

SOCIETÀ
DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI
IN TORINO

ATTI E RASSEGNA TECNICA

Anno 117

XXXVIII - 7-9

NUOVA SERIE

LUGLIO
SETTEMBRE 1984

CONVEGNO SU

POLITECNICO DI TORINO
SISTEMA BIBLIOTECARIO

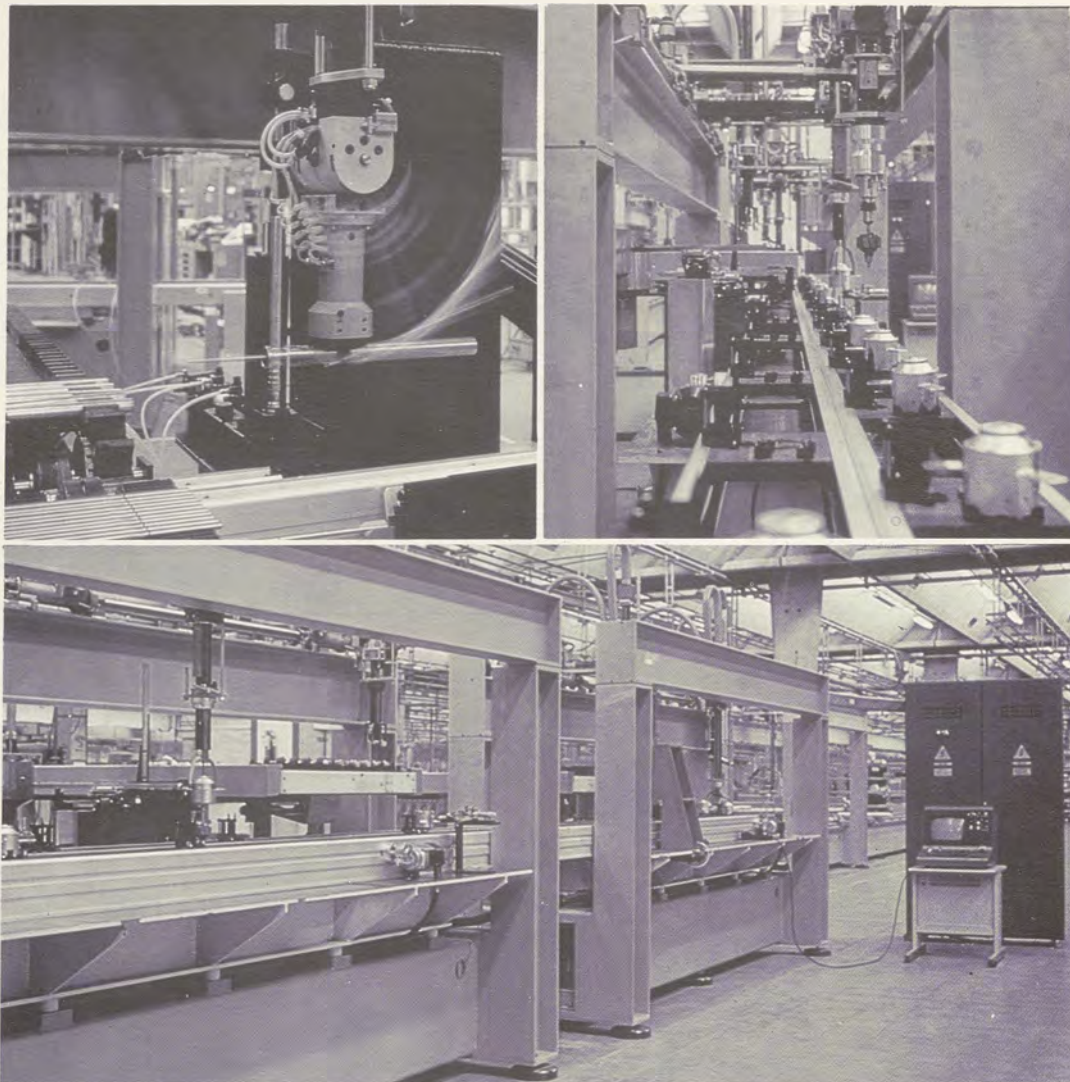
PER
15
3059

INNOVAZIONE TECNOLOGICA
FABBRICA DEL FUTURO »

BIBLIOTECA DI INGEGNERIA

EDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE - GR. III/70 - MENSILE

SISTEMI DI MONTAGGIO OCN SERIE SIGMA



Anche in leasing con Olivetti Leasing S.p.A.

LE UNICHE COSE CHE NON POSSONO MONTARE SONO QUELLE GIA' MONTATE.

C'è chi li chiama robot intelligenti e chi li chiama sistemi di montaggio. Da soli o collegati tra loro per risolvere sempre nel modo migliore possibile il problema per cui è richiesto il loro intervento, questi prodotti OCN sono in realtà gli specialisti in montaggi più richiesti d'Europa. E natural-

mente si adattano a qualunque situazione produttiva: si inseriscono come isole intelligenti in fabbriche tradizionali o come affidabili unità in linee già automatizzate. Per dare a ciascuno la sicurezza di una elevata qualità, sempre perfettamente uguale a se stessa.

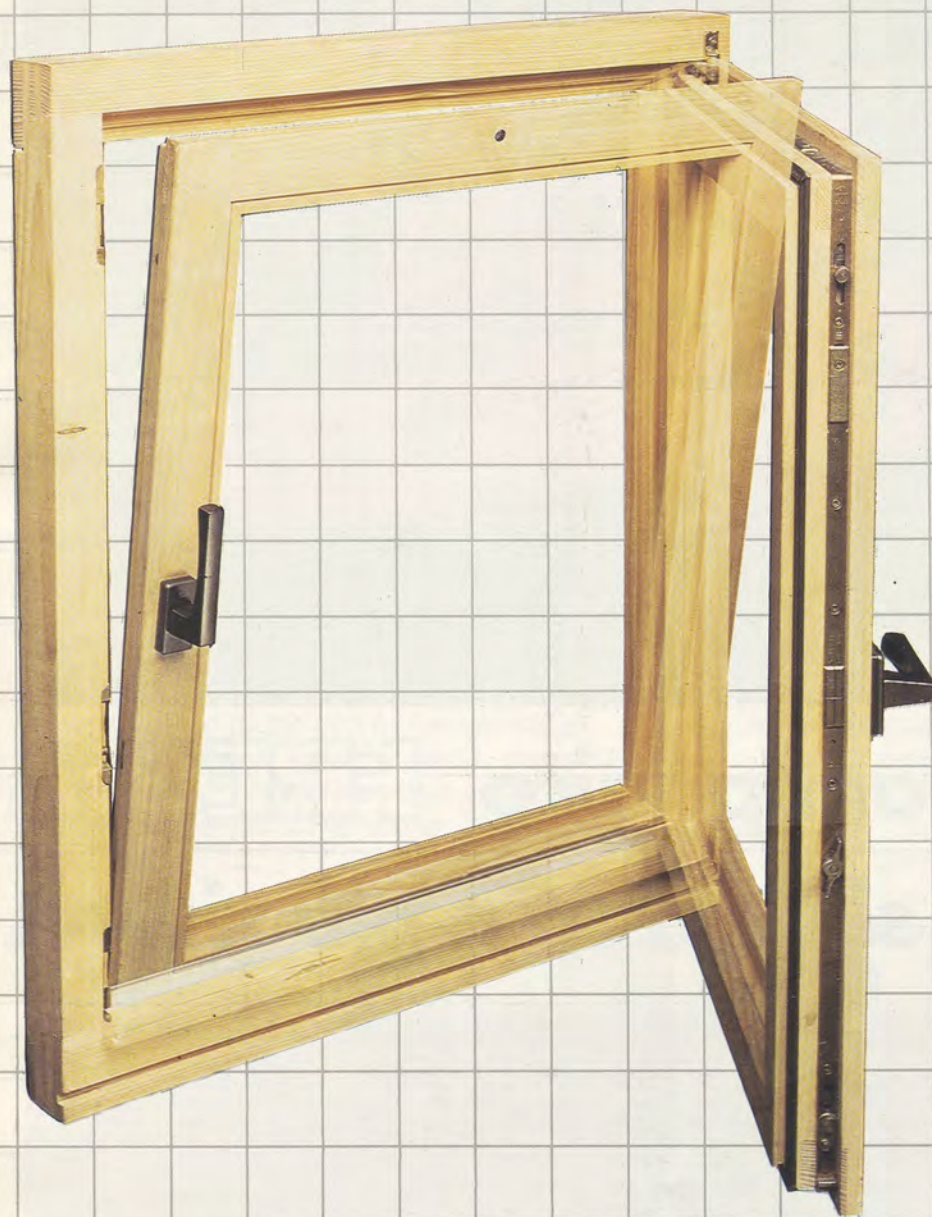
olivetti
OCN

L'AUTOMAZIONE DELLA TUA FABBRICA E' QUI

FRESIA

10152 TORINO VIA AOSTA 3 TEL. 850.828 - 850.891

15/3059



FRESIA

UNA
PRATICA
ECONOMICA
SOLUZIONE
ALLA
RICHIESTA
DI
SERRAMENTA
PARTICOLARE:
BILICO
ANTA RIBALTA
PORTA ALZANTE SCORREVOLE
PERSIANE.
MECCANISMI
NUOVI
SPECIALI
DI FACILE
MANOVRA



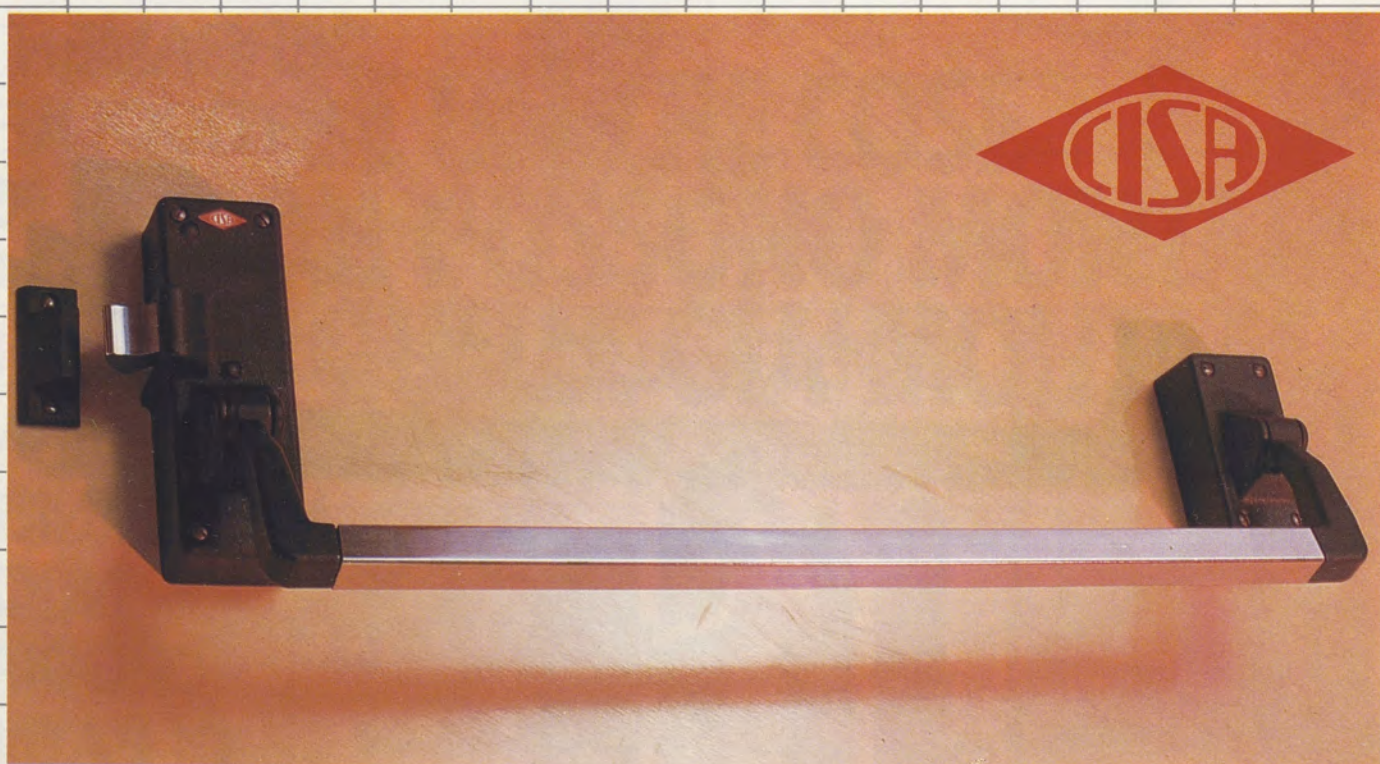
FRESIA

10152 TORINO · VIA AOSTA 3

TEL. 850.828 · 850.891



Maniglioni antipanico **FRESIA**
e l'uscita di sicurezza è più sicura.



Teksid. Tecnologia in metallurgia.

Al servizio dell'industria automobilistica mondiale.

Teksid è una dimensione leader

La sfida della competitività internazionale obbliga ad attuare scelte precise e puntuali. Teksid ha concentrato il suo impegno nella componentistica metallurgica per industrie automobilistiche, attestandosi in una posizione di primo piano con le sue attività di fonderie alluminio, fonderie ghisa, stampaggio, bulloneria e riaffermandosi quale azienda leader per dimensione, impianti, tecnologie.

Teksid è tecnologia in metallurgia

Nel settore della metallurgia, il ruolo della ricerca è sostanziale. Con un'esperienza di oltre 60 anni nella componentistica metallurgica, Teksid ha raggiunto una qualificazione che si esprime al massimo livello in alcune produzioni particolarmente sofisticate, quali la colata in conchiglia per la fabbricazione di getti in alluminio

di forme complesse, il processo di fabbricazione "in mold" per la produzione di getti in ghisa sferoidale, l'estrusione a freddo per produrre particolari in acciaio con più elevate caratteristiche meccaniche e geometriche.

Teksid è tecnologia in tutto il mondo

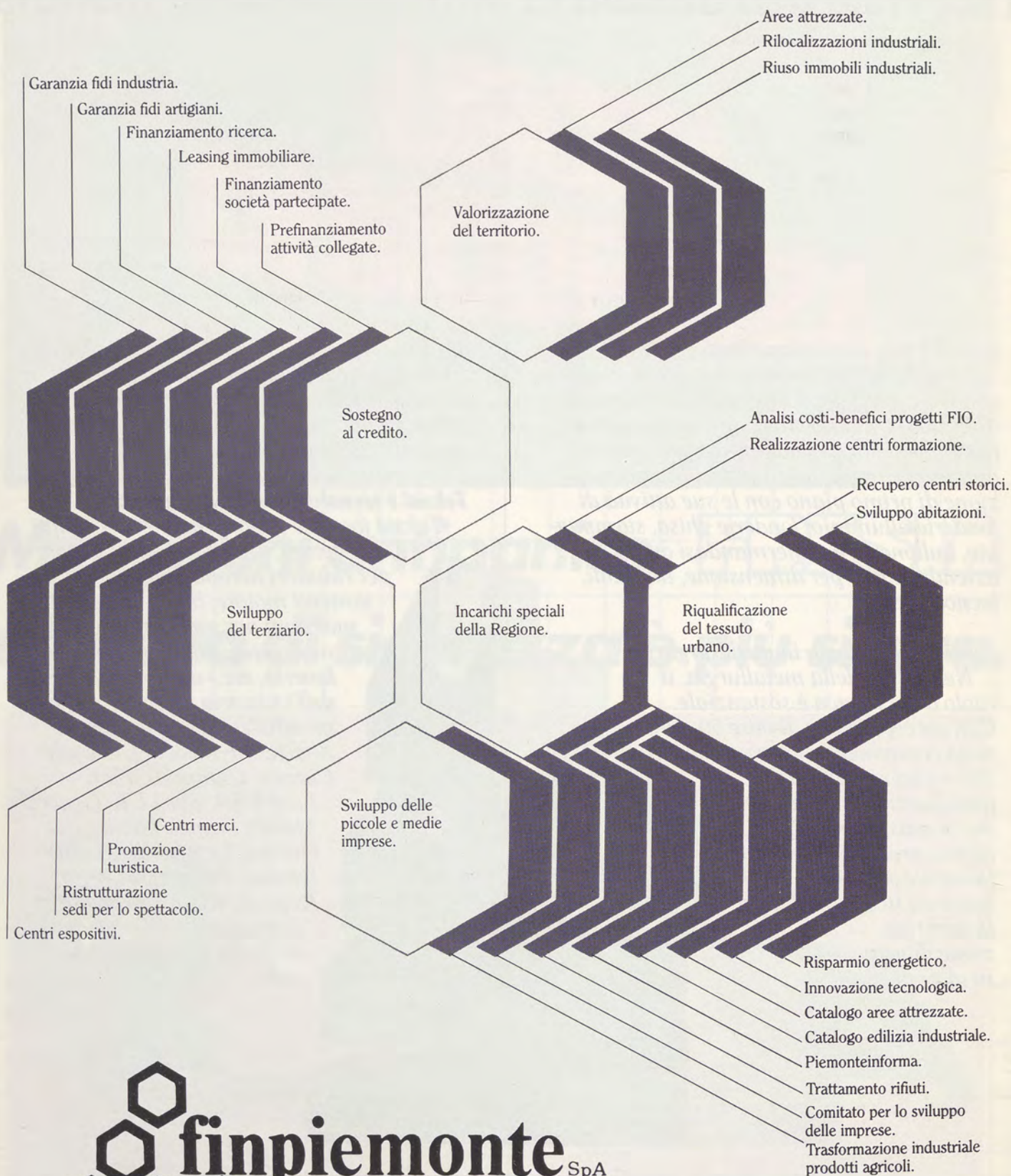
Teksid fornisce i suoi prodotti (teste cilindri, collettori, scatole cambio, scatole per riduttori aeronautici, alberi e basamenti motore, bielle, manicotti, montanti per sospensione, giunti omocinetici, alberi cambio, bulloneria, ecc.) a nomi prestigiosi dell'industria automobilistica mondiale: Aeritalia, Agusta, Alfa Romeo, Boeing, Chrysler, Citroën, Cummins, Fiat, Ford USA, Ford UK, General Motors France, Getrag, Girling, Lemforder, Lombardini, Peugeot, Piaggio, Renault, ecc. Nomi che sono la migliore conferma dell'alto livello tecnologico raggiunto dalla Teksid.



Teksid

Il Settore Prodotti Metallurgici del Gruppo Fiat.

Finpiemonte: uno strumento per lo sviluppo regionale.



finpiemonte SpA

Istituto Finanziario Regionale Piemontese
Capitale sociale L. 20 miliardi
Torino - Galleria San Federico 54



ISTITUTO PER LE RICERCHE
DI TECNOLOGIA MECCANICA
E PER L'AUTOMAZIONE

10080 Vico Canavese (To) - Italia
telefono 0125. 74362/63-74598

L'Istituto per le Ricerche di Tecnologia Meccanica e per l'Automazione — R.T.M. — è stato fondato nel 1965 dalle Società Fiat, Finmeccanica e Olivetti, ed ha sede in Vico Canavese, presso Ivrea. L'Istituto ha i seguenti scopi:

- ☐ **Ricerca scientifica e applicata alla meccanica delle macchine operatrici;**
- ☐ **Studio e ricerca di nuove tecnologie e di nuovi processi di lavorazione dei metalli;**
- ☐ **Assistenza ai Soci nella progettazione e nello sviluppo esecutivo di macchinario speciale;**
- ☐ **Progettazione di sistemi di produzione integrati e flessibili;**
- ☐ **Rilevazione e diagnostica nel campo delle vibrazioni e del rumore industriale.**

L'attività dell'Istituto non è limitata ai Soci Fondatori. Possono chiedere l'associazione, in qualità di Soci Aggregati, tutte le Aziende interessate ai problemi di ricerca e di innovazione nel campo delle tecnologie meccaniche.

Presso l'Istituto ha anche sede il 1° Centro Nazionale applicazioni meccaniche del Laser di Potenza dotato di una sorgente da 15 kW al fascio operante su 2 stazioni, di una sorgente di 2,5 kW, di due sorgenti di 500 W e una da 100 W.



ISVOR-FIAT spa

società di sviluppo e addestramento industriale

la nostra esperienza di formazione
e addestramento
maturata in anni di lavoro
nei diversi settori merceologici
di uno dei più prestigiosi gruppi industriali
è un patrimonio originale e unico

la nostra attività
rivolta sia ad aziende del Gruppo sia esterne
si articola su diversi programmi
progettati per rispondere
alle esigenze di formazione
e addestramento
che possono nascere
ai diversi livelli aziendali
dagli operai all'alta direzione

ISVOR-FIAT spa 10126 Torino - corso Dante 103 - tel. (011) 6504665-658686 - telex n. 211595

SISTEMI TELEFONICI A MISURA D'UTENTE



per: PICCOLE & MEDIE AZIENDE
INDUSTRIE
VILLE
OSPEDALI
BANCHE
PROFESSIONISTI

Telefonica Subalpina

DA 35 ANNI È CONSULENZA, PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE
CORSO DUCA DEGLI ABRUZZI 6 - TORINO - TEL. 535.000



La centrale del calore pulito.

Di casa in casa, Torino si riscalda a metano.

italgas Servizio
riscaldamento
non-stop.

Gruppo G

Prefabbricare. Tradurre in economia lo spazio e il tempo.



Unire la conoscenza della realtà e i suoi problemi operativi con la capacità di produrre soluzioni idonee al progettista e al costruttore.

La prefabbricazione può essere considerata la sintesi di questi due punti.

Manufatti prefabbricati in cemento armato normale e precompresso per costruzioni civili, industriali e rurali, scuole, ponti, ...



PREFABBRICATI PRECOMPRESSI VIBRATI IN C.A.

ING. PRUNOTTO S.p.A.

12060 GRINZANE CAVOUR (CN) - PIANA GALLO, 3



IMPRESA COSTRUZIONI

ING. PRUNOTTO S.p.A.

12060 GRINZANE CAVOUR (CN) - PIANA GALLO, 3

La ING. PRUNOTTO S.p.A. realizza e progetta tutto questo, traducendo in realtà pratica e razionale la scelta delle tecnologie più adatte alle esigenze del momento determinate fondamentalmente dall'esperienza.

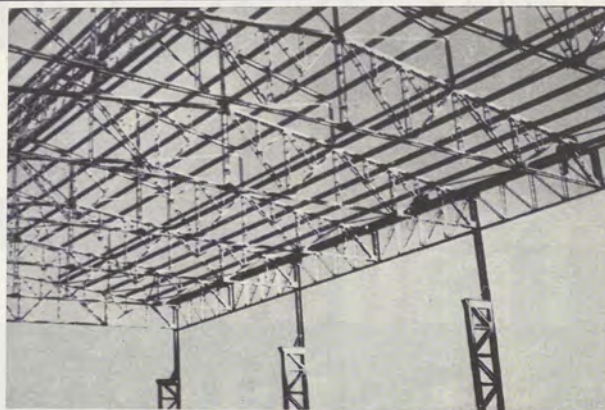
Ed è sempre l'esperienza, solitamente, la dote che mette in

grado un'impresa di fronteggiare rapidamente ed efficacemente i problemi più difficili ed imprevisti.

EDIFICI
CIVILI - INDUSTRIALI - AGRICOLI

ORTECO

**CARPENTERIA METALLICA
SCALE DI SICUREZZA**



Torino - c. M. D'Azeglio 78 - tel. 688792

LIBERTA' DI MUOVERSI.



E' la necessit  d'oggi.
Il Sanpaolo la soddisfa offrendo
servizi efficaci e moderni,
in risposta ad ogni esigenza
economica e finanziaria.

Il Sanpaolo   inoltre:
consulenza, analisi e ricerche
di mercato, revisione di
bilancio, leasing, factoring,
per operatori nazionali ed esteri.

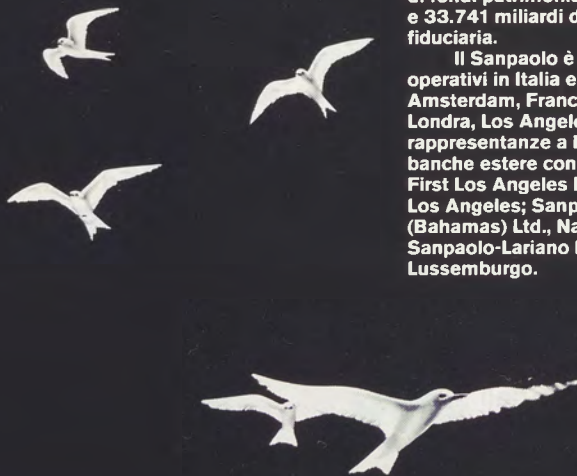
Il Sanpaolo   2.451 miliardi
di fondi patrimoniali e fondi rischi
e 33.741 miliardi di raccolta
fiduciaria.

Il Sanpaolo   352 punti
operativi in Italia e filiali ad
Amsterdam, Francoforte, Monaco,
Londra, Los Angeles e New York;
rappresentanze a Parigi e Zurigo;
banche estere consociate:
First Los Angeles Bank,
Los Angeles; Sanpaolo Bank
(Bahamas) Ltd., Nassau;
Sanpaolo-Lariano Bank S.A.,
Lussemburgo.

SANPAOLO

ISTITUTO BANCARIO
SAN PAOLO DI TORINO

La banca, sempre.



UFFICIO PUBBLICITA' E IMMAGINE

VI NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA

ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867

NUOVA SERIE - Anno XXXVIII - Numero 7-9 - LUGLIO-SETTEMBRE 1984

SOMMARIO

CONVEGNO SU «L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA E LA FABBRICA DEL FUTURO»

1ª GIORNATA: APERTURA DEI LAVORI

G. F. MICHELETTI - *L'automazione flessibile nella fabbrica del futuro*..... pag. 225

1ª GIORNATA - 1ª SESSIONE:

LA PRODUZIONE INTEGRATA E FLESSIBILE: TECNOLOGIE ASSISTITE DA COMPUTER (CAD-CAM)

A. R. MEO - <i>L'informatica nei diversi momenti del processo produttivo</i>	» 235
P. APPOGGETTI - <i>Automazione e flessibilità: la filosofia COMAU</i>	» 238
S. NAURELLI - <i>Sistemi di produzione ad integrazione graduale e riconfigurabili</i>	» 243
G. LEVIZZARI - <i>Sistemi di visione in applicazioni di automazione industriale</i>	» 246
A. PUGLISI - <i>Nuove esperienze della robotica COMAU</i>	» 249
I. DEL GAUDIO - <i>Sistemi flessibili integrati di montaggio e collaudo</i>	» 254
G. MINUCCIANI, C. ACCOMAZZO, M. ERCOLE - <i>Il robot per la misura integrata in linea</i>	» 258
M. GIOVANNONE - <i>Controlli automatici dimensionali mediante robot di misura su linee di produzione flessibili o comunque in sistemi con caricamento automatico</i>	» 261
F. CIACCIA - <i>Linea robotizzata per montaggio testa cilindri</i>	» 266
P. A. LUMINARI - <i>Rappresentazione della fabbrica del futuro mediante modelli di funzioni e dati</i>	» 268
M. CASU - <i>Una tecnica di simulazione per sistemi flessibili di produzione</i>	» 269
S. GALLO - <i>L'innovazione tecnologica e la fonderia del futuro</i>	» 273
P. CIGNA, F. CIAFFI - <i>Un caso di integrazione di FMS nell'organizzazione dell'officina</i>	» 276

2ª GIORNATA - 2ª SESSIONE:

L'ECONOMIA E L'INTRODUZIONE DEL CAD-CAM

S. RICOSSA - <i>L'innovazione tecnologica e la fabbrica del futuro: considerazioni di un economista</i>	» 283
G. M. GROS-PIETRO - <i>Le possibili strategie di sviluppo del mercato dell'automazione flessibile, da parte delle imprese costruttrici di macchine utensili</i>	» 285
G. DELLISANTI - <i>Studi e previsione di marketing dei mezzi di produzione di fronte agli FMS</i>	» 289
G. RICCIARDI, M. MANIERI, A. DAPIRAN - <i>Valutazione del costo della flessibilità negli FMS</i>	» 291
E. DEGLI ESPOSTI - <i>Fattori base per l'«availability» dei sistemi flessibili di produzione</i>	» 296
<i>Fattori finanziari e innovazione: nuove forme di finanziamento, investimenti, agevolazioni</i>	» 299

2ª GIORNATA - 3ª SESSIONE:

L'ASPETTO UMANO E LA FABBRICA DEL FUTURO

A. DINA - *Automazione flessibile: cambiamenti nei processi produttivi e cambiamenti nel lavoro* » 303 |

2ª GIORNATA - 4ª SESSIONE:

LA PRODUZIONE INTEGRATA E FLESSIBILE. ASPETTI TECNOLOGICI, ECONOMICI, UMANI - TAVOLA ROTONDA

G. F. MICHELETTI, F. SARTORIO, L. GALLINO, G. PICCHETTO, M. PACINI, M. VITARI, G. CARAVITA, R. GABETTI, G. F. MICHELETTI » 309 |

Per un errore tipografico nei fascicoli numeri 3-5 e 6 sono stati riportati i nominativi di Direzione e Comitato di Redazione in carica nel triennio 1981-83 anziché quelli dei Soci in carica dal 1984.

Direttore: Gian Federico Micheletti.

Vice Direttore: Roberto Gabetti.

Redattore capo: Elena Tamagno.

Comitato di redazione: Bruno Astori, Maria Grazia Cerri, Vera Comoli Mandracci, Mario Daprà, Cristiana Lombardi Sertorio, Mario Picco, Giorgio Rosental.

Comitato di amministrazione:

Presidente: Giuseppe Fulcheri.

Segretario: Francesco Barrera.

Tesoriere: Giorgio Rosental.

Membri: Lorenzo Brezzi, Marco Filippi, Cristiana Lombardi Sertorio, Mario Federico Roggero, Francesco Sibilla.

ISSN 0004-7287

Periodico inviato gratuitamente ai Soci della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino.

NELLO SCRIVERE AGLI INSERZIONISTI CITARE QUESTA RIVISTA VII

ONDULINE SOTTOCOPPO: PER L'ETERNITÀ DEL TETTO

Le coperture in coppi sono bellissime ed insostituibili. I coppi hanno sempre sfidato il tempo. Ora, con Onduline Sottocoppo, i coppi possono sfidare l'eternità.

Tutte le coperture in coppi, vecchie e nuove, divengono perfette ed eterne con l'impiego di Onduline Sottocoppo. Infatti lo speciale profilo ondulato di Onduline è stato studiato per dare stabilità, impermeabilità, isolamento termico e lunga durata alle coperture in coppi.

La lunga durata dei coppi dipende anche dalla giusta posizione della loro faccia inferiore che deve avere una buona traspirazione attraverso una giusta ventilazione. Orbene, Onduline è l'unico materiale che consente la perfetta «microventilazione» e quindi la durata eterna.

Ogni anno, solamente in Italia, si realizzano oltre 40.000 tetti con Onduline Sottocoppo, sia per le nuove costruzioni sia per il restauro delle vecchie. I progettisti ed i costruttori conoscono bene gli enormi vantaggi offerti da Onduline Sottocoppo. I progettisti, che prescrivono Onduline, eliminano le spese di manutenzione per i loro clienti. I costruttori migliorano la qualità delle loro opere, aumentano la celerità di esecuzione ed eliminano ogni fastidio futuro.

I proprietari degli immobili divengono proprietari delle qualità Onduline e, oltretutto, in inverno come in estate, guadagnano fino a 4° di scarto termico. Infatti Onduline Sottocoppo è anche un eccellente isolante ($K = 0,08$, come il sughero).

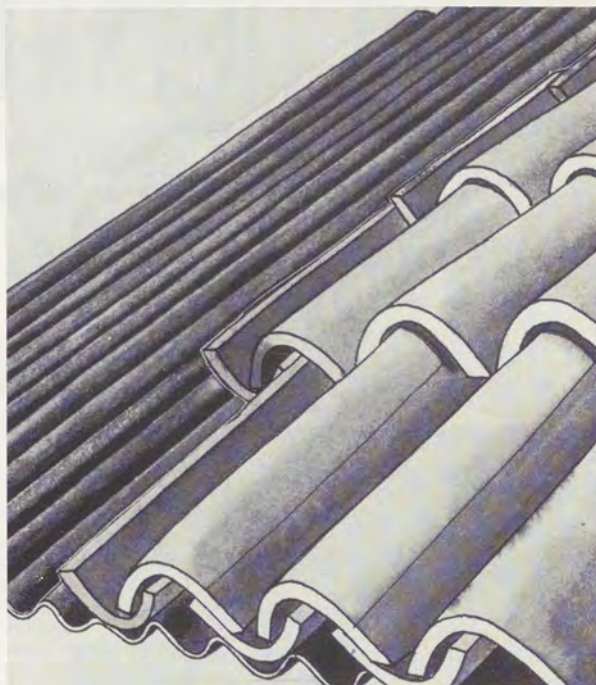
Nel rinnovo dei vecchi tetti si possono riutilizzare le vecchie strutture ed i vecchi coppi. Il risparmio è enorme. Infatti Onduline Sottocoppo è elastico per seguire le superfici deformate ed è impermeabile per impedire le infiltrazioni di acqua.

L'uso preventivo di Onduline Sottocoppo impedisce il rinnovo futuro dei tetti esistenti. Le lastre Onduline Sottocoppo (cm 200×95 ; peso = 5,5 kg) si inseriscono facilmente (e con poca spesa) tra il sottofondo ed i coppi. Infatti le lastre si collocano man mano che si rimuovono i coppi.

Onduline Sottocoppo offre i vantaggi della sua semplicità.

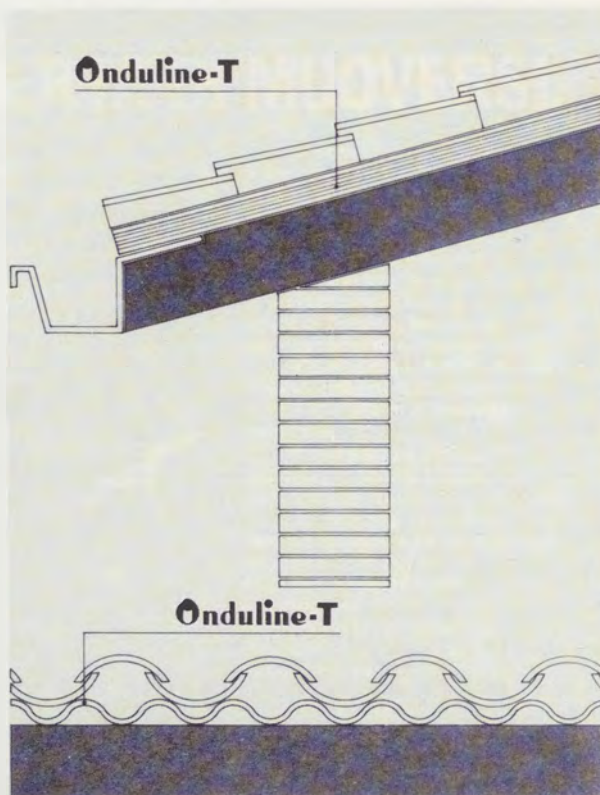


La lastra fibrobituminosa ONDULINE per qualsiasi copertura e rivestimento è lunga 2 m e larga 90 cm. È molto leggera e maneggevole e può essere fornita nei colori grigio ardesia, grigio antracite, rosso provenzale e verde muschio.



La lastra ONDULINE T in posizione sottocoppo serve fundamentalmente per ottenere una copertura in coppi perfettamente impermeabile, lasciando inalterato il tradizionale aspetto estetico del tetto.

I vantaggi principali che si apprezzano con ONDULINE T sono: posizione stabile dei coppi; impermeabilità assoluta in ogni condizione atmosferica, elevato isolamento termico, esecuzione rapida su profilo ondulato, assenza di manutenzione.



Il modo d'impiego di ONDULINE T è davvero facile, la posa in opera per il sottocoppo è semplice ed economica. Basta operare secondo quest'ordine di esecuzione:

- posa di ONDULINE T sulla listellatura in legno (vecchia o nuova);
- fissaggio delle lastre con chiodi ONDULINE (testa P.V.C.) $8 \div 10$ per lastra;
- posa dei coppi sul profilo ondulato di ONDULINE T.

