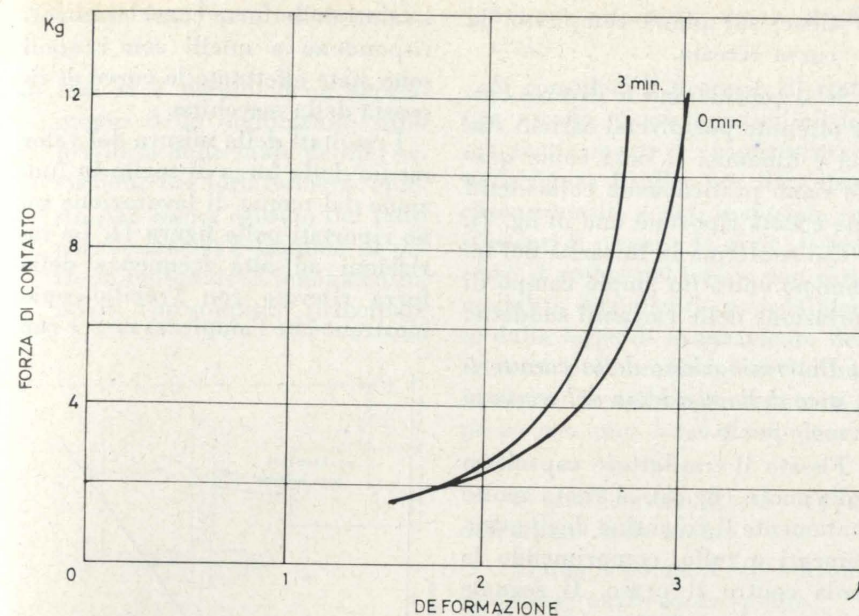


Fig. 9 - Grafico forza di contatto-deformazione della zona di contatto (con mola ravnivata e dopo 3 min. di lavorazione).

cessario inoltre esaminare la loro variazione nel tempo.

Il rilevamento viene effettuato facendo ruotare la mola a bassissima velocità; la rotazione viene rilevata per mezzo di un potenziometro montato sull'estremità dell'albero portamola opposta a quella dell'utensile; la superficie attiva della mola viene esaminata da un palpato in metallo duro il cui spostamento è rilevato da un trasduttore che invia i segnali sulla traccia verticale di un oscilloscopio, mentre i segnali provenienti dal potenziometro sono inviati sulla traccia orizzontale. Lo schema

del montaggio è mostrato nella figura 5.

3. PROVE SPERIMENTALI EFFETTUATE.

a) Determinazione della curva di risposta della macchina.

Le prove sono state eseguite su una rettificatrice universale Kellemberger mod. 51 H, opportunamente completata con dispositivo di comando di avanzamento a tuffo.

La strumentazione è stata disposta come indicato nella figura 6.

La misura è eseguita in due tem-

pi. Quando viene eccitato il pezzo la sbarretta dinamometrica è interposta fra l'eccitatore ed il pezzo nelle immediate vicinanze della flangia da rettificare (fig. 2). Il trasduttore è posto di fronte alla sbarretta dinamometrica e fissato alla mola mediante un supporto appositamente costruito e di massa nota.

Quando si eccita la mola l'eccitatore è fissato allo stesso supporto del rilevatore. Per restare aderenti alle reali condizioni di lavoro sono state applicate, con dei pesi, due forze uguali ed opposte, rispettivamente al pezzo e alla mola. Queste forze simulano il carico statico di lavoro mentre la componente alternativa generata dall'eccitatore simula la variazione di forza che genera il fenomeno vibratorio. Sono state condotte le prove assumendo diversi valori dei carichi statici e precisamente 8, 10, 12, 14, 16 Kg. e, per la forza eccitatrice, rispettivamente i valori di 1, 1,25, 1,50, 1,75, 2 Kg.

Il procedimento che permette di ottenere la curva di risposta in frequenza della struttura meccanica della macchina è il seguente:

- si applica la forza statica, si tara il trasduttore;
- mediante l'oscillatore si alimenta l'eccitatore con un segnale di determinata frequenza;
- si regola la potenza erogata all'eccitatore in modo da ottene-

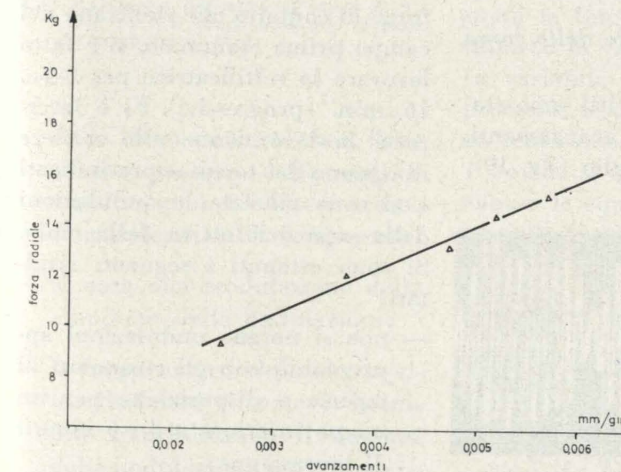


Fig. 10 - Componente radiale della forza di taglio per vari avanzamenti.

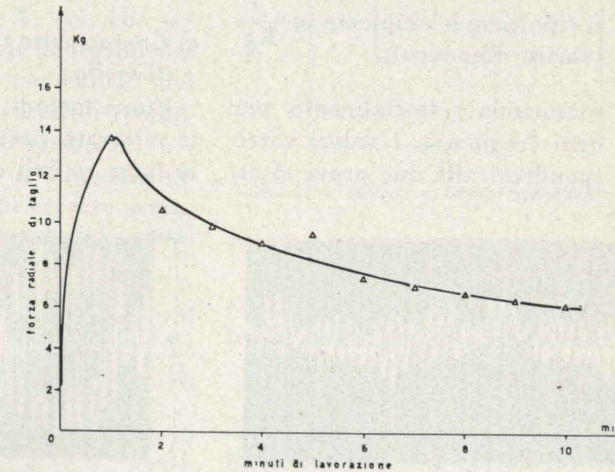


Fig. 11 - Valore medio della forza di taglio in funzione del tempo di lavorazione.

re il valore della forza richiesta, letto sull'oscilloscopio;

— si misura l'ampiezza delle vibrazioni leggendo sull'oscilloscopio;

— si misura lo sfasamento fra i due segnali forza e spostamento;

— si ripete la misura nel campo di frequenza $100 \div 1000$ Hz in-

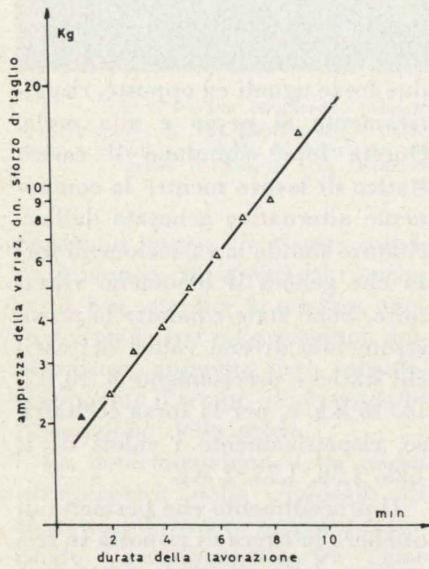


Fig. 12 - Ampiezza della variazione dinamica dello sforzo di taglio in funzione del tempo di lavorazione.

sistendo intorno ai valori di risonanza delle varie parti della struttura;

— si ripete lo stesso procedimento applicando l'eccitatore dalla parte opposta;

— si riportano le ampiezze in $\frac{\mu}{Kg}$ (carico dinamico);

— sommando vettorialmente, per ogni frequenza, i valori corrispondenti alle due prove si ot-

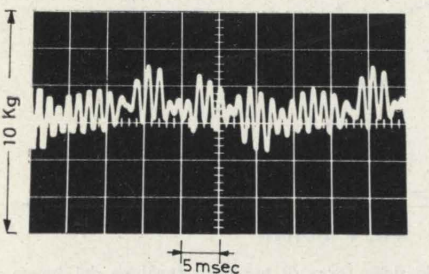


Fig. 13 - Variazioni della forza dopo 1 min. e 9 min. di lavorazione.

tiene, sul piano complesso, la curva cercata.

Se si considerano le diverse curve ottenute per diversi carichi statici e dinamici si nota come queste siano praticamente coincidenti (ne è stata riportata una in fig. 7).

Ciò conferma la linearità del fenomeno entro un ampio campo di variazione delle variabili suddette.

b) *Determinazione della caratteristica della rigidità del contatto mola-pezzo.*

Fissato il trasduttore capacitivo sulla mola (fig. 8), si ruota molto lentamente il volantino degli avanzamenti a tuffo, comprimendo la mola contro il pezzo. Il segnale uscente dal trasduttore (dipendente dalla deformazione) opportunamente amplificato è inviato sulla traccia orizzontale di un registratore a coordinate; il segnale della contropunta (forza applicata) è invece inviato sulla traccia verticale. Si ottiene così direttamente il grafico forza di contatto-deformazione della zona di contatto; per ogni punto di esso, e quindi per ogni forza applicata, l'inclinazione della curva definisce la rigidità di contatto in quel punto. Le prove sono state effettuate in diverse condizioni di usura della mola (fig. 9). Per ognuna di queste prove le letture sono state effettuate in diversi punti equidistanti della mola allo scopo di assicurarsi della ripetibilità della prova e della omogeneità della mola. I risultati sono stati concordi.

c) *Componente radiale della forza di taglio.*

Con i metodi descritti sono state misurate, per vari avanzamenti, le forze radiali di taglio (fig. 10);

i valori delle forze considerati corrispondono a quelli con i quali sono state effettuate le curve di risposta della macchina.