FRESIA

VIA SOSPELLO, 199 - 10147 TORINO

TEL. 297.107 - 299.895

RECINZIONI IN ALLUMINIO

**NON RICHIEDONO
MANUTENZIONE
O VERNICIATURA, SONO
ECONOMICHE E DI RAPIDA
INSTALLAZIONE
INALTERABILI NEL TEMPO,
ED ESTETICAMENTE
"BELLISSIME"!**



ALLUMINIO ANODIZZATO LEGA 6060T5 CON ANODIZZAZIONE GARANTITA 15 MICRON PER:

PORTE, PORTONCINI,
FINESTRE,
CONTROFINESTRE
SCORREVOLI,
PARETI MOBILI,
BALCONI, RECINZIONI,
VERANDE FISSE E MOBILI,
ZANZARIERE,
PANNELLI DECORATIVI
A DOPPIO VETRO
ANTISFONDAMENTO,
TAPPARELLE IN
ALLUMINIO VERNICIATO

NUOVI BALCONI IN ALLUMINIO ANODIZZATO VERNICIATO A PIU' COLORI



PORTA IN ALLUMINIO VERNICIATO BIANCO



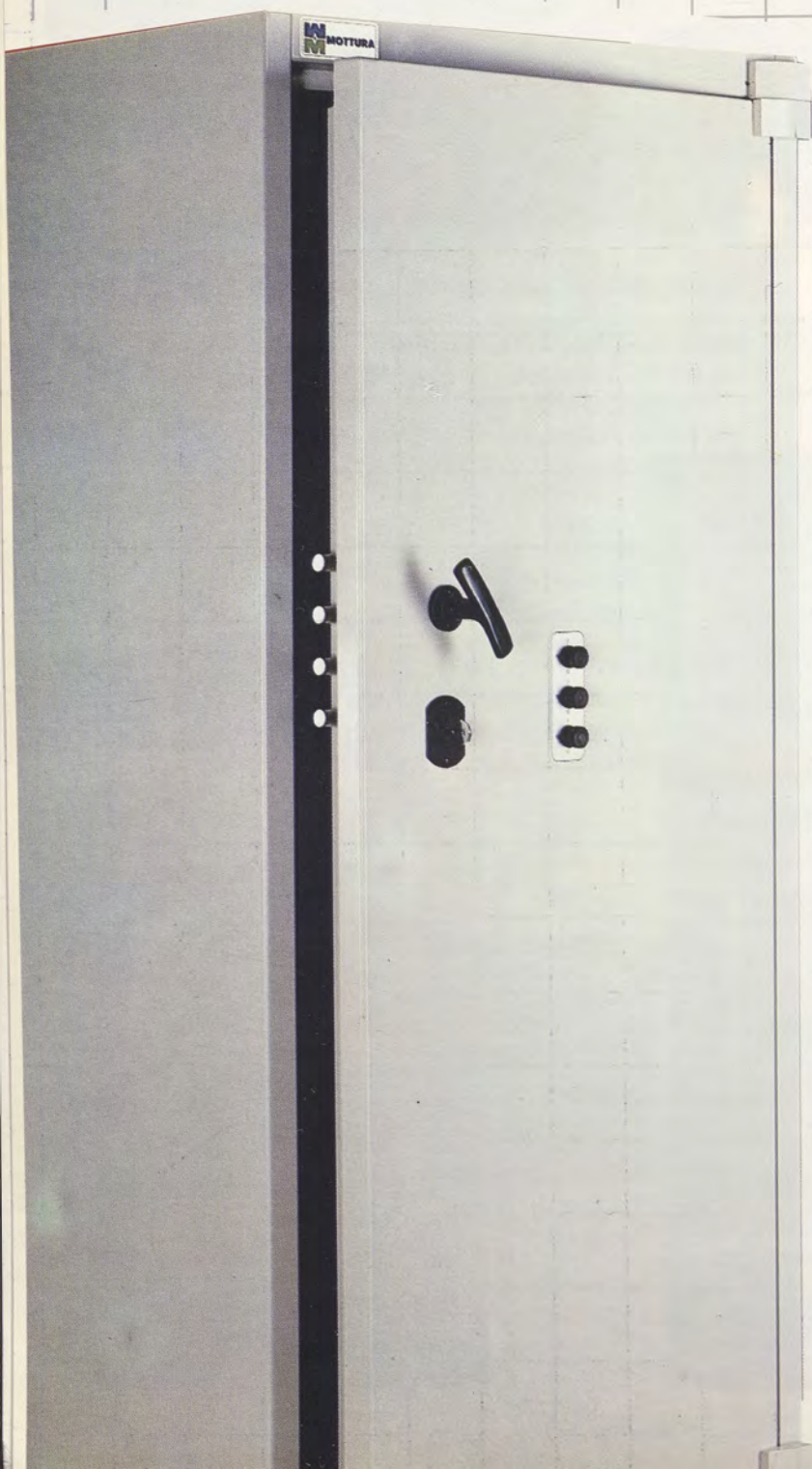
FRESIA

10152 TORINO · VIA AOSTA 3 TEL. 850.828 · 850.891

**ARMADI CORAZZATI DI ALTISSIMA
SICUREZZA** per Voi, i Vostri amici,
i Vostri clienti, per i Vostri progetti,
le pratiche piu' importanti, le cose di valore ...



**PRATICI,
INATTACCABILI,
SICURI,
COIBENTATI,
DI FACILE TRASPORTO,
PERCHE' GLI UNICI
AD ESSERE SMONTABILI.**



specialisti in sicurezza

CONVEGNO SU

L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA

E LA FABBRICA DEL FUTURO

POLITECNICO DI TORINO
6-8 GIUGNO 1984

INDICE

CONVEGNO SU «L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA E LA FABBRICA DEL FUTURO»

1ª GIORNATA: APERTURA DEI LAVORI

G. F. MICHELETTI - <i>L'automazione flessibile nella fabbrica del futuro</i>	pag. 225
--	----------

1ª GIORNATA - 1ª SESSIONE:

LA PRODUZIONE INTEGRATA E FLESSIBILE: TECNOLOGIE ASSISTITE DA COMPUTER (CAD-CAM)

A. R. MEO - <i>L'informatica nei diversi momenti del processo produttivo</i>	» 235
P. APPOGGETTI - <i>Automazione e flessibilità: la filosofia COMAU</i>	» 238
S. NAURELLI - <i>Sistemi di produzione ad integrazione graduale e riconfigurabili</i>	» 243
G. LEVIZZARI - <i>Sistemi di visione in applicazioni di automazione industriale</i>	» 246
A. PUGLISI - <i>Nuove esperienze della robotica COMAU</i>	» 249
I. DEL GAUDIO - <i>Sistemi flessibili integrati di montaggio e collaudo</i>	» 254
G. MINUCCIANI, C. ACCOMAZZO, M. ERCOLE - <i>Il robot per la misura integrata in linea</i> ..	» 258
M. GIOVANNONE - <i>Controlli automatici dimensionali mediante robot di misura su linee di produzione flessibili o comunque in sistemi con caricamento automatico</i>	» 261
F. CIACCIA - <i>Linea robotizzata per montaggio testa cilindri</i>	» 266
P. A. LUMINARI - <i>Rappresentazione della fabbrica del futuro mediante modelli di funzioni e dati</i>	» 268
M. CASU - <i>Una tecnica di simulazione per sistemi flessibili di produzione</i>	» 269
S. GALLO - <i>L'innovazione tecnologica e la fonderia del futuro</i>	» 273
P. CIGNA, F. CIAFFI - <i>Un caso di integrazione di FMS nell'organizzazione dell'officina</i> ..	» 276

2ª GIORNATA - 2ª SESSIONE:

L'ECONOMIA E L'INTRODUZIONE DEL CAD-CAM

S. RICOSSA - <i>L'innovazione tecnologica e la fabbrica del futuro: considerazioni di un economista</i>	» 283
G. M. GROS-PIETRO - <i>Le possibili strategie di sviluppo del mercato dell'automazione flessibile, da parte delle imprese costruttrici di macchine utensili</i>	» 285
G. DELLISANTI - <i>Studi e previsione di marketing dei mezzi di produzione di fronte agli FMS</i>	» 289
G. RICCIARDI, M. MANIERI, A. DAPIRAN - <i>Valutazione del costo della flessibilità negli FMS</i>	» 291
E. DEGLI ESPOSTI - <i>Fattori base per l'«availability» dei sistemi flessibili di produzione</i> ..	» 296
<i>Fattori finanziari e innovazione: nuove forme di finanziamento, investimenti, agevolazioni.</i> ..	» 299

2ª GIORNATA - 3ª SESSIONE:

L'ASPETTO UMANO E LA FABBRICA DEL FUTURO

A. DINA - <i>Automazione flessibile: cambiamenti nei processi produttivi e cambiamenti nel lavoro</i>	» 303
---	-------

2ª GIORNATA - 4ª SESSIONE:

LA PRODUZIONE INTEGRATA E FLESSIBILE. ASPETTI TECNOLOGICI, ECONOMICI, UMANI - TAVOLA ROTONDA

G. F. MICHELETTI, F. SARTORIO, L. GALLINO, G. PICHETTO, M. PACINI, M. VITARI, G. CARAVITA, R. GABETTI, G. F. MICHELETTI	» 309
--	-------

Ha collaborato alla redazione di questo fascicolo la dottoressa Cristina Marchiaro, che ha in particolare curato la raccolta del materiale.

1ª GIORNATA

6 giugno 1984

APERTURA DEI LAVORI

L'automazione flessibile nella fabbrica del futuro

Gian Federico MICHELETTI (*)

Le innovazioni tecnologiche forniscono punti definiti di appoggio alle linee di sviluppo tecnologico, riferito ai prodotti ed ai mezzi di produzione.

Lo scopo del Convegno è in particolare finalizzato sui mezzi di produzione e, in linea più generale, metodi e filosofie produttive, che sono penetrati nella fabbrica — già oggi — configurando le prospettive di sviluppo della fabbrica di domani.

Le esigenze nuove, cui la produzione deve assolvere per dare risposte a mercati diversi, con richieste diverse, hanno imposto tali nuove « filosofie ». Mercati instabili, che assorbono prodotti a vita e quantità variabili, con tendenza alla diminuzione, provocano una « crisi » dei metodi di produzione di massa, che pure segnarono il più significativo sviluppo della rivoluzione industriale, consentendo di risolvere in modo economico i problemi dell'uniformità: grandissime quantità di prodotti eguali.

L'automazione flessibile, che si presenta con, e mediante, i sistemi integrati e flessibili di produzione, consente, ricorrendo a tecnologie nuove e con il loro ausilio, la messa a punto di soluzioni economiche, per produzioni diversificate (figure 1 e 2).

È noto che lo spettro di frequenza di produzione per particolari meccanici indica al 75% la quantità di lotti inferiori a 50 pezzi, con tempi di utilizzazione delle macchine fra il 15... 40%, e con energia utilizzata al 50% della potenza installata. In questa contrapposizione è da ravvisare l'incidenza dei sistemi ad automazione flessibile i quali consentono, con la loro introduzione, di considerare « chiusa » la fase della produzione di massa da un lato, e delle produzioni per lotti con macchine specializzate e molta manualità dall'altro, e l'avvio di una tecnologia, che si ispira a concezioni molto diverse ed a mezzi produttivi integrati fra loro, gestiti dal computer.

Il concetto di automaticità resta alla base, ma con possibilità di produzioni individualizzate, affinché possa essere affrontata e sostenuta, da parte dei Paesi tecnologicamente avanzati, la concorrenza sia degli Stati ad economia controllata, sia di quelli emergenti, specialmente su prodotti a basso contenuto tecnologico. Di qui, l'attenzione per una automazione più accentuata, non solo nelle lavorazioni di grande serie, ma di serie medie, con incrementi nella velocità di produzione e maggiori imposizioni nei controlli della qualità. Siffatti traguardi possono essere raggiunti, soltanto ottenendo risposte di massima flessibilità da parte del mezzo strumentale, cui

si chiedono prestazioni tecnologicamente più complesse, con contenuti tecnologico-innovativi più elevati.

La consistente riduzione nei costi della elettronica e della informatica hanno favorito, per questi settori, condizioni di uso e di diffusione, validissime anche dal punto di vista economico.

Vengono ora delineati gli elementi di base che, da parte di relatori, studiosi, progettisti, costruttori dei sistemi integrati flessibili, troveranno interpretazioni diverse, con soluzioni diverse, verso direttive che è comune intento riuscire ad identificare, dovendo « disegnare » lo sviluppo tecnologico per la fabbrica del futuro.

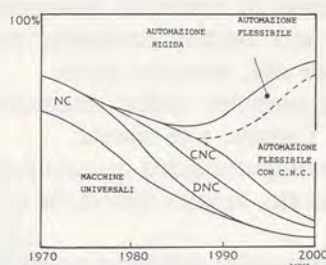


Fig. 1 - Proiezioni sul mix di sistemi produttivi.

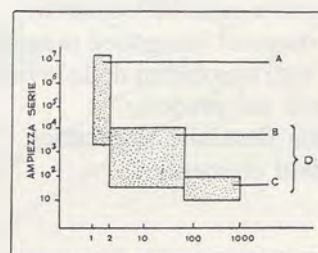


Fig. 2 - Zona di convenienza di utilizzo di macchine transfer, macchine a controllo numerico e sistemi flessibili: A) macchina transfer; B) officina flessibile; C) macchine utensili a controllo numerico; D) 70% dei pezzi fabbricati.

LE TECNOLOGIE DEGLI FMS

Molte sono le soluzioni proposte per « sistemi flessibili di produzione » o FMS (flexible manufacturing systems), quale:

— sistema per lavorazione, controllo e/o montaggio, che utilizza mezzi distribuiti di elaborazione dell'informazione, con manipolazione automatica dei materiali. Il sistema comprende: sottosistemi operativi con centri di lavorazione; cellule di montaggio; robot; macchine di misura; sottosistemi di

(*) Ingegnere, presidente della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, professore ordinario, Politecnico di Torino.

manipolazione e trasporto dei materiali; utensili; magazzinaggio, gestiti in modo integrato da computer.

Sostanzialmente i sistemi flessibili di produzione, altrimenti indicati come automazione flessibile, si fondano sui seguenti concetti:

- *integrazione* fra i vari sistemi, costituenti isole di automazione: centri di lavorazione, trasportatori-manipolatori; robot; macchine di montaggio e di misura;
- *computerizzazione*: il sistema informativo è controllato da computer su schemi gerarchici; i dati raggiungono le destinazioni in tempo reale;
- *flessibilità*: intesa quale capacità del sistema ad adattarsi a situazioni mutevoli, sia nei confronti del prodotto, sia relativamente all'attuazione dei cicli di lavorazione.

In aggiunta ad uno *hardware meccanico*, costituito dai componenti, quali stazioni di lavoro, montaggio, collaudo, sottosistema trasporti-manipolazione, magazzini e uno *hardware elettronico* costituito dal sistema di controllo (computer, mini-microcomputer e/o microprocessori), sono presenti quali *computer aid*, tecniche quali:

CAE (computer aided engineering) per la simulazione, l'analisi e la sintesi;

CAD (computer aided design) per la progettazione del prodotto, layout, specifiche di produzione, costi;

CAT (computer aided testing) per scelte, registrazioni, analisi;

CAPP (computer aided production planning) per i programmi di produzione, normative, controllo della produzione e relative istruzioni;

CIM (computer integrated manufacturing) per la gestione di tutti i problemi delle lavorazioni, montaggi e controlli del prodotto.

Nel sistema flessibile si produce l'integrazione di tutti i suddetti elementi.

I COMPONENTI DEGLI FMS

Ai sistemi flessibili di produzione si è giunti attraverso passaggi successivi:

— *modulo-base*, formato da un centro di lavorazione a CN, un alimentatore ed un robot per carico/scarico, integrati fra loro, in sostituzione dell'operatore (figure 3a, b₁, b₂);

— *cellula di produzione* (FMC), costituita da due o più centri di lavorazione, montaggio e/o collaudo, con robot per carico/scarico e trasferimento pezzi fra le stazioni (figure 3c/d);

— *sistema integrato flessibile di produzione* (FMS), con diversi centri di lavorazione, montaggio e/o controllo, integrati con i mezzi di movimentazione e magazzinaggio mediante pallet e tramite controllo centralizzato con computer (figura 3e; le figure 4 e 5 illustrano sistemi flessibili di lavorazione

integrati con sottosistemi di trasporto e magazzini; la figura 6 riporta un sistema flessibile di montaggio);

— *fabbrica automatica* (FA), flessibile, integrata con computer (CADMAT) e con Office Automation.

I risultati, in misura diversa, ottenuti a questi vari livelli di integrazione, sono:

- aumento della percentuale del tempo dedicata alla produzione effettiva;
- riduzione dei tempi di attesa fra operazioni;
- indipendenza fra le ore lavorate dalla macchina e gli orari della manodopera (terzo turno);

inoltre:

- utilizzazione ottimale delle attrezzature;
- bassa quantità di manodopera per piccoli lotti;
- livelli minimi d'inventario;
- tempi più brevi di attraversamento (throughput);
- ripetibilità dei prodotti;
- risposta più rapida per variazioni di produzione.

I componenti dei sistemi flessibili di produzione sono:

Stazioni operative

Stazioni di lavoro

Sono, in genere, machining centres (a 3... 5 assi), abilitati a ricevere segnali di comando secondo DNC, per il collegamento con gli altri elementi del

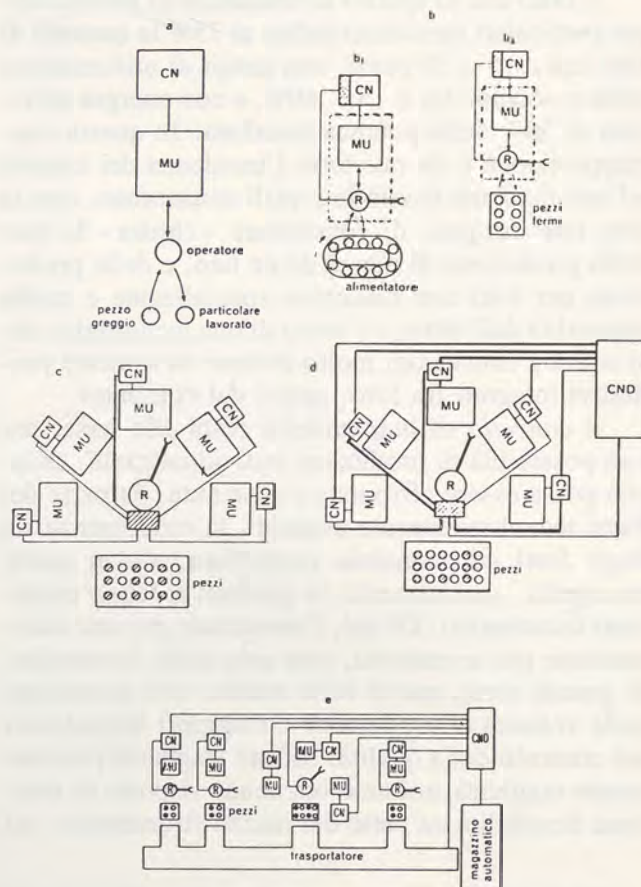


Fig. 3.

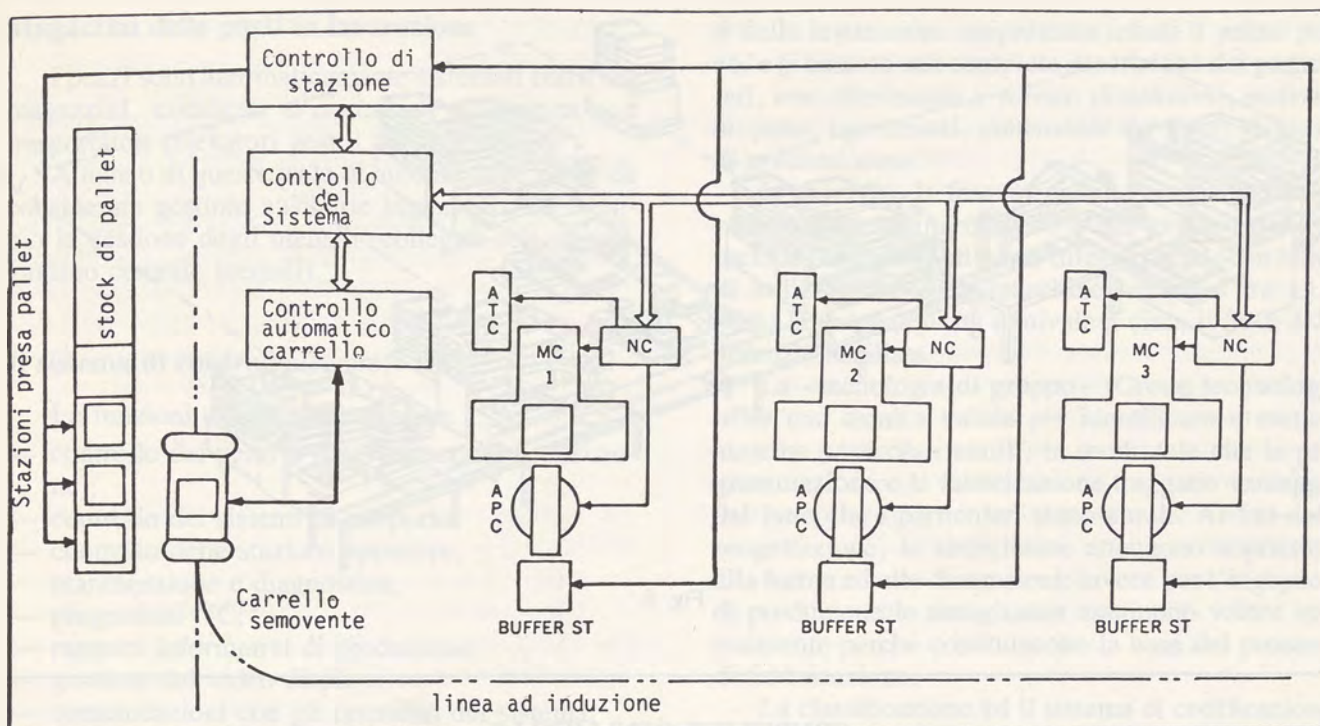


Fig. 4.

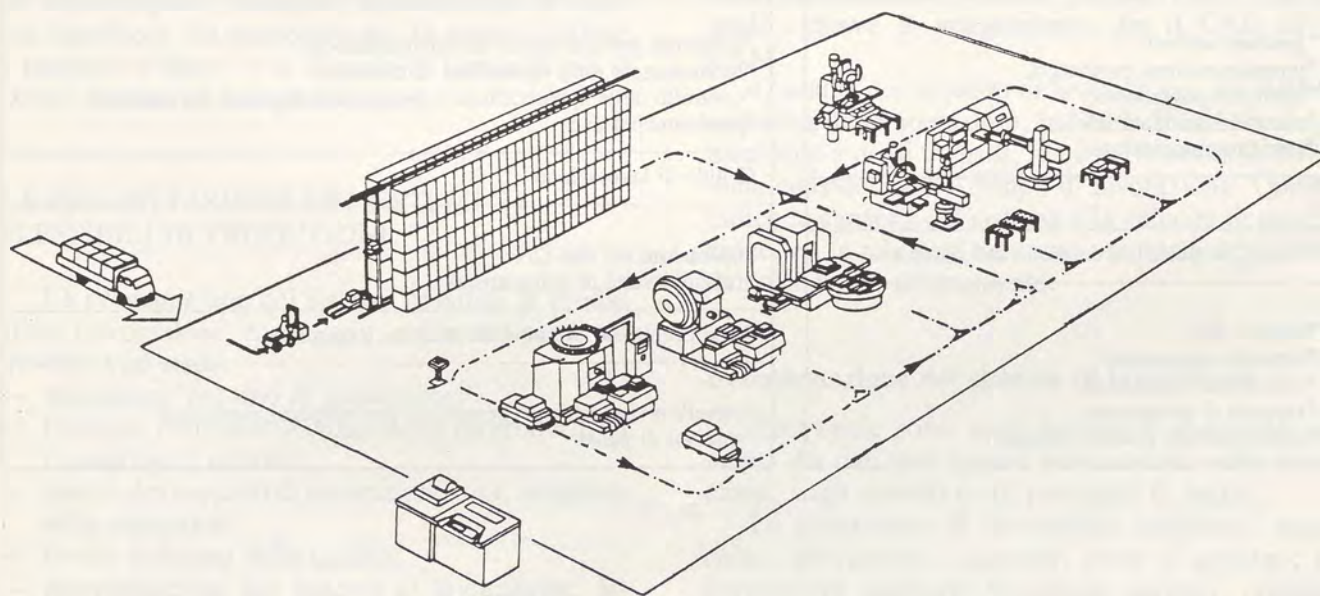


Fig. 5.

sistema; hanno dispositivi automatici di carico e scarico del pezzo (shuttle), nonché di scelta e cambio automatico degli utensili. È richiesta una buona flessibilità per lavorare pezzi diversi, entro una gamma ampia con grande varietà di utensili; devono pertanto essere caratterizzati da elevato rendimento.

Stazioni di montaggio

In genere, sono in grado di eseguire operazioni di montaggio di sottogruppi, con caricatori-alimentatori dei pezzi, con robot, ecc.

Stazioni di collaudo

Devono controllare la validità delle operazioni compiute nelle stazioni precedenti, ed assicurare la qualità; possono essere dotate di macchine di misura, o robot di misura.

Sistemi di trasporto (figure 4 e 5)

I sistemi di trasporto, utilizzati, sono sovente compatibili con pallet a supporto di attrezzature per il fissaggio dei pezzi.

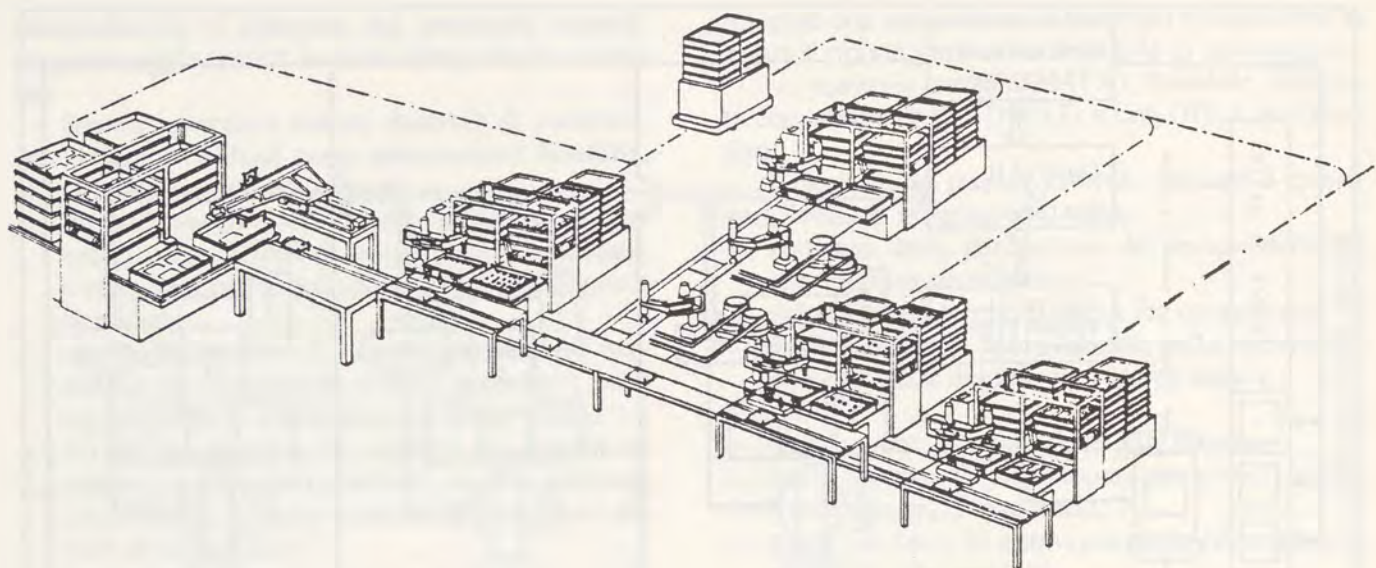


Fig. 6.

COMPITI PER OGNI LIVELLO	
Computer per gestione di stabilimento	Computer per controllo movimentazione pezzi
*gestione archivi *programmazione produttiva *controllo del processo *controllo dei materiali *auto programmazione	*istruzioni per operazioni di movimentazione *monitoraggio delle operazioni di trasporto *controllo delle apparecchiature per movimentazione dei materiali *trasferimento dati
	Cellule di lavorazione
Computer per controllo del sistema	*operazioni sui dati CN *funzioni varie di automatismi
*archivi dati *controllo operazioni *rilievo dati operazioni *rapporti di produzione *condizioni del sistema (display)	Apparecchiature per movimentazione e trasporti
	*carrelli o convogliatori semoventi per trasporto particolari *stazioni di pallet

Fig. 7.

Tra i mezzi usati, rientrano:

- AGV, automated guided vehicle (carrelli semoventi comandati dal computer, nella scelta del percorso);
- caroselli (magazzini-buffer di pezzi, in prossimità delle stazioni di lavoro);
- monorotaie (offrono buone possibilità di controllo individuale dei pezzi trasportati);
- carrelli;
- shuttle;
- robot mobili.

La capacità di trasporto (carico, velocità) e la precisione, sono elementi di scelta, caso per caso.

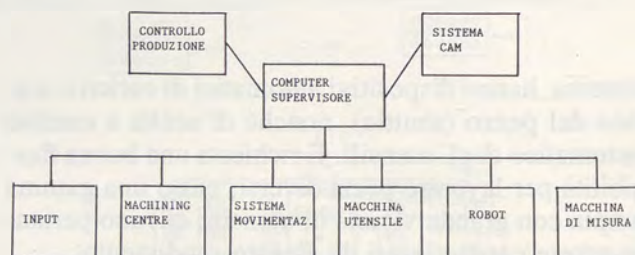


Fig. 8 - Gerarchia di computers e problemi di software per FMS.

Il software per le singole componenti è disponibile, il problema è nella interfaccia e comunicazioni: postprocessore - trasmissione dati - feed back.

Magazzini delle parti in lavorazione

I pezzi sono automaticamente sistemati entro tali magazzini, codificati e ripresi all'occorrenza con trasportatori (elevatori gestiti da computer).

A fianco di queste isole di automazione, sono da considerare gestioni ausiliarie importanti: ad esempio la gestione degli utensili (collegati con un magazzino centrale utensili).

Il sistema di controllo (figure 7 e 8)

Le funzioni di tale sistema sono:

- controllo dei pezzi e delle attrezzature (posizione);
- controllo dei sistemi di trasporto;
- controllo delle stazioni operative;
- manutenzione e diagnostica;
- programmi NC;
- rapporti informativi di produzione;
- gestione dei video displays;
- comunicazioni con gli operatori del sistema;
- raccolta delle informazioni per la programmazione delle produzioni.

Il sistema di controllo include software, hardware, minicomputer, memorie, alimentazione di energia, interfacce. Le memorie sono, in genere, del tipo a tamburo o disco, e si dispone di terminali per il lavoro interattivo con gli operatori.

LA PROGETTAZIONE DEI SISTEMI FLESSIBILI DI PRODUZIONE

La progettazione dei sistemi flessibili di produzione (lavorazione, montaggio, collaudo) passa attraverso vari stadi:

- definizione del tipo di produzione;
- tipologia delle parti e componenti da produrre ed i quantitativi previsti;
- analisi dei requisiti di lavorazione: tipi, sequenze delle operazioni;
- livello richiesto della qualità;
- determinazione del sistema di lavorazione: attrezzature, macchine, ecc.;
- determinazione del sistema di movimentazione;
- strutturazione gerarchica del sistema di controllo con computer;
- modellistica e simulazioni per la programmazione del sistema.

DEFINIZIONE DEL TIPO DI PRODUZIONE E TIPOLOGIA DELLE PARTI

La tipologia delle parti che devono essere prodotte costituisce oggetto di indagine preliminare. L'analisi dello « spettro dei pezzi » e di tutti i requisiti

ti della lavorazione rappresenta infatti il primo passo, e si basa su una completa descrizione dei particolari, con riferimento a: *forma, dimensioni, materiale, peso, operazioni, dimensioni del lotto, richiesta di prodotti/anno*.

In generale, la frequenza dello spettro dei particolari indica che circa il 75% del numero dei lotti include un numero di pezzi inferiori a 50, con tempi di utilizzazione delle macchine compresi fra 15... 40%; la potenza usata equivale a circa il 50% della potenza installata.

La « tecnologia di gruppo » (Group technology) offre una tecnica valida per identificare e mettere assieme particolari simili, in modo tale che la programmazione e la fabbricazione traggano vantaggio dal fatto che i particolari siano simili. Ai fini della progettazione, le simiglianze attengono soprattutto alla forma ed alle dimensioni; invece per l'ingegnere di produzione le simiglianze assumono valore specialmente perché costituiscono la base del processo di fabbricazione.

La classificazione ed il sistema di codificazione, raggruppando le parti per caratteristiche tecnologiche, vengono a costituire un importante « utensile » di comunicazione, che include sia la progettazione, sia la fabbricazione; possono pertanto essere assunti quali « chiave di integrazione » fra il CAD ed il CAM.

L'analisi dei requisiti di lavorazione, secondo la sequenza delle operazioni, indica le specifiche delle macchine e degli utensili; la quantificazione è effettuata considerando il tempo di lavorazione. Questo indica la capacità del sistema e la velocità di produzione, ed in tale fase rientrano i requisiti di qualità, da considerare attentamente.

Determinazione del sistema di lavorazione

Così come sono state definite le specifiche, la banca dei dati può fornire informazioni sulle macchine, sugli utensili e sui parametri di taglio.

Le attrezzature di lavorazione includono: *macchine, attrezzature, controlli, unità di governo*; le attrezzature ausiliarie includono: *utensili, portautensili, dispositivi di misura e di controllo*. (Le funzioni ausiliarie riguardano il lavaggio dei pezzi, fra l'altro, ed il loro controllo).

Determinazione del sistema di movimentazione dei materiali

Il sistema include il movimento dei pezzi, il flusso delle attrezzature ausiliarie per la fabbricazione, ecc.

Il *flusso dei pezzi* deve essere studiato con i mezzi di trasporto adeguati, con magazzini contenenti i particolari in corso di lavorazione e con dispositivi di carico/scarico.

Il *flusso delle attrezzature* ausiliarie include il trasporto e la messa in posizione di utensili, portautensili, attrezzature, controlli.

Il *flusso dei materiali* può essere organizzato con accesso seriale alle stazioni di lavoro, o con accesso random. La prima soluzione presenta una bassa flessibilità, mentre la seconda consente una flessibilità elevata.

Il *flusso degli utensili* random è una strategia che implica una necessità di preselezione individuale degli utensili, attraverso un sistema di magazzinaggio in prossimità della macchina. Quando il flusso degli utensili è completamente automatico e controllato da computer, il flusso dei pezzi può essere a propria volta automatizzato, ottimizzandolo anche indipendentemente dalla distribuzione degli utensili entro il sistema.

Gli *input e gli output ausiliari* sono: energia elettrica, olio, aria compressa, fluidi lubrificanti e refrigeranti, trucioli, scarti.

Strutturazione gerarchica del sistema di controllo

La gerarchia del sistema di controllo assolve ai seguenti obiettivi:

- controllo della produzione (equilibramento della capacità; calcolo del tempo di ciclo; analisi dei dati operativi);
- controllo del processo organizzativo (disposizione del processo di lavorazione; organizzazione del flusso di materiale);
- controllo tecnico (della macchina, del flusso di materiali; acquisizione dei dati on-line).

Sistema di controllo con computer

In un sistema flessibile di produzione, le operazioni delle stazioni di lavoro ed il sistema di maneggio dei materiali rientrano interamente nel controllo operato dal computer. Decisioni, quali la scelta dei pezzi che devono essere immessi nel sistema, ed a quale stazione i singoli pezzi devono pervenire, spettano al dispositivo di controllo del FMS. Perciò occorre sviluppare modelli ed algoritmi, tali da consentire al dispositivo di controllo di generare programmi di produzione, per corrispondere alle richieste e per esercitare il controllo su tutto il sistema, in guisa che gli outputs siano conformi ai programmi. Il conseguimento degli obiettivi del dispositivo di controllo è reso complicato da fermate «random» alle stazioni; è pertanto opportuno prevedere le cadute e predisporre percorsi alternativi.

Poiché la maggior parte dei sistemi di lavorazione sono grandi e complessi, i problemi del loro controllo vanno spezzettati in una gerarchia di subproblemi, ciascuno su una scala temporale e rispondente alle esigenze di informazioni.

PROGRAMMAZIONE DI FMS E METODI DI SIMULAZIONE

Un metodo significativo per programmare sistemi complessi di lavorazione, si avvale della ricerca operativa e di algoritmi, nonché di modelli matematici. Il metodo consente di valutare il programma di produzione a diversi gradi di sofisticazione, assicurando un consistente aiuto sia in vista del processo di progettazione, sia in vista della direzione della produzione. Il modello valuta il comportamento del sistema, avvalendosi dei seguenti dati d'ingresso:

- modelli di domanda del lavoro;
- lista di macchina;
- lista di prestazioni;
- sequenza delle operazioni per ciascun tipo di pezzo;
- tempi di messa a punto.

Il ricorso a modelli implica l'esecuzione di «n» obiettivi, ciascuno richiedente l'attività di un elemento fisico per un dato numero di unità di tempo. Le ipotesi, concernenti l'arrivo di pezzi, la capacità finita o infinita di magazzini intermedi, il processo continuo o discreto dei pezzi, i tempi di lavorazione definiti probabilisticamente o deterministicamente, lo stato del sistema: ciascuno di questi fattori si diversifica, in momenti diversi.

I modelli possono avvalersi delle seguenti modalità di approccio:

1. *programmazione (scheduling)*, assimilabile ad un «utensile di lavoro», però non troppo flessibile per l'industria, giacché non riesce a controllare il sistema in tempo reale, specialmente per sistemi che presentino problemi di traffico;
2. *teoria delle code (queuing theory)*, per valutare il comportamento del sistema in condizioni di inputs differenti, e tale da evidenziare soprattutto gli effetti dei momenti di congestione.

Il primo approccio (scheduling) è stato sviluppato come tipo speciale di programmazione d'officina. È definito in un contesto deterministico il comportamento sequenziale, tenendo presenti gli intervalli di tempo in base ai quali i pezzi verrebbero caricati nella prima macchina; è così stato proposto un algoritmo, per calcolare le sequenze ottimali del carico. Un metodo di programmazione adattativo è stato predisposto, nel caso debbano essere modificate le condizioni di taglio in presenza di fermate.

Il secondo approccio mira all'ottimizzazione del flusso nella rete ed è caratterizzato dall'analisi di un «flusso aggregato» di pezzi, anziché dall'analisi del movimento di un pezzo singolo: la proposta appare assai interessante.

Molti modelli sono stati sviluppati, nell'ottica della teoria delle code, ogni macchina, trasportatore o robot, essendo rappresentato da un nodo nella rete ed ogni tipo di pezzo essendo definito dalla propria distribuzione nel tempo, in funzione delle singole macchine. L'obiettivo consiste nel valutare gli effet-

ti di possibili fenomeni di congestione ed il problema si ravvisa nel determinare la distribuzione dei flussi, per poter massimizzare la velocità di produzione, od altro indice di comportamento, soggetto a dati vincoli, imposti dalla struttura del sistema.

Recentemente, è stata presentata una tecnica di simulazione con computer, in forma di CAD, che ha consentito di allestire un modello grafico in grado di assicurare informazioni dettagliate, relative al layout fisico del sistema (FMS) ipotizzato.

CONCLUSIONE

Da quanto precede, si evincono le caratteristiche-base tecnologiche dei sistemi flessibili di produzione (automazione flessibile).

Problemi di estesa difficoltà appaiono oggi risolvibili, grazie alla disponibilità di meccaniche più avanzate per qualità, precisione, e soprattutto per l'apporto dell'informatica e dell'elettronica, con l'ausilio delle quali è consentita la gestione, anche complicatissima, in tempo reale. Tuttavia i problemi non sono unicamente di natura tecnologica; ad essi si accompagnano problemi economici, finanziari, sociali ed umani.

Ai fini delle considerazioni di ordine economico sono importanti: la convenienza alla conversione da mezzi convenzionali a FMS; gli investimenti necessari per questa operazione ed il loro recupero nel tempo; il livello di maturità degli FMS e la loro effettiva flessibilità.

Quale strategia decisionale può essere adottata, in funzione delle realizzazioni oggi disponibili, tenendo altresì conto dei condizionamenti nei confronti di sviluppi futuri?

Possono essere avanzati alcuni elementi di riflessione. Gli anni '80 segnano la transizione da società industriale a postindustriale (del terziario), in specie «informatica», ossia basata su scambi d'informazione in tempi reali; ciò comporta una accelerazione delle trasformazioni dei processi industriali e produttivi.

L'innovazione tecnologica si sviluppa rapidamente su tre fasi:

1. essa segue, al principio, una linea di minore resistenza per l'introduzione in un mercato ed in una società non ancora pronta a recepirla; i microprocessori forniscono un esempio, nelle applicazioni ai giochi elettronici;
2. successivamente offre applicazioni che perfezionano la tecnologia pre-esistente; ne è esempio il microprocessore applicato ai sistemi di produzione, all'automobile, ecc.;
3. l'innovazione traccia una propria nuova via, per applicazioni originali.

Oggi si può considerare che l'innovazione dell'elettronica e dell'informatica sia collocabile nella

seconda fase, di perfezionamento alle tecnologie pre-esistenti.

Al di là dei problemi tecnologici ed economici, altri problemi insorgono da siffatte nuove tecnologie: sono i mutamenti storici e sociali, per i quali la società non è preparata, la scuola non è preparata, continuando a privilegiare l'astrattezza formale e la cultura umanistica.

Le due culture — scientifica ed umanistica — sono divaricate nel mondo moderno, più che all'inizio della prima rivoluzione industriale, mentre dovrebbero integrarsi, escludendo sia la nozione esclusivamente utilitaristica e produttiva della conoscenza (che tende ad emarginare le forme di sapere non convertibili in merce), sia l'astrattezza formale ed una oziosa contemplazione del passato. Ad un sapere, frutto delle due culture, è affidato un compito insostituibile di coscienza, di riflessione sul destino dell'uomo in un universo più esposto ad ogni tipo di rischio.

BIBLIOGRAFIA

- M. E. MERCHANT, *The manufacturing system concept in production engineering research*, «CIRP Annals», 1961.
- ID., *Future prospects for Integrated Manufacturing Systems*, VI CIRP Seminar on Manufacturing System, 1974, pp. 1-15.
- H. J. WARNECKE, P. SCHARF, *Kenngößen zur Bewertung von Integrierten Fertigungssystemen*, «Manuf. Systems», vol. 3, 11/74, pp. 157-165.
- J. P. CRESTIN, J. GILLET, *Vers un système intégré de production en mécanique*, CIRP Seminar on Manuf. System, vol. 4, 1/1975, pp. 3-19.
- R. WEILL, *Hardware and software advances in integrated manufacturing systems*, Convegno sulle lavorazioni meccaniche, Torino, settembre 1975.
- W. BARACH, *Integrated machining systems with workpiece handling*, «Industrial Robot», 6/1976, pp. 62-67.
- G. SPUR, H. P. MATTLE, W. PREHN, *Computer control of a flexible manufacturing cell*, 9th Int. Seminar on Manufacturing Systems CIRP, Cranfield, 1977.
- W. EVERSHEIM, R. PFERDMENGES, *Planning and stepwise realisation of flexible manufacturing systems*, 9th Int. Seminar on Manufacturing Systems CIRP, Cranfield, 1977.
- P. RANKY, *The design and operation of flexible manufacturing systems*, IFS Publications, Bedford 1983.
- H. J. WARNECKE, R. STEINHILPER, *Flexible Manufacturing Systems; new concepts; EDP-supported planning; Application examples*, Proc. of the 1st Int. Conf. on FMS, Brighton, U. K., 20-22 october 1982.
- R. BELL, N. BILALIS, *Loading and control strategies for an FMS for rotational parts*, Proc. of the 1st Int. Conf. on FMS, Brighton, U. K., 20-22 october 1982.
- P. W. CHEVALIER, *Group Technology: the connecting link to integration of CAD and CAM*, Proc. Autofact Europe '1983' Geneva, pp. 1-26... 1-40.

- J. ZELENY, *Manufacturing cells with automatic tool flow for unmanned machining of box-like workpieces*, «Manufacturing Systems», vol. 12, n. 1, Ljubliana.
- C. DUPONT-GATELMAND, *A survey of analytical and simulation models for the design and control of FMS*, Proceedings of CIRP Seminar on FMS, vol. 12, n. 2, 1983.
- K. L. HITZ, *Scheduling of Flexible Flowshops*, I, II Report LIDS-R-879, LIDS-R-1049, march 1979 and october 1980, Laboratory for Information and Decision Systems MIT.
- J. ERSCHLER, D. LEVEQUE, F. ROUBELLAT, *Periodic loading of flexible manufacturing systems advances in production management systems*, First Working Conference, Bordeaux, august 1982.
- G. SECCO SUARDO, *Optimisation of a closed network of queues*, Report ESL-FR 834, 3 september 1978, Electronic System, Laboratory MIT.
- J. G. KIMENIA, S. B. GERSHWIN, *An algorithm for the computer control of production in a flexible manufacturing system*, MIT Laboratory for Information and Decision Systems, 1982.
- COMMITTEE ON CAM NATIONAL RESEARCH COUNCIL, *Technical Review of the ICAM Program*, National Academy Press, Washington D.C., 1981.
- Targets and accomplished values to verification at test plant* (Interim Report on «FMS complex provided with laser» by MITI), «Metalworking Engineering and Marketing», Tokyo, May 1983.
- H. HAMMER, *Amélioration de la rentabilité par l'automatisation flexible des opérations d'alésage et de fraisage*, «Information Werner and Kolb», june 1983.
- M. E. MERCHANT, *Current state of the art of Computer Integrated Manufacturing and Flexible Factory Automation in the U.S.*, Proc. Autofact Europe, Geneva, 1983.
- G. F. MICHELETTI, *On the state of the art and advances in computer integrated manufacturing and flexible factory automation*; Conference on «Efficient metal forming and machining», CSIR, Pretoria, nov. 1983.

1ª GIORNATA

6 giugno 1984

1ª SESSIONE:

La produzione integrata e flessibile: tecnologie assistite da computer (CAD-CAM)

La giornata è dedicata all'analisi delle tecnologie CAD-CAM e alla loro applicazione nella produzione integrata e flessibile.

La prima sessione è dedicata all'analisi delle tecnologie CAD-CAM e alla loro applicazione nella produzione integrata e flessibile.

La seconda sessione è dedicata all'analisi delle tecnologie CAD-CAM e alla loro applicazione nella produzione integrata e flessibile.

La terza sessione è dedicata all'analisi delle tecnologie CAD-CAM e alla loro applicazione nella produzione integrata e flessibile.

La quarta sessione è dedicata all'analisi delle tecnologie CAD-CAM e alla loro applicazione nella produzione integrata e flessibile.

La quinta sessione è dedicata all'analisi delle tecnologie CAD-CAM e alla loro applicazione nella produzione integrata e flessibile.

La sesta sessione è dedicata all'analisi delle tecnologie CAD-CAM e alla loro applicazione nella produzione integrata e flessibile.

La settima sessione è dedicata all'analisi delle tecnologie CAD-CAM e alla loro applicazione nella produzione integrata e flessibile.

L'informatica nei diversi momenti del processo produttivo

Angelo Raffaele MEO (*)

La lenta penetrazione dell'informatica nell'ambiente industriale inizia, almeno per le imprese di maggiori dimensioni, nella seconda metà degli anni '50. Nei miei ricordi di studente trovo, ad esempio, che proprio alla fine degli anni '50 la FIAT di Corso Marconi andava orgogliosa del suo Remington USS, un elaboratore che era costato — si diceva — alcune centinaia di milioni di lire. Quell'elaboratore utilizzava, come memoria centrale e memoria periferica al tempo stesso, un tamburo magnetico rotante ad alta velocità in atmosfera di gas inerte, un prodigio della tecnologia meccanica di quei tempi. Le prestazioni di quell'elaboratore sono raggiunte e per alcuni aspetti superate da uno di quei « personal computer » che costano oggi un milione di lire o poco più; ma a quei tempi il lavoro che poteva essere svolto da un calcolatore elettronico come quello della FIAT appariva prodigioso.

Le prime applicazioni dell'informatica non riguardano i processi produttivi in senso stretto ma unicamente le operazioni contabili e finanziarie. Poco dopo, l'informatica comincia ad essere applicata anche al controllo degli inventari, alla pianificazione della produzione, alla gestione del magazzino e delle operazioni di trasferimento delle parti.

LA PROGETTAZIONE ASSISTITA DAL CALCOLATORE (CAD)

La storia delle applicazioni dell'informatica al processo produttivo inizia a metà degli anni '60 con le prime realizzazioni di progettazione assistita dal calcolatore o CAD (Computer Aided Design).

La più significativa delle realizzazioni di quel tempo è il frutto di una collaborazione fra la General Motors Corporation e l'IBM. Il prototipo sviluppato allora non era ancora una vera e propria stazione per la progettazione assistita dal calcolatore, ma soltanto un raffinato strumento di disegno. Era costituito da un'unità centrale molto veloce, per quei tempi, e da una memoria di massa di grande capacità. L'organo di uscita fondamentale era allora, come oggi, lo schermo a raggi catodici, utilizzato per proiettare il disegno nel corso della sua produzione. Due unità di ingresso caratterizzavano allora, come oggi, la stazione: la tastiera e la penna luminosa. La penna invia una interruzione all'unità centrale dell'elaboratore ogni volta che viene colpita da un raggio emesso dal tubo a raggi catodici, consentendo così alla

stessa unità centrale di identificare la posizione esatta occupata dalla penna sullo schermo sulla base dell'istante in cui si verifica l'interruzione. Utilizzando la penna luminosa l'operatore può impartire ordini all'unità centrale, toccando, ad esempio, un codice opportuno appartenente ad un menù che è stato predisposto sullo schermo; oppure può ordinare lo spostamento di un elemento del disegno da una data area a una precisa posizione sullo schermo; oppure può disegnare un profilo che l'unità centrale ricostruirà per punti nella sua memoria. Attraverso l'integrazione dell'informazione grafica con l'informazione scalare, ossia il completamento del disegno con i dati relativi al materiale utilizzato, il tipo e la qualità della lavorazione, l'utensile e la profondità del taglio più opportuni, e così via, il sistema per il disegno diventa presto una vera e propria stazione di progettazione assistita dal calcolatore.

Ci si accorge presto che il disegno su carta — punto di partenza dello sviluppo in quasi tutti i settori industriali per molti anni — può essere eliminato, o quantomeno utilizzato per la sola funzione di « back-up ». Comunque, si progettano e costruiscono « plotter » di alta risoluzione e precisione, che vengono utilizzati per la distribuzione del disegno là dove non è ancora economico diffondere l'informazione su supporto elettronico o magnetico.

L'operatore diviene anche strumento di coordinamento del lavoro dei singoli componenti di una « équipe ». È infatti possibile utilizzare una architettura del sistema di elaborazione fortemente centralizzata, basata su una potente unità centrale e su una grande memoria di massa ove saranno conservati i progetti sviluppati in tutta la storia del sistema. Lavorando su terminali indipendenti collegati a stella sull'elaboratore centrale, i singoli componenti del gruppo potranno verificare il proprio lavoro per confronto con quello degli altri, oppure completare o modificare lavori sviluppati da altri in passato; brevemente, la collaborazione sarà molto agevolata.

Avendo a disposizione un potente elaboratore, le operazioni di gestione dei dati potranno essere integrate con l'applicazione di tecniche matematiche anche molto complicate, come il calcolo degli elementi finiti, per la verifica della propagazione degli sforzi e delle deformazioni in strutture molto complesse.

Le stazioni grafiche di oggi offrono molteplici possibilità; ad esempio:

- la produzione in modo interattivo, data la vista principale del pezzo, delle viste laterali;
- la verifica della cinematica di un sistema di pezzi collegati, attraverso la visualizzazione dei mo-

(*) Ingegnere, professore ordinario, Politecnico di Torino.

vimenti, e attraverso il calcolo delle velocità elementari di ogni punto;

- le operazioni di «zoom» per adattare la limitata risoluzione dello schermo (dell'ordine di duemila punti per duemila) all'elevata precisione con cui i dati del pezzo sono stati memorizzati nell'elaboratore;
- la verifica della dinamica del sistema attraverso il calcolo dei volumi, delle masse, dei momenti di inerzia, delle forze scambiate, e così via.

Negli ultimi anni la diffusione delle stazioni CAD è notevolmente cresciuta, passando da un mercato di circa 500 milioni di dollari nel 1980 ad una previsione di oltre 2000 milioni di dollari per l'attuale 1984. L'uso degli strumenti grafici di ausilio alla progettazione costituisce uno dei fattori di incremento della produttività dell'industria registrati negli ultimi due decenni. Pochi esempi:

- la General Motors dichiara che il progetto di un nuovo modello di vettura richiede oggi 14 mesi, contro i 24 mesi che erano necessari prima dell'introduzione delle tecniche CAD;
- secondo un produttore di valvole speciali, lo sviluppo di un nuovo tipo di valvola richiede oggi un mese contro i sei mesi necessari un tempo;
- un'azienda operante nel settore degli stampi per componenti in plastica ha rilevato incrementi di produttività da 30 sagome/anno a 140 sagome/anno;
- tutti dichiarano che l'introduzione del CAD ha consentito, oltre agli osservati incrementi di produttività, anche notevoli miglioramenti della qualità del prodotto e benefici distribuiti sull'intero processo produttivo.

LA TECNOLOGIA PER GRUPPI

Forse il pregio fondamentale degli strumenti per la progettazione assistita dall'elaboratore consiste nella possibilità di recuperare nel disegno di un nuovo pezzo o nello sviluppo di un nuovo progetto almeno parte del lavoro fatto in un disegno o in uno sviluppo precedente. La tecnica che consente questo recupero di lavoro prende il nome di «tecnologia per gruppi» e consiste, in sostanza, nell'organizzazione e nell'uso razionale di quella che nella letteratura informatica viene comunemente chiamata «base di dati».

Gli elementi fondamentali di una base di dati per la progettazione meccanica assistita dal calcolatore sono forse i seguenti:

- l'archivio dei pezzi e delle parti che devono essere prodotti, classificati per forma, dimensioni, materiali usati, ecc.;
- l'archivio delle macchine operatrici, classificate per tipo, velocità, qualità della lavorazione, tipo di pezzi prodotti, utensili utilizzati, ecc.;
- l'archivio dei processi elementari, che precisa le

lavorazioni eseguite, il loro ordine, gli utensili utilizzati, ecc.;

- un certo numero di relazioni definite sugli archivi precedenti, come, ad esempio, l'elenco di tutti i tipi di pezzi che possono essere prodotti su tutte le macchine disponibili.

La disponibilità di strumenti software per un facile accesso a questi archivi e alle relazioni costruite su di essi consente di liberare il progettista da molte operazioni ripetitive. È possibile, ad esempio, sviluppare una «programmazione parametrizzata delle procedure», che consiste nel predisporre un intero ciclo produttivo per una classe di lavorazioni, nell'utilizzare tale descrizione per impostare un nuovo processo produttivo di cui si sia riconosciuta la sostanziale analogia con uno di quelli già predisposti.

La validità di questo approccio è dimostrata da alcune statistiche secondo le quali su cento pezzi che un'azienda media meccanica deve produrre, soltanto il 20% ha caratteristiche di novità tali da richiedere un progetto ex-novo, mentre il 32% può essere ottenuto con modifiche non sostanziali di pezzi già prodotti in passato, e addirittura il 48% è già stato utilizzato in progetti precedenti.

LA PIANIFICAZIONE DELLE RISORSE PRODUTTIVE

Nel 1968 l'IBM introduce sulla linea 370 il primo «package» software per la pianificazione delle risorse produttive. Dal punto di vista concettuale il principio del sistema è estremamente semplice. Volendosi produrre un dato pezzo entro una certa scadenza X , si procederà a ritroso, prevedendo un dato tempo t_1 per la fase di montaggio, ed imponendo che al tempo $Y = X - t_1$ siano disponibili tutti i componenti da montare. Se uno di questi componenti deve essere ordinato all'esterno, e l'ordinazione richiede un tempo t_2 , la relativa emissione dovrà avvenire al tempo $Y - t_2$. Se un secondo componente viene prodotto all'interno e la sua fabbricazione richiede un tempo t_3 , l'avvio della fase di produzione relativa avverrà al tempo $Y - t_3$. La procedura si applica ad ogni componente e ad ogni sottocomponente, e presuppone ovviamente la massima puntualità nelle consegne. Se soddisfatta, essa consente ovviamente di ottimizzare i tempi di produzione e di ridurre al minimo le dimensioni dei magazzini delle parti.

Vi sono metodi matematici molto complessi, basati sulla teoria delle code e la programmazione lineare, che consentono di risolvere in modo ottimale il problema della pianificazione delle risorse. Ma in presenza di apparati produttivi di dimensioni enormi, con centinaia di macchine, migliaia di lavoratori, centinaia di migliaia di pezzi diversi, un numero praticamente infinito di percorsi possibili, le

tecniche di ottimizzazione assolute non sono praticabili.

Un'importante variante della procedura descritta è il metodo KANBAN della Toyota, finalizzato a produzioni con caratteristiche di accentuata ripetitività. La tecnica KANBAN presuppone un sistema informativo distribuito, con un'unità di elaborazione per ogni stazione del sistema. Al ricevimento di un ordine, ogni stazione emette altri ordini verso le stazioni precedenti, con un forte decentramento delle responsabilità. Il sistema non prevede margini per errori o scarti, e quindi presuppone standard di controllo della qualità molto elevati.

Si calcola che si siano sviluppati cento sistemi diversi per la pianificazione delle risorse produttive, per un complesso di diecimila installazioni. I sistemi attuali permettono una riduzione delle dimensioni dei magazzini di un terzo, e conseguenti economie sui costi dei componenti acquistati dell'ordine del 6%. I vantaggi più evidenti si riscontrano nella produzione di molti prodotti diversi, in quantità relativamente limitate, come si verifica, ad esempio, nelle lavorazioni su commessa.

Ulteriori benefici apportati dagli attuali sistemi per la pianificazione delle risorse sono la produzione di rapporti riassuntivi sullo stato di avanzamento delle lavorazioni elementari, i magazzini, gli ordini in arretrato, e simili; la simulazione degli effetti di

provvedimenti riorganizzativi; il controllo della produttività dei lavoratori; l'emissione automatica degli ordini. Nel complesso il sistema consente di incrementare la rapidità della risposta dell'apparato produttivo al mutare delle esigenze del mercato.

IL TRASPORTO E L'IMMAGAZZINAMENTO DEI MATERIALI E DELLE PARTI

Nell'area della movimentazione dei materiali si sono riscontrati progressi notevoli. Per quanto concerne i magazzini, si è passati dalle soluzioni manuali con l'ausilio dell'elaboratore ai magazzini automatici con mega e mini-caricatori. Per quanto concerne i trasporti entro lo stabilimento, si è passati dai carrelli a mano ai nastri trasportatori e alle navette automatiche.

LE MACCHINE PER LA PRODUZIONE

Probabilmente, gli incrementi più significativi in termini quantitativi della produttività sono dovuti alle macchine per la produzione. Ad esempio, dalle prime macchine utensili a controllo numerico con banda perforata si è passati alle moderne macchine utensili con elaboratore locale, che operano il taglio

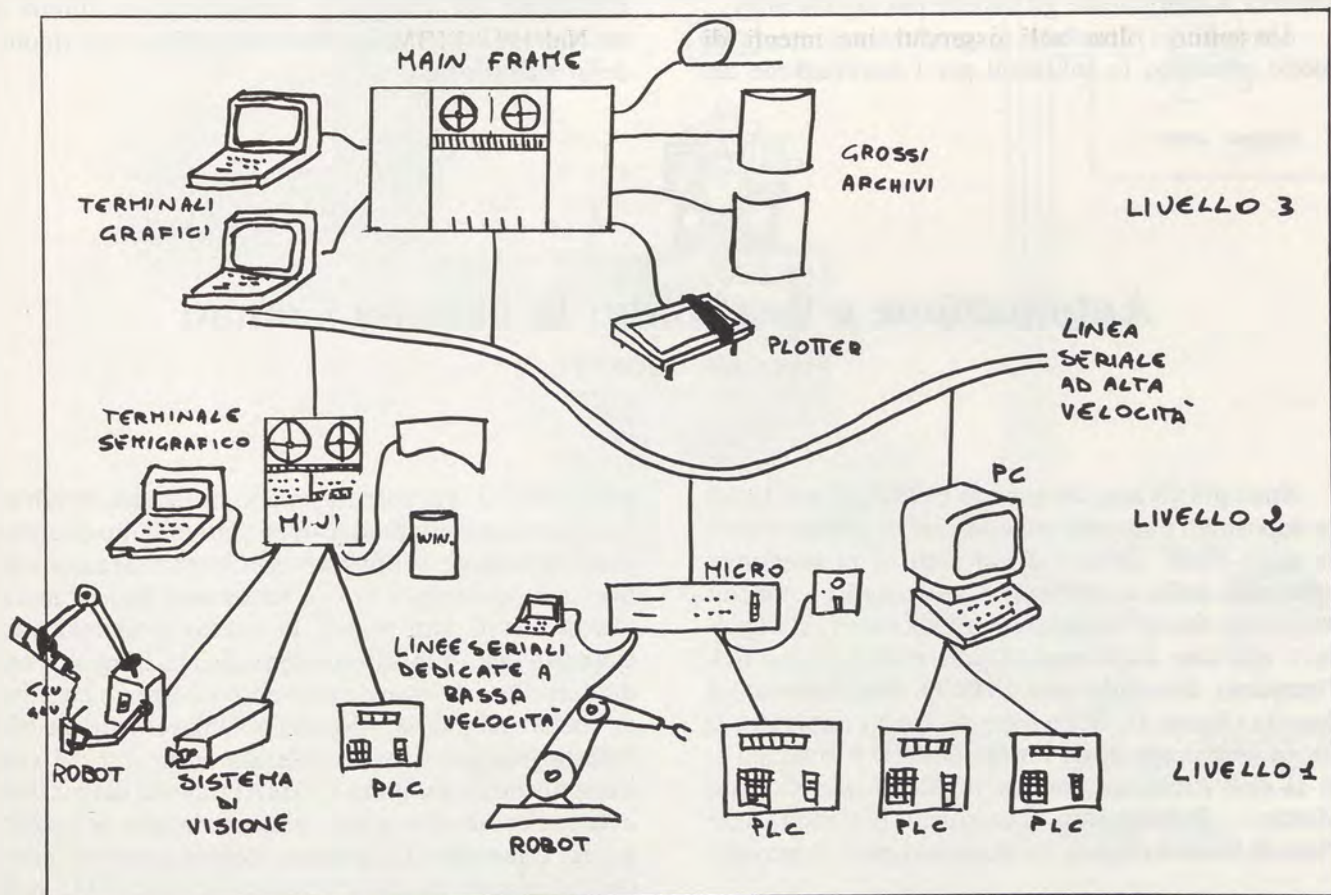


Fig. 1 - Microprocessori General Purpose Specializzati.

con precisioni dell'ordine del millesimo di millimetro, e controllano automaticamente la profondità stessa del taglio e l'usura dell'utensile.

IL MONTAGGIO

La catena di montaggio, il simbolo della prima rivoluzione industriale, ha subito nel corso degli anni radicali trasformazioni. L'introduzione dell'informatica nella catena ha consentito notevoli incrementi di efficienza e il superamento, almeno in parte, del limite fondamentale della catena, la mancanza di flessibilità.

Un componente fondamentale del montaggio è il robot, il simbolo della nuova rivoluzione industriale. Rispetto alla macchina specializzata il robot è più versatile ma notevolmente più lento. Rispetto all'uomo è meno versatile, poco più veloce (da uno a tre volte), ma molto più preciso e continuo. Le aree tipiche di applicazione dei robot rimangono la saldatura, la verniciatura, il caricamento e lo scaricamento di piastre, i montaggi speciali.

IL SISTEMA FLESSIBILE DI PRODUZIONE

I sistemi flessibili di produzione sono oggetto di molte altre relazioni a questo convegno, per cui ci si limiterà a sottolineare gli aspetti più significativi.

Un sistema flessibile di produzione integra in modo armonico le soluzioni per l'automazione dei

diversi momenti del processo produttivo, così come sono stati riassunti nei punti precedenti della presente relazione. Un sistema flessibile di produzione è caratterizzato da movimentazioni e lavorazioni automatiche, la capacità di operare su famiglie diverse con la tecnologia dei gruppi, un numero ridotto di caricatori giornalieri (al limite, uno soltanto), il controllo della qualità dei pezzi (un requisito fondamentale per non danneggiare un'intera produzione in conseguenza di un errore in una lavorazione elementare), i rilievi statistici centralizzati.

Dal punto di vista informatico, il sistema di elaborazione potrà essere organizzato su tre livelli gerarchici (figura 1): il livello operativo, o livello delle lavorazioni elementari, il livello della gestione integrata delle operazioni di un gruppo (isola di lavorazione), e livello della pianificazione e organizzazione di un insieme di centri di lavorazione. Un sistema flessibile di produzione presenta, rispetto alle soluzioni tradizionali, alcuni requisiti fondamentali, dei quali i più importanti sono probabilmente la rapida risposta alle esigenze del mercato; la facilità di personalizzazione del prodotto; la elevata produttività.

I sistemi flessibili di produzione saranno una componente fondamentale dell'apparato produttivo di domani, che sarà caratterizzato anche, secondo le stime di molti, da una forte integrazione delle aree funzionali, elaborazione distribuita, versatilità, eliminazione dei subappalti, comunicazione diretta e automatica con clienti e fornitori, dimensioni ridotte dello stabilimento.

Automazione e flessibilità: la filosofia Comau

Paolo APPOGETTI (*)

Sono già 10 anni da quando COMAU, nel 1974, ha depositato i brevetti concernenti la propria filosofia sugli FMS. Dopo i primi anni di pionierismo, circondati dallo scetticismo di utilizzatori e concorrenti e dal timore di clienti e collaboratori, si approdava alla fine degli anni 70 alla realizzazione dell'impianto flessibile per IVECO Stabilimento di Brescia (figura 1). Sulla base di questo impianto, la nuova tecnologia degli FMS COMAU è sbarcata al di là dell'Atlantico con un impianto alla General Motors - Stabilimento Chevrolet Gear and Axle Plant di Detroit (figura 2). In questo caso la tecnolo-

gia COMAU, già sperimentata e realizzata, diventava il coronamento pratico-realizzativo delle ricerche autonomamente sviluppate da General Motors che avevano portato alle nostre stesse conclusioni teoriche di alcuni anni prima. In questo momento è in avanzata fase di installazione presso la Borg Warner di York l'ultimo grande impianto realizzato sul filo della originaria filosofia COMAU (figura 3). Questo progetto sarà completato entro il 1984 con l'installazione da parte COMAU di un magazzino automatico di stoccaggio e smistamento dei pezzi greggi e lavorati. La gestione centralizzata da parte del calcolatore di questo magazzino, dell'FMS e di un centro di lavoro speciale già esistente presso il Cliente, con compiti di ottimizzazione della produ-

(*) Ingegnere, direttore stabilimento COMAU, Modena.

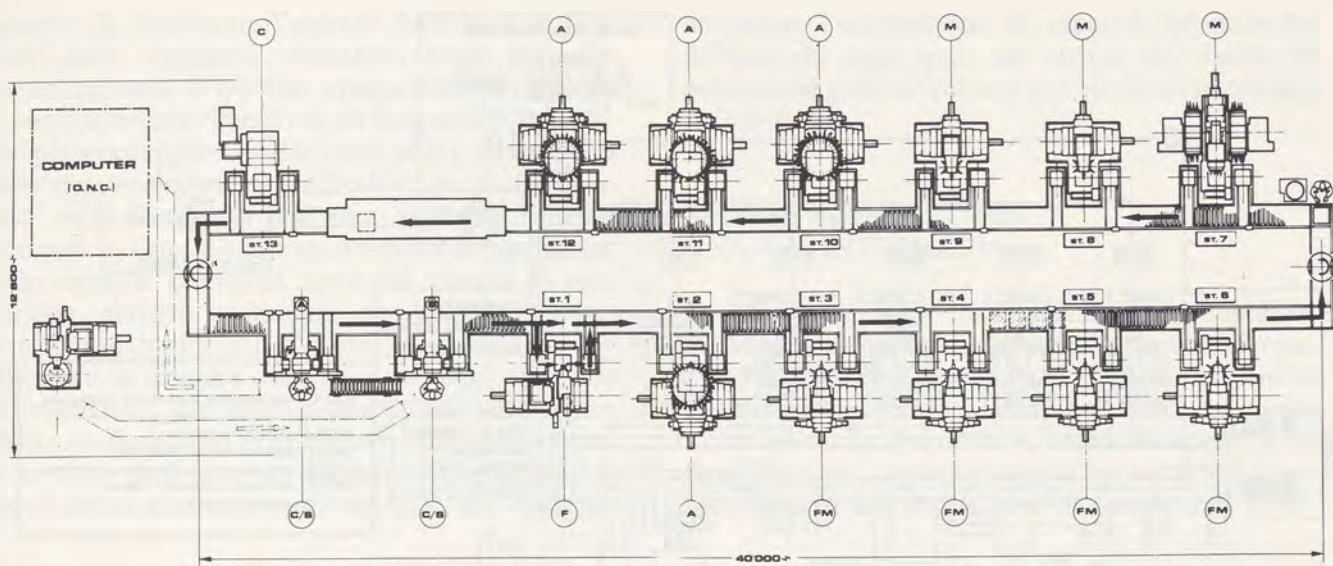


Fig. 1 - Sistema flessibile per lavorazione particolari diversi per autocarri, trattori e macchine movimento terra (Iveco, Italia): Pezzi lavorati: scatole cambio e coperchi per autocarri, trattori e macchine movimento terra. - Produzione: 300 pezzi/giorno. - Dimensione pezzi da lavorare: 400 mm x 400 mm x 500 mm. - Ingombro max pezzo + attrezzatura = cubo con lato 600 mm.

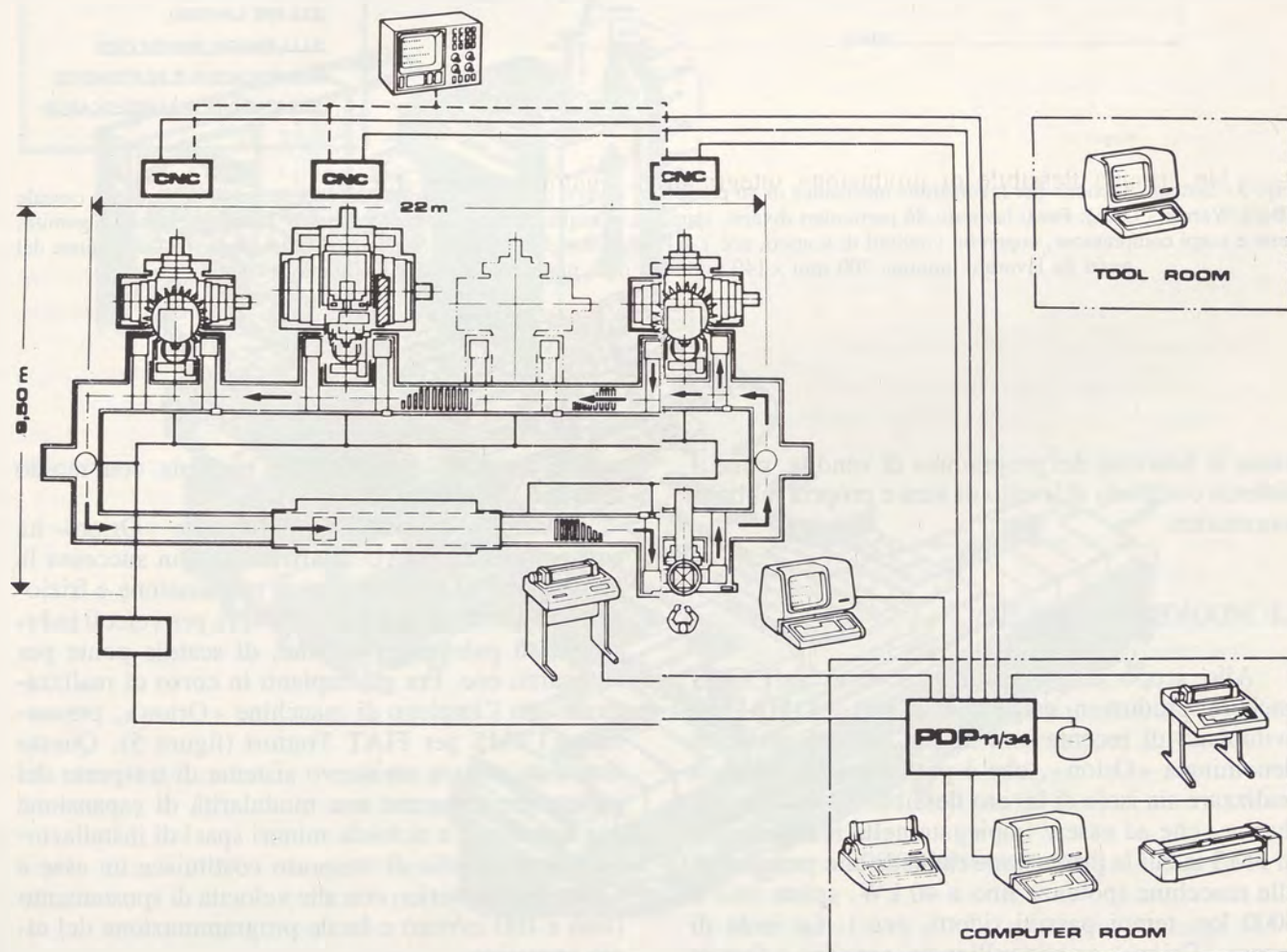


Fig. 2 - Sistema flessibile per lavorazione particolari meccanici diversi per automobili General Motors (U.S.A.): Pezzi lavorati: scatola differenziale sciolta, cappelli e scatola differenziale assemblata. - Produzione: 250 pezzi/giorno. - Dimensione pezzi lavorati: 400 mm x 400 mm x 500 mm. - Ingombro massimo pezzo + attrezzatura = cubo con lato 600 mm.

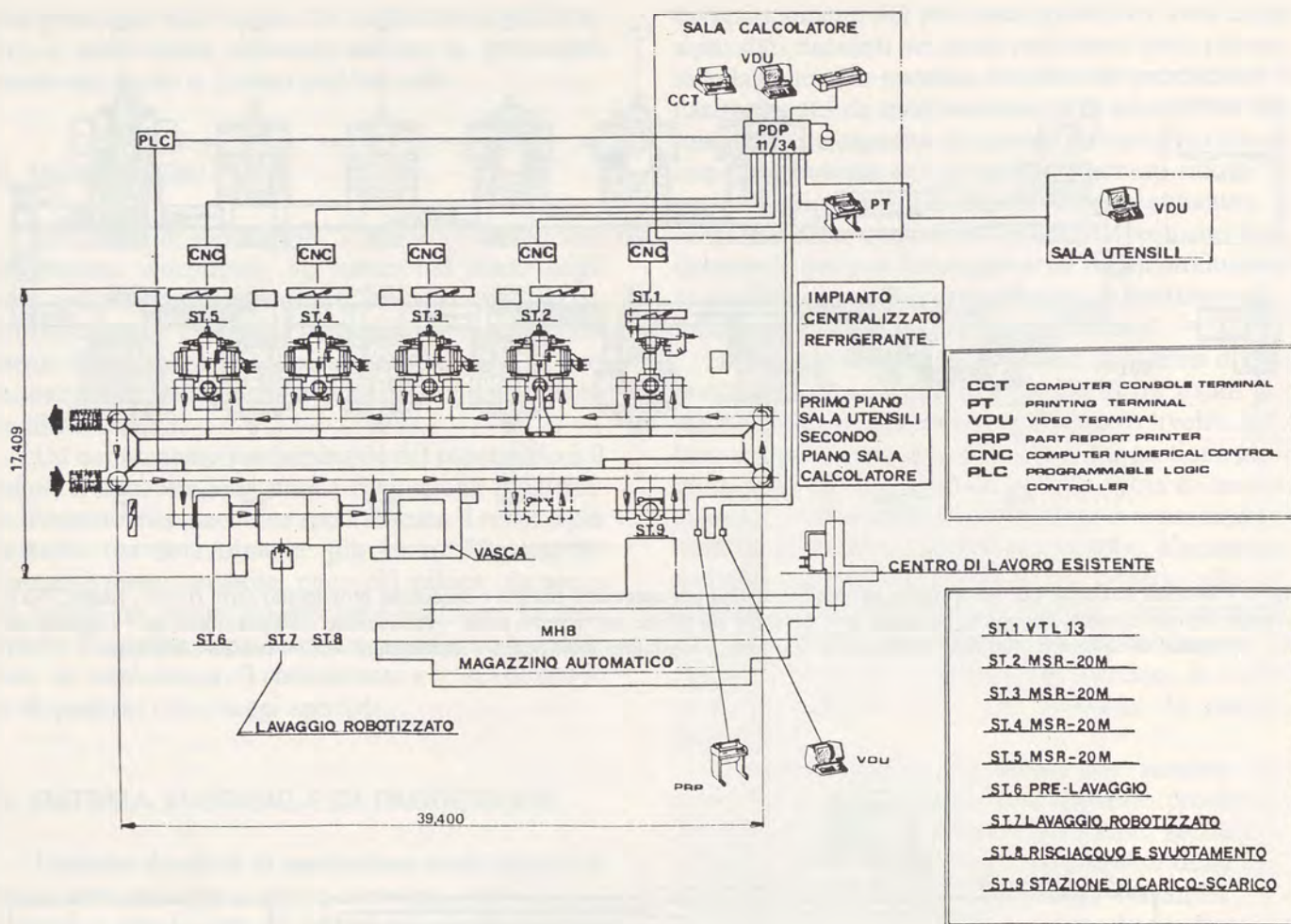


Fig. 3 - Sistema flessibile per lavorazione meccanica di 86 particolari diversi di compressore industriale, immessi in sequenza casuale (Borg Warner - USA): Pezzi lavorati: 86 particolari diversi, immessi in sequenza casuale, appartenenti a 7 famiglie (alberi a gomito, teste e corpi compressore, coperchi, condotti di scarico, ecc.). - Produzione: 38.500 pezzi/anno - 160 pezzi/giorno. - Dimensione dei pezzi da lavorare: minima 200 mm x 140 mm x 20 mm; massima 1300 mm x 800 mm x 700 mm.

zione in funzione del programma di vendita, pone il sistema completo al livello di vera e propria fabbrica automatica.