I risultati della misura del valor medio della forza di taglio in funzione del tempo di lavorazione sono riportati nella figura 11. Le variazioni ad alta frequenza della forza rilevate con l'oscilloscopio mostrano che l'ampiezza cresce con

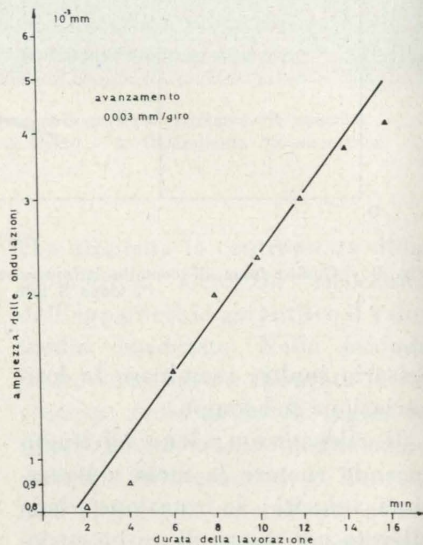


Fig. 14 - Variazione dell'ampiezza delle ondulazioni in funzione del tempo di lavorazione.

legge esponenziale (fig. 12); nella figura 13 sono riportate due registrazioni di tali vibrazioni rispettivamente dopo 1' e 9' di lavorazione.

d) *Entità delle ondulazioni sulla mola.*

Con un avanzamento pari a 0.003 mm/giro, che provoca delle forze di contatto che rientrano nel campo prima esaminato, si è fatto lavorare la rettificatrice per 2-4... 16...min. (progressivi). Si è interrotta la lavorazione allo scadere di ognuno dei tempi sopra indicati e si sono rilevate le ondulazioni della superficie attiva della mola. Si sono ottenuti i seguenti risultati:

— non si notano ondulazioni apprezzabili con gli strumenti di misura a disposizione per un tempo inferiore a 5 ÷ 6 minuti di lavorazione;

— l'ampiezza delle ondulazioni

cresce con legge esponenziale, (fig. 14);

— non si è notato alcun spostamento delle ondulazioni sulla periferia della mola né una variazione del loro numero; questo può essere causato dal fatto che l'esame si è limitato al periodo nel quale il fenomeno ha inizio (presupposto principale

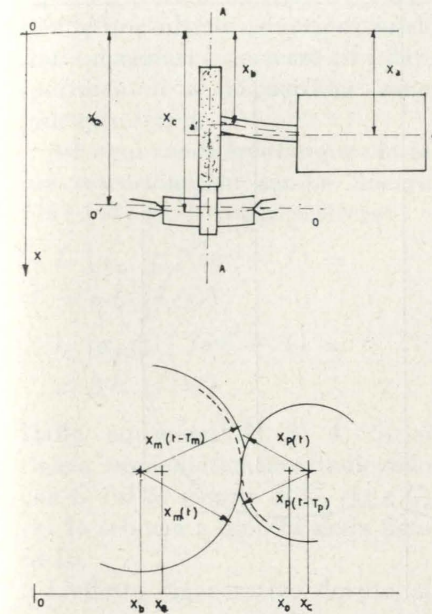


Fig. 15 - Rappresentazione schematica della disposizione, durante la lavorazione, della mola e del pezzo, sul piano orizzontale definito dai due assi « a-a' » « o-o' ».

- x_a = distanza dell'asse mola da un asse di riferimento;
- x_b = distanza del centro della mola (sull'asse inflesso) da un asse di riferimento;
- x_c = distanza dell'asse punta-contropunta dall'asse di riferimento;
- x_d = distanza del centro del pezzo, nella zona di lavoro inflessa, dall'asse di riferimento;
- $x_m(t)$ = raggio della mola all'istante « t »;
- $x_p(t)$ = raggio del pezzo all'istante « t »;
- $x_m(t-T_m)$ = raggio della mola all'istante $t-T_m$ dove T_m è il tempo necessario alla mola per compiere un giro;
- $x_p(t-T_p)$ = raggio del pezzo all'istante $t-T_p$ (dove T_p è il tempo necessario al pezzo per compiere un giro).

della ricerca); in tal caso, l'ampiezza massima delle ondulazioni raggiunge lo stesso ordine di grandezza dell'avanzamento;

— si nota una modulazione della ampiezza delle ondulazioni;

— la frequenza corrispondente alle vibrazioni rilevate è ottenibile moltiplicando il numero delle ondulazioni per il numero di giri della mola.

4. STUDIO ANALITICO DELLA STABILITÀ.

Si consideri il processo di rettifica a tuffo di un pezzo cilindrico schematicamente rappresentato nella figura 15. Per una data macchina utensile e dati materiali, costituenti il pezzo e la mola, il processo si svolge nel tempo con certe modalità dipendenti essenzialmente dalla legge di avanzamento della testa porta mola. Quest'ultima fa sì che la mola preme contro il pezzo con una forza $F(t)$, provocando:

a) una flessione $X_a(t) - X_b(t)$ dell'albero della mola;

b) una flessione $X_c(t) - X_o(t)$ del complesso pezzo-contro-punte;

c) una deformazione $X_m(t) + X_p(t) - [X_c(t) - X_b(t)]$ della mola e del pezzo dovuta alla compressione nella zona di contatto;

d) un'asportazione di uno spessore di materiale $X_p(t - T_p) - X_p(t)$ sul pezzo [$T_p = \frac{2\pi}{\Omega_p}$ periodo di rotazione del pezzo];

e) un logoramento della mola di spessore $X_m(t - T_m) - X_m(t)$ ($T_m = \frac{2\pi}{\Omega_m}$ periodo di rotazione della mola).

Le sei variabili suddette $X_a(t)$, $X_b(t)$, $X_c(t)$, $X_m(t)$, $X_p(t)$, $F(t)$ non solo fra loro indipendenti, ma sono legate da cinque equazioni ottenibili dalle leggi fondamentali della meccanica considerando i cinque fenomeni fisici sopra elencati. In tal modo assegnata la funzione $X_a(t)$, che costituisce la variabile indipendente (o variabile di « comando ») del processo, le altre variabili risultano teoricamente determinate.

Poiché si tratta di fenomeni dinamici le equazioni cercate saranno nella forma più generale equazioni differenziali del tipo ⁽¹⁾:

$$\begin{aligned} \varphi_1 [X_a - X_b, \frac{d(X_a - X_b)}{dt}, \dots, F] &= 0 \\ \varphi_2 [X_c - X_o, \frac{d(X_c - X_o)}{dt}, \dots, F] &= 0 \\ \varphi_3 [X_m + X_p - (X_c - X_b), \dots, F] &= 0 \\ \varphi_4 [X_p(t - T_p) - X_p, \dots, F] &= 0 \\ \varphi_5 [X_m(t - T_m) - X_m, \dots, F] &= 0 \end{aligned}$$

Tutto ciò presuppone che le velocità di rotazione Ω_m e Ω_p della mola e del pezzo rimangano costanti durante il processo e che non vari altresì la direzione della forza F , in modo che essa possa

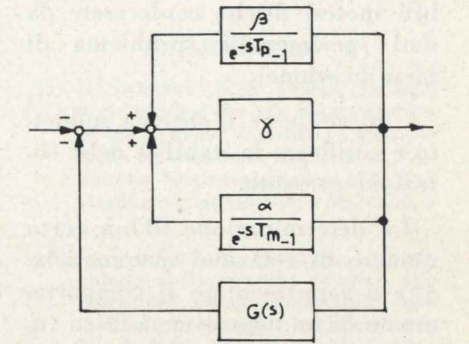


Fig. 16 - Schema a blocchi.

essere individuata dalla sola conoscenza del modulo. La prima ipotesi è generalmente ammessa e richiede che le coppie fornite dai motori che comandano gli assi aa' e oo' siano molto più grandi delle variazioni di coppia prodotte dalla forza F .

La seconda ipotesi è più discutibile e non esiste attualmente una sperimentazione sufficientemente ampia per convalidarla. Tuttavia occorre osservare che l'ipotesi stessa non è essenziale e potrebbe venire omessa, sia pure a prezzo di maggiori difficoltà analitiche, considerando separatamente gli effetti dovuti alle componenti radiale e tangenziale di F .

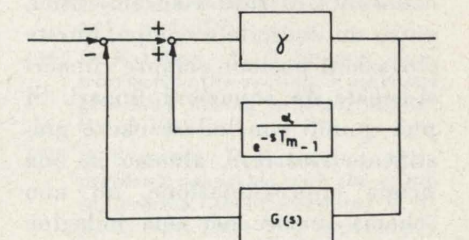


Fig. 17 - Schema a blocchi semplificato.

Concludendo si può affermare che il problema dello studio analitico della stabilità del proces-

⁽¹⁾ Si è supposto implicitamente sin dall'inizio che le variazioni siano sufficientemente lente da permettere una schematizzazione a parametri concentrati delle strutture meccaniche considerate.

so di rettifica assume un duplice aspetto:

a) determinare in forma esplicita il sistema di equazioni 1) che individua il modello matematico del processo, partendo da plausibili ipotesi fisiche confermate da dati sperimentali (problema di identificazione);

b) risolvere il sistema suddetto e verificare la stabilità della soluzione ottenuta.

La determinazione di un certo numero di relazioni matematiche atte a rappresentare il comportamento di un dato sistema fisico (o, come si suol dire, la determinazione del modello matematico del sistema) non è un problema risolvibile in senso assoluto. Così vasta e complessa è la realtà fisica, anche nei casi più semplici, che si ottiene sempre una visione parziale, limitata ad alcuni aspetti e valevole solo entro un certo campo di variazione delle grandezze che interessano. Pertanto il problema si può considerare risolto quando il modello rappresenta con sufficiente fedeltà il fenomeno considerato ed il campo di variabilità delle grandezze che rappresentano il fenomeno stesso è adeguato agli scopi proposti.

Il concetto di stabilità è indissolubilmente legato a variazioni comunque piccole attorno ad una determinata condizione e, data la continuità di tutti i sistemi fisici, entro un delimitato campo, queste variazioni possono sempre ritenersi legate da equazioni lineari. Si può quindi concludere che è giustificato ricorrere, almeno in una prima approssimazione, ad uno schema lineare per una indagine sulla stabilità del processo di rettifica.

Indipendentemente da considerazioni puramente analitiche sussistono altri motivi per attribuire ad uno studio siffatto anche un notevole interesse pratico. Infatti occorre tener presente quanto segue:

a) le prove sperimentali effettuate mostrano che il campo di linearità è abbastanza ampio e cade

entro la sensibilità dei normali strumenti di misura;

b) i possibili mezzi per combattere le vibrazioni auto-eccitate (scopo finale della ricerca) dovranno

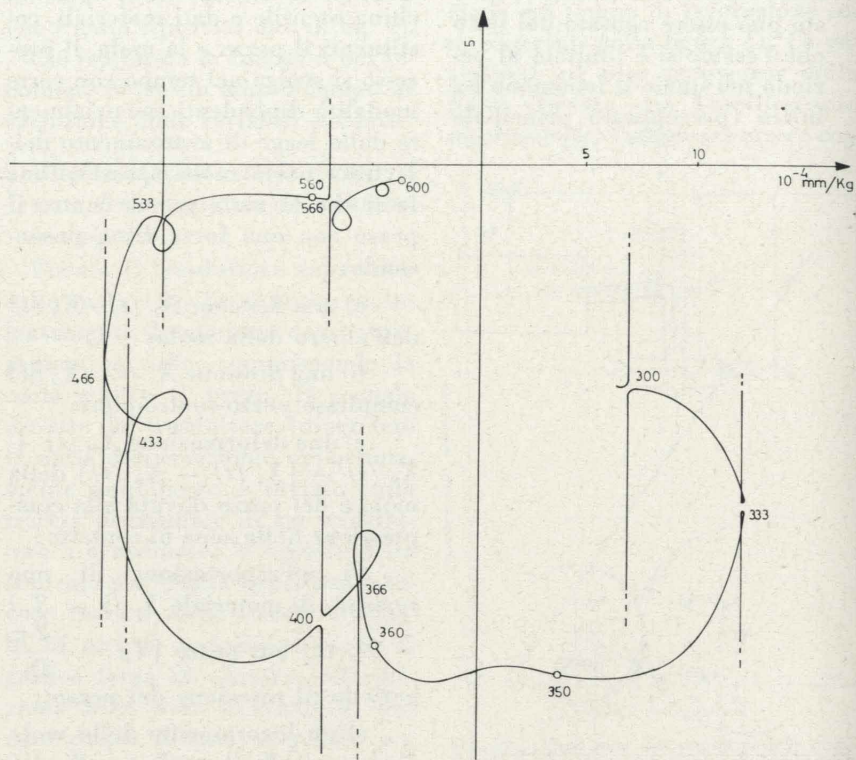


Fig. 18 - Luogo di Nyquist della funzione di trasferimento complessiva dell'anello.

no ostacolare il loro sorgere e operare quando la loro ampiezza è molto piccola ossia in definitiva in regime lineare.