LE NUOVE TENDENZE

Allo scopo di consentire l'accesso agli FMS anche di produzioni esigenti e pesanti, COMAU ha sviluppato di recente una nuova linea di prodotto denominata «Orion», che è perfettamente adatta a realizzare sia isole di lavoro flessibili altamente produttive, che ad essere impiegata nella realizzazione di FMS in cui la produzione richieda alte prestazioni alle macchine (potenze fino a 40 kW, spinte fino a 8000 kg, tempi passivi ridotti, ecc.). Le isole di lavoro «Orion», se ben utilizzate, arrivano a fornire una produttività pari a 3-4 centri di lavoro normali ed hanno una versatilità più ampia di questi, potendo eseguire fresature, sfaccature, contorniture, barena-

ture e forature - maschiature multiple con rapido scambio delle teste (figura 4).

L'utilizzo di macchine della serie «Orion» ha consentito a COMAU di affrontare con successo la lavorazione su FMS di scatole trasmissione e frizione per trattori, di basamenti motore per veicoli industriali, di palette per turbine, di scatole ponte per autocarri, ecc. Fra gli impianti in corso di realizzazione con l'impiego di macchine «Orion», presentiamo l'FMS per FIAT Trattori (figura 5). Questo impianto utilizza un nuovo sistema di trasporto dei pallets che consente una modularità di espansione più accentuata e richiede minori spazi di installazione. Ogni carrello di trasporto costituisce un asse a Controllo Numerico con alte velocità di spostamento (fino a 100 m/min) e facile programmazione del ciclo operativo.

L'utilizzo, accanto alla macchina «Orion», di un modulo di collaudo collegato in retroazione con il calcolatore centrale, il quale ha costantemente il

compito di ottimizzare l'utilizzo della linea in funzione delle variazioni produttive, rende già oggi questo impianto di assoluta avanguardia. Il probabile successivo inserimento di un magazzino automatico per stoccaggio e smistamento pezzi, pure gestito dallo stesso calcolatore, renderebbe, anche in questo caso, tutto il sistema una vera e propria officina automatica. Questa continua necessità di espansione delle capacità gestionali insite nei sistemi di produzione, peraltro in armonia con quelle che sono le tendenze future del mercato, consente di poter affermare in maniera categorica che oggi, da parte dei costruttori, non è più pensabile che «realizzare FMS» costituisca un gradino sufficiente per rimettere in moto quel processo produttivo che la crisi di questi ultimi anni ha fortemente intaccato. Soltanto

attraverso l'acquisizione di capacità informatiche diffuse, chi oggi opera nel campo dei sistemi di produzione potrà affrontare con successo la competizione futura.

SISTEMI RIGIDI ED FMS: UNA VIA INTERMEDIA

La caratteristica fondamentale delle soluzioni COMAU consiste nella massima flessibilità, compatibile con il tipo di prodotto e di impianto. La sintesi di questa filosofia può essere realizzata col motto «*flessibili nella flessibilità*», infatti la necessità di flessibilizzare i sistemi più rigidi ha portato alla realizzazione di una nuova serie di componenti flessi-

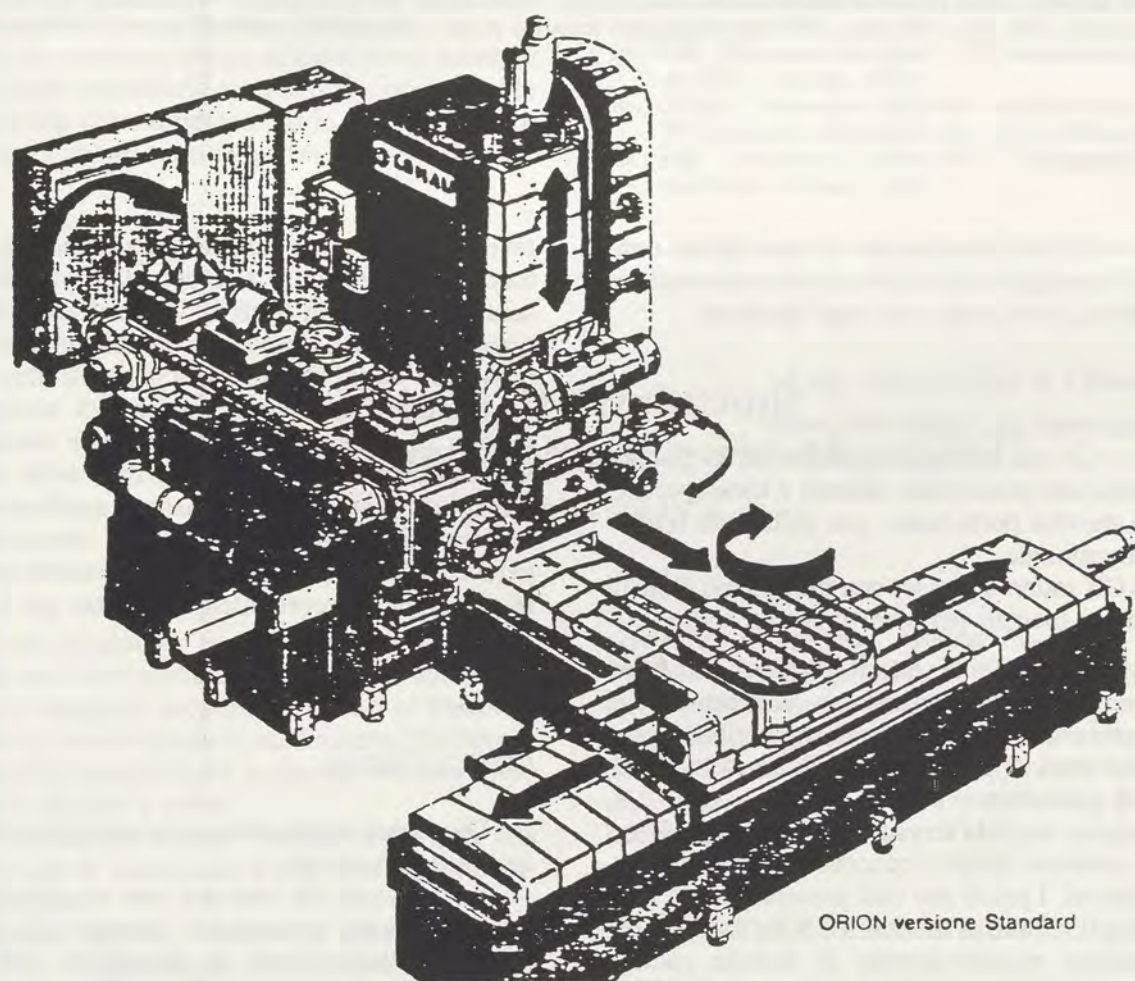


Fig. 4 - ORION Standard: Può lavorare indifferentemente con utensili singoli o con teste intercambiabili che possono portare utensili di grandi dimensioni od anche utensili multipli. L'unità operatrice è dotata di un mandrino con sede conica ISO 50 per utensili singoli che vengono prelevati da un magazzino a catena con capacità fino a 65 utensili, e di una presa di forza per la trasmissione della rotazione alle teste intercambiabili disposte su di un magazzino a 12 posizioni.

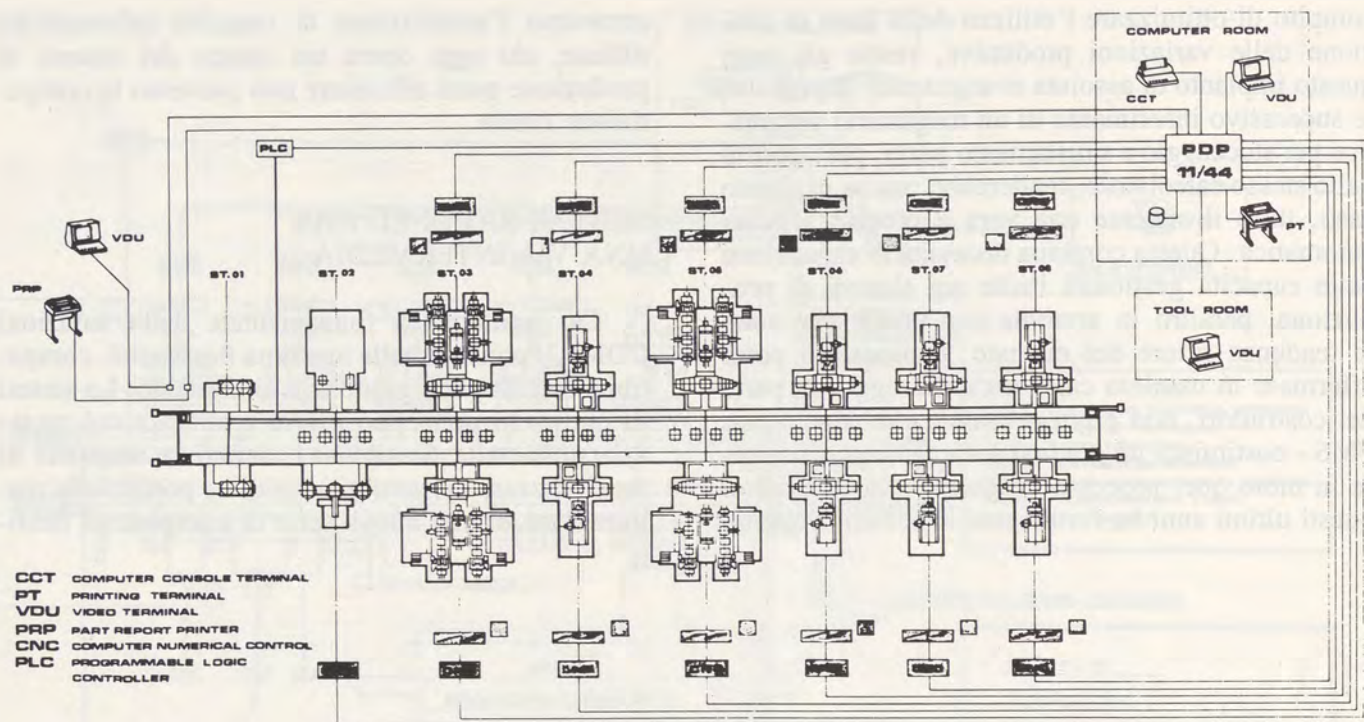


Fig. 5 - Sistema flessibile per lavorazione alla rinfusa scatole frizione e scatole trasmissione di tipo diverso, per trattori (Fiat Trattori - Italia): Pezzi lavorati: scatole frizione e scatole cambio trasmissione. - Produzione: 180 pezzi/giorno. - Dimensione pezzi da lavorare: massima 1000 mm x 400 mm x 400 mm. - Ingombro massimo pezzo + attrezzatura: contenuto entro $\varnothing 1500$ mm.

bili che, con il loro inserimento in linee rigide, consentono di conseguire soluzioni ad alta automazione e produttività, con lunga vita degli impianti.

I componenti e le realizzazioni tipiche

I componenti più significativi sono:

- moduli a CN per impiego su trasferte tradizionali, integrabili con magazzino utensili e teste speciali
- unità a torretta porta-teste, con differente tipologia dimensionale
- unità a CN mono o biasse, con magazzino utensili e mandrini speciali per alesatura-sfacciatura.

Le caratteristiche di questi elementi modulari consentono di realizzare soluzioni con tempi passivi estremamente ridotti, e pertanto compatibili anche con gli alti ritmi di produzione delle trasferte tradizionali più produttive.

Gli esempi tratti da recenti applicazioni in diversi settori rendono chiari i concetti fin qui succintamente espressi. I primi due casi presentati sono relativi alla applicazione di moduli a CN su trasferte per la lavorazione rispettivamente di scatola cambio completa di supporto per lo stabilimento FIAT di Termoli e di supporti unione scatola cambio al motore per lo stabilimento LANCIA di Verrone.

Le varie tipologie di pezzi richiedono mediamente l'80% di lavorazioni identiche ed il 20% di

lavorazioni diverse; ebbene l'uso di moduli a CN in trasferta per eseguire le lavorazioni variabili, consente di effettuare tutte le lavorazioni sulla stessa macchina senza aggravio per cambio attrezzatura nel passaggio da un tipo di particolare all'altro.

L'utilizzo di linee a trasferta di torrette porta teste o di magazzini porta teste per unità a teste intercambiabili è da tempo diffuso nelle soluzioni COMAU: esistono numerosissime applicazioni nella trattoristica, nella produzione di componenti per veicoli industriali e macchine movimento terra, nelle stesse linee precedentemente citate per LANCIA di Verrone.

CONCLUSIONI

Da quanto rapidamente esposto si possono trarre queste osservazioni:

- Le soluzioni che caso per caso vengono proposte e realizzate, presentano, accanto alla massima automaticità, livelli di flessibilità commisurati alle necessità imposte dal problema.
- Il ventaglio delle soluzioni è costituito dalle isole di produzione singole, dagli FMS e dalle soluzioni intermedie in cui unità rigide ed unità flessibili convivono nello stesso impianto.

- Ognuna di queste soluzioni, sia isolata che coordinata ad altri impianti, costituisce un sistema di produzione in cui, alle funzioni classiche di lavorazione del pezzo, si aggiungono altre funzioni quali: manipolazione automatica dei pezzi e degli utensili, controllo automatico dei pezzi e degli utensili con relativa autoregolazione, auto-diagnostica di tutti i componenti del sistema sia per le parti operative (utensili) che strutturali (organi di macchina), gestione a più livelli dell'impianto con funzioni anche di programmazione e controllo, che assimilano il sistema ad una vera e propria fabbrica automatica.
- La flessibilità ha un costo che può essere pagato soltanto da chi è in grado di utilizzarla come strumento strategico; ma, se non si è in grado di utilizzare la flessibilità produttiva come strumento strategico, difficilmente si potrà sopravvivere a lungo in un mercato che cambia sempre più rapidamente.
- Lo sviluppo di queste problematiche estremamente innovative sta mettendo a dura prova le aziende del settore macchine utensili, proprio in un periodo di grave crisi che, iniziata come crisi di mercato, è poi diventata strutturale.
- Il mondo esterno a queste aziende dovrà adottare le politiche necessarie a consolidare un comparto industriale così strategico per lo sviluppo tecnologico futuro di tutto il nostro apparato produttivo.

- Soltanto se: aziende e sindacato, Stato e mondo politico, scuola e mondo della ricerca, faranno il proprio dovere, nell'ambito di un disegno coerente, il nostro paese potrà mantenere e forse migliorare le proprie posizioni rispetto agli altri paesi industrializzati.

BIBLIOGRAFIA

- P. APPOGGETTI, *Quali i requisiti degli elementi meccanici modulari costituenti un vero sistema di lavorazione flessibile e integrato CAM nell'Industria meccanica*, Politecnico di Milano, 1° Corso, 1982; 2° Corso, 1983.
- ID., *La macchina utensile italiana: strategie per lo sviluppo di un comparto fondamentale nella economia del nostro paese*, Comunicazione al Convegno «Innovazione e sviluppo nell'industria meccanica italiana: il ruolo delle Macchine Utensili», Piacenza, Dicembre 1983.
- A. CATTANI, *Flessibilità su misura*, Convegno «Meccanizzazione e robotizzazione», Milano, Aprile 1984.
- S. ROMANINI, *FMS - Esperienze e risultati COMAU*, 1982.
- ID., *How to tailor the approach to flexible machining*, «1st International Conference on FMS: Flexible Machining», Brighton, 1982.
- ID., *FMS - That reach their goal*, «2nd International Conference on FMS», Londra, 1983.
- ID., *COMAU Philosophy on flexible manufacturing System*, 5th NC Industrial Automation and Robot, Milano, 1982.
- ID., *FMS - Previsioni e realtà*, 6th NC Industrial Automation and Robot, Milano, 1984.

Sistemi di produzione ad integrazione graduale e riconfigurabili

Sergio NAURELLI (*)

Il mondo produttivo di oggi è caratterizzato, oltreché da una forte spinta all'innovazione tecnologica, da una maggiore incertezza rispetto al passato:

- durata di vita dei prodotti mediamente più breve;
- varianti dei prodotti più numerosi con mix difficili da stabilire a priori;
- concorrenza più vivace: i settori in cui vige una situazione di monopolio o oligopolio sono sempre più rari.

Per queste ragioni, i sistemi di produzione moderni devono essere sempre più «flessibili», capaci cioè di adattarsi a condizioni mutevoli, difficili da

prevedere in anticipo. Questa flessibilità tocca la maggior parte dei settori produttivi, in modo particolare i settori delle lavorazioni meccaniche e dei montaggi. Ci interesseremo qui particolarmente al primo di questi settori, che ha visto esplodere la domanda di «Sistemi flessibili di lavorazione» («Flexible manufacturing systems» o FMS).

IL CONCETTO DI FLESSIBILITÀ

È un concetto che non ha una definizione precisa, ma si possono tuttavia elencare gli aspetti più importanti:

- flessibilità relativa al prodotto: capacità di lavorare parti diverse;

(*) Ingegnere, OCN Sistemi S.p.A., San Bernardo d'Ivrea.

- flessibilità relativa alla produzione: capacità di adattamento a volumi e a mix di produzione diversi;
- flessibilità di fronte all'introduzione delle modifiche;
- flessibilità di fronte ad eventi imprevisti (guasti, ecc.).

L'APPROCCIO OCN AGLI FMS

Il concetto di flessibilità che domina nelle esigenze produttive attuali si scontra però spesso con il concetto di «produttività». Le linee flessibili di lavorazione devono proprio conciliare questi due aspetti e questo può essere realizzato seguendo due vie opposte:

- introducendo flessibilità nelle linee ad alta produttività (linee «transfer flessibili»);
- migliorando la produttività di macchine flessibili (centri di lavorazione) mediante riduzione dei tempi morti.

La OCN SISTEMI S.p.A. ha seguito questo secondo approccio non solo per ragioni di tradizione (la società sorella OCN S.p.A. è da tempo produttrice di sistemi di lavorazione), ma soprattutto perché questo approccio presenta degli importanti vantaggi:

- maggiore facilità di implementazione graduale dei sistemi;
- più facile riconfigurabilità al mutare delle esigenze;
- tolleranza ai guasti più facile da realizzare; che sono proprio «centrati» rispetto ai requisiti annunciati sopra.

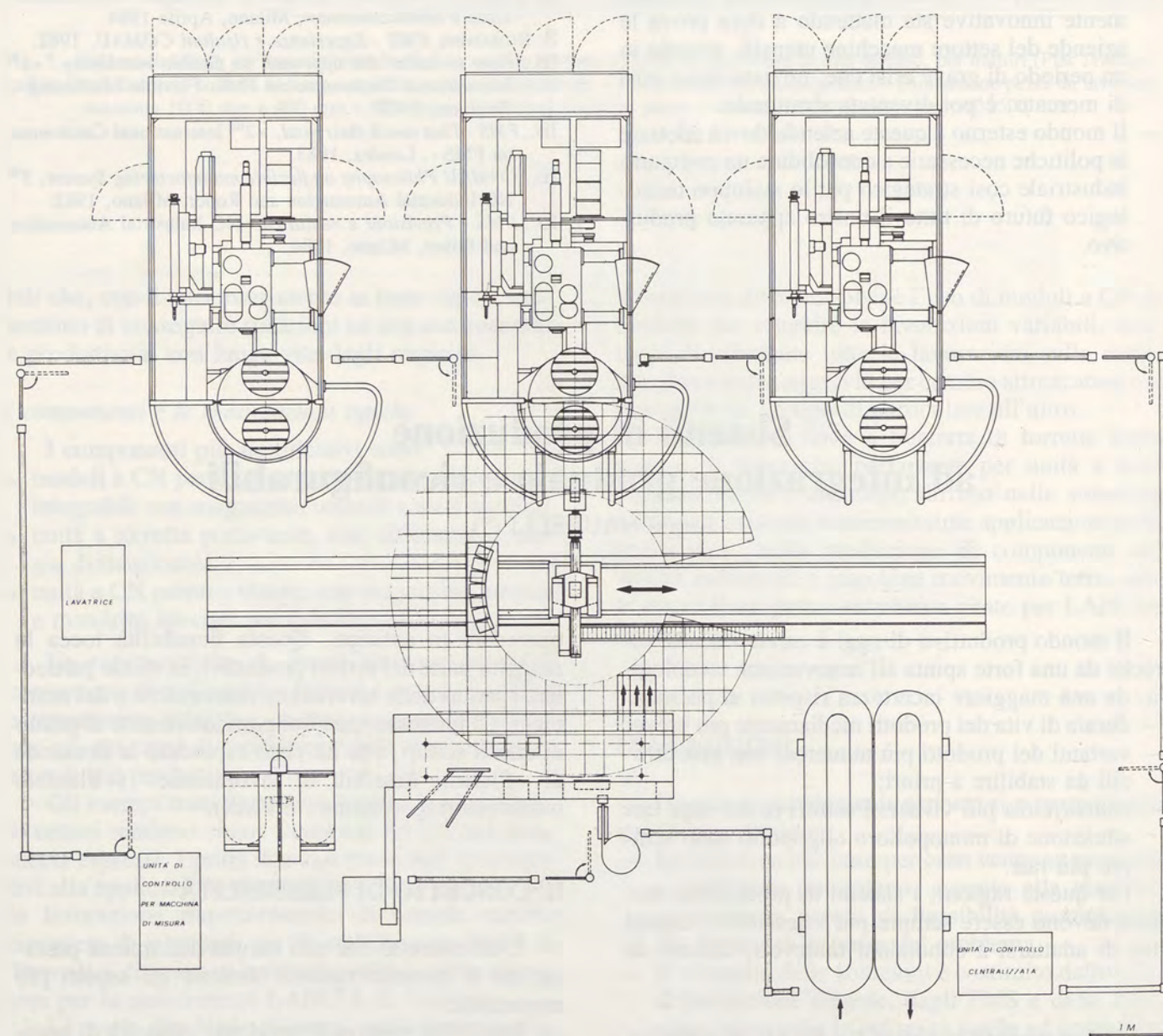


Fig. 1

UN ESEMPIO DI LINEA FLESSIBILE

A titolo di esempio, presentiamo il caso della linea flessibile sviluppata per la divisione Idraulica del gruppo CESSNA per la lavorazione di una produzione di pompe e riportato in figura 1.

La linea è composta da una serie di centri di lavorazione HO 500 (3 nella figura), da una macchina di misura INSPECTOR MIDI 130, da una robot SIGMA, da un robot manipolatore JOBOT' 6 della JOBS, oltreché da una lavatrice e da un sistema di caricamento pezzi.

Il ciclo tipico si svolge nel modo seguente: i pezzi vengono prelevati sul sistema di trasporto dal robot JOBS e montati su un attrezzo portato da una macchina di lavorazione. L'attrezzo porta un certo numero di pezzi diversi per ottimizzare le lavorazio-

ha prodotto il pezzo per una delle seguenti operazioni:

- sostituzione utensile: un utensile (ritenuto difettoso ad esempio perché i fori stanno diventando sempre più piccoli) viene sostituito da un altro utensile;
- correzione parametri della lavorazione: si riscontra una deriva, entro certi limiti si corregge per le passate successive;
- arresto della macchina se non vi sono interventi possibili in linea per sanare l'anomalia.

Oltre alle caratteristiche precedenti, va segnalato che la linea può lavorare 24 tipi di pompe diverse senza alcun riattrezzaggio, quindi praticamente senza fermata; passando invece ad altri tipi di lavorazione sarebbe necessario sostituire le attrezzature con tempi di fermata dell'ordine di un paio di ore.

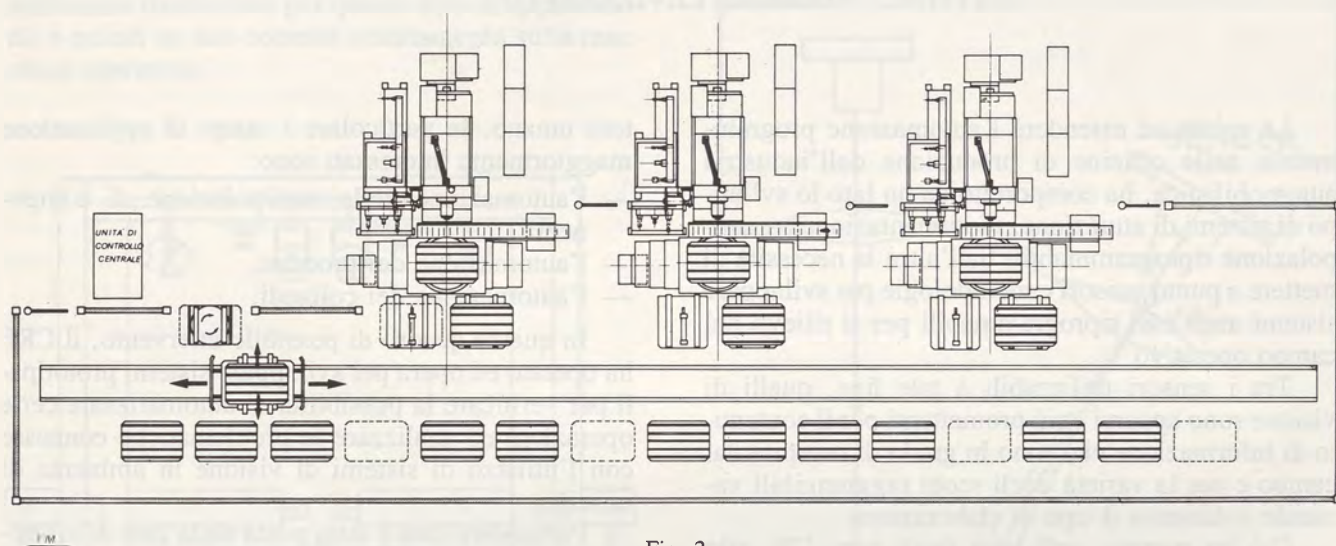


Fig. 2

ni. Si effettua un primo ciclo di sgrossatura. I pezzi sgrossati vengono portati dal robot JOBS su una stazione di lavorazione ausiliaria gestita dal robot SIGMA (qui vengono effettuate forature e piantaggio di boccole).

Dopo queste operazioni intermedie, i pezzi vengono portati una seconda volta in lavorazione sulle Horizon 500. Alla fine della lavorazione, un certo numero di pezzi viene lavato e portato alla stazione di misura dove è controllato per due ordini di motivi:

- verifica della rispondenza del pezzo alla tolleranza;
- decisione relativa ad eventuali interventi sulla macchina.

Qui sta l'aspetto fondamentale del controllo dei pezzi in tempo reale. Riscontrando anomalie, è possibile intervenire sul programma della macchina che

La stessa struttura di linea è applicabile ad altri tipi di pezzi: una seconda linea, riconducibile alla stessa architettura, è in fase di sviluppo per la SAME TRATTORI.

ALTRE CONFIGURAZIONI DI LINEE FLESSIBILI

Abbiamo visto un esempio di linea di lavorazione per pezzi piccoli, in cui la manipolazione dei pezzi viene eseguita da un robot. Questa soluzione presenta il vantaggio di ottenere grandi autonomie di lavorazione; in particolare un pezzo viene posizionato nei vari montaggi in modo completamente automatico; senza intervento dell'uomo (il robot dotato di «polso», ruota il pezzo per passare da una posizione all'altra).

Questo approccio non è sempre possibile: in particolare per pezzi di grandi dimensioni e di peso notevole, è indispensabile movimentare il pezzo montato su «pallet» movimentato da un carrello. Questo approccio presenta l'inconveniente di dover smontare e montare il pezzo tra due cicli di lavorazione complementari per cui «esce» e «rientra» nel sistema più volte (generalmente due). Il vantaggio risiede nella maggiore semplicità dell'attrezzatura e nella completa variabilità delle configurazioni dei pezzi (varia solo l'attrezzatura montata sul pallet).

Un esempio di layout di un sistema di questo tipo è riportato nella figura 2.

CONCLUSIONI

Gli esempi presentati illustrano come sia possibile realizzare linee flessibili di lavorazione aventi le caratteristiche discusse in introduzione mediante integrazione di centri di lavorazione, ottenendo un ottimo compromesso tra flessibilità e produttività.

Sistemi di visione in applicazioni di automazione industriale

Giannetto LEVIZZARI (*)

La spinta ad estendere l'automazione programmabile nelle officine di produzione dell'industria automobilistica, ha comportato da un lato lo sviluppo di sistemi di attuazione, movimentazione e manipolazione riprogrammabili, dall'altra la necessità di mettere a punto sensori e metodologie per sviluppare sistemi anch'essi riprogrammabili per il rilievo del campo operativo.

Tra i sensori utilizzabili a tale fine, quelli di visione sono apparsi i più promettenti per il contenuto di informazione che sono in grado di recepire dal campo e per la varietà degli scopi raggiungibili variando solamente il tipo di elaborazione.

Ciò ha portato, agli inizi degli anni '70, allo sviluppo in alcuni laboratori di ricerca dei primi sistemi di visione, che sono andati via via affermandosi in diversi campi applicativi. L'industria automobilistica è stata tra le prime a recepire le potenzialità di tali sistemi, usabili sia in combinazione con i robot sia autonomamente per problemi di collaudo.

Per seguire lo sviluppo di tale tecnologia e per favorire la sua introduzione nei sistemi di produzione è stato attrezzato presso il Centro Ricerche Fiat un laboratorio di Visione che ha cominciato ad operare dal 1978.

CAMPI DI APPLICAZIONI

Molte sono le applicazioni in cui i sistemi di visione possono vantaggiosamente essere utilizzati per automatizzare operazioni la cui complessità ha finora richiesto la destrezza e flessibilità dell'opera-

tore umano. In particolare i campi di applicazione maggiormente interessati sono:

- l'automazione della manipolazione di componenti,
- l'automazione dei processi,
- l'automazione dei collaudi.

In questo quadro di possibile intervento, il CRF ha operato ed opera per sviluppare sistemi prototipali per verificare la possibilità di automatizzare certe operazioni ed analizzare le problematiche connesse con l'utilizzo di sistemi di visione in ambiente di officina.

Particolare cura è stata posta nella fase di sviluppo dell'HW specifico di visione e degli algoritmi di preprocessamento al fine di rendere questa tecnologia applicabile nelle officine di produzione dove le condizioni operative sono sensibilmente diverse da quelle dei laboratori accademici dove tali sistemi sono stati concepiti.

Sono state sviluppate applicazioni su ognuno dei campi precedentemente ricordati ed alcuni dei sistemi sono in fase di valutazione in officina, altri in avanzata fase di sviluppo. Dei primi verranno brevemente descritti i sistemi per:

- orientamento e caricamento pezzi con gestione di tavola rotante;
- saldatura ad arco robotizzata con sensore di giunto;
- ispezione automatica dei longheroni per autocarro.

Sistema per orientamento e caricamento pezzi con gestione di tavola rotante

In molti casi la lavorazione di pezzi a simmetria circolare richiede un corretto orientamento del pezzo

(*) Ingegnere, Centro Ricerche FIAT, Torino.

sulla macchina ottenuto mediante l'identificazione di particolari riferimenti. Per problematiche di questo tipo e per la manipolazione di componenti a bassa rigidità (plastica, gomma, ecc.) è stato sviluppato un sistema automatico di manipolazione costituito da (figura 1):

- tavola rotante gestita da calcolatore ($\varnothing = 110$ cm),
- due telecamere lineari (2048 pixels),
- due robots elettrici posizionati a lato tavola.

Una volta caricato, il componente è portato in rotazione dalla tavola rotante ed il suo contorno ed altri attributi di interesse vengono estratti dalle immagini inviate dalle due telecamere al calcolatore del sistema di visione.

La conoscenza di questi parametri permette una localizzazione del componente con la risoluzione richiesta (in molti casi una telecamera quadra non ha sufficiente risoluzione per questo tipo di applicazioni) e quindi un suo corretto orientamento sulla macchina operatrice.

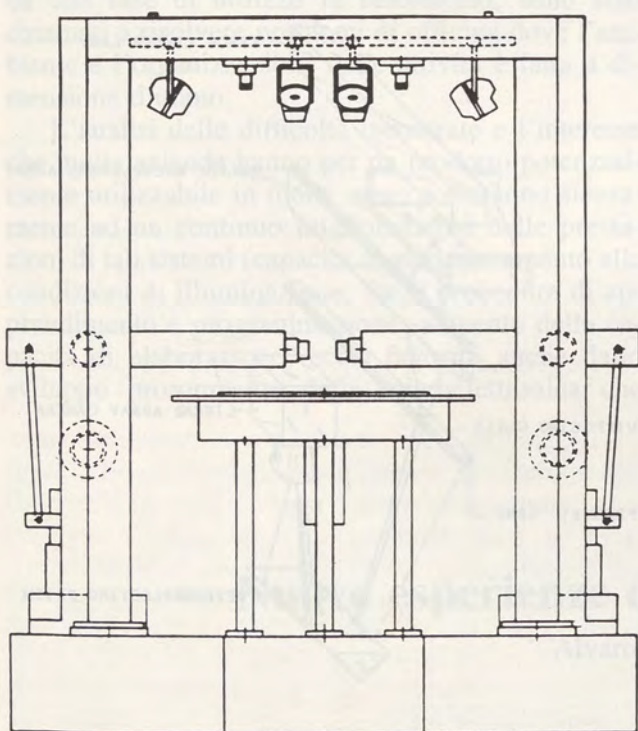


Fig. 1 - Prelievo pezzi su tavola rotante.

Sistema robotizzato di saldatura ad arco con sensore di giunto.

In molte applicazioni di saldatura ad arco è indispensabile rilevare, date le imprecisioni insite nei componenti stessi e nel loro posizionamento relativo, l'esatta posizione del giunto al fine di ottenere saldature di buona qualità. In alcune di queste appli-

cazioni, che sono tipiche dell'industria automobilistica, data la brevità dei tratti da attuare, è sufficiente determinare con precisione il punto di attacco della saldatura mentre la restante parte del cordone può essere effettuata eseguendo una traiettoria parallela a quella acquisita dal robot nella fase di apprendimento.

È stato a tale fine sviluppato un sensore che montato in prossimità della torcia di saldatura è in grado, mediante una tecnica di triangolazione, di rilevare la posizione del giunto. Il sensore, il cui principio di funzionamento è visibile in figura 2, è costituito da un emettitore (diodo laser) che invia un fascetto di

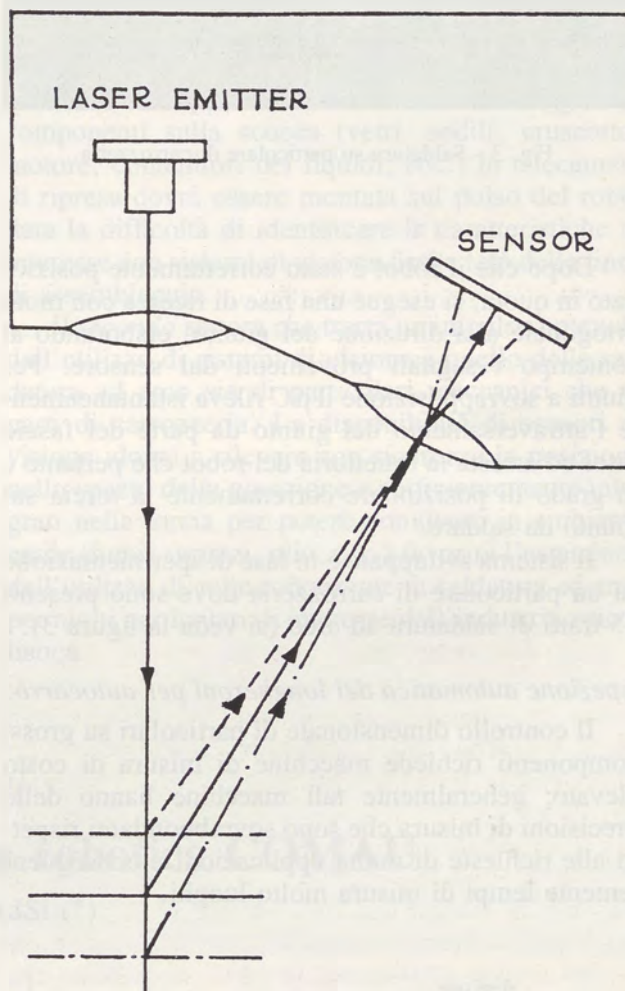


Fig. 2 - Tecnica di triangolazione del fascio laser.

luce collimata sulla superficie da investigare. L'immagine dello spot sulla superficie è ripresa, tramite una lente, da un trasduttore dotato di superficie fotosensitiva. Con un'opportuna logica di condizionamento è possibile determinare la posizione (x, y) del centroide dello spot incidente sulla superficie sensibile che è legata alla distanza tra torcia e superficie.

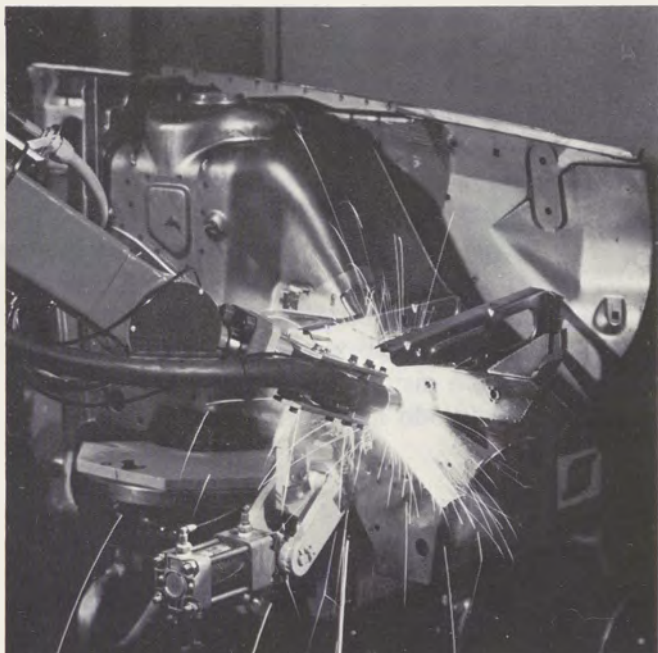


Fig. 3 - Saldatura su particolare di carrozzeria.

Dopo che il robot è stato correttamente posizionato in quota, si esegue una fase di ricerca con moto ortogonale alla direzione del giunto, elaborando al contempo i segnali provenienti dal sensore. Per giunti a sovrapposizione il μC rileva istantaneamente l'attraversamento del giunto da parte del fascio laser ed arresta la traiettoria del robot che pertanto è in grado di posizionare correttamente la torcia sul giunto da saldare.

Il sistema sviluppato è in fase di sperimentazione su un particolare di carrozzeria dove sono presenti 15 tratti di saldatura ad arco (si veda la figura 3).

Ispezione automatica dei longheroni per autocarro.

Il controllo dimensionale di particolari su grossi componenti richiede macchine di misura di costo elevato; generalmente tali macchine hanno delle precisioni di misura che sono sovrabbondanti rispetto alle richieste di molte applicazioni e conseguentemente tempi di misura molto lunghi.

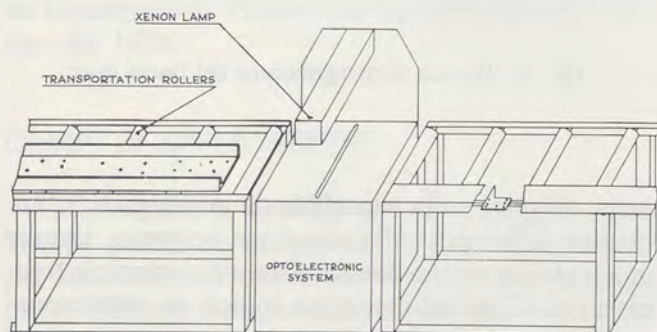


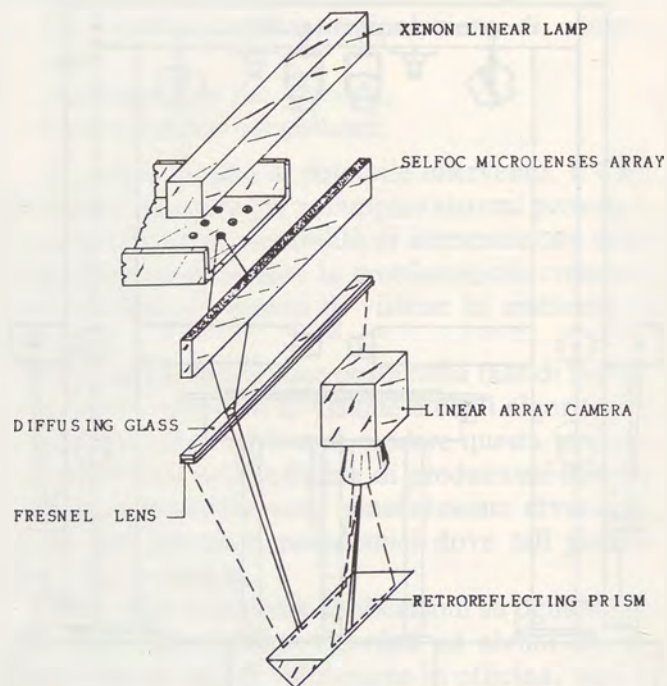
Fig. 4 - Principio operativo del sistema automatico di collaudo.

L'applicazione in oggetto richiede di potere controllare su un longherone la presenza, la posizione ed il diametro di tutti i fori previsti a disegno (circa 300) con una precisione di $\pm 0,2$ mm, su una base di misura di $10 \times 0,5$ m², e questo in due minuti e per una trentina di tipi.

La necessità di inserire il sistema di collaudo in linea di produzione ha portato, al fine di facilitare la manipolazione di componenti, ad un concetto di macchina visibile in figura 4.

I longheroni caricati su un lato della macchina vengono fatti passare tramite un piano a rulli motorizzato ed inclinato di 15°, per garantire un riferimento laterale, attraverso un sistema ottico di misura trasversale. Tale sistema è costituito da un illuminatore che proietta sul piano del longherone una lama di luce e da una telecamera lineare che riprende per trasparenza l'immagine dei fori.

Data la presenza dei fori su un esteso campo di ripresa, per potere diminuire gli errori di prospettiva si è dovuto sviluppare un sistema ottico telecentrico



Measuring field:	10 × 0.5 m ²
Measuring speed:	5 m/min
Repeatability:	± 0.2 mm
Accuracy:	± 0.3 mm
Operating temp.:	20 $\pm$ 5 °C

Measuring systems:	
Longitudinal:	Optical encoder resolution 0.05 mm
Transversal:	Linear array camera resolution 0.2 mm
Optical syst.:	Microlenses + fresnel lens

Fig. 5 - Specifiche del sistema di collaudo e dispositivo ottico.

in grado di generare una immagine con un punto di vista all'infinito. La migliore soluzione trovata è stata quella di utilizzare un array di microlenti Selfoc. Una vista del sistema ottico di ripresa è riportato in figura 5.

Il calcolatore interfacciato con la telecamera è in grado di ricostruire per intercette successive i fori che via via interessano la lama di luce e di calcolare posizione e diametro utilizzando per l'asse di movimento un encoder ottico. Dopo una fase di messa a punto iniziale, la macchina sta ora operando presso lo Stabilimento Telai IVECO.

TRENDS

In analogia con quanto successo negli ultimi decenni, per altri prodotti innovativi (calcolatori, macchine a CN, robots, ecc.) anche per i sistemi di visione si sta assistendo, dopo una prima fase di entusiasmo di tipo accademico, ad una pausa di riflessione operativa. Questa pausa è il logico contraccolpo delle limitazioni e delle difficoltà oggettive che tali sistemi hanno palesato quando, uscendo da una fase di utilizzo in laboratorio, sono stati chiamati a risolvere problemi di officina dove l'ambiente e l'organizzazione delle attività è fatta a dimensione d'uomo.

L'analisi delle difficoltà incontrate e l'interesse che molte aziende hanno per un prodotto potenzialmente utilizzabile in molte aree, porteranno sicuramente ad un continuo miglioramento nelle prestazioni di tali sistemi (capacità di autoadattamento alle condizioni di illuminazione, facili procedure di apprendimento e programmazione, aumento della capacità di elaborazione, ecc.) favorito anche dallo sviluppo prorompente della microelettronica che

continua a mettere a disposizione componenti con rapporto prestazioni/costi sempre crescente.

Le prestazioni dei nuovi sistemi che via via diventeranno disponibili unite ad una maggiore conoscenza dei problemi connessi con l'utilizzo di tale tecnologia ne favoriranno sicuramente l'estendersi nei campi applicativi menzionati. Due in particolare sono quelli che, a nostro avviso, ne trarranno il maggiore vantaggio.

Il primo è sicuramente quello dell'assemblaggio sia di meccanica che di carrozzeria.

In tale campo i sistemi di visione potranno essere vantaggiosamente utilizzati per la manipolazione di componenti (riconoscimento, prelievo, orientamento), per la determinazione dei punti di applicazione delle varie operazioni (fori, giunzioni, ecc.), per il controllo del corretto posizionamento di alcuni componenti critici, ed infine per l'esame finale di conformità.

Per molte applicazioni relative al montaggio dei componenti sulla scocca (vetri, sedili, cruscotto, motore, contenitori dei liquidi, ecc.) la telecamera di ripresa dovrà essere montata sul polso del robot data la difficoltà di identificare le caratteristiche di interesse con sistemi di visione fissi a lato delle linee di assemblaggio.

Il secondo settore che trarrà un impulso notevole dall'utilizzo di sistemi di visione è quello della saldatura ad arco sia di particolari meccanici che di parti di carrozzeria. La disponibilità di sensori di visione idonei a rilevare con sicurezza la posizione nello spazio della giunzione e sufficientemente integrati nella torcia per potere convivere in ambiente ostile (fumi, spruzzi, olio, ecc.) favorirà l'estendersi dell'utilizzo di celle robotizzate di saldatura ad arco per molti particolari di interesse dell'industria veicolare.

Nuove esperienze della robotica COMAU

Alvaro PUGLISI (*)

Il COMAU opera da molti anni nel mondo dell'automazione flessibile e robotizzata: scenario caratterizzato da una grande dinamica di mercato e da una rapida evoluzione tecnica, culturale e, quindi sociale.

I fattori di questo cambiamento si possono così enunciare:

- mutamenti socio-culturali
- mutamenti nella morfologia dell'industria
- mutamenti nei criteri e nelle tecniche organizzative
- mutamenti nelle tecnologie produttive.

Queste brevi note costituiscono una testimonianza su alcune fra le nuove tecniche di produzione e di gestione dei prodotti finiti. Ne emergono appieno la grande attualità dei mutamenti e l'importanza di non farsi trovare impreparati, innanzi al rapido incedere della società post-industriale.

(*) Ingegnere, direttore produzione COMAU s.p.a., Divisione Sistemi di Assemblaggio e Movimentazione.

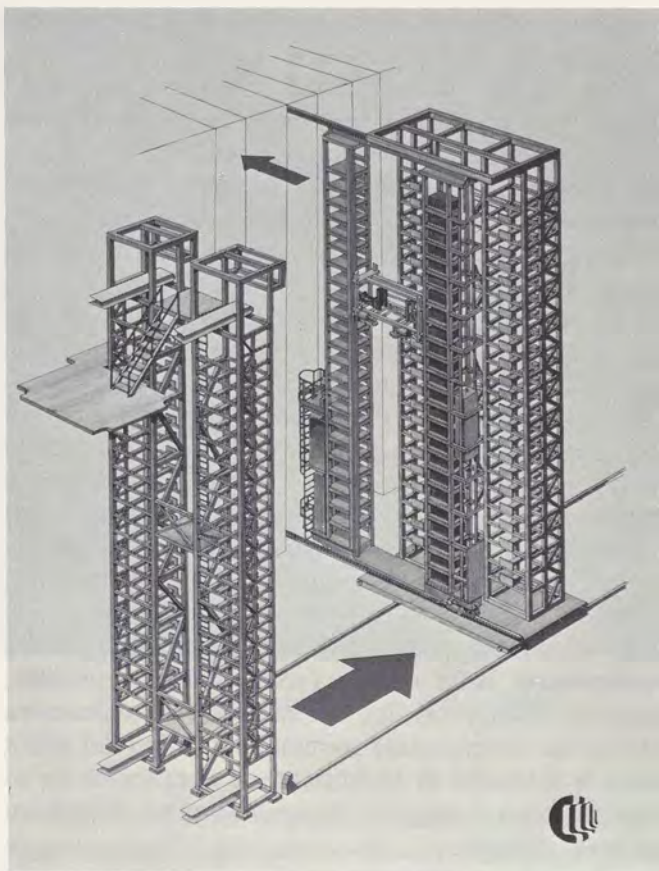


Fig. 1

Gli obiettivi si possono così classificare:

- *obiettivi tecnico economici*: nei settori dedicati alla produzione, attengono a: flessibilità e convertibilità della produzione, aumento della produttività, miglioramento dell'efficienza e della saturazione degli impianti, costanza di una superiore qualità del prodotto; nei settori destinati allo stoccaggio e alla distribuzione del prodotto rientrano: centralizzazione, in singoli magazzini, di prodotti finiti aventi caratteristiche tecniche e dimensioni diverse, rapida movimentazione e distribuzione legata ad un elevato volume di unità da trattare giornalmente; in entrambe le aree: possibilità di diagnostica e monitoraggio, semplicità e rapidità di manutenzione. Il raggiungimento di questi obiettivi tecnici si traduce in targets economici, quali la diminuzione dei costi di produzione, la riduzione delle scorte, l'abbattimento e il rapido ritorno degli investimenti;
- *obiettivi di dinamica di mercato*: polivalenza, rapidità di adeguamento alle variazioni dei modelli prodotti e dei trends di vendita; flessibilità e dinamismo nello smistamento e assegnazione dei prodotti finiti ai punti di vendita;
- *obiettivi sociali*: miglioramento dell'ambiente di lavoro, maggiore sicurezza nelle mansioni svolte dagli operai, eliminazione delle attività monotone, ripetitive, faticose, elevazione del livello

tecnico culturale della fabbrica e quindi riduzione dell'assenteismo, della noia, della disaffezione al lavoro, della conflittualità interna.

I problemi, da risolvere in sinergia con gli utilizzatori sono:

gestionali, in quanto rivolti al coordinamento tra l'attività degli impianti e quelle dell'officina circostante (problemi legati ai lay-out d'officina, alla logistica del prodotto, ai magazzini di risequenziamento dei vari tipi prodotti dallo stesso impianto); coordinamento delle singole unità operatrici fra di loro (in questo caso gioca un ruolo importante l'esatta scelta del metodo di assemblaggio dei pezzi, dei magazzini interoperazionali, degli asservimenti macchina); corretta gestione delle varie operazioni all'interno delle singole unità di lavoro (condizione fondamentale per ottenere i tempi cicli e le efficienze prestabilite in fase di avvanprogetto);

tecnici: progettazione e tecnologia che tengano conto delle esigenze primarie di una automazione robotizzata, cioè tolleranze di lavorazione adeguate e costanza di qualità tra pezzo e pezzo;

organizzativi, in quanto i flussi informativi si trasformano da verticali (strutture di lavoro in linea) in orizzontali e diagonali (strutture di lavoro a reticolo); inoltre sfumano le differenze tra il lavoro diretto e indiretto, tra il lavoro operaio e quello impiegatizio; diventano una costante necessaria la formazione e l'aggiornamento professionale del personale, dei capi, dei quadri; si tende a divulgare i nuovi criteri e le nuove filosofie, che pongono l'accento sul miglior utilizzo degli impianti (efficienze tecniche e di gestione) e rendono meno attuale la singola prestazione lavorativa dell'uomo (rendimenti e cottimi); infine si studiano e ipotizzano nuove strutture retributive.

Le risorse e gli strumenti a disposizione sono: know how, esperienza, robot computers e PLC, sensori, telecamere, sonar, laser. I sistemi COMAU sino ad oggi realizzati comprendono i seguenti campi: saldatura, montaggio, trasferimento pezzi, handling, lavaggio, stoccaggio e distribuzione.

IL ROBOT SMART

Il robot Smart è il risultato di una lunga esperienza nella robotica (saldatura, montaggio, manipolazioni); Smart è un robot « antropomorfo » a 6 gradi di libertà, con singolari caratteristiche di versatilità e destrezza. La sua unità di controllo impiega un microprocessore Intel 8085 a 64 K di memoria; ha una capacità di memorizzare fino a 2.000 passi di percorso ed un controllo di traiettoria lineare e circolare; la programmazione delle curve e della velocità di raccordo tra i punti toccati durante le sue missioni (fly) ha una scheda interfaccia intelligente che con-

sente di recepire dati e programmi registrati da calcolatori esterni; autodiagnostica durante il funzionamento; gestisce sensori esterni e controlla attraverso PLC sequenze operative di attrezzi cui è asservito.

Le sue caratteristiche meccaniche sono: sbraccio max orizzontale 1.917 mm, verticale 2.845 mm, capacità di carico 60 kg, a 330 mm dal centro della testa alla massima velocità; ripetibilità di posizionamento $\pm 0,4$ mm a pieno carico ed alla massima velocità. Può essere posizionato a terra, a parete, a soffitto.

SISTEMI FLESSIBILI DI PRODUZIONE TRADIZIONALI

Nel settore dell'automazione flessibile della saldatura con robot è da sottolineare la grande innovazione tecnologica portata dal *Robogate*, sistema capace di saldare diversi tipi di scocche, seguendo una distribuzione «random» senza perdite di unità di prodotto, in quanto il cambio delle attrezzature di riferimento e bloccaggio-scocca e dei programmi robot avviene in tempo ciclo. Per esempio: l'impianto Robogate della FIAT di Rivalta può passare indifferentemente, senza fermate produttive, dalla Ritmo (a 3 o 5 porte) alla Uno (a 3 o 5 porte) e viceversa. Gli impianti di Mirafiori, costruiti sul medesimo principio di flessibilità di funzionamento, ma con spostamento dei pezzi su linea a trasferta meccanica anziché su carrelli semoventi, sono predisposti per saldare indifferentemente tre modelli in tutte le loro versioni. Gli impianti hanno raggiunto efficienze e flessibilità difficilmente superabili (80% l'intero sistema, 96% per i soli robot); in tutto il mondo sono stati venduti ed installati 45 impianti di questo tipo.

LE NUOVE AREE APPLICATIVE

Con l'avvento dei sensori, e dei sistemi di visione in particolare, il COMAU è stato in grado di allargare il suo orizzonte tecnico. I sensori infatti si sono rivelati un formidabile strumento per risolvere alcune operazioni di elevata complessità, quali l'assemblaggio di pezzi fra loro, che richiedevano capacità sensorie sino ad oggi esclusiva prerogativa dell'uomo. Partendo da questi presupposti e tenendo sempre ben presenti i vincoli tecnici e di gestione si è riusciti a realizzare due importanti impianti di montaggio, che operano in produzione dall'ottobre 1983:

1) L'impianto montaggio ruote

I compiti urgenti da risolvere attraverso l'automazione del montaggio ruote erano: incrementare la produttività e la qualità ed eliminare una mansione estremamente faticosa e ripetitiva (si pensi che senza

questa meccanizzazione un operatore muoverebbe in un turno di lavoro circa 425 ruote, pari a 4.250 kg).

L'impianto pilota si sta confermando l'intelligente soluzione del problema. Il sistema di alimentazione scocche opera secondo il concetto stop-and-go; le condizioni geometriche del montaggio sono:

- orientamento della rosa dei fori sul mozzo: causale,
- scostamento angolare del mozzo sugli assi X e Y: ∓ 10 gradi,
- tolleranza del centro ruota nelle direzioni X, Y e Z sul sistema di trasporto: ∓ 10 mm.

Le ruote in una serie di stazioni concepite anch'esse con il criterio della automazione flessibile, vengono orientate e preassemblate con coppe e bulloni, quindi attraverso un trasportatore a rulli indirizzate nell'area di presa del robot. Smart, mediante un attrezzo composto da pinze di presa ad espansione e da un avvitatore multiplo azionato pneumaticamente, preleva la ruota e la dispone sul mozzo con immediata rotazione dell'avvitatore. I valori istantanei e reali di posizione centro-mozzo e scostamento angolare vengono comunicati al robot da un sistema video, composto da due telecamere e da un microprocessore, che elabora la visione spaziale in dati

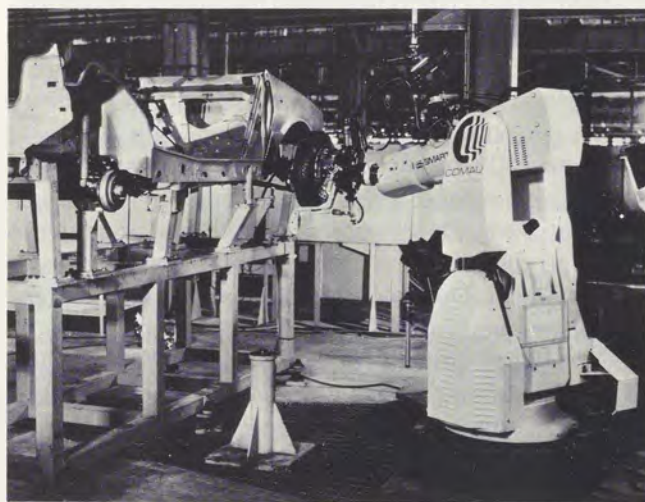


Fig. 2

ideali a definire univocamente la traiettoria di avvicinamento della ruota. I parametri di avvitatura (cioè angolo avvitatura, momento di coppia e pendenza della curva di avvitatura) vengono controllati elettronicamente.

L'impianto definitivo prevede due robot per avvitare le 4 ruote ed un terzo robot per disporre la ruota di scorta nel suo vano apposito. Tempo ciclo: 51 secondi.

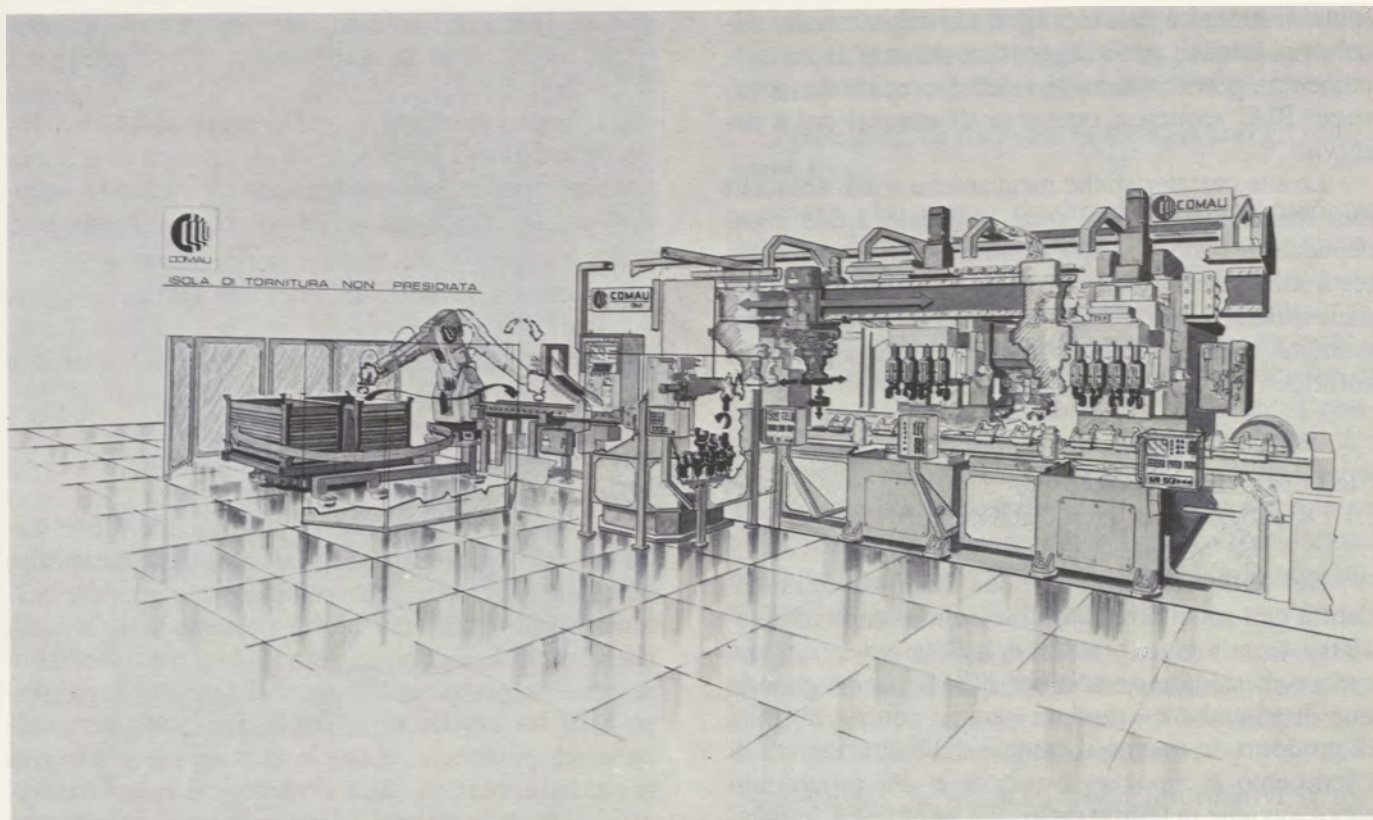


Fig. 3

2) L'impianto avvitatura cerniere

Alla FIAT è stato installato un modulo prototipale che esegue il montaggio delle cerniere su porte di autovetture mediante robot. In breve tempo l'intera produzione verrà trasformata utilizzando questo nuovo procedimento: un contenitore con 15 porte perviene nella posizione operativa mediante un trasportatore a catene; non è posta alcuna richiesta particolare in merito alla precisione di posizionamento dei punti di avvitatura; una telecamera confronta la posizione dei dadi saldati sulle porte con quella teorica, e trasmette le differenze al calcolatore.

Il robot preleva le cerniere assieme ai due bulloni relativi da un magazzino di accumulo pallet caricato manualmente da un operatore. Esaurite le operazioni su tutte le porte del contenitore, questo prosegue ed automaticamente subentra il successivo.

L'attrezzo del robot (30 kg) si compone di pinze di presa e di avvitatore doppio, azionato automaticamente. L'impianto opera su porte destre e sinistre; anteriori e posteriori in un tempo ciclo di 16 secondi con efficienze ormai prossime all'80%. Per passare dal tipo sinistro a quello destro e viceversa, è necessario un cambio di attrezzo che richiede un tempo di circa 5 minuti. Anche in questo caso i parametri di avvitatura vengono controllati elettronicamente dal calcolatore; qualora il valore sia fuori tolleranza, un dispositivo incolla un'etichetta codificata sulla porta ed il contenitore relativo viene posto automaticamente in zona di riparazione.

L'AUTOMAZIONE ROBOTIZZATA DELLO STAMPAGGIO

Gli obiettivi elencati nella premessa hanno motivato nel progetto e nella costruzione di Smart interprese, un robot della stessa famiglia del precedente dedicato al trasferimento automatico dei pezzi tra presse di stampaggio. Questa soluzione, tutelata da brevetto, permette a costi minori od uguali rispetto alle attuali automazioni di tipo rigido, dei tempi di riattrezzamento linea per cambio tipo estremamente ridotti, una maggiore semplicità e quindi una maggiore facilità di manutenzione dell'impianto.

Per affrontare i problemi posti da questo particolare tipo di manipolazione, in cui serve una grande velocità di spostamento, si è realizzata una traslazione quasi lineare del pezzo. Grazie ad un moto di tipo armonico controllato, si forniscono curve di accelerazione e velocità che non sollecitano dinamicamente il pezzo, con conseguente eliminazione delle forze centrifughe e dei relativi problemi di sicurezza.

Questo tipo di movimento è ottenuto tramite la combinazione del moto, nel piano orizzontale, di due leve sovrapposte. La prima leva è una struttura rigida, la seconda è rappresentata dall'insieme del braccio e avambraccio del robot Smart. Il movimento delle due leve è dato da due servomotori controllati singolarmente. Lo spostamento del pezzo da uno

stampo all'altro, oltre che con il movimento delle due leve orizzontali, è ottenuto con il movimento del braccio e dell'avambraccio; le loro funzioni sono: compensare la differenza di interasse fra i vari tipi di presse, conferire penetrazione nella zona dello stampo, spostare verticalmente il pezzo nella fase di presa e di deposito. La posizione trasversale del pezzo, rispetto all'asse-linea, è realizzata tramite le due leve di base. Gli assi finali del polso, che servono anche a presentare nel modo più idoneo l'organo di presa nella fase di prelievo, conferiscono particolare adattabilità a complesse traiettorie di inserimento del pezzo nello stampo.

La presa del pezzo viene realizzata normalmente con pinze a ventose. Il tempo di traslazione del pezzo, tramite leve, è di 2,2 secondi; il tempo ciclo è determinato da due movimenti di traslazione (andata e ritorno), più tempo di presa e tempo di deposito. Il tempo totale è in funzione dell'interasse-presse, delle dimensioni del pezzo e delle difficoltà di estrazione e inserimento del pezzo. In media, il tempo ciclo è 5-6 secondi.

Smart e adattabile, per la sua grande versatilità nella movimentazione, a qualsiasi linea di presse ed è utilizzabile, per la sua destrezza nella manipolazione, con qualsiasi dimensione di pezzi.

ALTRE APPLICAZIONI

Le capacità sensorie, la precisione e la flessibilità delle operazioni che caratterizzano gli impianti descritti in precedenza ci hanno indotti ad automatizzare altre attività manuali. Tra questi è da menzionare l'isola di tornitura non presidiata, dove il robot è asservito a macchine utensili per il carico e lo scarico dei pezzi. Uno Smart infatti, corredato di un sensore a ultrasuoni, è in grado di prelevare volanti motore posti alla rinfusa in un cassone, e posizionarli orientandoli nella maniera appropriata per alimentare celle di tornitura.

Un secondo esempio è dato dall'impianto di lavaggio ad alta pressione, realizzato per la Borg-Warner. Il sistema (che integra cinque nuove macchine utensili a controllo numerico, una macchina preesistente, un robot di lavaggio, un magazzino automatico della capacità di stoccaggio pari a circa due turni di produzione) produrrà inizialmente 86 tipi diversi di parti di compressori, il cui peso varia fra 16 e 1.600 libbre, ad una cadenza di un pezzo/4 min. Automaticamente è scelta la sequenza dei pezzi da produrre, in maniera da garantire la massima saturazione delle macchine e rispettare i vincoli imposti dalle altre aree e processi di produzione.

IL SISTEMA «TRASLO-ROBOT»

Come ho detto nella premessa la necessità di una rapida movimentazione dei prodotti e l'elevato volume di unità da trattare giornalmente all'interno del magazzino, rendono antieconomiche le soluzioni tradizionali, ove sia impiegato il trasloelevatore classico che può operare con una sola unità di carico ad ogni missione. Infatti, per poter sostenere un considerevole numero di operazioni/ora si devono inevitabilmente impiegare più trasloelevatori, asserviti in testata da altrettante baie di carico/scarico.

A tale scopo è stato messo a punto e realizzato un sistema, che abbatta considerevolmente i costi, utilizzando un trasloelevatore robotizzato in grado di movimentare più di 220 unità/ora (scatole di cartone). Ciò è stato ottenuto rivedendo completamente l'impostazione del magazzino come «sistema», senza esasperare la velocità di funzionamento. Al centro di raccolta e distribuzione i cartoni pervengono già confezionati per il cliente, ed è questo il motivo per cui le loro dimensioni sono variabili ed il loro volume relativamente piccolo.

La movimentazione dei colli da parte di un trasloelevatore, equipaggiato con forcole telescopiche, porrebbe particolari problemi, non essendo possibile raggruppare più scatole in un'unica unità di carico, poiché il grado di selettività del magazzino deve essere a livello di singolo collo. Tenendo conto di questi fattori, il trasloelevatore deve avere tempi di percorrenza minimi, distribuendo o raccogliendo il maggior numero possibile di pacchi nell'ambito della stessa missione; deve, cioè, avere la funzione di un «distributore/raccogliitore», ossia essere un piccolo magazzino traslante dal quale gli appositi attrezzi di presa possono prelevare i colli ed immagazzinarli uno ad uno nello scaffale e viceversa.

Da questa idea è nata la struttura del traslo-robot: traslatore bicolonna, le cui colonne sono costituite da quattro montanti tubolari e ripartite in tanti ripiani quanti sono i piani di magazzino. Ad esempio, per un'altezza di 20 metri con 25 livelli, si può disporre di una capacità di stoccaggio a bordo del traslatore di $20 \div 25$ unità di carico.

La versatilità del sistema traslo-robot, abbinata ad un adeguato supporto informatico, permette nuove e interessanti soluzioni per i magazzini ad alta movimentazione e, soprattutto, consente un abbattimento degli investimenti derivante dal diminuito numero di funzioni impiegate, con conseguente aumento della affidabilità totale di tali sistemi.

Un magazzino centralizzato dotato di 240.000 scaffali e di 12 traslo-robot è attualmente in fase di avviamento presso la Benetton di Castrette in provincia di Treviso.

Sistemi flessibili integrati di montaggio e collaudo

Italo DEL GAUDIO (*)

Da lungo tempo il controllo della qualità è considerato uno strumento di estrema importanza per la gestione aziendale nel settore delle produzioni più varie, ma esso viene in gran parte dei casi considerato come una parte della struttura organizzativa che opera in maniera separata, se non talvolta addirittura antagonista, nei confronti degli enti produttivi. Questa concezione si può ripercuotere sulla efficienza del sistema produttivo in quanto in questa dialettica il prevalere, per forza organizzativa, di personale, dell'uno o dell'altro ente, può portare ad una disottimizzazione globale anche se apparentemente ciascuno ha fatto al meglio il suo lavoro.

Questo approccio va totalmente rivisto, e ciò può portare ad una positiva rivoluzione organizzativa, quando si introduce l'automazione nei reparti produttivi. I primi robot che, con sequenze molto ripetitive, mettevano insieme le parti, senza aver strumenti che consentissero di verificare la correttezza delle operazioni, hanno lasciato il posto ad apparecchiature interfacciabili con strumenti di misura, con i quali possono dialogare attraverso protocolli standard, con sistemi di visione, con apparecchiature laser che estendono la potenzialità dei « sensi » del robot al di là di quello che può fare l'uomo. Inoltre la disponibilità dei dati quantitativi rilevati dagli strumenti di misura automatici in linea,

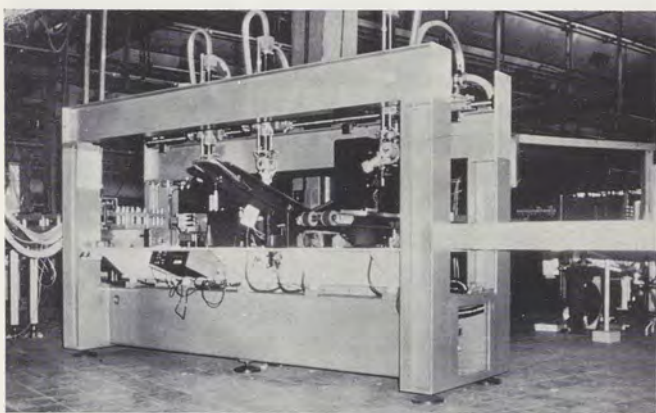


Fig. 1

può fornire gli andamenti qualitativi in tempo reale che possono poi essere elaborati per comprendere i trend di qualità ed intervenire tempestivamente con azioni correttive.

Ovviamente non tutti i sistemi robotizzati consentono prestazioni di questo genere ma una corretta e approfondita precisazione delle specifiche utenze come vedremo può portare a questi risultati.

(*) Ingegnere, OCN S.p.A., Ivrea

IL SIGMA COME « STAND ALONE »

Partendo dal primo esempio in cui la macchina funziona come « Stand Alone » per produrre una serie di molte famiglie di fusi per filatura differenti per diametro ed altezze si può osservare quanto segue. La geometria della macchina consente una dislocazione della alimentazione — uscita parti - prodotto finito — da tutti i quattro lati della macchina con una accessibilità estrema. Ciò rende anche possibile l'integrazione della macchina con altre macchine operatrici come in questo caso in cui una delle parti dopo un pre assemblaggio viene trasferita attraverso un modulo standard di trasporto ad un tornio dal quale ritorna dopo la lavorazione attraverso un altro ramo del su menzionato trasporto (figura 1).

Inoltre la possibilità di interfacciarsi con i più disparati sistemi di misura è utilizzata in questo caso in due modi. In primo luogo si misura con una apparecchiatura a raggio laser l'eccentricità di un sub assieme con una precisione di 0,01 mm e inoltre si verifica con un altro strumento la coppia resistente offerta dalla rotazione delle parti mobili del prodotto finito.

È chiaro che in funzione del difetto riscontrato sono previste azioni di recupero ad hoc oppure scarti selettivi, in modo che il prodotto finito esca dal trasporto di testa collaudato e funzionante.

LA CONFIGURAZIONE « IN LINEA »

Il secondo esempio è relativo ad una linea integrata per la produzione automatica e collaudo di linea e finale di famiglie di motoventilatori.

La linea integrata è stata progettata utilizzando 2 Robots SIGMA di base ciascuno dei quali con 3 bracci e 9 gradi di libertà. Il lay-out è del tipo di linea ed il collegamento tra le due macchine è realizzato mediante convogliatori standard power and free sviluppati dalla OCN come elementi di base destinati a ridurre l'entità della attrezzatura specifica.

Lo stesso concetto è stato utilizzato per i convogliatori laterali necessari a collegare la linea con il resto della fabbrica e per gli organi di presa. In questo caso sono state utilizzate due sole pinze fondamentali per ottenere le diverse funzioni di presa cambiando unicamente le parti terminali.