Inoltre soltanto finché si rimane nel dominio di linearità è possibile separare le vibrazioni auto-eccitate da tutte le altre cause eccitrici (sbilanciamento della mola, imperfetto centraggio del pezzo, ecc.) e quindi rendere praticamente effettuabile uno studio analitico sia pure approssimato del fenomeno. In un certo senso tutti gli studi finora compiuti, poiché considerano esclusivamente le vibrazioni auto-eccitate, rimangono aderenti alla realtà fisica del fenomeno solo se adottano implicitamente l'ipotesi di linearità.

In seguito sarà volta per volta discussa l'attendibilità di questa ipotesi per ognuna delle equazioni adottate, nei limiti delle conoscenze attualmente disponibili.

Le prime due equazioni del sistema (1) legano la forza F alle deformazioni degli assi aa' e oo' . Le più probabili cause di non linearità sono costituite da giochi ed at-

triti di tipo coulombiano; tuttavia, c'è da attendersi un relativamente ampio campo di linearità. Ciò è confermato dalle esperienze descritte nel paragrafo 3.

È pertanto ammissibile che nel campo di variazione di F sopra specificato le operazioni cercate siano riconducibili ad equazioni differenziali lineari a coefficienti costanti ⁽¹⁾. In termini di trasformate di Laplace si può dunque scrivere:

$$2) L[x_a(t)] - L[x_b(t)] = G_1(s) L[f(t)]$$

$$3) L[x_c(t)] = G_2(s) L[f(t)]$$

La deformazione del contatto mola-pezzo non è una funzione lineare di F . Tuttavia le curve ripor-

⁽¹⁾ In luogo delle variabili vengono prese in considerazione le rispettive variazioni che saranno indicate con gli stessi simboli delle grandezze corrispondenti, ma scritti con caratteri minuscoli.

tate nella figura 9 mostrano che nella zona di pratico funzionamento ($F = 10 \div 15$ Kg), le deviazioni dalla linearità sono assai poco sensibili.

In conclusione si riterrà valida la equazione:

$$4) \gamma \{ L[x_m(t)] + L[x_p(t)] - L[x_c(t)] + L[x_b(t)] \} = L[f(t)]$$

Per le due ultime equazioni sussistono maggiori incertezze ed i dati sperimentali a disposizione sono piuttosto scarsi.

Ad ogni modo qualunque sia la sua estensione, in campo lineare [13] [14] [15], si può scrivere:

$$5) L[x_m(t)] (e^{-sT_m} - 1) = \alpha L[f(t)]$$

$$L[x_p(t)] (e^{-sT_p} - 1) = \beta L[f(t)]$$

Dalle equazioni 2) 3) 4) 5) si ricava immediatamente indicando con $G(s)$ la somma di $G_1(s)$ e $G_2(s)$ lo schema a blocchi della figura 16.

L'effetto rigenerativo dovuto al pezzo rappresentato dal termine $\frac{\beta}{e^{-sT_p} - 1}$ può probabilmente venire trascurato data la piccola velocità di rotazione del pezzo. Il contatto mola pezzo non avviene ovviamente su di un punto, ma lungo un arco finito. Si comprende quindi come l'effetto delle vibrazioni cicliche ad alta frequenza venga mediato nell'arco di contatto senza produrre ondulazioni apprezzabili. Ciò è confermato dalle esperienze di Pahlitzsch e Cuntze [4] e di altri ricercatori, le quali mostrano che le ondulazioni sul pezzo, quando si formano, corrispondano a frequenze assai più basse. La rugosità fra un'onda e la successiva mostra invece una corrispondenza con le onde della mola.

Ciò stabilito si può osservare che il processo di rettifica si può rappresentare con uno schema ad anello (fig. 17) nel quale vi sono due effetti di controreazione uno di reazione negativa dovuto alla struttura meccanica della macchina,

l'altro di reazione positiva dovuto all'effetto rigenerativo della mola.

Anche senza effettuare l'analisi approfondita la quale richiede una successiva fase della ricerca, si può affermare:

a) con le ipotesi adottate e con i valori dei parametri e della funzione di trasferimento del sistema rilevati sperimentalmente, il processo è stabile in assenza dell'effetto rigenerativo della mola, ma lo smorzamento è assai piccolo: sono in corso altre prove per verificare se questo risultato è valido da un punto di vista generale o se è relativo al particolare caso studiato;

b) l'instabilità può essere dovuta all'effetto rigenerativo della mola; nella figura 18 è rappresentato il luogo di Nyquist della funzione di trasferimento complessiva dell'anello; l'esponentiale complesso e $-j\omega T_m$ fa sì che il luogo tenda all'infinito per valori della pulsazione multipli interi della pulsazione corrispondente al periodo di rotazione della mola. L'interpretazione fisica di tale andamento, come pure l'estensione del criterio di stabilità di Nyquist a sistemi siffatti, richiede un ulteriore studio.

5. CONCLUSIONI.

Le prove sperimentali eseguite mostrano che il campo di linearità del fenomeno si può ritenere sufficientemente ampio così da giustificare il tentativo fatto di spiegare l'instabilità del processo di rettifica mediante un modello matematico lineare. Una verifica qualitativa e quantitativa della aderenza al fenomeno del modello matematico proposto richiede un successivo ed approfondito esame analitico delle equazioni adottate e una più accurata determinazione di alcuni parametri. Sulla base di un modello matematico definitivo sufficientemente approssimato sarà possibile studiare opportuni mezzi di stabilizzazione allo scopo di eliminare o ridurre entro limiti tollerabili gli effetti dannosi delle vibrazioni autoeccitate.

Gli Autori ringraziano gli Ingg. M. Verardi e G. Possenti per la

collaborazione prestata nello svolgimento delle misure.

B. Bartalucci e G. G. Lisini

Istituto di Meccanica Applicata e Costruzione di Macchine e Istituto di Tecnologia Meccanica dell'Università di Pisa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. SWEENEY - S. A. TOBIAS, *An algebraic method for the determination of the dynamic stability of machine tools*. International Research in Production Engineering pag. 475, 1963 (traduzione apparsa su «Macchine» n. 5, 1965).
- [2] L. PLUHAR - M. POLACEK, *Lo stato attuale delle ricerche relative alle vibrazioni auto-eccitate nelle operazioni di rettifica*. «L'Industrie lourde tchécoslovaque» n. 5, 1964 (traduzione apparsa su «Macchine» n. 9, 1965).
- [3] G. SWEENEY, *Grinding instability*, 6th International M.T.D.R. Conference 1965.
- [4] G. PAHLITZSCH - E. CUNTZE, *Reduction of chatter vibration during cylindrical and plunge grinding operation*, 6th International M.T.D.R. Conference, 1965.
- [5] S. A. TOBIAS, *Machine-tool vibration*, Blackie & Son Ltd. 1965.
- [6] P. D. SINGHAL - H. KALISZER, *The effect of workpiece dimensions and wheel parameters on the surface waviness during grinding*, 6th International M.T.D.R. Conference, 1965.
- [7] J. TLUSTY - M. POLACEK, *The stability of the Machine-tool against self excited vibration in machining*, «Machine» n. 3, 1965.
- [8] J. PETERS, *What can vibration research contribute to machine-tool development?*, «Macchine» n. 7, 1965.
- [9] B. BARTALUCCI - G. G. LISINI, *Instabilità dinamica delle macchine utensili*. «Automazione ed Automatismi» n. 6, 1965.
- [10] H. KALISZER - P. D. SINGHAL, *Contribution to the analysis of waviness generated during grinding*, CIRP, Parigi 1966.
- [11] H. KALISZER - P. D. SINGHAL, *Some problems connected with the grinding process*, 7th International M. T. D. R. Conference 1966 (prestamp).
- [12] R. SNOEYS, *Broutement en rectification*, CIRP, Parigi 1966.
- [13] R. S. HAHN, *Controlled force grinding - a new technique for precision internal grinding*. J. Eng. for Industry, Trans. A.S.M.E. Series B, 86,287-93 (1964).
- [14] R. S. HAHN, *Some Characteristics of Controlled force grinding*, 7th International M.T.D.R. Conference, 1966 (prestamp).
- [15] R. S. HAHN, *On the effect of real area of contact and normal stresses in grinding*, C.I.R.P. 1966.

Contributo all'acustica applicata all'architettura religiosa

GIUSEPPE ANTONIO PUGNO studia il comportamento acustico offerto da edifici religiosi antichi ed attuali con particolare riferimento alle modalità di decremento della intensità energetica del suono susseguente. Una abbondante raccolta di misure di tempi convenzionali di riverberazione, afferenti a numerose chiese piemontesi, opportunamente elaborate e coordinate, gli ha consentito una sintesi di osservazioni che ritiene di valido aiuto al progettista.

Queste considerazioni derivano dall'esame di dati sperimentali risultato di una indagine che ha interessato numerose chiese della regione piemontese. Il programma di lavoro venne impostato con lo scopo di consentire, attraverso una preliminare elaborazione e coordinamento delle misure e delle più generali informazioni soggettive, la formulazione di qualche consiglio che facilitasse il progettista nella realizzazione di una « buona acustica ».

Con riferimento ai parametri di maggior peso che influenzano i relativi fenomeni, si rivelò necessaria una suddivisione tipologica di tali edifici nell'intento di ricavare utili confronti per apprezzare in quale misura si esercita l'influenza dello schema costruttivo.

Sono note le difficoltà che si incontrano per raggiungere una appena accettabile soluzione del problema.

La diversa natura delle sorgenti sonore, prescindendo da altri elementi a priori non favorevoli, conduce ad una posizione di compromesso tra ciò che corrisponde ad un optimum parlato e ciò che corrisponde ad un optimum di canto corale o di musica d'organo.

Sta di fatto che anche qui oltre alle note condizioni geometriche che limitano le aree interessate dal fenomeno di eco ed a quelle fisiche-geometriche che regolano l'entità degli scambi energetici per ef-

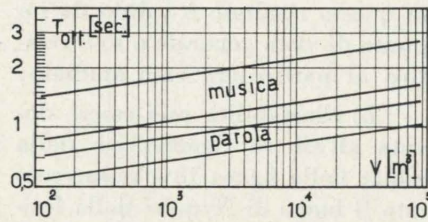


Fig. 1 - Tempi ottimi di riverberazione acustica al variare delle dimensioni dell'ambiente e della sua destinazione per suoni puri a 1.000 Hz.

fetto delle riflessioni multiple, devono essere considerate quelle di natura architettonica. Sono esse infatti ad influire sull'uniformità del campo sonoro, sulla distribuzione regolare dell'energia in corrispondenza della superficie utile, ad assicurare la riproduzione fedele dei timbri originari ed un equilibrio sonoro quando più sorgenti, poste in diversi centri di emissione, sono in attività contemporanea.