La linea integrata è stata progettata per realizzare il montaggio in linea ed il collaudo in linea e finale di vari tipi di motoventilatore per il raffreddamento dei motori di automobili, con una produttività di un pezzo ogni 9 secondi. Per descrivere meglio le prestazioni della linea, facciamo riferimento al dia-

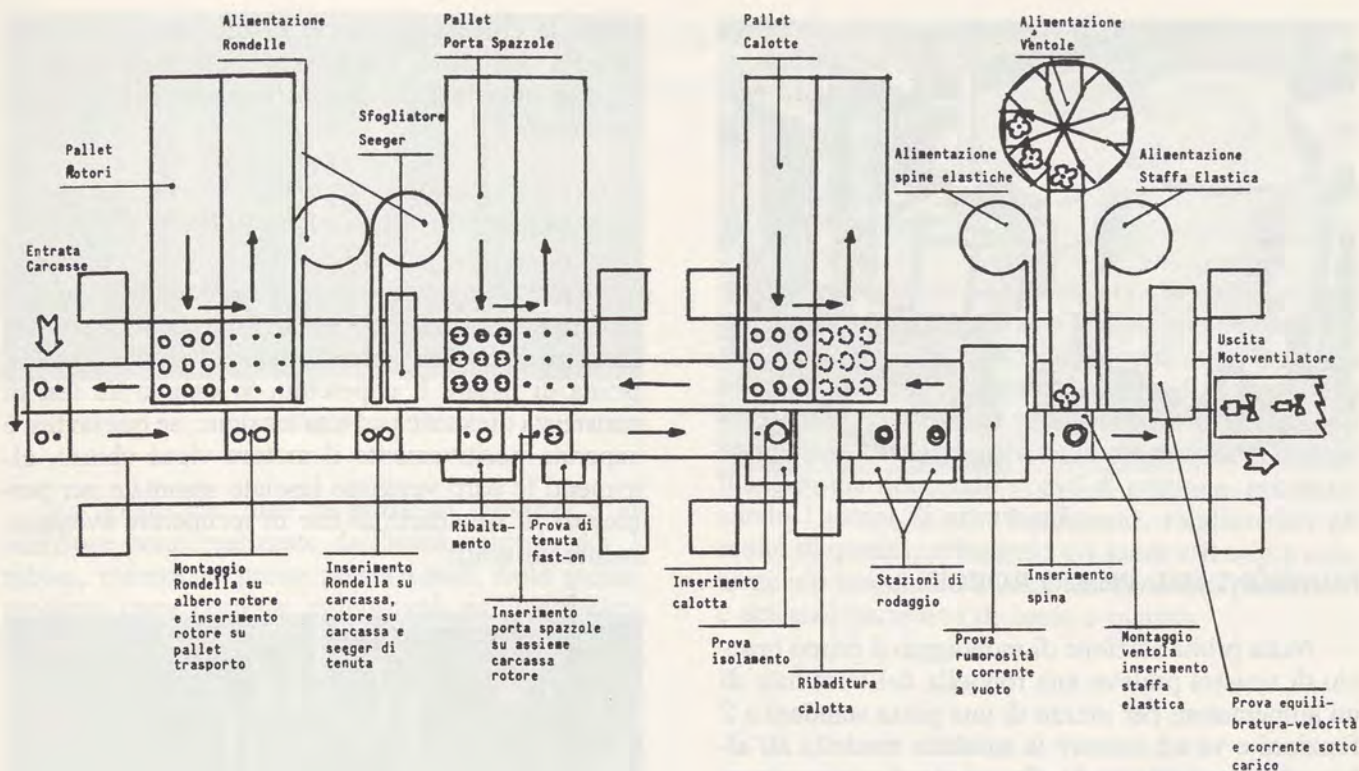


Fig. 2

gramma illustrato nella figura 2, alla vista della linea (figura. 3) ed alle parti da assemblare (figura 4).

Il corpo del motore elettrico viene inserito sul pallet del convogliatore principale per mezzo di una unità «pick and place» a partire da una stazione di montaggio del magnete permanente dedicata a questo scopo. Questo pallet è realizzato da una parte standard e da una parte personalizzata appositamente prevista per accettare tutti i vari corpi da assemblare (figura 5). Il pallet che scorre con attrito lungo il convogliatore è fissato in una posizione molto precisa tutte le volte che questa necessita per realizzare operazioni tecnologiche o di montaggio.

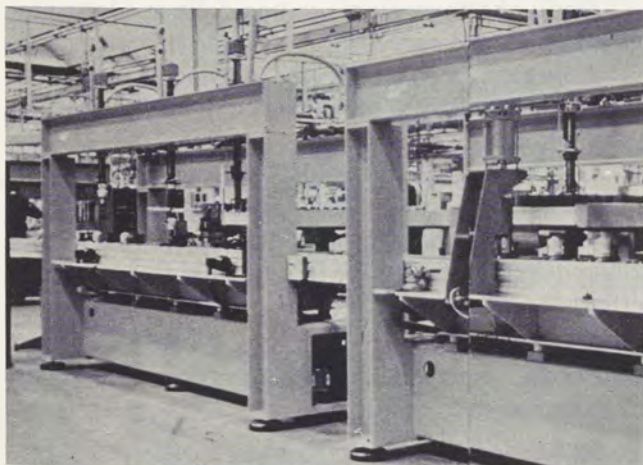


Fig. 3

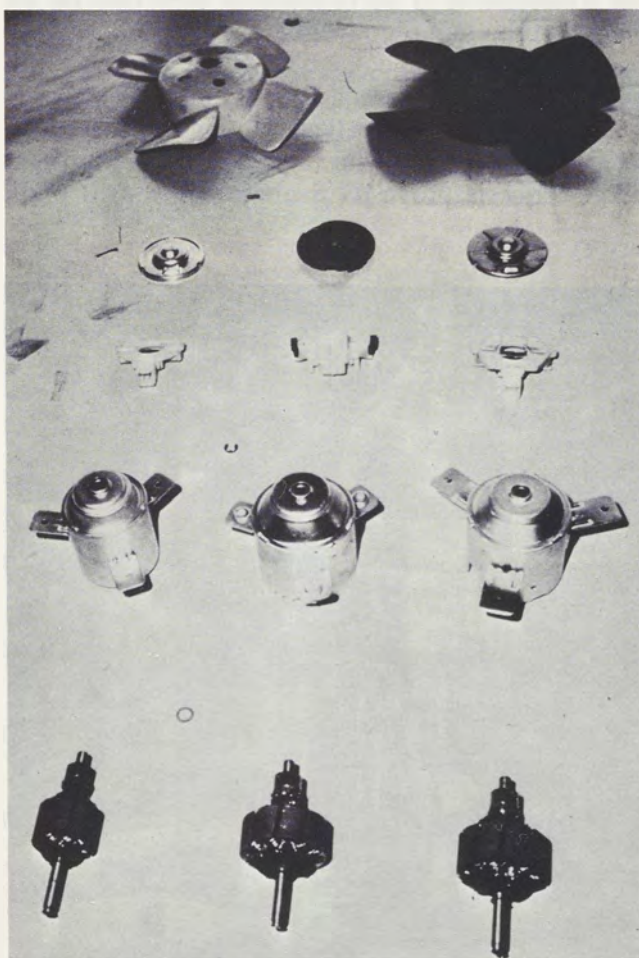


Fig. 4

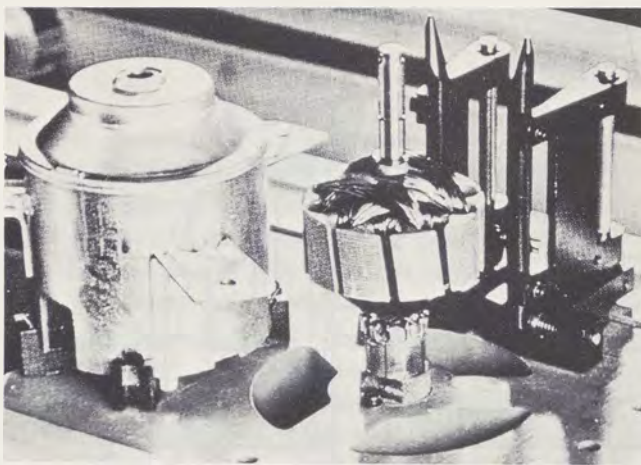


Fig. 5

FUNZIONI DEL PRIMO ROBOT

Nella prima stazione di montaggio il primo braccio di sinistra preleva una rondella del terminale di un alimentatore per mezzo di una pinza standard a 2 funzioni e va ad inserire la suddetta rondella all'albero del rotore (figura 6). Questi rotori vengono portati sulla stazione di montaggio per mezzo di pallet portati da un convogliatore trasversale che sovrasta il convogliatore principale. Il terzo braccio inserisce sul sottoinsieme il porta-spazzole prelevato da un pallet portato da un convogliatore laterale.

Dopo l'inserimento sulla stessa stazione, una prova di resistenza meccanica dei collegamenti elettrici di tipo fast-on è realizzata spingendoli con una forza determinata e controllando il movimento relativo; se questa prova dà risultato negativo il porta-

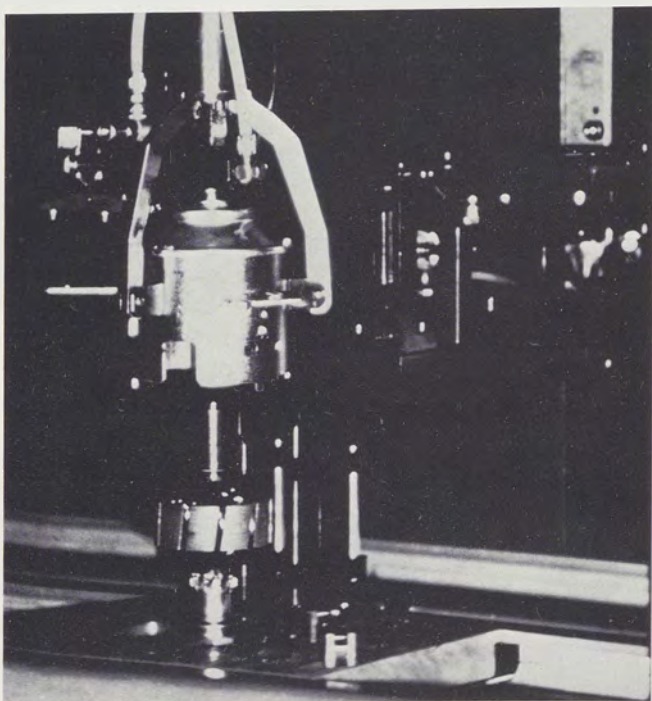


Fig. 6

spazzola corrispondente viene scartato ed un altro viene a sostituirlo. Da questa operazione il convogliatore principale lascia il primo robot ed entra nel secondo.

FUNZIONE DEL SECONDO ROBOT

Nella prima stazione delle seconde macchine il montaggio dei coperchi del motore viene realizzato prelevandolo da un convogliatore laterale. Quindi, prima di fissare il coperchio, si esegue un test di resistenza dielettrica ad alta tensione; se questo test è superato positivamente il motore viene chiuso, altrimenti le parti vengono lasciate smontate per permettere di smontarle al fine di recuperare eventualmente gli scarti.

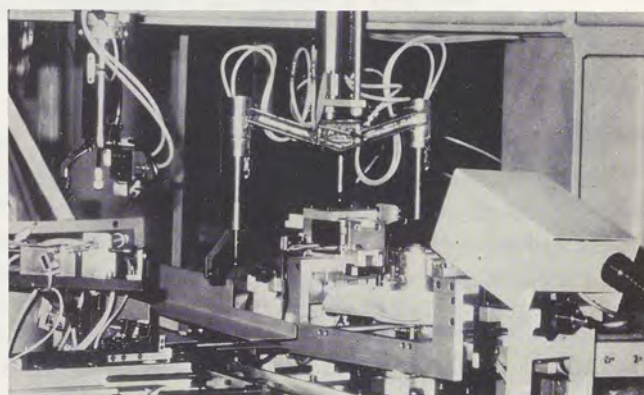


Fig. 7

Le successive stazioni libere sono dedicate per far girare il motore per un tempo sufficiente a ridurre gli attriti iniziali. La successiva stazione, anch'essa realizzata da un dispositivo dedicato, consiste nella misura delle rumorosità del motore e della corrente a vuoto. Per realizzare questo, una pinza a corsa fissa prende il motore e lo depone in una cabina isolata acusticamente, alimentandolo in una posizione vicina alla unità di misura del rumore.

Dopo queste stazioni, se una delle suddette prove non ha avuto successo, il secondo braccio scarterà il motore corrispondente, altrimenti realizzerà l'inserimento di una spina elastica in un foro trasversale dell'albero del motore.

Il terzo braccio dotato di 2 pinze realizza l'inserimento di una molla per fissare il ventilatore ed effettua l'inserimento del gruppo finale in una stazione di prova (figura 7). In quest'ultima stazione si effettuano le seguenti prove:

- a) velocità sotto carico
- b) sbilanciamento meccanico
- c) corrente sotto carico.

In funzione dei risultati ottenuti nelle prove precedenti il braccio porta il prodotto sul convogliatore di uscita o nella posizione di scarto.

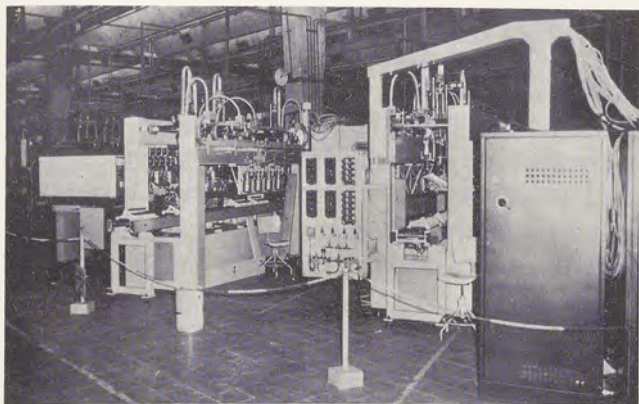


Fig. 8

Va notato che tutte le prove di presenza e di posizione sono realizzate dall'unità centrale dei 2 robots, mentre le prove prestazionali dallo stesso prodotto, come corrente, rumorosità, parametri elettrici, velocità, sbilanciamento, vengono realizzati da una unità di controllo dei robots. Sulla cabina di controllo è possibile impostare le gamme prestazionali relative ad un particolare modello o variante da produrre.

LA CONFIGURAZIONE « TRAVERSA »

Il terzo esempio di realizzazione si riferisce ad un impianto in cui si effettua l'avvitatura di prigionieri su testate a coperchi di motori per automobile. In questo caso in primo luogo si può verificare la modularità della struttura meccanica che consente la realizzazione di un lay-out trasverso (macchine affiancate in contrapposizione di macchine in linea come nel caso precedente (si veda figura 8). Le testate e coperchi motore giungono sulla linea dalle lavorazioni precedenti sul su citato trasporto mediante pallet standardizzati. Ciascun pallet è munito di una memoria magnetica che fornisce al sistema di assemblaggio la carta di identità del tipo di testata da esso condotta. Mediante questo codice il sistema è in grado di scegliere automaticamente il programma da effettuare in termini di prigionieri da avvitare, quote, ecc.

Qualora il pezzo risulti incompleto in base ai difetti verificatisi, il sistema comunica alla memoria associata ai pallet un codice che contiene i dati di difettosità. Il pallet lungo il percorso a valle dell'impianto a sua volta comunica il dato di difettosità ad una stazione di riparazione manuale su cui si può operare per eliminare il difetto nel caso che ciò sia possibile ed economico.

È chiaro che in questo modo si dispone anche di tutti i dati di avanzamento produzione e delle stati-

stiche di qualità atti a tenere il processo di produzione sotto controllo per restare nei parametri ottimali di costo.

CONCLUSIONI

Concludendo si può osservare che con le prestazioni ora esposte un sistema multiscopo può svolgere le funzioni di assemblaggio più complesse sia come stand alone sia come elemento di interi reparti integrati di produzione non limitandosi a ridurre il contenuto di manodopera delle operazioni di assemblaggio, ma riducendo i costi di gestione, minimizzando i tempi di attraversamento, migliorando gli indici di qualità, riducendo gli scarti e il wip e consentendo una chiara visione del processo produttivo e dei suoi parametri di costo e qualità.

BIBLIOGRAFIA

- I. DEL GAUDIO, *Robot di assemblaggio*, «Notiziario Tecnico AMMA», Speciale Robotica N. 10/1981, Torino, Ottobre.
- I. DEL GAUDIO, *Il SIGMA e la sua evoluzione*, «IMU», Aprile 1982, ERIS, Milano.
- I. DEL GAUDIO, *L'evoluzione dei sistemi integrati di assemblaggio*, «Notiziario Tecnico AMMA», Speciale Assemblaggio N. 10/1982, Torino, Ottobre.
- J. L. NEVINS E D. E. WHITNEY, *Categorization and Status of Assembly Research: CSDL Report he*, P-330, Charles Stark Draper Laboratory, 1976.
- P. M. LINC, *Economic-Technological Modeling and Design Criteria for Programmable Assembly Machines: CSDL Report No. T-625*, Charles Stark Draper Laboratory, 1976.
- P. C. WATSON, *A Multidimensional System Analysis of the Assembly Process and Performed by a Manipulator: SCDL Report No. 0-364*, Charles Stark Draper Laboratory, 1976.
- R. G. CHAMBERLAIN, *Manufacturing systems and Productivity*, «Manufacturing Engineering», July 1980 SME.
- I. DEL GAUDIO, F. DI MAIO, E. LA MONACA, *Matching the Assembly Robot with the Factory, 5 Years Experience*, in «Tooling Siger-10th ISIR Proc», Milan, 1980.
- R. DE FALCO, I. DEL GAUDIO, *Comparative Analysis of Quality and Production Cost at Varying Automation Levels*, «Italian Machinery Equipment», March 1976, Etas Kompass.
- I. DEL GAUDIO, *Sensoriality Aspects in Robotized Assembly Process*, «Proceedings of the 11th International Symposium on Industrial Robots», 7-9 October 1981, Tokyo Japan.
- I. DEL GAUDIO, *Robotica di assemblaggio — Un confronto tra obiettivi e risultati*, «Automazione oggi», 1983, Gruppo Editoriale Jackson.
- I. DEL GAUDIO, S. NAURELLI, *Sistemi flessibili per montaggi automatici*, 6 NC Industrial Automation & Robot, Milano 26-30 Marzo 1984.

Il robot per la misura integrata in linea

Giorgio MINUCCIANI (*), Cesare ACCOMAZZO (**), Maurizio ERCOLE (***)

Le scelte tattiche come pure le pianificazioni strategiche dell'apparato industriale internazionale sono state, nel corso degli ultimi anni, fortemente condizionate da alcuni fattori comuni ai diversi contesti geografici e sociali. Fattori quali: necessità di riduzione dei costi, incremento del livello qualitativo del prodotto, drastico abbassamento della vita media del prodotto stesso, stanno spingendo le aziende, indipendentemente dalla loro dimensione, a disegnare i sistemi di produzione in una ottica di massima flessibilità.

I moderni mezzi di fabbricazione così come pure le infrastrutture ausiliarie ad essi relative, vengono attualmente pensati in termini di automazione flessibile.

IL COLLAUDO DIMENSIONALE IN LINEA DI LAVORAZIONE

Questo fenomeno, associato alla necessità di contenere i costi di produzione, aumentando nel contempo la qualità del prodotto, ha generato la tendenza, ormai consolidata, a collaudare i pezzi sulla linea stessa dove vengono lavorati. Ciò allo scopo di evitare la produzione di pezzi non conformi alle specifiche e soprattutto per raccogliere i dati necessari all'ottimizzazione e certificazione dell'intero apparato di produzione.

In effetti un'azione di monitor sul livello qualitativo in corso di generazione sulla linea di produzione consente, avendo a disposizione adeguati mezzi di calcolo e relativi programmi, di utilizzare in tempo reale i dati concernenti le grandezze misurate per eventuali interventi correttivi a carattere preventivo. Inoltre organizzando e memorizzando i dati di misura in maniera opportuna, risulta possibile costruire una mappa dei fenomeni sistematici di degenerazione qualitativa, propri della linea, ottimizzando conseguentemente luoghi e tempi di intervento.

L'obiettivo che ci si pone per mezzo dei moderni sistemi flessibili di collaudo in linea è pertanto, oltre ovviamente alla certificazione del singolo pezzo misurato, quello della generazione di una banca dati continuamente aggiornata, organizzata e sorvegliata alla quale attingere, mediante programmi interattivi dedicati, per la formulazione di diagnosi in tempo reale sullo stato di efficienza della linea di produzione e guida all'intervento di tipo preventivo.

(*) Ingegnere, direttore generale, D.E.A. S.p.A.

(**) Ingegnere, capo servizio sistemi robotizzati, D.E.A. S.p.A.

(***) Product manager sistemi metrologici, D.E.A. S.p.A.

L'obiettivo di cui sopra ha potuto trovare un primo riscontro pratico grazie al rapido affermarsi delle linee flessibili di lavorazione (FMS).

CARATTERISTICHE DI INTEGRAZIONE DELLA CELLA DI COLLAUDO NEL FMS: IL ROBOT BRAVO

La positiva integrazione della cella di collaudo nel FMS è funzione di un certo numero di caratteristiche della cella stessa che trovano corrispondenza nel contesto ad essa esterno. Essendo il contesto esterno alla cella di misura estremamente variabile sotto tutti i punti di vista, occorre che la cella stessa sia estremamente versatile in tutti i suoi componenti allo scopo di rendere possibile l'integrazione: la DEA ha pertanto progettato e realizzato un « robot di misura » con caratteristiche HW/SW specificatamente orientate all'integrazione in FMS.

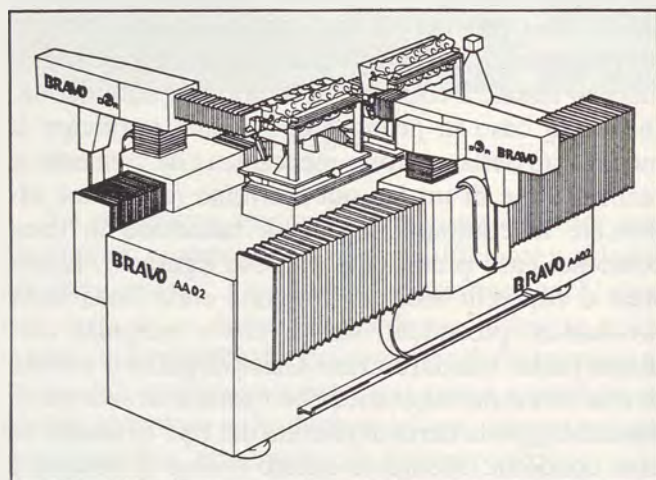


Fig. 1 - Robot di misura BRAVO AA02, 2 bracci: Collaudo di una testa cilindri (getto in lega di alluminio).

Scopo di questo paragrafo è quello di focalizzare i problemi derivanti dalla integrazione hardware di una cella di collaudo in un FMS, problemi che il robot BRAVO è in grado di risolvere in modo indubbiamente soddisfacente.

L'hardware meccanico

L'hardware meccanico in una cella di collaudo è rappresentato da due componenti fondamentali:

- il sistema di misura;
- il sistema di alimentazione.

Entrambi i componenti sopra citati devono possedere determinate caratteristiche che ne rendano l'integrazione proficua (in termini di automazione flessibile e velocità) e non troppo laboriosa. Per quanto concerne il sistema di misura esso deve avere le seguenti particolarità:

- flessibilità;
- alta velocità di misura;
- struttura modulare componibile (si vedano le figure 1 e 2);

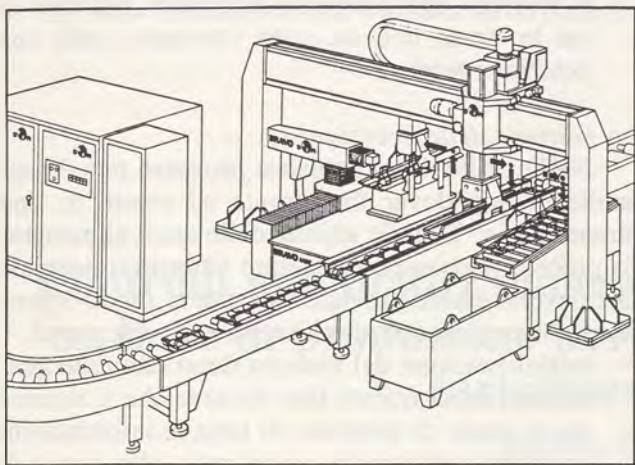


Fig. 2 - Robot di misura BRAVO AA02, braccio singolo: Collaudo di cingolo per trattore.

- struttura atta a consentire un flusso logico delle parti;
- integrabilità con sistemi di alimentazione automatica di differente natura;
- protezione strutturale dall'ambiente esterno;
- possibilità di garantire elevate precisioni di misura in ambiente di produzione;
- sicurezze verso l'utilizzatore;
- alto grado di manutenibilità;
- espandibilità;
- affidabilità.

Nell'ambito di un FMS il sistema di alimentazione automatico rappresenta un elemento comune ai vari componenti del FMS stesso. Al sistema di alimentazione sono generalmente richieste le seguenti caratteristiche:

- flessibilità;
- velocità;
- alto grado di manutenibilità;
- espandibilità;
- affidabilità.

L'hardware elettronico

L'hardware elettronico in una cella di collaudo consiste di 3 gruppi principali, quali:

- sistema di controllo;

- sistema di elaborazione dati;
- sistema di presentazione dei dati di collaudo.

Nei sistemi più semplici i 3 gruppi di cui sopra coesistono in una unica unità intelligente con relativi periferici. Nei sistemi più complessi come il BRAVO, i 3 gruppi in questione possono essere fisicamente e logicamente separati. In particolare:

- il sistema di controllo è basato su uno o più microprocessori ed è fisicamente situato in prossimità del sistema di misura;
- il sistema di elaborazione dati è basato su calcolatore (mini o super mini) e la sua ubicazione può essere insieme al sistema di controllo oppure di tipo remoto;
- il sistema di presentazione dei dati di collaudo, basato su periferiche più o meno sofisticate, può essere ubicato nell'area della cella di collaudo o centralizzato in una sala di controllo remota.

Le caratteristiche richieste al sistema di controllo sono le seguenti:

- gestione di alte prestazioni dinamiche del sistema di misura;
- gestione di sistemi di misura aventi fino a 10 assi;
- possibilità di operare in ambiente di produzione;
- assenza di memorie di tipo rotante;
- ottimizzazione automatica del comportamento dinamico della struttura;
- espandibilità;
- gestione di I/O logici da e verso attrezzature ausiliarie;
- classe di protezione IP 54;
- circuiti di protezione verso l'utilizzatore in caso di malfunzionamenti;
- gestione di un pannello di controllo sia locale che remoto;

mentre le caratteristiche del sistema di elaborazione dati sono essenzialmente:

- supportare un sistema operativo multitask;
- gestione di periferici (videografici, hard copy plotter, ecc.);
- gestione di periferici di tipo speciale;
- gestione di differenti livelli di presentazione dei dati misura;
- collegamento in reti locali.

Il sistema di presentazione dei dati di collaudo può essere costituito, dal punto di vista hardware, da strutture di complessità crescente (da una semplice lampada di stato qualitativo a terminali videografici a colori con hardcopy, ecc.).

L'integrazione informatica

L'integrazione a livello informatico della cella di collaudo nel contesto FMS è generalmente di livello piuttosto complesso per rapporto alle altre celle componenti il FMS stesso. Ciò in quanto i dati generati dalla unità di collaudo possono venire utilizzati in più di uno dei centri nevralgici della gestione di

fabbrica. A questo scopo la cella di collaudo dovrà essere integrata dal punto di vista informatico, in modo da consentire la:

- gestione di protocolli HW/SW per l'interfacciamento su Reti Locali di fabbrica;
- possibilità di gestire tutte le attività del sistema per mezzo di unità remote (« sistema non presidiato »);
- possibilità di interfacciamento con calcolatori di supervisione del FMS indipendentemente dal loro tipo;
- possibilità di eseguire programmi operativi differenti a seconda del contesto applicativo;
- gestione di tecniche di part-programmazione semplici, e possibilmente analoghe a quelli delle macchine utensili;
- possibilità di interfacciamento con data-base e strumenti CAD-CAM per l'acquisizione e la trasmissione dei dati;
- gestione di strutture di output flessibili e compatibili con data-base sofisticati.

GESTIONE DEL PROCESSO NELLA CELLA DI COLLAUDO

Un ulteriore aspetto proprio dell'integrazione in FMS del sistema di collaudo è costituito dalle problematiche di processo legate all'ambiente di installazione della cella di collaudo stessa.

La gestione ordinaria

La gestione delle attività ordinarie di una cella di collaudo in un contesto FMS richiede lo sviluppo e l'integrazione, nei moduli hardware/software della stessa cella, di alcune prestazioni di notevole importanza quali:

- procedure di inizializzazione rapide ed efficaci, vale a dire la possibilità del sistema di acquisire in modo automatico e tempi brevi tutti i parametri necessari alla sua attività nell'ambito del processo. Il problema della inizializzazione dei sistemi componenti il FMS è piuttosto dibattuto; le soluzioni possono essere antitetiche: completamente manuale a livello di singoli componenti, o completamente automatica gestita da un operatore in sala di controllo centralizzata. La seconda soluzione è evidentemente più razionale ma comporta tali investimenti in sistemi di monitoraggio e di controllo automatico di presenze estranee nell'ambito della cella, che viene attualmente giudicato poco conveniente;
- gestione di un « Part Program di Linea » (PPL); con tale termine viene identificato dalla DEA un programma applicativo speciale atto a gestire le attività della cella di collaudo nell'ambito del processo. Il PPL è evidentemente funzione del processo e deve quindi essere flessibile ed acces-

sibile all'utente per poter essere modificato qualora il processo stesso lo renda necessario;

- riconoscimento pezzo: il sistema deve essere in grado di riconoscere automaticamente il pezzo da misurare, attivando di conseguenza il relativo part-program, come pure di associare il pezzo misurato ad un determinato pallet di lavorazione;
- controllo di presenza elementi geometrici; in determinate situazioni si richiede al sistema di eseguire il controllo della presenza o meno della lavorazione oggetto della misura. Tale controllo sottintende anche la possibilità di eseguire « cicli di ricerca » dell'elemento mancante, nel caso in cui lo stesso non sia stato « trovato » nella sua posizione teorica.

La gestione delle eccezioni

Nell'ambito di un qualsiasi processo non è pensabile di non dover fare fronte ad eventi di tipo straordinario. Tutte le attività delle quali al paragrafo precedente possono generare situazioni anomale che devono essere previste e gestite in modo opportuno. Alcuni esempi significativi sono i seguenti:

- inizializzazione del sistema dopo una emergenza. In casi di questo tipo occorre che il sistema sia in grado di usufruire di tutte le informazioni acquisite nell'attività precedente, allo scopo di consentire una ripresa della normale attività in tempi brevi e, compatibilmente con la natura dell'emergenza, in modo automatico;
- reazione ad eventuali malfunzionamenti delle apparecchiature ausiliarie. Ciò significa che il sistema deve essere in grado di gestire la temporizzazione di eventi, di reagire in tempo reale ad eventi asincroni ed anomali. In generale ciò si concreta in una interazione sofisticata fra il sistema di collaudo e le attrezzature con capacità del primo di subordinare la sua attività allo stato di queste ultime;
- mancanza del part-program da eseguire. Nel caso in cui sia stata ordinata la esecuzione di un part-program non presente nella memoria locale, la cella di collaudo deve essere in grado di richiederlo automaticamente al supervisore;
- ricerca infruttuosa dell'elemento da misurare. In questo caso il sistema deve reagire « intelligentemente », proseguendo, se possibile, l'esecuzione del ciclo di misura o interrompendo dandone tempestiva e completa segnalazione sia a livello locale che remoto.

IL MONITORAGGIO E IL RITORNO DI INFORMAZIONE

Come monitoraggio si intende l'attività di un modulo software dedicato di acquisire dati di misura da una o più celle di collaudo, organizzarli secondo determinati parametri e generare una interazione

verso il mondo esterno qualora l'andamento qualitativo lo richieda. Le informazioni che l'attività di monitoraggio può generare possono essere di tipo e complessità diverse. Sono pertanto ottenibili:

- la generazione di un allarme di criticità di una determinata grandezza;
- la rappresentazione su di un quadro sinottico del processo in esame;
- la produzione di dati statistici e sintetici per la costituzione di un archivio storico;
- la guida alla diagnosi sulla efficienza del processo produttivo.

Il ritorno di informazione è gestito da un modulo

software in grado di ricevere informazioni dal modulo di monitoraggio e di elaborarle ed organizzarle in modo tale da realizzare gli obiettivi ad esso demandati.

Quantunque gli obiettivi siano globalmente chiari e ben definiti (ottimizzazione dell'assemblaggio, ottimizzazione delle caratteristiche funzionali del prodotto, organizzazione di una banca dati di esperienze), gli strumenti e le modalità per il conseguimento di tali risultati non sono ancora completamente definiti. Il conseguimento di tali obiettivi rappresenta per la DEA uno dei temi principali di ricerca e sviluppo a medio termine.

Controlli automatici dimensionali mediante robot di misura su linee di produzione flessibili o comunque in sistemi con caricamento automatico

Marcello GIOVANNONE (*)

Negli ultimi 30 anni si è assistito ad una rapida evoluzione dei mezzi di produzione dell'industria meccanica che, da sistemi totalmente manuali, è passata da un lato, a processi automatici per la produzione di grande serie (macchine transfer), dall'altro a processi di produzione «flessibili» che permettono di produrre automaticamente lotti di quantità limitata di particolari di alta precisione (macchine a controllo numerico).

I centri di lavoro sono stati la naturale evoluzione di questa tendenza ed hanno permesso l'avvento delle linee di produzione flessibile costituite da parecchi centri di lavorazione serviti da un sistema di manipolazione controllato da un computer per il trasporto dei particolari in sequenze variabili da una macchina all'altra.

L'affermarsi dei sistemi flessibili di produzione ha consentito quindi di rendere automatici i processi discontinui tipici di una parte dell'industria manifatturiera. Tali sistemi, come probabilmente tutti sanno, comportano una completa automazione del processo produttivo, con una configurazione che prevede, oltre ai centri di lavoro automatici, sistemi sempre completamente automatici di carico/scarico dei

pezzi da tali centri, un sistema automatico di movimentazione dei pezzi da un centro all'altro ed un computer che presiede a tutte le operazioni del sistema.

Questa nuova configurazione tende, come conseguenza, a modificare i criteri di definizione e di scelta dei sistemi di collaudo e di controllo che, mediante rilievi dimensionali sugli elementi prodotti, hanno lo scopo di fornire i dati necessari a valutare l'idoneità degli impianti e la qualità del prodotto stesso.

Si rendono pertanto indispensabili due diversi criteri di controllo della qualità in generale, il primo mirante a controllare nel più breve tempo possibile il pezzo appena prodotto, in modo da mandare un immediato feedback alla produzione quando — nel caso di rilevamenti di misure fuori tolleranza — sia necessario intervenire rapidamente sui centri di lavoro per ovviare all'inconveniente; il secondo che consenta di valutare l'idoneità degli impianti stessi mediante elaborazioni di tipo statistico dei dati rilevati in un certo intervallo di tempo.

Di qui l'esigenza per il settore del controllo qualità di poter disporre di sistemi flessibili ed estremamente veloci in grado di tener sotto controllo in tempi brevissimi il prodotto e di generare nel contempo un numero sempre maggiore di informazioni che consentano di valutare l'efficienza dei mezzi di produzione.

(*) Ingegnere, responsabile commerciale «Divisione Robot di Misura», IMPERIAL PRIMA S.p.A.

I ROBOT DI MISURA

Per soddisfare tali esigenze si è resa necessaria un'evoluzione del concetto tradizionale di macchina di misura a 3 coordinate, per arrivare al «robot di misura» ad una macchina cioè in grado di lavorare non più nell'ambiente asettico della sala metrologica bensì nel difficile ambiente dell'officina.



Fig. 1

L'IMPERIAL PRIMA con la sua linea di robot di misura PAG ed oggi anche con la nuova linea SENTINEL — caratterizzata da una maggior capacità sia a livello di dimensioni di pezzi misurabili che del loro peso nei confronti della linea PAG — è stata il precursore in questo particolare settore del controllo qualità e vanta soluzioni tecnologiche uniche (figura 1).

Vediamo dunque quali devono essere le caratteristiche salienti di un robot di misura per il controllo dimensionale automatico in produzione:

- dev'essere molto più veloce delle macchine di misura tradizionali per permettere delle azioni correttive in tempo reale senza peraltro perdere in precisione di misura;
- dev'essere affidabile e deve poter sopportare gli sbalzi di temperatura ed umidità senza perdere in accuratezza;
- dev'essere facile da usare perché dev'essere utilizzato anche da personale non specializzato;
- e soprattutto dev'essere totalmente automatico in modo da rendere possibile la sua integrazione nel sistema flessibile di produzione o comunque nella cella automatica di controllo.

Per ottenere questi risultati occorre che la struttura del robot di misura ricalchi quella di un moderno centro di lavoro e abbia perciò:

- struttura in ghisa (o in acciaio saldato stabilizzato) allo scopo di permettere l'assorbimento di variazioni termiche e igrometriche. Ciò comporta l'eliminazione di qualsiasi parte in granito, materiale che notoriamente va incontro a deformazioni in seguito a repentine variazioni di temperatura e umidità;
- utensile di lavoro ad asse orizzontale con tavola mobile e rotante allo scopo di ridurre le masse in movimento, migliorare l'accessibilità del pezzo su tutte le facce, facilitare le operazioni automatiche di carico/scarico. Questo significa l'abbandono della tradizionale struttura a portale con assi in cascata che evidentemente non si presta ad una movimentazione esasperata con forti accelerazioni;
- azionamenti e unità di controllo del tipo «shared task» che permettano perciò di separare nell'unità di governo la responsabilità del movimento da quella della gestione di tutto il sistema: ciò permette di rilevare un punto di misura ogni $1 \div 1,5$ secondi;
- automazione completa del processo di collaudo che scarica l'operatore da qualsiasi responsabi-

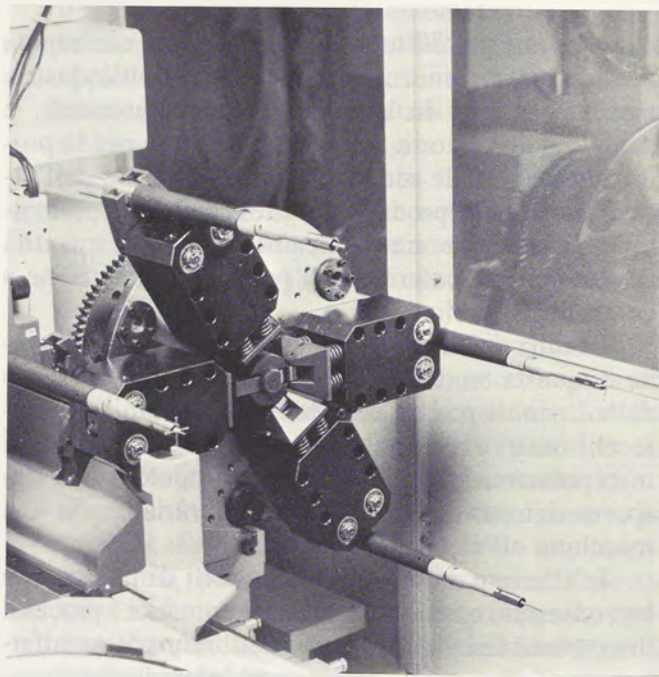


Fig. 2

tà decisionale o possibilità di errore. I *pallet* di sostegno dei pezzi sono perciò *codificati* e richiamano automaticamente dalla memoria centrale il programma relativo al pezzo in misura. Anche i *palpatori* sono *codificati*, esattamente come sui centri di lavoro, anch'essi richiamati

dal programma. Un *magazzino palpatori* permette l'automazione completa di tutto il ciclo di misura per quanto complesso esso sia (figura 2).

Accanto a queste prerogative fondamentali ve ne sono altre, non certo marginali, che qualificano un vero «robot di misura»:

- diversificazione nell'invio dei dati di misura. I risultati di misura vengono forniti in forma semplice all'operatore, ad esempio con lampade spia del tipo passa-non passa, come pure in forma più completa sotto forma di tabulati, plots, grafici per i responsabili di produzione o del controllo qualità.
- centralizzazione e analisi dei dati di misura. Tutti i dati possono essere memorizzati in una memoria di massa per essere analizzati in tempo reale o a fine turno sotto forma di analisi statistiche, variazioni temporali, ecc. L'unità di elaborazione è a bordo macchina o preferibilmente è il computer centrale cui il robot di misura è connesso in linea seriale.
- la connessione con il computer centrale permette una integrazione ed interazione del robot di misura con tutto il sistema produttivo, controllato anch'esso dal computer centrale, e con i sistemi CAD/CAM.
- non c'è alcuna necessità che il pezzo sia perfettamente allineato in macchina. Infatti, anche con un posizionamento grossolano il robot di misura ritrova i riferimenti del pezzo e lo misura asserendosi agli assi cartesiani del pezzo. Questo permette il carico/scarico automatico del pezzo con dei robot manipolatori che ovviamente non possono posizionare il pezzo in modo molto preciso ed inoltre libera il collaudatore dalla necessità di ripulire il pezzo dai residui e dalle sbavature di lavorazione.

Come si vede dalla figura 3 la struttura del PAG è molto simile — come si è detto — a quella di un moderno centro di lavoro, concepito per una perfetta integrazione sia in un sistema flessibile di lavorazione (FMS), sia in quella che viene definita un'«isola di controllo» totalmente automatica e non presidiata. Infatti si assiste oggi ad un'ulteriore evoluzione del robot di misura che non è più visto come una entità a se stante ma sempre più spesso è inserito in sistemi di controllo totalmente automatici, siano essi applicati a linee transfer, che a celle di lavoro composte da due o più centri di lavoro, o ancora, come detto sopra, a sistemi flessibili di produzione.

ALCUNI ESEMPI SIGNIFICATIVI

Vediamo quindi alcuni brevi ma significativi esempi di come il «robot di misura» faccia sempre più parte integrante di sistemi totalmente automatici per il controllo della produzione:

Il robot di misura: elaborazione statistica dei dati.

Questa è la più semplice configurazione del sistema: prevede infatti un robot di misura PAG o SENTINEL collegato ad un host computer. In questo modo la grande quantità di dati ricavata dal controllo intensivo della produzione viene inviata automaticamente al calcolatore che elabora i risultati delle misure secondo le esigenze del controllo qualità ricavandone statistiche ed elaborazioni grafiche: si evidenzia così ad esempio il «trend» del valore di un determinato elemento (ad esempio il diametro di un alesaggio o un interasse) in un certo periodo di tempo (un turno di lavoro, una settimana) e la sua distribuzione gaussiana; si ricavano poi sempre automaticamente le tolleranze naturali delle macchine di produzione mediante l'applicazione di determinati algoritmi che elaborano statisticamente i dati di misura ricavati su di un numero N di pezzi in funzione delle cadenze produttive delle macchine stesse (figura 4).

Il robot di misura in una cella automatica di controllo

Molto spesso risulta economico asservire al robot di misura un robot — o più semplicemente un manipolatore — che effettui il carico e lo scarico

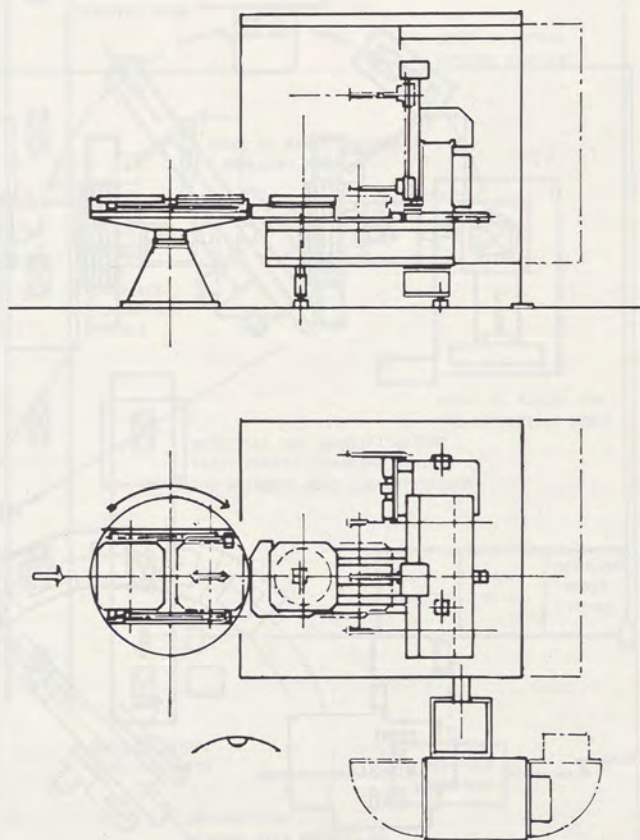


Fig. 3 - Robot di misura PAG HP378 con caricamento a mezzo transpallet.

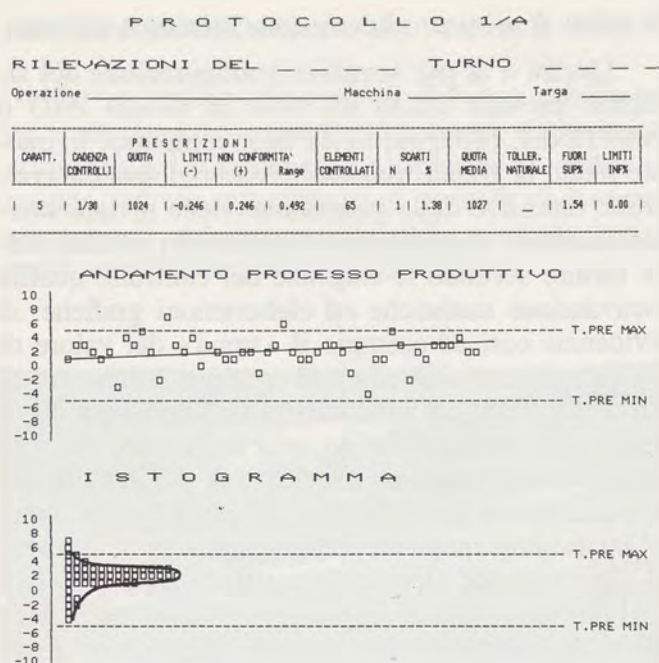


Fig. 4 - Esempio di elaborazione statica.

automatico dei pezzi (figura 5): in tal modo si realizza con una spesa contenuta un'isola di controllo senza operatore, la cui configurazione prevede normalmente oltre al robot di misura ed al manipolatore, un sistema — che può essere sia manuale che automatico — di alimentazione e di successivo stoccaggio dei pezzi da misurare.

È evidente come le peculiari caratteristiche del PAG o del SENTINEL, quali il magazzino automatico con palpatori codificati, il pallet portapezzo, la tavola girevole siano elementi indispensabili alla realizzazione di questo sistema.

È interessante notare come, a seconda della tipologia dei pezzi da controllare, essi vengano caricati automaticamente sul robot di misura sia già montati su di una opportuna attrezzatura di fissaggio sia liberi: nel primo caso il sistema automatico di serraggio sulla tavola del robot permette un facile posizionamento del gruppo pezzo + attrezzo, nel secondo una particolare attrezzatura automatica, fissata alla tavola girevole «riceve» il pezzo dal robot di caricamento e lo tiene fermo durante l'esecuzione del ciclo di misura.

Sono gli stessi operatori alle macchine utensili che normalmente procedono alla verifica dei pezzi inviandoli alla cella di controllo o al termine della lavorazione oppure in una fase intermedia. Il robot di misura è perciò situato in una posizione strategicamente opportuna o si colloca come polo di riferimento per tutti i centri di lavoro dell'officina o dell'isola di produzione.

Il robot di misura nei sistemi flessibili di lavorazione (FMS)

Per quanto concerne il controllo dimensionale, l'esigenza primaria degli FMS — oggi in rapida affermazione su tutto il mercato mondiale — è quella

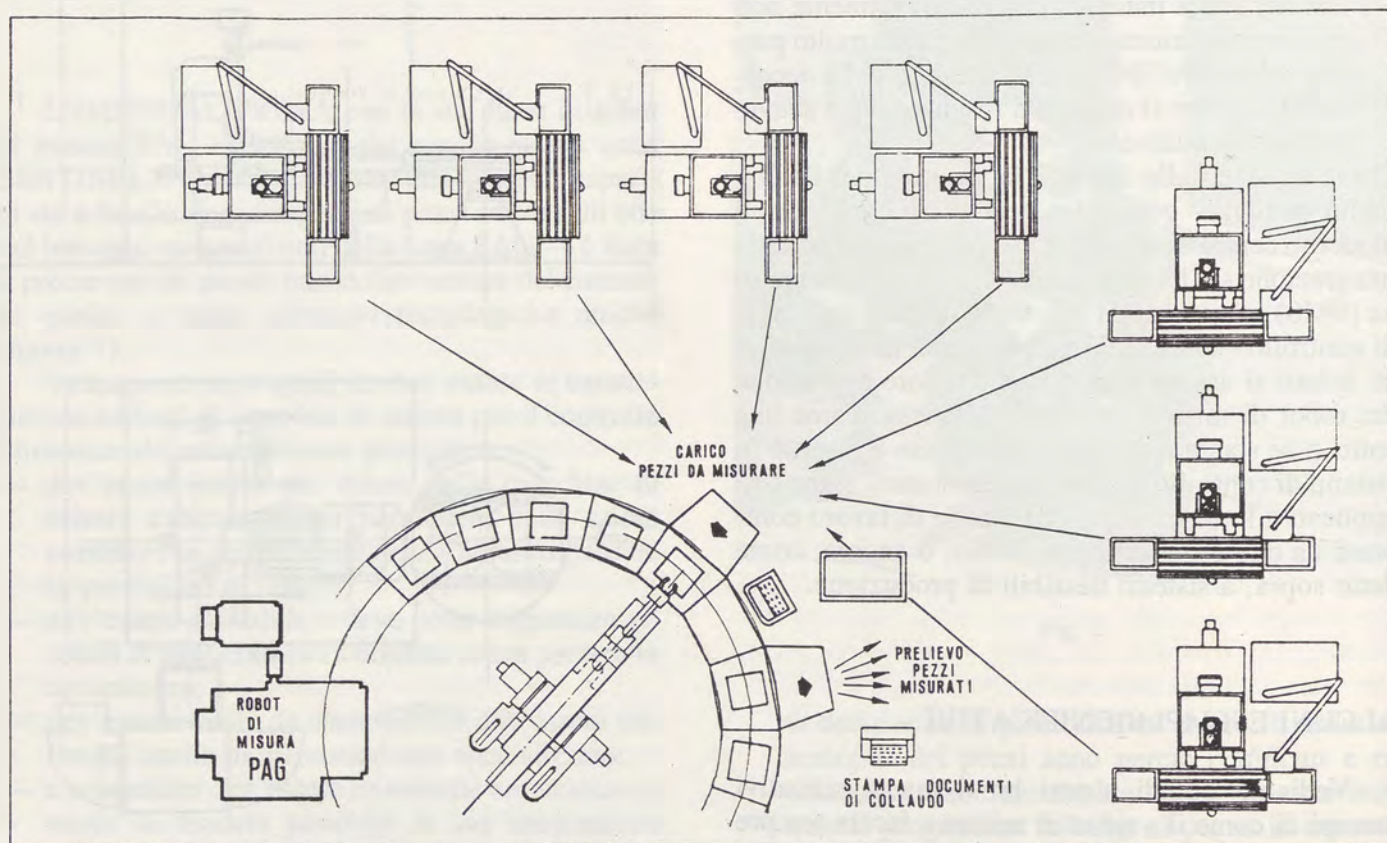


Fig. 5 - Controllo dimensionale mediante sistema di caricamento automatico.

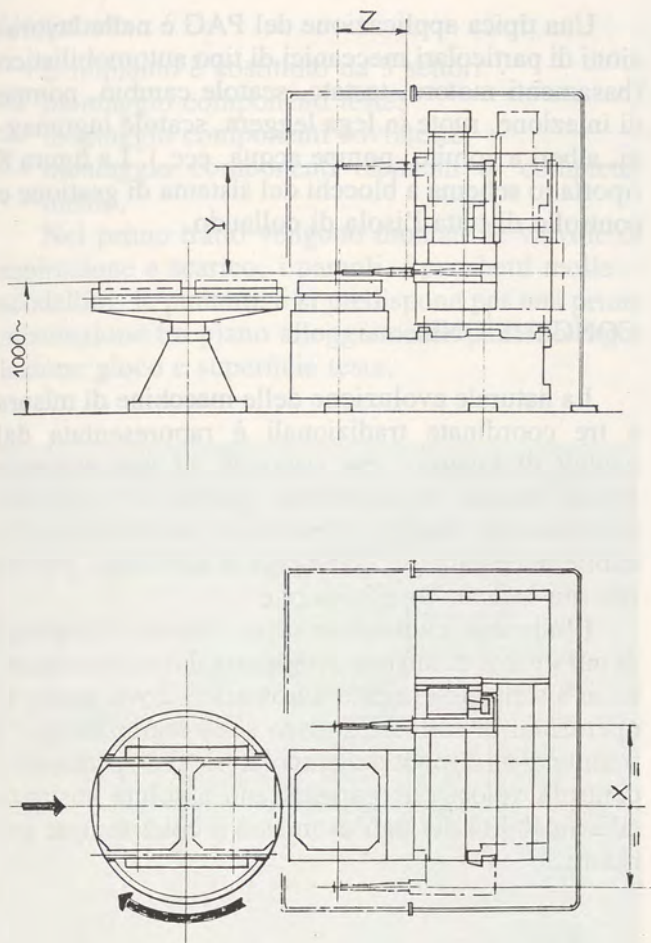


Fig. 6 - Schema Sentinel con sistema caricamento pallet.

di disporre di un centro di collaudo in grado di fornire automaticamente (senza cioè il controllo di alcun operatore) ed in tempo reale al calcolatore centrale che gestisce tutto il sistema, il « feed-back » necessario per la continua messa a punto del sistema. Tutto ciò presuppone che le navette che vanno da un centro di lavoro all'altro e che movimentano i pallets, siano messe su binari o guidate su piste magnetiche o a filo, possano caricare e scaricare automaticamente i pallets anche sul robot di misura.

Come detto poc'anzi, le strutture sia del PAG che del SENTINEL sono molto simili a quelle di un moderno centro di lavoro e sono quindi perfettamente integrabili in un sistema flessibile di lavorazione, aiutati in ciò dalla filosofia che li ha ispirati che prevede l'impiego di pallets per la movimentazione dei pezzi ed il riconoscimento automatico dei pezzi stessi mediante opportuni codici incisi sui pallets (figura 6).

Il robot di misura nelle linee di produzione « transfer »

Quello del controllo dimensionale della produzione in grande serie è sempre stato dominio incontrastato dei calibri « multiquota ». Oggi, soprattutto a

causa della maggiore flessibilità richiesta alla produzione e della accelerata variabilità di un prodotto richiesta dal mercato, questo dominio tende a sfaldarsi all'ingresso sulla scena dei robots di misura veloci e facili da usare quanto i calibri multiquota ma molto più flessibili e in grado di fornire e centralizzare una massa enorme di dati di misura. Ciò che si chiede oggi al robot inserito in una linea « transfer » è di tenere sotto controllo, da un punto di vista essenzialmente statistico, la tendenza di determinate quote in modo da poter intervenire in tempi rapidi sulle teste di lavoro e per programmare oculatamente tempi di arresto per i necessari aggiustamenti.

Un'applicazione tipica del PAG inserito in una linea « transfer » è quella schematizzata in figura 7, nella quale i pezzi da misurare vengono forniti al robot di misura tramite un robot antropomorfo che, comandato dal computer centrale, preleva a scadenze fisse un pezzo dalla linea e lo carica sul robot di misura.

Il pezzo può essere prelevato a fine lavorazione oppure in una fase intermedia di lavorazione (controllo « in process »). Tutta l'isola è completamente

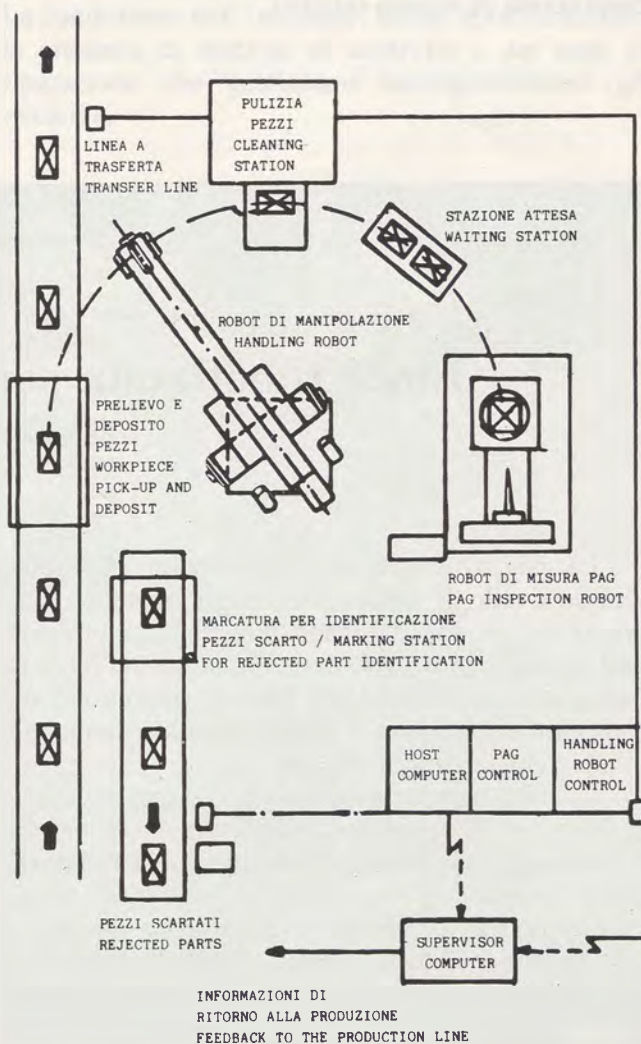


Fig. 7 - Layout generale di ogni isola di collaudo automatica.

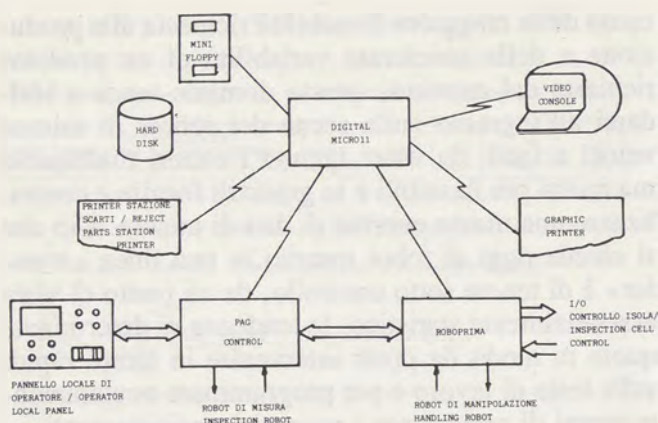


Fig. 8 - Schema a blocchi del sistema di gestione e controllo di un'isola di collaudo.

automatica e non richiede la presenza di alcun operatore. Il robot, tramite la palpazione di alcuni punti di riferimento, è in grado di discriminare il livello di lavorazione in cui il pezzo è stato prelevato dalla linea e richiamare dalla memoria di massa il programma relativo a quella fase. Se la produzione prevede la lavorazione di famiglie di pezzi simili i quali differiscono tra loro solo per alcuni particolari, il PAG è in grado di riconoscere il pezzo e applicare il programma di misura relativo.

Una tipica applicazione del PAG è nelle lavorazioni di particolari meccanici di tipo automobilistico (basamenti motore, testate, scatole cambio, pompe di iniezione, ruote in lega leggera, scatole ingranaggi, alberi a gomito, pompe acqua, ecc.). La figura 8 riporta lo schema a blocchi del sistema di gestione e controllo di tutta l'isola di collaudo.

CONCLUSIONE

La naturale evoluzione delle macchine di misura a tre coordinate tradizionali è rappresentata dal «robot di misura» che risponde ad una esigenza finora rimasta insoddisfatta, quella del controllo dimensionale veloce e flessibile e, pur tuttavia affidabile nonostante le condizioni d'ambiente, perché inserito in linea di produzione.

L'ulteriore evoluzione della filosofia d'impiego di tali «robot di misura» comporta il loro inserimento in sistemi totalmente automatici, dove anche le operazioni di carico e scarico sono realizzate per il tramite di altri robot o manipolatori, si da permettere controlli veloci che garantiscano assoluta costanza ed affidabilità dei dati di misura a costi sempre più ridotti.

Linea robotizzata per montaggio testa cilindri

Francesco CIACCIA (*)

Le esigenze moderne di produzione flessibile, elevato livello di produttività, miglioramento qualitativo del prodotto trovano una risposta probante nell'impianto in oggetto dove l'impiego dei robot ha permesso alla COMAU un salto di qualità nel suo impegno a progettare e fornire linee di montaggio completamente automatizzate.

La linea che presentiamo occupa una superficie di 70 m per 30 m circa ed è costituita da 44 stazioni di montaggio più 4 di controllo; assembla 154 pezzi/ora corrispondenti ad un tempo ciclo di 0,38 minuti, ed è attrezzata per produrre 35 diverse versioni di una famiglia di teste cilindro, dove il numero di combinazioni delle parti diverse da montare è supe-

riore a 150; la fotografia 1 mostra una rappresentazione esplosa della testa e degli elementi che vengono montati.

L'elemento chiave della gestione della linea è il codificatore elettronico Statec accoppiato a due pallet; con la sua capacità di memoria (512 bits) accompagna la storia delle successive fasi di assemblaggio, riceve e smista segnali che vengono utilizzati per diversificare le operazioni secondo il programma di produzione dei diversi tipi o per segnalare un'operazione difettosa identificata da un sensore o unità di controllo. In zone ben definite sono previsti tratti di «riparazione manuale» dove viene inviato il pallet su cui lo Statec ha evidenziato un difetto. Questa espulsione non compromette la continuità di produzione sulla linea principale se la causa è accidentale.

(*) COMAU, Torino.

L'impianto

L'impianto è costituito da 3 settori:

- montaggio componenti teste;
- montaggio componenti sovratesta;
- montaggio componenti elementi di completamento.

Nel primo tratto vengono montate le valvole di aspirazione e scarico, i paraoli, i pacchetti molle + scodellini, le punterie e si predispone per una prima misurazione tra piano alloggiamento piattello regolazione gioco e superficie testa.

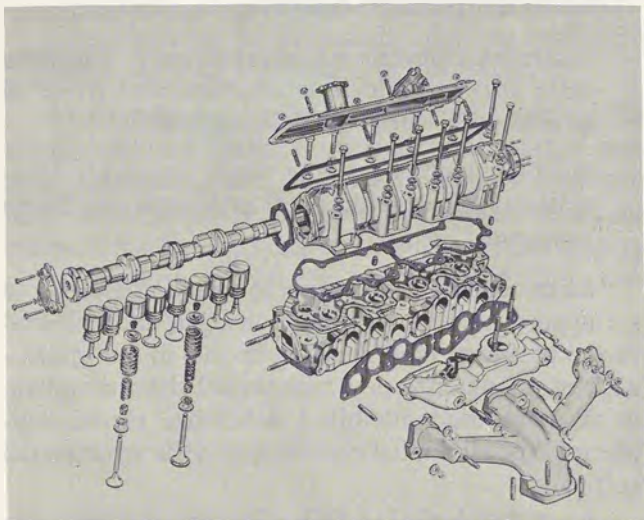


Fig. 1

Nel secondo tratto vengono assemblati l'albero distribuzione, la sua guarnizione e la guarnizione unione, e anche qui si predispone per una misurazione della distanza tra punto morto inferiore asse punteria e guarnizione stessa.

La selezione dei piattelli tra le 59 classi e l'inserzione automatica, vengono eseguite da un'unità che si trova alla confluenza dei due settori citati, in conseguenza dei risultati dei due controlli precedenti.

In una stazione del primo tratto un lettore dello Statoc « segnala » alla stazione di caricamento sovratesta e albero distribuzione quale delle 30 versioni di testa si sta allestendo affinché vengano caricati gli elementi corretti.

La fotografia 2 mostra la stazione di inserimento valvole tramite robot. Il settore di completamento include operazioni di trasferimento punterie, unione della testa e sovratesta, fissaggio delle due mediante serie di bulloni, verifica del corretto gioco di punterie, assemblaggio del coperchio albero distribuzione, fissaggio dei prigionieri per collettori e coperchio e quindi inserzione e bloccaggio dei collettori.

La fotografia 3 mostra uno dei due settori di fissaggio prigionieri ad opera di robot. Per ogni prigioniero un braccio-robot effettua l'imboccamento ed avvitatura a coppia. In caso di dimensione incorretta, il braccio « scarta » l'elemento prima di montarlo.

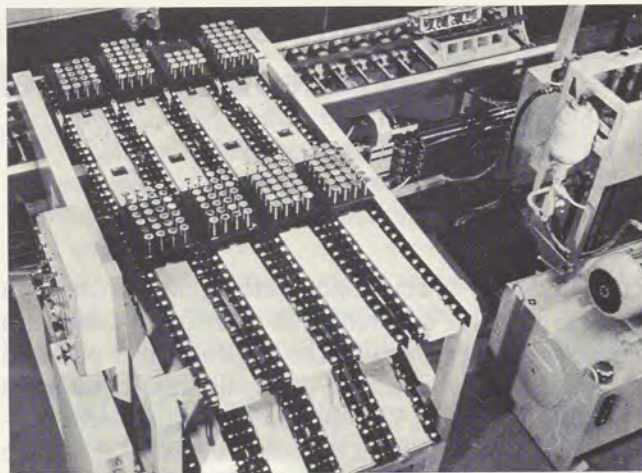


Fig. 2

Obiettivi raggiunti

Il grado di automazione è molto spinto. Il personale non è più integrato nel « tempo ciclo » ma opera soprattutto negli approvvigionamenti. La flessibilità è garantita in quanto gli elementi « diversi » sono manipolati dal robot. La qualità è superiore alle linee convenzionali in quanto i dispositivi selezionatori e di misura assicurano lo standard qualitativo. La conduzione dell'impianto, infine, è facilitata dalla presenza di stazioni di controllo e dai tratti di riparazione che gestiscono intelligentemente gli « scarti ».

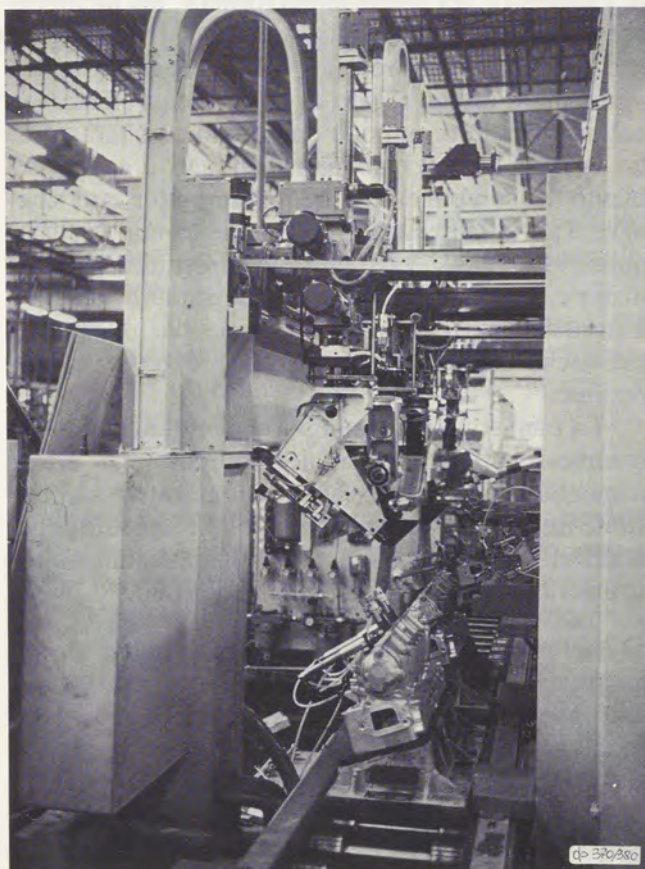


Fig. 3

Rappresentazione della fabbrica del futuro mediante modelli di funzioni e dati

Pier Antonio LUMINARI (*)

L'insieme di componenti eterogenee presenti in una fabbrica e l'insieme delle relazioni esistenti fra le stesse per il perseguimento degli specifici obiettivi di produzione impongono di considerare la fabbrica come un sistema e di applicare le più moderne metodologie di ingegneria dei sistemi per la soluzione dei problemi di automazione ed integrazione.

L'esperienza maturata dalle aziende del gruppo Italsiel nella analisi e realizzazione di sistemi software, ha portato alla definizione della metodologia DAFNE (Data and Function NETworking) che supporta lo svolgimento della fase di analisi e della fase di disegno (progettazione) di tale sistemi.

Si ritiene che anche nell'affrontare il problema della « fabbrica del futuro » sia opportuno ed efficace adottare la stessa metodologia quanto meno nelle « fasi alte » di analisi.

LA FABBRICA COME SISTEMA

La Teoria dei Sistemi offre numerose definizioni di « sistema »; fra quelle meno formali, ma facilmente estendibili alla descrizione di molti fenomeni osservabili nel mondo reale, proponiamo la seguente: « Sistema è un aggregato di componenti elementari collegati fra loro in modo opportuno e governato da un insieme di leggi alcune riguardanti il comportamento dei componenti, altre le loro mutue interazioni ». Tale definizione è estrapolabile alla fabbrica quando la si consideri un insieme di entità funzionali distinte, ciascuna caratterizzata da compiti, obiettivi e struttura propri, correlate secondo schemi organizzativi che definiscono interfacce e regole di cooperazione.

La conoscenza del comportamento dinamico del complesso « fabbrica - ambiente circostante » è fondamentale nella individuazione di una struttura flessibile in grado di reagire in modo efficace alle sollecitazioni del mondo circostante e nella definizione di strumenti di automazione utili allo scopo.

LA METODOLOGIA DAFNE

La metodologia fa riferimento al *ciclo di vita* di un sistema software inteso come la successione temporale delle attività di:

- produzione: l'insieme delle fasi in cui si produce il software: (analisi, disegno, realizzazione, test);
- gestione: il controllo tecnico, funzionale ed operativo del prodotto software;
- controllo (rilascio ed accettazione): l'insieme delle attività volte a determinare se i livelli di qualità prefissati sono stati raggiunti;
- manutenzione: l'insieme degli interventi effettuati sul software al fine di assicurare una buona gestione.

La necessità di un approccio metodologico per lo sviluppo di sistemi software consegue dalla rilevanza dei problemi identificati nelle fasi di realizzazione, test, manutenzione e rilascio del sistema software all'utente riconducibili a deficienze metodologiche relative all'analisi e al disegno della struttura del software.

La metodologia DAFNE affronta i problemi citati definendo sia le *attività* da eseguire durante il processo di produzione (le loro interazioni ed i metodi con i quali eseguirle), sia la *documentazione* relativa (stabilendone il linguaggio e le modalità di produzione) in un « quadro di riferimento » che conferisce *modularità* alla metodologia stessa e garantisce l'*integrità* dei prodotti delle singole fasi.

Valorizzando in pari misura sia i dati che le funzioni presenti in un sistema, DAFNE raggruppa le attività di produzione in due fasi distinte: *fase di analisi* (di funzioni e di dati), *fase di disegno* (di funzioni e di dati).

Scopo della fase di analisi è l'individuazione dei requisiti dell'intero sistema e la definizione dei requisiti dei componenti software (cosa il sistema deve fare e quanto bene). L'analisi si esplica nelle attività di: *analisi delle necessità*, *analisi dei requisiti del sistema*, *definizione dei requisiti del software*.

Le prime due, in particolare, sono dedicate allo studio dell'intero sistema allo scopo di determinare gli interventi di automazione più efficaci.

Obiettivi principali della *analisi delle necessità* sono: a) la comprensione dell'organizzazione del mondo dell'utente; b) il suo contesto di operazione; c) i suoi obiettivi.

I « prodotti » della attività (modello dell'ambiente, modello dell'organizzazione) avviano la descrizione completa del sistema ottenuta nella successiva attività di *analisi dei requisiti del sistema*.

(*) Ingegnere, ITALSIEL Imprese S.p.A., Milano.

In questa fase il sistema è analizzato nei suoi aspetti statici e dinamici con due attività distinte:

- *l'analisi delle funzioni*, svolta utilizzando la metodologia DAFNE/SADT (Structured Analysis and Design Technique), che studia la *rappresentazione dinamica del sistema* determinando le funzioni che esso realizza e le loro relazioni, gli enti che realizzano le funzioni, usano e/o producono dati, gli eventi esterni ed i parametri che condizionano lo svolgimento delle funzioni;
- *l'analisi dei dati*, svolta utilizzando la metodologia DAFNE/ERA (Entity and Relationship Approach), che studia la *rappresentazione statica del sistema* determinando i dati sui quali esso opera, le loro proprietà e le loro relazioni.

Muovendo dai risultati prodotti dalle due attività (formalmente descritti in modelli funzionali e modelli concettuali di dati), si affrontano i problemi delle scelte di automazione e di definizione del sistema software che vengono risolti nelle successive attività previste nel quadro di riferimento della metodologia DAFNE.

CONCLUSIONI

La metodologia DAFNE, nelle fasi precedentemente descritte, riconduce l'analisi del sistema alla individuazione delle funzioni e dei dati del sistema stesso e alla loro rappresentazione mediante due tipi di modelli: modelli delle funzioni e modelli concettuali dei dati.

Tali modelli forniscono una rappresentazione del sistema particolarmente adatta a studiare e definire sia interventi di integrazione (in cui i dati svolgono un ruolo primario) che di automazione (in cui le funzioni svolgono un ruolo primario); ciò resta valido indipendentemente dagli strumenti (informatici o non informatici) che saranno utilizzati per realizzare gli interventi definiti.

Nell'ottica della « fabbrica del futuro », caratterizzata dalla novità oltre che dalla complessità dei problemi affrontati, la rappresentazione del sistema ottenuta con la metodologia DAFNE, costituisce un quadro di riferimento rigoroso per le eventuali attività di simulazione che spesso devono precedere le scelte di automazione.

Una tecnica di simulazione per sistemi flessibili di produzione

Matteo CASU (*)

La tecnica della simulazione, che si sta rivelando sempre più insostituibile per la sua affidabilità nella progettazione e gestione di FMS, non potendo di per sé giungere ad una comprensione generale del fenomeno in esame (e neppure ad una ottimizzazione dei risultati), abbisogna di supporti metodologici in grado di perseguire i suddetti obiettivi, utilizzando nel modo migliore le risorse a disposizione dello sperimentatore.

In effetti uno strumento di ricerca costoso come la simulazione non viene di solito impiegato solo per avere una serie di risposte ad hoc; si può infatti aver bisogno di poter rispondere a domande di tipo « inverso », cioè non solo per chiedersi come vari la risposta in funzione delle variabili di input, ma anche quali valori debbano assumere quest'ultime per ottenere determinati valori di output (problema, ad esempio, della ottimizzazione).

Si potrebbe cercare di rispondere a ciò per tenta-

tivi, ma se si ha a disposizione una formula esplicita la soluzione diventa immediata. Questa formula, detta metamodello di regressione, caratterizza il rapporto tra una singola variabile dipendente y e k variabili indipendenti $x_1, \dots, x_k$; tale rapporto funzionale si può esprimere simbolicamente, in via del tutto generale, con:

$$y = f(x_1, \dots, x_k)$$

e, a meno che lo sperimentatore non conosca a priori la sua forma esatta, occorrerà scegliere una appropriata funzione per approssimare f .

Per potersi avvalere nel modo più opportuno di questa metodologia, è però essenziale adottare un corretto progetto degli esperimenti, eseguito mediante una approfondita analisi dei dati. In particolare, alcuni requisiti cui tali progetti devono soddisfare sono:

- necessità di limitare il numero N di prove da eseguire;
- necessità di ottenere la massima accuratezza statistica, una volta scelto il numero N di prove;

(*) Ingegnere, ELSAG, Genova.

- necessità di fornire una misura della bontà di adattamento del metamodello scelto;
 - flessibilità del modello.
- L'insieme di procedure logiche e statistiche che costituiscono in pratica un progetto di questo tipo, può essere schematizzata nei seguenti passi:
- scelta delle variabili da esplorare e definizione del loro range di variazione;
 - impostazione della campagna di lanci, in modo da minimizzare il numero di prove necessarie a una corretta interpretazione del sistema;
 - esecuzione della campagna di lanci;
 - ricerca del metamodello di regressione;
 - interpretazione dei risultati.