In una chiesa, infatti, si possono distinguere in generale due zo-

ne: il presbiterio nel quale, se prevista la presenza di Capitolo o di Collegiata, oltre all'altare maggiore sono ricavati gli stalli del coro in posizione simmetrica; e lo spazio riservato ai fedeli nel quale spesso, lateralmente in posizione sopraelevata, sovrasta il pulpito.

D'altra parte l'organo, che non può mancare nelle chiese cattedrali e parrocchiali e la cui sistemazione acusticamente più desiderabile dovrebbe interessare la zona absidale, per ragioni liturgiche viene collocato lungo la navata di fronte al pulpito, se di piccole dimensioni, o più frequentemente, all'estremità opposta dalla parte dell'ingresso principale.

La notevole distanza dell'organo dal coro ostacola seriamente il rispetto di sincronismo o cadenze di tempo tra il canto e la musica; a ciò si aggiunga la difficoltà di intonare il coro alla musica per la modificazione di timbro con cui dopo riflessioni selettive essa perviene ai cantori.

La stessa molteplicità delle sorgenti e la loro diversa disposizione, le varie forme delle superfici interessate alla riflessione già rendono estremamente arduo il compito di

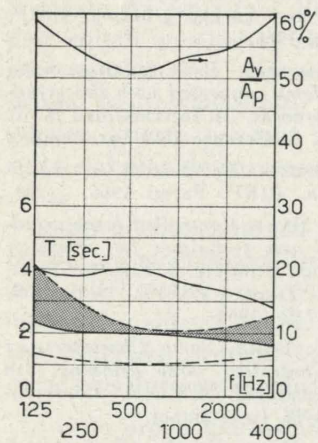


Fig. 1a - Dati acustici nella Chiesa di Santa Chiara in Torino.

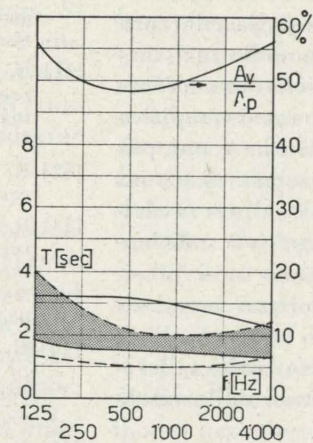


Fig. 2a - Dati acustici nella Chiesa di Santa Maria Maddalena in Alba.

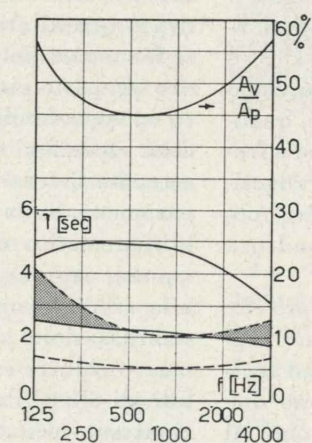


Fig. 3a - Dati acustici nella Chiesa di Santa Croce in Villanova di Mondovì.

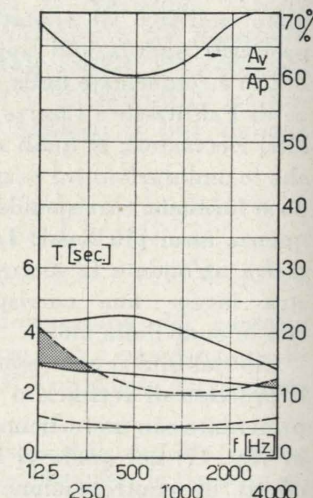


Fig. 4a - Dati acustici nella Chiesa di Santa Chiara in Bra.

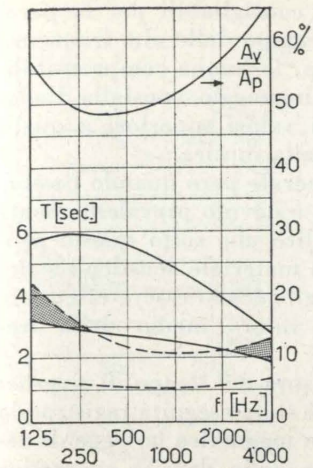


Fig. 5a - Dati acustici nella Chiesa di S. Michele in Borgo d'Ale.

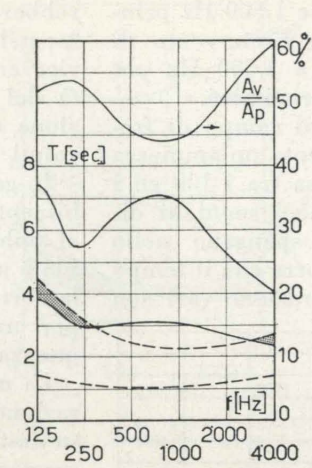


Fig. 6a - Dati acustici nella Chiesa della Gran Madre di Dio in Torino.

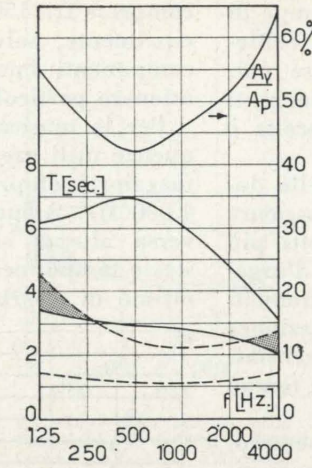


Fig. 7a - Dati acustici nella Chiesa di San Salvatore in Borgomasino.

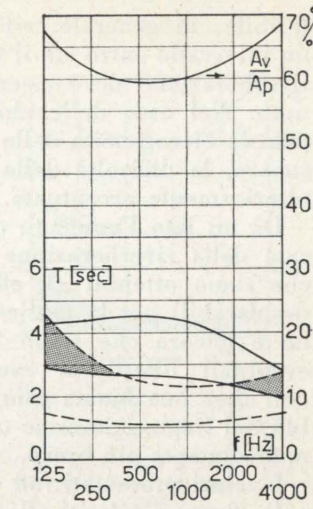


Fig. 8a - Dati acustici nella Chiesa di San Lorenzo in Torino.

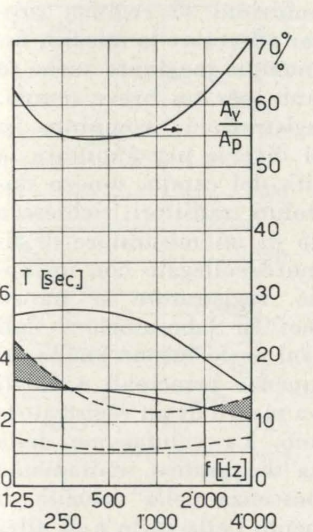


Fig. 9a - Dati acustici nella Chiesa di San Michele in Rivarolo.

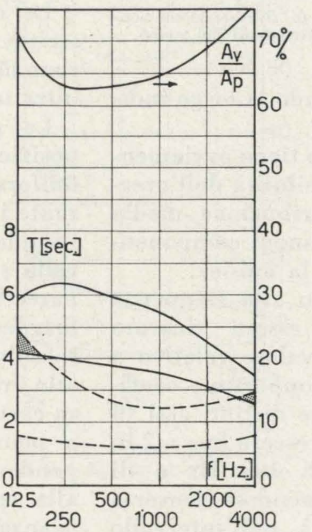


Fig. 10a - Dati acustici nella Basilica di Superga.

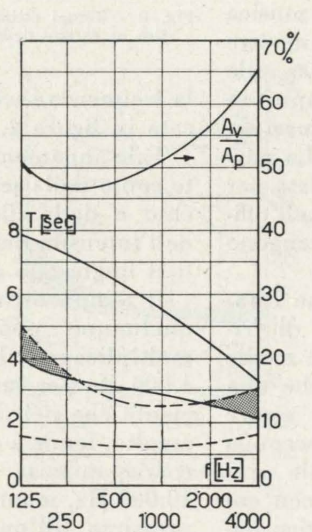


Fig. 11a - Dati acustici nella Chiesa di San Giovanni di Carignano.

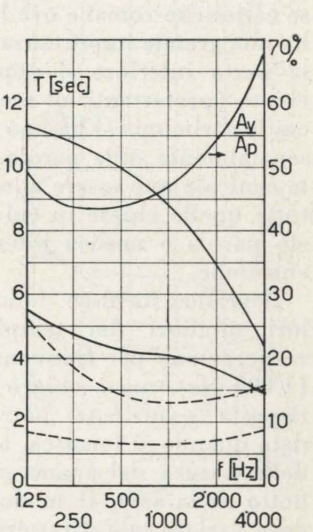


Fig. 12a - Dati acustici nel Santuario di Vicoforte.

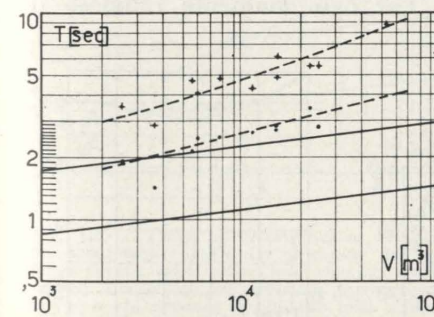


Fig. 13a - Tempi di riverberazione acustica per suoni puri a 1.000 Hz al variare del volume. Oltre i valori ottimi sono riportati quelli relativi alle chiese del primo gruppo vuote (+) e con presenza di pubblico nella misura di due terzi della capacità totale.

individuare le zone in cui può destarsi il fenomeno dell'eco. I suoi effetti, molto dannosi ai fini della comprensibilità del linguaggio,

fortunatamente risultano il più delle volte mascherati o inapprezzabili per le notevoli distanze.

La forma architettonica è inoltre un fattore preponderante perchè da questa dipende la maggior o minor uniformità del campo sonoro.

In linea generale le piante circolari e peggio ellittiche sono sotto questo aspetto sfavorevoli dando luogo a concentrazioni, focalizzazioni o comunque a gravi disuniformità. Ciò si verifica quando le superfici interessate alla riflessione sono continue e regolari.

Nelle chiese barocche che figurano in buon numero tra quelle visitate e per le quali è ricorrente la soluzione di pianta centrale (circolare o ellittica), i difetti di

focalizzazione e di incollaggio del suono ai muri non si manifestano, essendo impedita per le caratteristiche geometriche delle pareti, discontinue per la presenza di capelle o di decorazioni, una riflessione regolare.

A questi requisiti si aggiunga infine quello che regola la distribuzione temporale espresso dalla durata convenzionale della riverberazione del quale si sono raccolte attraverso l'esperimento abbondanti misure.

Una certa difficoltà permane nella scelta del suo valore ottimale e del suo modo di variare con la frequenza.

Poichè una buona audizione sia musicale sia di linguaggio non può basarsi su criteri assoluti, sarà pre-

feribile, in generale, riferirsi ad un intervallo entro cui il tempo di riverberazione deve essere contenuto. Nel caso delle chiese poi, data la eterogeneità delle sorgenti sonore, la difficoltà della scelta è ulteriormente accentuata.

Da un lato l'aumento della durata della riverberazione assicura che siano ottenuti gli effetti più desiderabili per la musica d'organo e ancora che siano attenuati eventuali difetti di esecuzione; dall'altra una buona comprensibilità del linguaggio esige un tempo notevolmente più breve.

I valori presentati, ad esempio, nella figura 1 riferiti alla frequenza di 1.000 Hz, individuano una banda di cui la parte superiore si applica alle cattedrali ed alle chiese cattoliche romane ove la musica ha una grande importanza; mentre la parte inferiore si applica alle chiese (protestanti ad esempio) in cui le cerimonie si basano quasi essenzialmente sulla parola. La parte centrale può essere adottata per tutte quelle chiese in cui nell'ufficio parola e musica intervengono entrambe.

Il grafico fornisce dunque i valori migliori dei tempi di riverberazione per frequenze medie (1.000 Hz), ma è chiaro che una risposta esauriente potrà essere data quando si fornisca, a seconda della natura del suono utile prodotto nella sala, il modo con cui deve variare tale caratteristico parametro con la frequenza.

Per ciò che riguarda il linguaggio parlato la frequenza più utile alla comprensione è di 1.000 Hz.

Le frequenze utilizzate sono comprese tra 150 e 1.500 Hz principalmente, salvo l'intervento di componenti fino a 3.500 Hz per ottenere particolari timbri.

Per la musica il campo di frequenze utili presenta un'ampiezza maggiore compresa tra i 100 ed i 4.000 Hz. Affinchè i suoni di diversa altezza si spengano nello stesso tempo, occorre che il tempo ottimo di riverberazione vari con

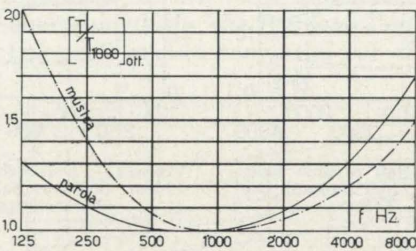


Fig. 2 - Tempi ottimi di riverberazione acustica al variare della frequenza del suono.

la frequenza secondo la legge indicata in figura 2.

Tale andamento tiene ovviamente conto della sensibilità dell'orecchio e della distribuzione media dell'intensità dei suoni componenti il linguaggio e la musica.

Il tempo ottimo alla frequenza qualunque può essere ricavato moltiplicando il valore relativo a 1.000 Hz per un opportuno coefficiente che nei due distinti casi di ascolto, tende a crescere fino a 2 in corrispondenza di 100 Hz e di 10.000 Hz, mantenendosi viceversa prossimo all'unità nell'intervallo 500 ÷ 2.000 Hz.

Come è visibile dai grafici si osserva che alle basse frequenze la musica richiede tempi di riverbe-

razione superiori a quelli che sarebbero consigliabili per la parola; nel campo delle alte frequenze viceversa, la buona comprensibilità del linguaggio consiglia l'adozione di valori superiori a quelli voluti dalla musica.

In generale però quando l'assorbimento è dovuto prevalentemente al pubblico che sotto questo profilo è un materiale acustico ideale, la correzione può essere effettuata per un valore medio della frequenza.

La misura del tempo di riverberazione è stata eseguita registrando su nastro magnetico la legge di decremento della densità energetica del campo sonoro creato nell'ambiente, privo di pubblico, da uno sparo di pistola.

Le condizioni di regime, prescritte per effettuare la misura, furono comunque raggiunte anche se intrattenute per un breve tempo.

Le registrazioni, compiute in posizioni diverse per appurare la uniformità del campo sonoro durante i voluti transitori, richiesero l'impiego di un misuratore di livello sonoro collegato con un apparecchio registratore a nastro magnetico. In laboratorio i dati raccolti sul posto furono analizzati alle frequenze principali e fissati su carta a mezzo di un registratore a pennino. La valutazione della pendenza del grafico, unitamente alla conoscenza della velocità di avanzamento della carta e di altre caratteristiche strumentali, permise la determinazione del tempo convenzionale di riverberazione.

Per ogni ambiente religioso il

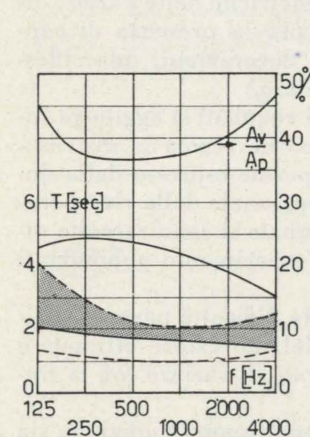


Fig. 1b - Dati acustici nella Chiesa di Sant'Antonio di Ranverso

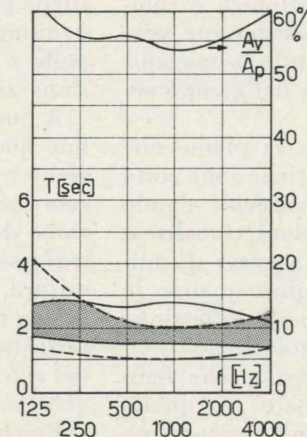


Fig. 2b - Dati acustici nella Chiesa dei Santi Giovanni e Pietro in Avigliana.

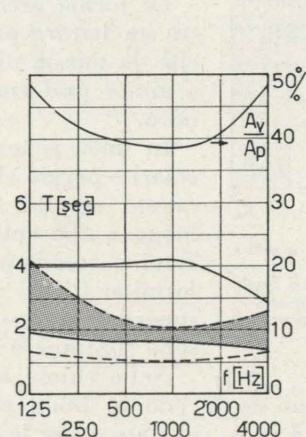


Fig. 3b - Dati acustici nella Chiesa di Sant'Anna (presso istituto omonimo) in Torino.

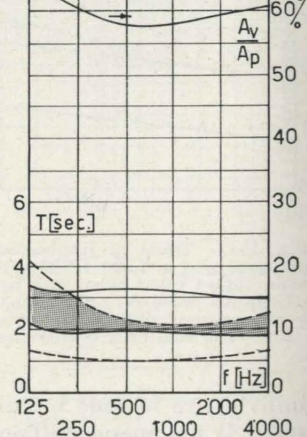


Fig. 4b - Dati acustici nella Chiesa di S. Maria di Piazza in Torino.

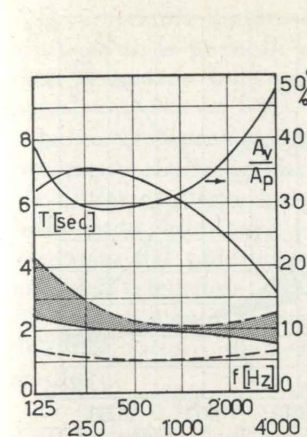


Fig. 5b - Dati acustici nella Chiesa della Sacra di San Michele.

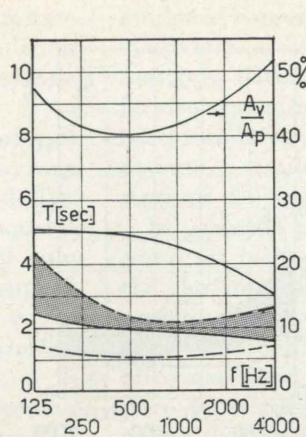


Fig. 6b - Dati acustici nella Chiesa Crocetta in Torino.

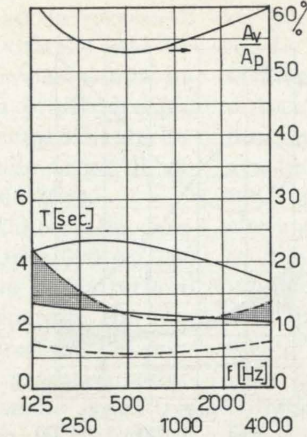


Fig. 7b - Dati acustici nella Chiesa del Santuario di S. Giovanni in Alta Valle d'Andorno.

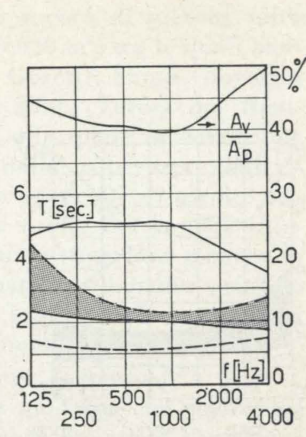


Fig. 8b - Dati acustici nella Chiesa di San Domenico in Torino.

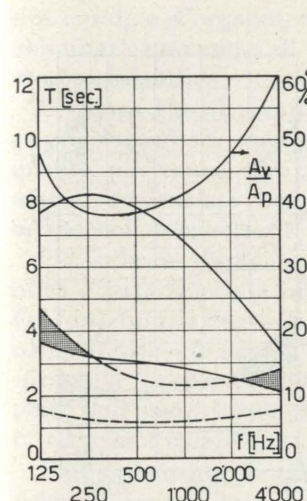


Fig. 9b - Dati acustici nella Chiesa di San Secondo in Torino.

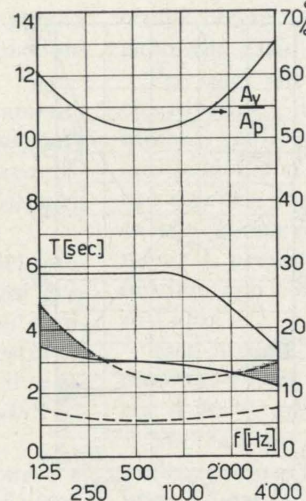


Fig. 10b - Dati acustici nella Chiesa del Carmine in Torino.

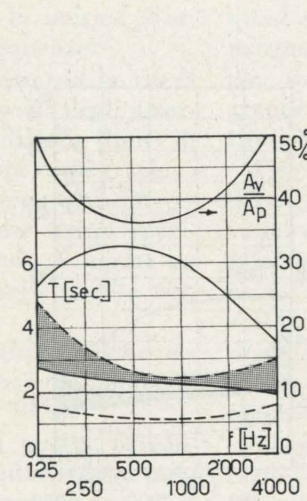


Fig. 11b - Dati acustici del Duomo di Torino.

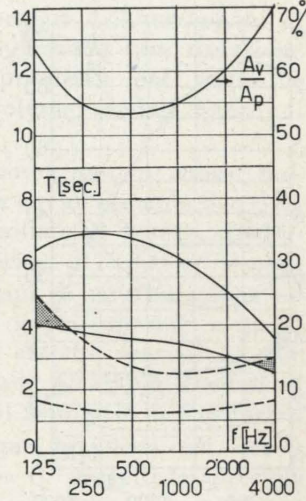


Fig. 12b - Dati acustici nella Chiesa di San Filippo in Torino.

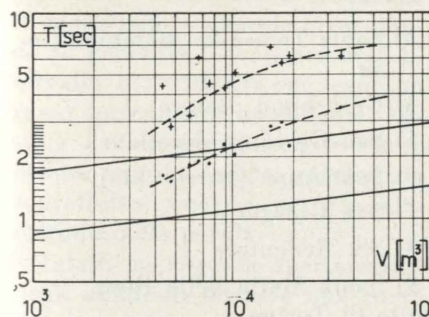


Fig. 13b - Tempi di riverberazione acustica per suoni puri a 1.000 Hz al variare del volume. Oltre i valori ottimi sono riportati quelli relativi alle chiese del secondo gruppo vuote (+) e con presenza di pubblico nella misura di due terzi della capacità totale.

numero dei rilevamenti fu scelto compreso tra un minimo di 6 ed un massimo di 14 a seconda della minore o maggiore complessità della forma architettonica.

Ad elaborazione effettuata l'uniformità dei dati giustificò l'assun-

zione di un valor medio. I locali, oggetto della sperimentazione, possono essere suddivisi in tre categorie: la prima comprendente le chiese posttridentine a pianta centrale caratterizzate dall'uniformità del materiale impiegato; la seconda, chiese antiche di diverso stile a navate multiple, comparabili, tuttavia, per comune schema a croce latina e per l'uniformità del materiale impiegato; la terza, chiese disuniformi tra loro, di recente costruzione in cui non è più mantenuta la tradizionale geometria ed in cui, alcune volte, compaiono materiali di comportamento specifico.

La prima categoria enumera le seguenti chiese che qui si dispongono secondo un ordine crescente di volume:

- 1) Santa Chiara di Torino
- 2) S. Maria Maddalena di Alba

- 3) Santa Croce di Villanova di Mondovì
- 4) Santa Chiara di Bra
- 5) San Michele di Borgo d'Ale
- 6) Gran Madre di Dio di Torino
- 7) San Salvatore di Borgomasino
- 8) San Lorenzo di Torino
- 9) San Michele di Rivarolo
- 10) Basilica di Superga
- 11) San Giovanni di Carignano
- 12) Santuario di Vicoforte.

La seconda comprende:

- 1) S. Antonio di Ranverso
- 2) S. ti Giovanni e Pietro di Avigliana
- 3) S. Anna (presso l'omonimo Istituto) di Torino.
- 4) Santa Maria di Piazza di Torino
- 5) Sacra di San Michele

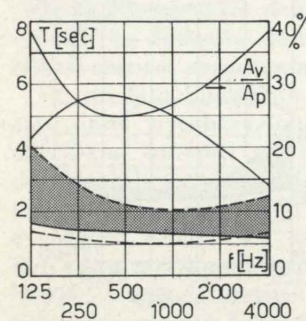


Fig. 1c - Dati acustici nella Chiesa di Santa Giovanna d'Arco in Torino.

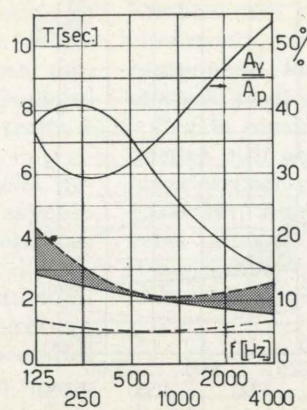


Fig. 2c - Dati acustici nella Chiesa di Santa Maria Goretti in Torino.

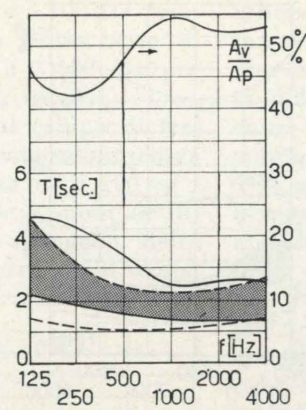


Fig. 3c - Dati acustici nella Chiesa di Santa Teresa del Bambino Gesù in Torino.

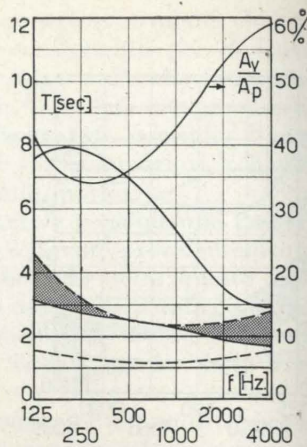


Fig. 4c - Dati acustici nella Chiesa di Gesù buon pastore in Torino.

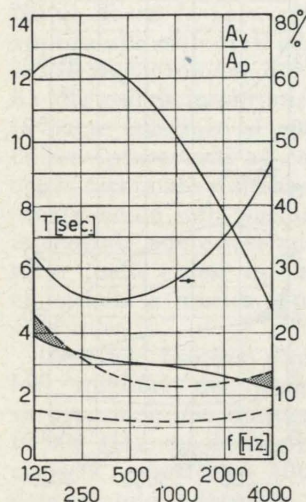


Fig. 5c - Dati acustici nella Chiesa di San Giovanni decollato in Torino.

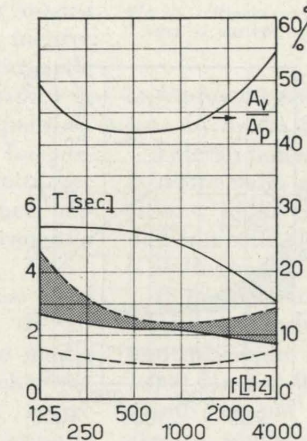


Fig. 6c - Dati acustici nella Chiesa di Sant'Anna (parrocchia) in Torino.

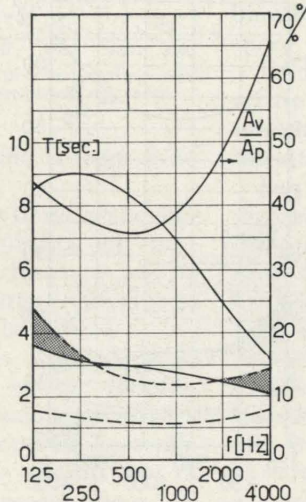


Fig. 7c - Dati acustici nella Chiesa di San Giorgio in Torino.

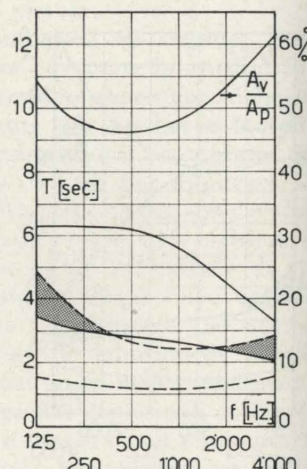


Fig. 8c - Dati acustici nella Chiesa del SS. Redentore in Torino.

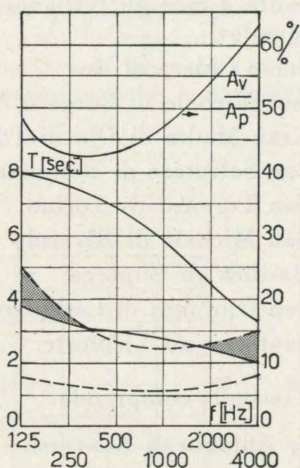


Fig. 9c - Dati acustici nella chiesa di Santa Maria delle Rose in Torino.

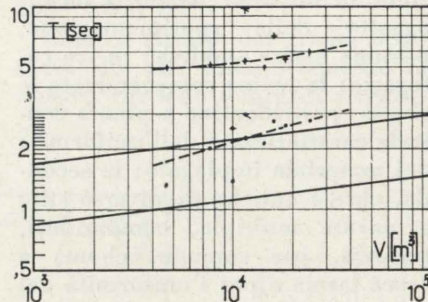


Fig. 10c - Tempi di riverberazione acustica per suoni puri a 1.000 Hz al variare del volume. Oltre i valori ottimi sono riportati quelli relativi alle chiese del terzo gruppo vuote (+) e con presenza di pubblico nella misura di due terzi della capacità totale.

- 6) Crocetta di Torino
- 7) Santuario di S. Giovanni d'Andorno
- 8) San Domenico di Torino

- 9) San Secondo di Torino
- 10) Chiesa del Carmine di Torino
- 11) Duomo di Torino
- 12) San Filippo di Torino.

- Alla terza appartengono:
- 1) Santa Giovanna d'Arco
 - 2) Santa Maria Goretti

- 3) Santa Teresa del Bambino Gesù
- 4) Gesù buon pastore
- 5) San Giovanni decollato
- 6) Sant'Anna (parrocchia)
- 7) San Giorgio
- 8) SS. Redentore
- 9) Santa Maria delle Rose tutte di Torino.

Per ognuna di tali chiese un grafico riassuntivo (figure di tipo a per la prima categoria; figure di tipo b per la seconda; figure di tipo c per la terza) raccoglie i dati più significativi del comportamento acustico. Più precisamente sono indicate le leggi di riverberazione ad ambiente vuoto (linea continua superiore) e ad ambiente occupato per 2/3 della sua capacità totale (linea a tratto continuo inferiore).

Il campo, da queste delimitato, ospita tutte le possibili condizioni reali al variare della presenza del pubblico.

La curva superiore è fornita direttamente dall'esperienza, mentre l'inferiore tiene conto dell'assorbimento alle varie frequenze esercitato dal pubblico, del volume, dell'estensione della superficie di pavimento e totale ed infine del fattore di assorbimento medio.

Le curve a tratto, rappresentando i massimi valori del tempo ottimo di riverberazione (rispettivamente quella inferiore per la parola, quella superiore per la musica corale e d'organo), vengono a delimitare un campo di situazioni raccomandabili.

È chiaro che il comportamento acustico risulterà tanto migliore quanto più estesa sarà l'area comune, evidenziata con l'annerimento nel disegno.

Per indicare l'influenza del pubblico è stata tracciata in ogni grafico una quinta curva le cui ordinate riferite all'asse di destra esprimono in percentuale il rapporto dell'assorbimento a sala vuota ed a sala completa.

Dall'andamento di tali curve si possono ricavare le seguenti considerazioni di carattere generale.

I tempi di riverberazione sperimentali variano con la frequenza in modo non favorevole presentando in generale il massimo nell'intervallo 125 ÷ 500 Hz cui segue un ramo fortemente discendente. Risulta dal confronto con le curve ottime una non adatta morfologia soprattutto precaria per l'ascolto distinto della parola.

Infatti la risposta sperimentale degli ambienti fornisce una curva con massimo e concavità verso il basso là dove sarebbero viceversa consigliabili un minimo e concavità verso l'alto.

A questa conclusione negativa che riguarda la morfologia si aggiunga l'elemento negativo della notevole differenza tra i valori sperimentali e consigliati.

La presenza del pubblico migliora sensibilmente la risposta dell'ambiente alle condizioni di buona acustica, risultando una

tendenza comune ad un eccesso di rimbombo a sala vuota. Ciò è dimostrato dalla curva continua inferiore che oltre a presentare più bassi valori dei tempi di riverberazione è simile alla legge di variazione del tempo ottimo.

In generale nell'intervallo compreso tra le frequenze 500 e 2.000 Hz che interessano soprattutto il parlato, le curve corrette che tengono conto della presenza del pubblico non sono in grado di soddisfare le esigenze meno restrittive volute dalla musica; al di fuori di detto intervallo viceversa le richieste di cui sopra, sono soddisfatte dato il particolare andamento dei tempi ottimi per la musica d'organo alle varie frequenze.

Per quel che riguarda la curva che esprime i rapporti degli assorbimenti nelle condizioni limiti di occupazione, si nota come è logico che sia, una corrispondenza inversa con la curva dei tempi sperimentali, presentando di norma un minimo con concavità rivolta verso l'alto.

Essa assume, salvo qualche eccezione, valori che sono compresi tra il 40 % ed il 70 %.

Nei casi in cui questa percentuale è minore l'influenza del pubblico diviene determinante ed è solo la sua totale presenza a rendere appena accettabile il comportamento acustico.

Le chiese appartenenti al primo e secondo gruppo, con volume superiore ai 10.000 m³, presentano un non buon comportamento conseguenza della disponibilità dei materiali al tempo della loro costruzione (vedasi le figure di tipo b). Solo con piccoli volumi si ottengono risultati accettabili quali quelli dei Santi Giovanni e Pietro di Avigliana, Santa Maria Maddalena di Alba, Santa Maria di Piazza a Torino, Santa Chiara di Torino, San Domenico di Torino, Sant'Antonio di Ranverso, Santa Croce di Villanova di Mondovì, Sant'Anna dell'Istituto omonimo di Torino, nonchè, non ostante la sua ampiezza, la cattedrale torinese.

Del terzo gruppo comprendente le chiese costruite nell'ultimo decennio, si segnalano tra le miglio-

ri, quelle ancora di piccolo volume (< 10.000 m³) tra le quali Santa Maria Goretti, Santa Giovanna d'Arco e Santa Teresa del Bambino Gesù alla quale la correzione acustica della copertura conferisce buone proprietà di ascolto anche a sala vuota. Per le altre chiese di volume superiore mancando un adeguato trattamento acustico si è ben lontani dalle condizioni anche le meno esigenti.

In genere la geometria dell'architettura moderna che ricorre ad estese superfici piane e lisce prive di rilievi, aggetti decorativi o comunque discontinuità e la ricchezza dei materiali di rivestimento quasi speculari e il pavimento di marmo aggravano una situazione già compromessa dal medio e grande volume (vedasi figure di tipo c).

Per questo motivo chiese moderne, tra cui ad esempio San Giovanni decollato di Torino, con volumi inferiori a 15.000 m³ denunciano tempi di riverberazione ad ambiente vuoto superiori a quelli di chiese antiche con volumi che vanno oltre a 50.000 m³ (vedasi ad esempio il Santuario di Vicoforte).

È dunque, in questi casi, necessario che il progettista preveda l'applicazione di materiali con proprietà acustiche specifiche secondo quelle opportune disposizioni che non siano in contrasto con le fondamentali esigenze architettoniche.

In generale, nelle chiese moderne la disponibilità di ampie e continue superfici agevola un intervento correttivo ad opera compiuta pur senza sacrificio dell'armonia interna. Ciò non esclude però che dall'impostazione del progetto il problema acustico debba essere sentito in tutta la sua fondamentale importanza con la scelta fin dall'inizio di un principio di riduzione l'effetto di rimbombo, informato dai valori offerti dalle chiese visitate che denunciano con quella di progetto le più strette analogie. Auspicabile sarebbe un perfezionamento attraverso un intervento successivo che si avvallesse di dati sperimentali in opera.

Giuseppe Antonio Pugno

Una apparecchiatura per prove di scambiatori di calore

V. FERRO, A. SACCHI, A. TUBERGA, descrivono un circuito adatto a misure della potenza trasmessa da scambiatori di calore vapore d'acqua-aria. Si riportano i risultati di alcune esperienze effettuate su tubi alettati, al fine di valutare le influenze della tecnologia adottata nella costruzione delle alettature e del numero di ranghi componenti lo scambiatore.

1) Scopo della ricerca.

L'efficienza di una superficie alettata, definita come rapporto fra la potenza termica trasmessa dalla stessa e quella che sarebbe trasmessa se l'aletta fosse isoterma con la superficie esterna della tubazione a cui è connessa, è legata alle dimensioni geometriche del tubo e delle alette, alla forma e disposizione di queste ultime, nonché alla proprietà del trasporto di massa ed energia dei mezzi fra i quali avviene lo scambio termico.

A parità dei parametri sopraelencati, grande importanza è dovuta alla resistenza termica esistente alla giunzione fra aletta e tubo. Diversi procedimenti costruttivi sono stati adottati per ridurre al minimo tale resistenza; uno dei più correnti consiste nel disporre aletta e tubo in contatto con leggero gioco e successivamente imprimere una deformazio-

ne a uno dei due elementi fino a serrarlo fortemente contro l'altro. Naturalmente la conformazione delle superfici di contatto esercita una notevole influenza sullo scambio termico, come pure influisce la presenza di minuti interstizi d'aria, e la presenza di strati superficiali di ossidi [1].

La misura quindi dei coefficienti di scambio termico si presta egregiamente alla valutazione della idoneità dei processi tecnologici adottati nella costruzione del tubo alettato.

A questo scopo è stata disposta un'attrezzatura sperimentale ottenuta modificando una galleria già utilizzata per misure analoghe su condensatori di impianti frigoriferi [2].

Le misure sono state effettuate su scambiatori vapore acqueo-aria a diverse velocità dell'aria costituente il fluido scaldato.

La potenza termica trasmessa è

stata ottenuta sia misurando la quantità di vapore condensato, sia la portata di aria e il suo aumento di temperatura.

2) Descrizione dell'installazione sperimentale.

L'apparecchiatura utilizzata (figura 1) è costituita da un circuito chiuso nel quale viene montato lo scambiatore in prova. Un ventilatore a doppia girante con pale orientabili fa circolare l'aria con portate variabili fino a circa 8000 kg/h.

Fra il ventilatore e lo scambiatore (nel senso del moto dell'aria) presentando il condotto due bruschi cambiamenti di direzione, sono disposti opportuni diaframmi col compito di rendere assiale il movimento dei filetti fluidi.

Prima del ventilatore è disposto un secondo scambiatore a tubi alettati, percorso da acqua di raffreddamento con portata sufficien-

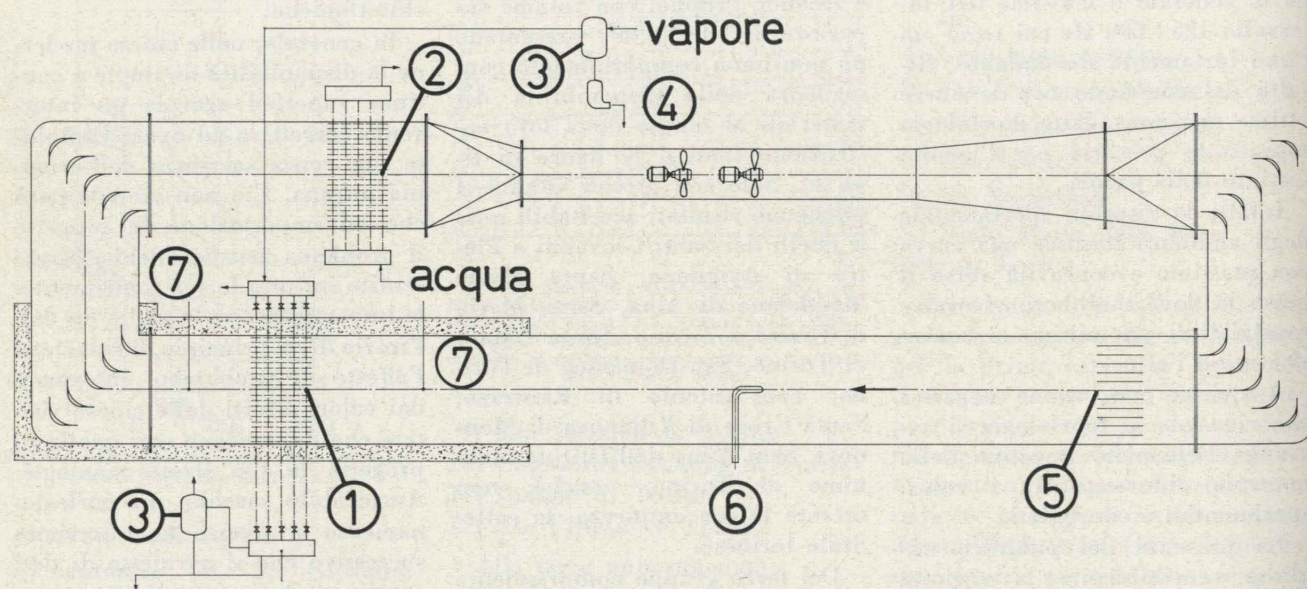


Fig. 1 - Schema dell'apparecchiatura: 1, scambiatore in prova; 2, refrigerante; 3, separatori di gocce; 4, scaricatore di condensa; 5, raddrizzatore di filetti; 6, tubo di Pitot; 7, termocoppie.

te a riportare l'aria nelle condizioni previste per l'ingresso dello scambiatore in prova.

Quest'ultimo scambiatore, il cui particolare è riportato in fig. 2, è alimentato con vapore saturo proveniente da una caldaia elettrica da 80 kW ed il suo titolo, mante-

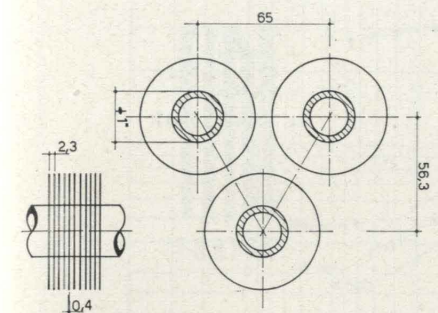


Fig. 2 - Particolari degli scambiatori.

nuto prossimo all'unità mediante appositi scaricatori di condensa, è rilevato tramite un apposito misuratore collegato in prossimità del collettore di adduzione dello scambiatore. La portata di vapore è stata misurata per pesata del condensato corretta della massa evaporata durante il prelievo.

La portata dell'aria è misurata tramite un tubo di Pitot-Prandtl, collegato ad un micromanometro differenziale, e disposto in una sezione opportuna a monte dello scambiatore in prova, dove i filetti

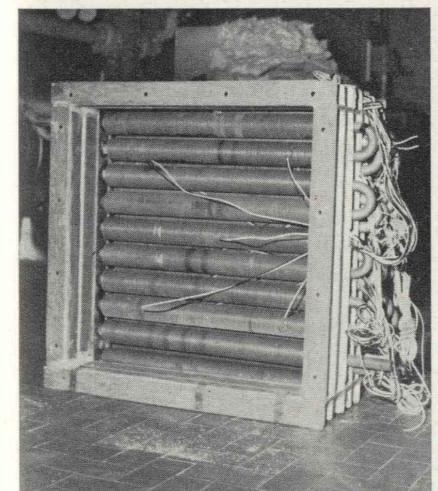


Fig. 3 - Ranghi di tubi alettati con termocoppie.

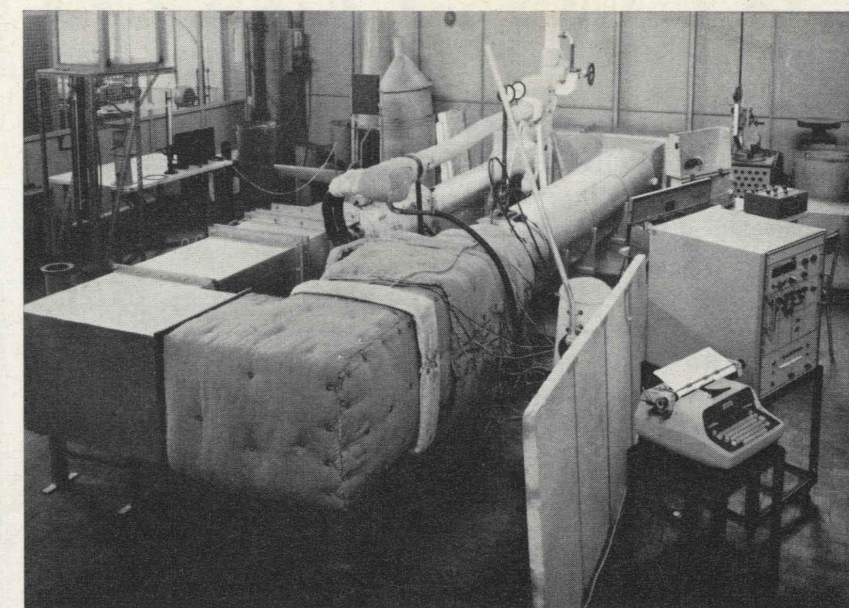


Fig. 4 - Fotografia del dispositivo di prova.

fluidi risultano praticamente longitudinali rispetto al condotto.

Le temperature dell'aria sono state rilevate con 10 giunti termoelettrici disposti ortogonalmente alla velocità dell'aria stessa su due intelaiature di filo d'acciaio a monte e a valle dello scambiatore in prova. Altri 20 giunti termoelettrici sono stati collocati in più punti a contatto con la superficie esterna dei vari tratti di tubi alettati e saldati alle estremità di alcune alette, come appare dalla fig. 3.

Il circuito è stato isolato termicamente per una lunghezza di 3 m circa nell'intorno della zona di misura tramite lana minerale.

I giunti termoelettrici impiegati sono del tipo cromel-alumel, opportunamente tarati, facenti capo ad un registratore microvoltmetrico numerico, con sensibilità di 2,5 μ V. Quest'ultimo era collegato ad una macchina stampante con periodo di lettura di tutti i valori delle temperature prefissato ad 1 minuto primo, nel corso delle condizioni stazionarie di prova.

La fig. 4 presenta una fotografia dell'apparecchiatura.

3) Risultati delle esperienze.

Il coefficiente globale di trasmissione termica H è stato calcolato con la espressione seguente:

$$H = \frac{\Phi}{S \Delta t} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

essendo:

$$\Phi = M_a C_a (t_{a2} - t_{a1}) = M_v (i_{v1} - i_{v2})$$

il flusso termico trasmesso:

M_a la portata massica di aria nel condotto [kg/s];

C_a il calore specifico dell'aria nelle condizioni di prova

$$[kJ/(kg \cdot ^\circ C)];$$

t_{a1} la temperatura dell'aria all'ingresso [$^\circ C$];

t_{a2} la temperatura dell'aria all'uscita [$^\circ C$];

M_v la portata massica del condensato [kg/s];

i_{v1} l'entalpia del vapore all'ingresso [kJ/kg];

i_{v2} l'entalpia del condensato all'uscita [kJ/kg];

S la superficie dello scambiatore dal lato dell'aria [m^2];

At la differenza media logaritmica delle temperature dei fluidi [°C].

Si è portato il coefficiente H in funzione della velocità frontale dell'aria che attraversa lo scambiatore, calcolata a 0° e 1 bar.

Nella fig. 5 sono presentate le curve così ottenute per il tipo A, in diverso numero di ranghi, e per il tipo B, a tre ranghi, in cui la resistenza termica del contatto tubo-aletta è verosimilmente superiore.

Per escludere la possibilità che il difetto di prestazione del tipo B fosse dovuto a difficoltà di passaggio di vapore in uno dei ranghi, ci si è assicurati con prove preliminari che ogni rango si comportava allo stesso modo nei riguardi dello scambio termico.

Nella fig. 6 i risultati sono correlati su diagrammi con coordinate adimensionali: in ascissa è riportato il N_{Re} riferito alla massima velocità massica dell'aria attraverso alla minima sezione frontale libera dello scambiatore e ad un diametro idraulico convenzionale [3] pari a $L \frac{A_c}{A}$, ove L è la lunghezza dello scambiatore nel verso del flusso dell'aria, A la superficie di scambio, A_c la sezione minima di

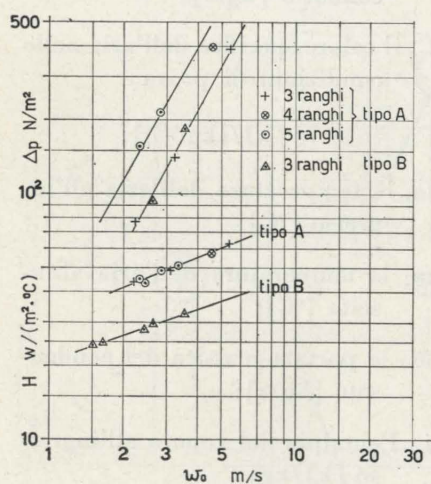


Fig. 5 - Coefficiente globale di scambio e perdite di carico in funzione della velocità frontale dell'aria calcolata a 0 °C e 1 bar.

passaggio dal lato dell'aria; in ordinata è riportato il prodotto

$$N_{St} N_{Pr}^{2/3}$$

ove il N_{St} è riferito alla stessa velocità massica del N_{Re} . Poiché per esigenze di montaggio la lunghezza L non è rigorosamente proporzio-

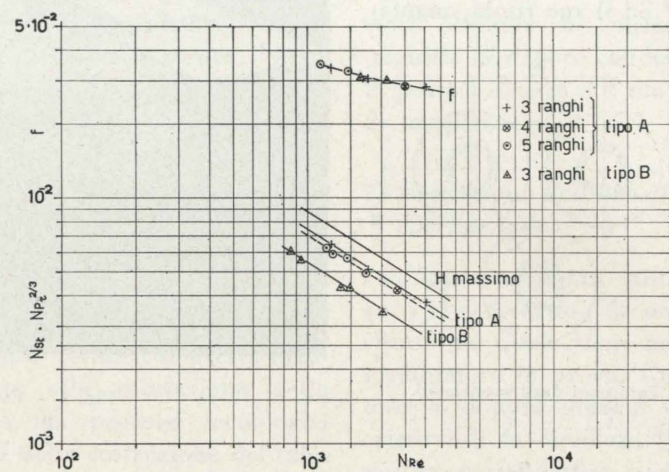


Fig. 6 - Correlazione dei risultati in coordinate adimensionali.

nale al numero dei ranghi, si ha qui una differenza piccola ma sensibile fra il comportamento dello scambiatore a 3 ranghi e quello a 5 ranghi.

Le curve ottenute sono confrontate con i valori che si avrebbero per uno scambiatore dello stesso tipo [3], assai simile geometricamente a quelli provati, nel caso di trascurabili resistenze al passaggio del calore per conduzione attraverso il metallo e per convezione dal fluido condensante alla parete interna del tubo.

Il coefficiente adimensionale f , riportato nella stessa fig. 6 in funzione di N_{Re} , è definito dalla formula che dà la perdita di carico della corrente d'aria attraverso uno scambiatore a ranghi multipli [3];

$$\Delta p = \frac{G^2}{2 \rho_m} \left[f \frac{A}{A_c} \frac{\rho_1}{\rho_2} + \left(1 + \frac{A_c^2}{A_f^2} \right) \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} - 1 \right) \right]$$

essendo:

Δp perdita di carico dell'aria attraverso lo scambiatore [N/m²];

G portata di massa riferita all'unità di sezione frontale minima libera [kg/(s·m²)];

ρ_1, ρ_2 massa specifica dell'aria rispettivamente all'ingresso e all'uscita dello scambiatore [kg/m³];

ρ_m massa specifica media dell'aria [kg/m³];

A_f area frontale globale [m²].

Sono in prova altri scambiatori di calore, analoghi a quelli qui descritti, nei quali l'unione dell'alettatura al tubo è stata realizzata con altri procedimenti tecnologici.

V. Ferro - A. Sacchi - A. Tuberga

Gli autori desiderano ringraziare il Prof. Cesare Codegone, Direttore dell'Istituto, per i consigli forniti nell'esecuzione delle prove.

BIBLIOGRAFIA

[1] DASSÙ G., PIAZZESI G., *Resistenza termica di contatto: impostazione generale e nuove tecniche sperimentali*, La Termotecnica, vol. XIX (1965), pagg. 31-46.

[2] CODEGONE C., FERRO V., SACCHI A., *Un appareil pour l'essai des évaporateurs pour entrepôts frigorifiques*, I.I.F. Commission 2, Norvège, Trondheim 1966, Annexe 1966-2.

[3] KAYS W. M., LONDON A. L., *Compact Heat Exchangers*, McGraw-Hill, New York, 1964, pagg. 3, 32, 97, 220.

ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867



**SOCIETÀ
PER AZIONI
UNIONE
CEMENTI**

**MARCHINO
& C.**

≡

**CASALE
MONFERRATO**

NUOVA SERIE . ANNO XXI . N. 8 . AGOSTO 1967

SOMMARIO

ATTI DELLA SOCIETÀ

Verbale assemblea ordinaria dei Soci pag. 225

RASSEGNA TECNICA

A. CAVALLARI MURAT - *Parole ai giovani su Carlo ed Amedeo di Castellamonte* » 207

G. A. PUGNO - *Misure pneumatiche ed acustiche su scatole di miscelazione, elementi terminali degli impianti di condizionamento a doppio condotto* » 212

U. ROSSETTI - *Sulla teoria del danneggiamento - Applicazioni del metodo alla durata dei flessibili* » 216

PROBLEMI

F. MAGGI - *L'evoluzione delle macchine e delle attrezzature per il movimento delle terre ed i suoi riflessi economici sociali* » 221

F. SIBILLA - *Il nuovo mattatoio di Torino* » 225

BOLLETTINO N. 4 DELL'ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI TORINO

COMITATO DI REDAZIONE

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

COMITATO D'AMMINISTRAZIONE

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

REDAZIONE: Torino - Corso Duca degli Abruzzi, 24 - telefono 51.11.29.
SEGRETERIA: Torino - Corso Siracusa, 37 - telefono 36.90.36/37/38.
AMMINISTRAZIONE: Torino - Via Giolitti, 1 - telefono 53.74.12 (per la pubblicità 58.71.25).

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

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

SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE — GRUPPO III

NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA III

Loro e Parisini

spa

Milano Via Savona, 129 tel. 470.101-470.134 / Padova Zona Industriale (Limena) Via Unità d'Italia tel. 92.110 /
Roma Via Lega Lombarda, 34-36 tel. 495.2651-52-53 / Napoli Via S. Maria del Pianto, 80 tel. 590.122 /
Agente per il Piemonte: Torino Sig. G. Scevola Ruscellotti C.so G. Ferraris, 77 tel. 580.090

**macchine edili, stradali,
per cave e miniere
macchine per movimenti
di terra.**