All'uscita da questa fase si è dunque in possesso di una funzione esprimente il legame fra l'output di interesse e le variabili di input, nell'ambito del range fissato per esse al primo punto. Per poter illustrare meglio quanto esposto, questa metodologia è stata applicata ad un caso reale.

UN CASO DI STUDIO

Facendo riferimento al layout di figura 1 si è intesa studiare l'influenza del sistema di trasporto sulla produzione globale della linea, e attraverso di essa, su di un parametro che valutasse l'economicità di un investimento in un determinato tipo di sistema di trasporto piuttosto che un altro.

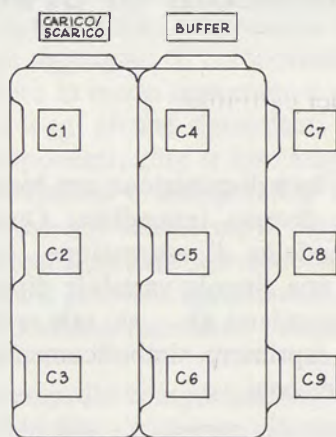


Fig. 1

La linea è costituita da 3 serie di 3 macchine operatrici, ciascuna delle quali compie una lavorazione su di un particolare tipo di pezzo. Le macchine sono connesse fra di loro e con la stazione di carico/scarico tramite percorsi seguiti da un certo numero di carrelli filoguidati. Accanto alla stazione di carico/scarico è stato previsto un magazzino intermedio ove depositare i pezzi fra una lavorazione e la successiva. È stato deciso pertanto di adottare un siste-

ma di trasporto a carrelli filoguidati, di cui occorreva determinare il numero e le prestazioni.

Un altro parametro ritenuto significativo era il numero massimo di pallet presenti contemporaneamente nella linea. Nella linea vengono introdotti contemporaneamente tre tipi diversi di pezzo, a ciascuno dei quali è assegnato un terzo dei pallet presenti in linea. La sequenza di operazioni seguite da tre tipi di pezzo è mostrata in figura 2.

Al termine di ogni lavorazione, se il pezzo non può essere caricato sulla macchina successiva (o non

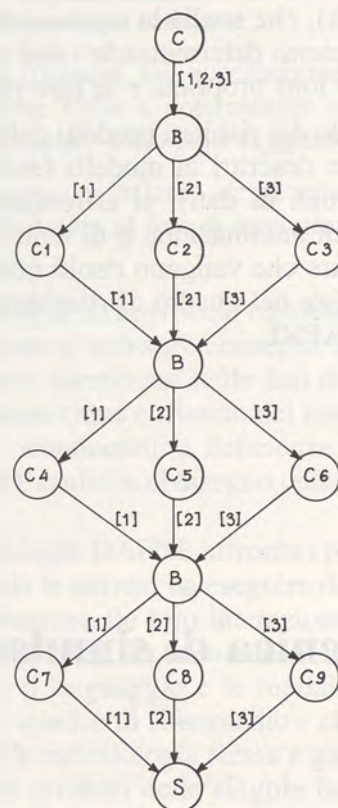


Fig. 2

può essere scaricato), esso viene posto in un buffer intermedio, ove soggiorna fintantoché la macchina su cui deve essere lavorato sia libera.

Lo scopo dell'indagine era come detto la valutazione dell'influsso del sistema di trasporto sui parametri definiti precedentemente. Per l'esecuzione della campagna di lanci è stato deciso di eseguire una serie di prove sulla successione di passi metodologici descritti nel paragrafo precedente.

Innanzitutto sono state scelte le seguenti 3 variabili di input di cui è stato fissato un possibile range di variazione, stabilito in base ad altri criteri (per esempio utilizzando modelli analitici):

- A: numero di pallet $16 \div 20$
- B: numero di carrelli $4 \div 6$
- C: velocità dei carrelli $80\% \div 120\%$ intorno a un valore di 1 m/min.

Quindi è stata impostata la campagna di lanci, adottando un «progetto composto centrale», costituito dalle seguenti prove:

- $F = 2^3$: prove in corrispondenza delle mutue combinazioni fra i valori basso ed alto del range di variazione dei fattori input
- $C = 6$: prove in corrispondenza del valore centrale del range di tutte le variabili
- $A = 2 \cdot 3$: prove in corrispondenza degli assi del progetto

(si veda la figura 3 per una rappresentazione grafica dei punti di progetto).

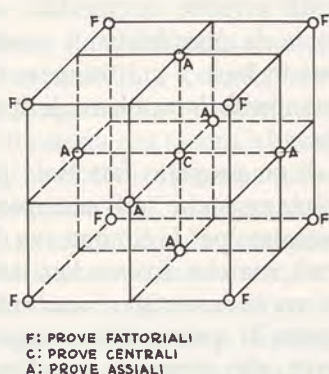


Fig. 3

Le prove ripetute al livello centrale svolgono la funzione della determinazione dell'errore sperimentale, consentendo anche l'effettuazione dei test statistici per la convalida del metamodello di regressione, mediante la suddivisione dell'errore fra errore puramente sperimentale ed errore dovuto alla mancanza di adattamento del modello.

L'ELSAG PLANT SIMULATOR (EPS)

Per l'esecuzione della campagna di lanci è stato utilizzato il simulatore EPS (Elsag Plant Simulator) sviluppato all'Elsag. È costituito da una serie di moduli specifici che vengono uniti in modo opportuno per la configurazione della particolare linea in studio. In questo esempio sono stati utilizzati i seguenti moduli:

- macchine operatrici, che permette di simulare le operazioni svolte dalle macchine fisiche del sistema;
- carrelli: simulano il sistema di trasporto; viene adottata una strategia di controllo movimenti dei carrelli in grado di minimizzare i percorsi dei carrelli fra una stazione e l'altra: un carrello tende a servire il primo pezzo disponibile nella sta-

zione più vicina a quella in cui si trova, e in cui ha depositato un pezzo da lavorare. Inoltre un carrello non serve un pezzo la cui destinazione è già occupata da un altro pezzo;

- generazione ed evacuazione pezzi: provvedono all'introduzione dei pezzi nel sistema, corredandoli di tutte le informazioni necessarie per la corretta esecuzione del ciclo di lavorazione, e all'evacuazione dei pezzi che abbiano completato la propria sequenza di operazioni. Provvedono anche alla suddivisione dei pallet fra i pezzi di vario tipo e alla loro corretta introduzione temporale nel sistema;
- fine simulazione: pone fine alla simulazione, fornendo una serie di consuntivi, quali:
 - produzione ottenibile per tipo di pezzo;
 - produttività del sistema;
 - coefficienti di utilizzazione del sistema e dei sistemi di movimentazione;
 - tempi di attraversamento;
 - adattabilità del sistema e situazioni anomale;
 - stato di occupazione dei magazzini e dei buffer;

in base a cui è possibile studiare la sensibilità alle variazioni dei fattori di input di interesse.

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

La campagna di lanci condotta sul modello, e la costruzione di un appropriato metamodello di regressione, ha portato all'individuazione della seguente funzione, legante la produzione oraria alle tre variabili di input (numero carrelli, numero pallet, velocità % dei carrelli):

$$y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_2X_3 \quad [1]$$

ove y : produzione oraria; X_1 : numero carrelli; X_2 : numero pallet; X_3 : velocità % dei carrelli rispetto al valore 1 m/min.

Questa funzione, convalidata mediante opportuni test statistici (di Fisher), è stata utilizzata per lo studio di un'ulteriore relazione esprimente la redditività dell'investimento in un determinato sistema di trasporto, composto da un dato numero di carrelli di certe prestazioni ed utilizzante un numero opportuno di pallet, in rapporto al volume di produzione ottenibile. La funzione è stata la seguente:

$$f = K_1 \frac{X_1}{Y} + K_2 \frac{X_2}{Y} + K \frac{(X_3 - 100)}{Y} \quad [2]$$

ove K_i sono opportuni coefficienti economici esprimenti il rapporto fra l'investimento unitario nella risorsa X_i e il volume di produzione unitario; y è la produzione oraria; X_1 è il numero dei carrelli; X_2 è il numero dei pallet; X_3 è la velocità percentuale dei carrelli.

Di questa funzione occorre trovare il minimo, sotto i vincoli per gli X_i fissati dai loro range di variazione e tenendo conto della relazione [1] esprime il legame fra produzione oraria e fattori di input. L'analisi svolta ha evidenziato come l'adozione di carrelli di prestazioni superiori portasse a una maggiore economicità dell'investimento: quanto si pagava in più in termini di acquisto del carrello veniva compensato in maniera superiore dai corrispondenti aumenti di produzione. Viceversa l'investimento in un numero di carrelli superiore non porta a ritorni in termini di incrementi produttivi tali da giustificare.

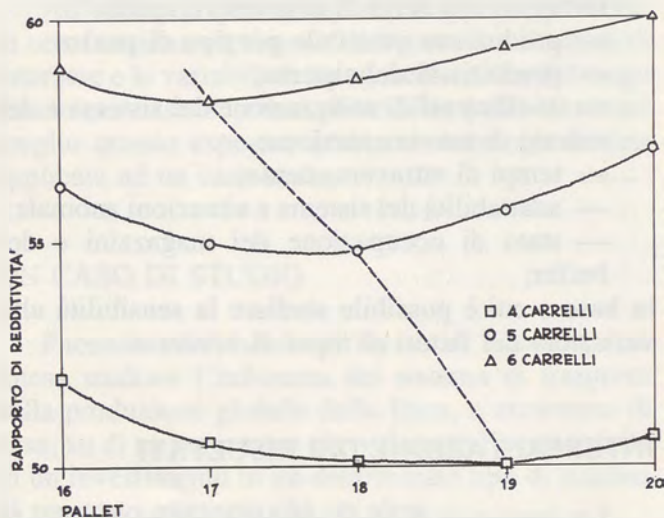


Fig. 4

La situazione più interessante si verifica però analizzando la funzione al variare del numero dei pallet presenti: l'andamento grafico nel caso di 4, 5 e 6 carrelli è presentato nella figura 4. Da essa risulta che il parametro di redditività presenti un minimo, ovvero consenta l'investimento più economico, per un numero di pallet ben preciso e pari a 19 nel caso dell'adozione di 4 carrelli, 18 nel caso di 5, e 17 nel caso di 6 carrelli.

Lo spostarsi del numero ottimo di pallet verso valori minori all'aumentare del numero di carrelli

può essere facilmente spiegato: se si comprano più carrelli si ha un maggiore investimento, senza che questo provochi un incremento del volume produttivo tale da compensare l'investimento parallelo in un numero maggiore di pallet.

CONCLUSIONI

L'applicazione della metodologia descritta nei paragrafi precedenti porta in definitiva a una serie di vantaggi: la riduzione del numero di lanci di simulazione (per ricavare i risultati descritti sopra sono state necessarie solo 20 prove, mentre una campagna di lanci puntuale, cioè realizzata variando un fattore alla volta avrebbe comportato un impegno ben superiore), e la possibilità di costruire veri e propri prontuari in base a cui ottenere risposte immediate ad una infinità di problemi di tipo progettuale e di gestione.

L'utilizzo di un progetto fattoriale porta con sé un ulteriore vantaggio che nell'esempio sviluppato non è stato accennato per la limitatezza dei fattori di input considerati, ma che diventa basilare quando le variabili che si vuole investigare sono numerose. In effetti un progetto di questo tipo comporta l'esecuzione di 2^k prove, che crescono quindi esponenzialmente al crescere del numero dei fattori.

È possibile però in fase preliminare lanciare solo una frazione ridotta (anche in modo sensibile) delle 2^k prove, in base ai cui risultati si può effettuare uno screening dei k fattori per separare quelli di effettiva importanza per gli obiettivi considerati, da quelli di scarso interesse. A questo punto è possibile eliminare questi ultimi dalle variabili in esame e lanciare un progetto definitivo con un numero minore di prove da effettuare.

In definitiva, si può notare come gli aspetti strategici siano di importanza essenziale per uno sfruttamento completo dello strumento della simulazione, impedendo che uno strumento così costoso debba essere impiegato solo per avere risposta a un numero limitato di domande.

L'innovazione tecnologica e la fonderia del futuro

Sergio GALLO (*)

L'attività di fonderia, una delle più antiche del mondo, è tutt'ora alla base dell'industria meccanica. La maggior parte dei componenti di qualsiasi prodotto meccanico parte da un greggio prodotto in fonderia. Le moderne linee di lavorazione meccanica, sempre più automatizzate, « intelligenti », flessibili, ecc., basano la loro efficienza ed affidabilità sulla costanza delle proprietà geometriche e metalurgiche dei prodotti che devono lavorare e finire, e la maggior parte di questi proviene appunto dalla fonderia.

Da millenni l'attività della fonderia consiste nel « fondere » un metallo e colarlo in una cavità che rappresenta l'oggetto da produrre. Per molti secoli l'attività di fonderia era essenzialmente opera di autentici artisti, nel senso più completo della parola. Molto lentamente con il crescere delle applicazioni « pratiche » dei prodotti di fonderia e la relativa domanda del mercato, tale attività si è in qualche modo standardizzata diventando per molte applicazioni, del tipo « artigianale ». Con l'avvento della moderna civiltà e delle produzioni di massa, l'attività di fonderia è diventata « industriale », con tutte le esigenze che il termine implica: costanza nella qualità, precisione geometrica, costi contenuti della produzione realizzata, anche se non mancano ancora oggi esempi di fonderie (specializzate ad esempio in getti aeronautici o di prototipi per l'industria automobilistica), in cui gli operai, con pochi e semplici mezzi e per lo più a mano, riescono a produrre dei getti che è difficile non riconoscere come vera « opera d'arte » o per lo meno prodotti di un artigianato di alta specializzazione.

Negli ultimi 50 anni la fonderia « industriale » ha conosciuto una notevole evoluzione tecnologica, frutto di un intenso sforzo di ricerca in tutti i campi connessi con la sua attività. Basterà citare:

per la metallurgia:

- il perfezionamento e l'ottimizzazione della ghisa malleabile,
- la scoperta e la messa in produzione delle ghise a grafite sferoidale che rapidamente hanno soppiantato le ghise malleabili e gli acciai fucinati in molte applicazioni,
- lo studio e l'ottimizzazione delle leghe di alluminio per colata in conchiglia e sottopressione,
- la possibilità di utilizzo in misura sempre crescente di rottami di « riciclo » per la produzione più economica dei componenti metallici;

(*) Dottore, professore, direttore TEKSID, Divisione Alluminio.

per i forni fusori:

- lo sviluppo di cubilotti automatizzati e con miglior bilancio energetico e maggiore qualità delle ghise prodotte,
- lo studio e l'ottimizzazione dei forni elettrici sia per fusione che per attesa per svariati tipi di metalli,
- lo studio e la comprensione dei complessi fenomeni metallurgici che accompagnano la fusione e l'affinazione dei metalli e dei fattori che ne influenzano in modo drammatico la microstruttura e quindi le loro proprietà meccaniche e di resistenza a fatica;

per la produzione delle anime (le formelle di sabbia inserite nella forma per ricavare nei getti le cavità previste dal disegno):

- lo sviluppo di agglomeranti a base di resine termoidurenti ed indurenti a freddo con catalizzatori gassosi,
- la realizzazione di macchine a ciclo automatico;

per la formatura:

- lo sviluppo di macchine e linee di formatura ad alta precisione ed a gradi di meccanizzazione sempre più spinti per garantire la massima precisione dimensionale nei getti, alta produttività unita alla decisa riduzione della fatica degli operai addetti.

LA FONDERIA MODERNA

Esaminiamo ora una moderna fonderia, che racchiuda quanto di meglio la tecnologia ha saputo adottare dalla ricerca per ipotizzare poi quello che potrebbe essere la fonderia del futuro.

Nelle produzioni di grande serie, che più giustificano gli investimenti sia nella ricerca che negli impianti che permettono di adottare le nuove tecnologie, si distinguono due tipi di fonderie, legate al tipo di materiale colato: le fonderie di ghisa e quelle di leghe di alluminio.

Fonderie di ghisa

In una fonderia di ghisa i reparti più importanti, sede del processo produttivo sono:

i forni: dove viene preparato il metallo e lo si mantiene in temperatura e analisi chimica corretta, pronto per la colata. I forni più diffusi per la produzione della ghisa liquida sono i « cubilotti »: alti forni continui in cui viene introdotta dall'alto la carica metallica (per lo più rottami di acciaio), le necessarie ferro-leghe ed il carbone coke, mentre dal basso

esce in modo continuo la ghisa. Sempre nella parte inferiore viene soffiato il «vento», l'aria necessaria alla combustione del carbone. In un moderno cubilotto tutti i materiali di carica vengono pesati ed alimentati nel forno in maniera automatica, mentre un operatore in una sala ad aria condizionata verifica il progredire della fusione e ne controlla e modifica le variabili che possono influire sulla qualità della ghisa prodotta. In un futuro ormai imminente un calcolatore dovrà, tenendo conto in tempo reale della composizione delle varie materie prime e della composizione e temperatura richiesta per la ghisa in produzione, variare od aggiustare la composizione della carica, la temperatura del vento, la percentuale in ferroleghe e carbone per ottimizzare qualità, temperatura e produzione oraria del forno alle più economiche condizioni di esercizio.

il reparto anime: in cui vengono preparate le specifiche forme in sabbia destinate a ricavare le cavità richieste nei getti. Lo sviluppo di resine a presa rapida a caldo e a freddo, ha permesso la messa a punto di macchine che a ciclo completamente automatico trasformano la miscela di sabbia in forme con elevata precisione dimensionale e con una rimarchevole costanza nelle proprietà e dimensioni a costi sempre molto contenuti. In futuro è prevedibile che le anime prodotte siano automaticamente assemblate, ricoperte della speciale vernice refrattaria, asciugata ed inviata direttamente alle linee di colata, senza alcun intervento della mano dell'uomo.

il reparto formatura e colata: in cui vengono preparate le forme di sabbia nelle quali, dopo la corretta disposizione delle anime, viene versata la ghisa per la realizzazione del getto. Macchine interamente automatiche ad elevata pressione provvedono a costipare sul modello la «sabbia di formatura», preparata in modo continuo da mescolatori automatici che provvedono all'aggiunta dei vari componenti in funzione dei tipi di getti da colare. Nelle forme ottenute, appositi dispositivi introducono le «anime» e gli eventuali «inoculanti» prima della loro chiusura. La colata, l'operazione più gravosa fino a qualche tempo fa, viene ora realizzata con sivere ribaltate con comandi idraulici azionati dagli operai in apposite cabine, mentre sono già in esercizio linee in cui anche questa operazione è ottenuta in modo totalmente automatico.

il reparto finitura: in cui i getti vengono ripuliti della sabbia di formatura aderente, vengono liberati dalle bave, dalle materozze e dai canali di colata e subiscono i controlli dimensionali e metallurgici richiesti. È in questo reparto che ancora viene richiesto molto lavoro manuale alle maestranze, e in cui lo studio e la messa a punto di nuovi metodi di lavoro richiederà importanti investimenti. L'eliminazione delle «bave» che si formano lungo il piano di divisione delle forme ed attorno alle «portate» delle anime, e la molatura degli attacchi di colata, può ed

in molti casi è già effettuata con speciali robots o con piccole trasferte di lavorazione; pure su linee automatizzate può essere effettuato il controllo con ultrasuoni per accertare il livello qualitativo dei getti. L'uso più intenso di robots dotati di «identificatori di immagine» che li guidano nel prelievo e nel posizionamento del getto sulle attrezzature di sbavatura e finitura, è certamente una via che in futuro sarà seguita da molte fonderie.

Fonderia di leghe leggere

Date le caratteristiche specifiche di queste leghe e la loro bassa temperatura di colata ($\sim 700^\circ\text{C}$) sono utilizzabili per produzioni di serie forme metalliche anziché in sabbia per la colata dei getti. Si distinguono due differenti processi: la colata in conchiglia o a gravità, e la colata sottopressione.

Nel primo caso, utilizzato per produrre getti che richiedono l'uso delle anime o per i quali sono necessarie elevate caratteristiche meccaniche, la forma (conchiglia) scomposta in due o più parti, è montata su un banco a comando idraulico che ne manovra l'apertura e la chiusura. Dopo l'introduzione delle anime e del metallo è necessario un periodo di attesa, che dipende dalle dimensioni del getto, per ottenere la solidificazione completa del metallo prima di procedere all'apertura della conchiglia ed all'estrazione del getto.

In una moderna fonderia, per realizzare in maniera economica la sequenza operativa e ridurre la fatica degli operai, i banchi idraulici sono montati su una piattaforma girevole (giostra) di 7-8 m di diametro. In questo modo il banco che porta le conchiglie viene posizionato nella stazione in cui sono deposte le anime, indi spostato di fronte al forno che contiene il metallo dove, con un dispositivo automatico, la quantità esatta di lega viene dosata e colata nella conchiglia. Successivamente il banco viene spostato nel percorso di «solidificazione» per arrivare alla stazione di «apertura» dove un'apposita mano meccanica provvede all'estrazione del getto ed al suo posizionamento sull'attrezzo di taglio dei canali di colata che, ancora caldi ($300-400^\circ\text{C}$), vengono convogliati direttamente nel forno per essere rifusi. All'operaio, oltre al controllo delle operazioni e della qualità del getto prodotto, resterà il compito del posizionamento delle anime. Tale compito in un prossimo futuro sarà certamente realizzato a mezzo di robot.

Nella «pressocolata» il metallo viene iniettato nello stampo con elevata pressione (400-700 t la potenza della macchina «piccola», 2000-3000 t quella delle macchine «grandi»). Opportuni circuiti di raffreddamento ricavati nello stampo provvedono ad una veloce solidificazione del metallo e quindi ad elevate cadenze produttive. In questo genere di lavoro il compito (gravoso!) dell'operaio è quello di introdurre la quantità esatta di metallo nell'apposito

contenitore della macchina di colata, dare il via all'iniezione, estrarre il getto e dopo il raffreddamento posizionarlo sotto lo stampo di una pressa di «tranciatura» che provvede all'eliminazione dei canali di colata.

In una moderna fonderia oggi tutte queste operazioni possono essere (ed in pochi casi sono già) effettuate con sequenze interamente automatiche. L'impiego di robot ha permesso di eliminare completamente l'uomo da queste sequenze operative.

Nel prossimo futuro è allo studio un ulteriore perfezionamento del sistema: la riuscita completa del getto è assicurata da una perfetta concomitanza di circostanze tecniche i cui parametri sono stati definiti dagli specialisti della fonderia (temperatura del metallo di colata, pressione e velocità di iniezione, gradienti di temperatura nei vari punti dello stampo, ecc). Per verificare la riuscita dei getti secondo i capitolati, attualmente gli uomini del controllo qualità portano all'esame radiografico un getto per ogni ora di produzione: in caso di comparsa di anomalie metallurgiche, l'intero lotto prodotto nell'ora precedente dev'essere analizzato. È allo studio un asservimento del sistema macchina di colata/robot ad un calcolatore programmato, collegato ad una serie di strumenti predisposti a misurare tutti i parametri che possono influire nella riuscita metallurgica del getto. In questo modo il robot riceverà dal calcolatore l'ordine di mandare avanti i getti lungo la linea di finitura quando tutte le condizioni di lavoro sono ottimali e di scartare quelli prodotti in condizioni anomale.

Un altro interessante campo di lavoro per l'innovazione nel settore delle leghe di alluminio è certamente nella preparazione delle leghe: una più profonda conoscenza dei fenomeni metallurgici durante i processi di affinazione, delle influenze relative dei vari elementi di impurezza, ecc., consentiranno sempre più l'impiego di materiali di riciclo nella produzione di particolari anche di notevole importanza e di sicurezza.

La preparazione delle leghe dai rottami sarà concentrata in poche, ma altamente specializzate società di lavorazione dei metalli, mentre il trasporto delle leghe pronte per la colata verrà effettuato allo stato liquido in apposite siviere termoisolate anche su lunghe distanze (~500 km) con notevoli risparmi dal punto di vista energetico, di movimentazione dei materiali e di spese di magazzino.

Nelle fonderie di ghisa ed alluminio si sta affacciando il calcolatore. Come tra i progettisti si sta diffondendo l'impiego sul calcolatore per il progetto dei vari componenti, così il fonditore si sta attrezzando per utilizzarne i risultati e le applicazioni per la preparazione delle sue attrezzature.

Attualmente il fonditore deve trasformare il disegno elaborato dal progettista per tener conto nel disegno dei modelli, degli stampi e/o delle conchiglie, dei complessi fattori che accompagnano la co-

lata e la solidificazione del getto. Durante la solidificazione infatti il metallo subisce un «ritiro» che, a seconda del materiale può arrivare sino all'1%. A solidificazione avvenuta il metallo continua a contrarsi secondo il coefficiente di dilatazione/contrazione specifico di ogni metallo o lega. Ne consegue che il modello o lo stampo deve essere «maggiorato» in tutte le sue dimensioni rispetto al disegno del pezzo finito per tener conto di tali fattori. Mentre oggi ciò viene ottenuto a mezzo di molti e complicati calcoli e ragionamenti, domani questo potrà essere facilmente ottenuto dal calcolatore che, anzi, potrà fornire direttamente alle macchine di lavorazione a controllo numerico le informazioni necessarie per la preparazione dei modelli, stampi e conchiglie. Il controllo dimensionale dei getti infine, ieri effettuato con lungo lavoro dei «tracciatori» che faticosamente riscontravano sul pezzo la rispondenza di tut-

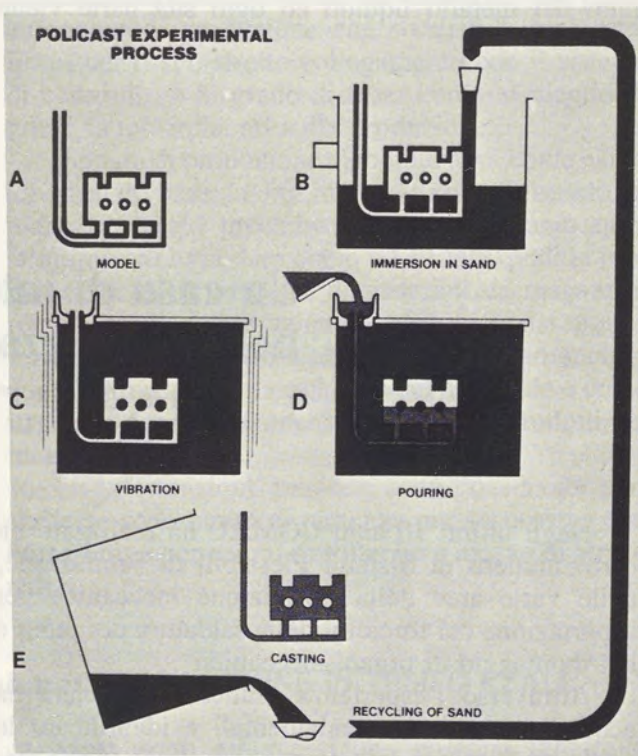


Fig. 1

te le quote richieste dal disegno, oggi già può essere effettuato con speciali robots di controllo che in meno di un quarto d'ora possono controllare oltre 200 punti in un getto riportando su un rapporto dattiloscritto tutte le anomalie riscontrate. Oggi il programma di questi robots di controllo è ancora oggetto di lungo lavoro; domani potrà ricevere dallo stesso sistema CAD/CAM le informazioni necessarie, le stesse che ha già ricevuto la macchina a controllo numerico che ha prodotto gli stampi.

Nella descrizione delle fonderie attuali e degli sviluppi prevedibili per il futuro non può non mancare un cenno ad un nuovo processo, frutto di oltre 5 anni di sviluppo nelle Fonderie FIAT, che entrerà in produzione entro la fine di quest'anno: si tratta del processo POLICAST.

Come accennato in precedenza, per la produzione di un getto con i processi tradizionali occorre innanzitutto preparare una forma in sabbia o in metallo in cui dopo l'introduzione delle anime verrà colato il metallo. Il nuovo processo si basa sull'impiego di modelli in polistirolo espanso a perdere (lost-foam). La caratteristica rilevante è che tali modelli vengono immersi in sabbia sciolta, compatata mediante vibrazione, la quale penetrando anche nelle cavità interne, svolge la funzione che nei processi tradizionali è assolta dalle anime. Anche il canale e gli attacchi di colata sono in polistirolo espanso.

Durante la colata il modello si distrugge al contatto del metallo liquido ed ogni sua parte viene

fedelmente riprodotta. Il modello in polistirolo, prodotto per stampaggio su macchine automatiche, è in genere composto in più parti che vengono assemblate per incollaggio. Gli stampi per produrre i modelli in polistirolo hanno una durata praticamente illimitata ed un costo di fabbricazione decisamente inferiore a quello delle conchiglie e delle casse d'anima necessarie con la tecnologia attuale. Nella figura 1 vengono schematizzate le fasi del processo.

Molte applicazioni delle fonderie del futuro sono per la verità già in avanzata realizzazione nelle fonderie FIAT TEKSID: lo sforzo innovativo in queste fonderie è stato imponente negli ultimi anni: e ciò ha portato le fonderie a competere vittoriosamente sui mercati internazionali.

Basti ad esempio citare la fonderia di leghe leggere che esporta circa il 50% della sua produzione sia in Europa (FORD, RENAULT, CITROËN, ecc.) che negli Stati Uniti (FORD, CHRYSLER, ecc.) a dimostrazione che la ricerca e l'innovazione se opportunamente diretti e finalizzati rendono!

Un caso di integrazione di FMS nell'organizzazione dell'officina

Paolo CIGNA (*), Franco CIAFFI (**)

Negli ultimi 10 anni COMAU ha realizzato un certo numero di Sistemi Flessibili di Produzione, nelle varie aree della lavorazione meccanica per asportazione del truciolo, della saldatura per punti e del montaggio di organi meccanici.

Attraverso l'esperienza pratica, la Società ha acquisito i concetti fondamentali e identificato le varie implicazioni della nuova tecnologia. Sono state colte le opportunità offerte dai recenti sviluppi dell'elettronica e dell'informatica, con l'impiego di minicalcolatori, di CNC dell'ultima generazione e con lo sviluppo di unità microcomputerizzate per il controllo di robot e di macchine operatrici. Sono state fatte esperienze con una quantità di robot industriali, inclusi quelli di produzione propria, con diversi sistemi di trasporto interno (rulli motorizzati, carrelli distributori su rotaia, carrelli filoguidati, carrelli aerei), ed è stata sviluppata una linea di mac-

chine a controllo numerico particolarmente adatta per applicazioni in FMS.

Elemento determinante per la flessibilità è il software: COMAU ha affrontato il problema del software per FMS sviluppando nel corso degli anni un sistema integrato che copre varie necessità, anche per produzioni di piccola e media serie, e che svolge le seguenti funzioni essenziali:

- tenere traccia delle lavorazioni subite dai pezzi, conoscerne la posizione all'interno del sistema ed eseguire la corretta sequenza delle operazioni;
- determinare le condizioni di errore, minimizzare la loro influenza sul sistema ed identificare i componenti difettosi;
- prevenire condizioni anomale per mezzo di un sistema di allarme previsivo;
- informare i responsabili sull'andamento della produzione, sul rispetto dei programmi, sullo stato del sistema;
- determinare il piano di produzione ottimo, per rispettare le date di consegna e massimizzare l'utilizzo delle macchine;

(*) Dottore, Direzione Automazione, COMAU S.p.A.

(**) Ingegnere, Direzione Automazione, COMAU S.p.A.

- prevedere i fabbisogni del sistema: attrezzi, utensili, grezzi;
- informare il personale addetto, in modo che siano effettuate con tempestività le operazioni richieste;
- paragonare le prestazioni consuntive con quelle previste ed identificare le cause degli scostamenti;
- determinare la fattibilità di cambiamenti nel mix di produzione;
- investigare l'effetto di cambiamenti nelle strategie di controllo;
- interfacciare il processo controllato con il sistema informativo generale di stabilimento per la pianificazione ed il controllo di avanzamento della produzione, la contabilità ed il reporting.

Tutte queste funzioni sono svolte da moduli software che possono essere variamente interconnessi per far fronte alle esigenze specifiche delle varie applicazioni e permettere future espansioni.

Nel seguito viene descritta una realizzazione che presenta un elevato grado di integrazione dei moduli funzionali sopra indicati. Ciò significa che, grazie al dialogo con l'elaboratore di stabilimento, alla gestione completa di materiali, attrezzi ed utensili nell'officina, all'estensione della supervisione a macchine non fisicamente ma logicamente collegate al sistema, è stato spezzato l'isolamento caratteristico dei primi Sistemi Flessibili di Produzione. Infatti fino ad ora essi sono stati semplicemente calati nelle officine come oggetti rari e un po' misteriosi (e in effetti essi sono stati spesso isolati, anche fisicamente, per dare spazio ai probabili visitatori ed operatori cinematografici).

STRUTTURA DEL SISTEMA

Il Sistema Flessibile di Produzione in oggetto è composto da un tornio verticale, quattro centri di lavorazione, un sottosistema di lavaggio robotizzato, una postazione di carico/scarico pezzi, una postazione di ingresso/uscita pallet, un sistema di trasporto ad anello chiuso di rulli motorizzati ed un sistema di immagazzinamento di pezzi servito da un trasloelevatore.

Il sistema di movimentazione consente di spostare all'interno del FMS i singoli pallet (unità di trasporto generalizzato e di riferimento geometrico) che portano attrezzi per il fissaggio dei pezzi da lavorare. Il sistema di immagazzinamento svolge funzioni di polmone per i contenitori adibiti al trasporto dei pezzi grezzi e dei pezzi lavorati da e verso il mondo esterno.

Un sistema di controllo e supervisione basato su minielaboratore coordina tutte le attività delle macchine e degli operatori addetti e con adeguati strumenti di hardware e di software si integra nel conte-

sto dell'officina. La descrizione del flusso delle informazioni, dei pezzi e degli attrezzi di fissaggio illustra tali caratteristiche di integrazione.

RELAZIONI CON LA PROGRAMMAZIONE DI STABILIMENTO

Il sistema informativo dello stabilimento mantiene aggiornate le richieste di produzione per i vari tipi di pezzo (ordini). Nelle officine tradizionali lo scambio di informazioni con i reparti avviene manualmente a mezzo di terminali industriali. Al sistema supervisore del FMS, invece, giungono richieste di produzione in termini di:

- quantità di pezzi;
 - data di consegna richiesta;
 - data di inizio di disponibilità dei grezzi;
- per ogni ordine di lavorazione.

Sulla base dei nuovi Ordini introdotti e dello stato di tutti gli Ordini non ancora evasi, il sistema di schedulazione provvede ad elaborare un piano autonomo di produzione che soddisfi le richieste. Esso, per il suo stretto collegamento con il sistema di controllo, è in grado di tener conto al meglio di tutti i fattori influenti sulla produzione.

Il piano di produzione elaborato avrà come caratteristica di base la minima deviazione rispetto al piano elaborato precedentemente, in quanto quest'ultimo avrà già dato corso ad attività quali la preparazione ed il trasporto di materiali da magazzini remoti e la riconfigurazione di attrezzi di fissaggio.

Fra i prodotti dell'elaborazione vi sono anche i documenti usati per la richiesta del materiale e come riscontro quando i contenitori saranno introdotti nel magazzino in linea.

Le informazioni generate sono conservate perché esse sono punto di partenza per successive elaborazioni, e per azioni di sollecito a mezzo di terminali.

LA SCHEDULAZIONE IN TEMPO REALE

Molti sono gli eventi che possono turbare il normale andamento produttivo.

Vi sono casi, quali la rottura di un utensile o il guasto di una macchina, che possono trovare immediata soluzione nella struttura stessa dell'impianto; ad esempio, una breve fermata di una macchina, a differenza di quanto avviene in una linea a trasferta rigida, può essere completamente assorbita dalla capacità di accumulo distribuita, tipica dei sistemi di trasporto per FMS.

Vi sono invece casi, quali l'improvvisa mancanza di materiali, di un attrezzo o di un utensile, oppure l'improvvisa richiesta di dare corso ad una produzione non programmata, a fronte dei quali occorre fare ricorso ad una capacità decisionale. Tale capaci-

tà deve essere tanto maggiore quanto più complesso è un sistema; oltre certi limiti essa non può non essere affidata a procedimenti automatici di calcolo se non si vuole rinunciare all'obiettivo primario che è l'ottenimento della massima resa dell'impianto.

La soluzione data da COMAU consiste in una versione ridotta dello schedatore principale; essa, pur con orizzonte ridotto, rivaluta in tempo reale, cioè ad ogni variazione dei fattori influenti, le strategie che il sistema di controllo adotterà. Essendo parte integrante del sistema di controllo e supervisione, è pure a carico di questo modulo la gestione di segnalazioni alle varie componenti dell'organizzazione di officina.

È bene precisare che eventuali decisioni autonome del Responsabile dell'impianto sono lecite; non però nel senso che esse possano essere imposte in quanto tali, bensì come risultato di una rielaborazione conseguente alla dichiarazione di nuovi vincoli e di nuovi parametri.

Il vantaggio che deriva da questo approccio è che il sistema ottiene e presenta nuovamente tutte le informazioni previsionali corrispondenti alle condizioni modificate, offrendo anche in questo caso un positivo supporto al personale d'officina.

LA GESTIONE DEI MATERIALI

L'elaborazione di un programma di produzione sulla base degli Ordini produce, oltre alle informazioni conservate nella Base Dati del sistema, documenti che valgono sia come richieste che come buoni di accompagnamento dei pezzi da lavorare. L'emissione di tali documenti avviene circa tre giorni prima dell'effettiva necessità del materiale.

Tabelle riassuntive ricordano quotidianamente quali sono i contenitori da preparare. Destinazione unica dei suddetti contenitori è il magazzino integrato. Dotato di circa 100 posti, esso assolve a molteplici compiti. Verso l'esterno, tale magazzino disaccoppia l'entrata/uscita dei contenitori eliminando problemi di sincronizzazione fra l'inizio della produzione di un lotto, l'arrivo dei pezzi e la disponibilità dell'attrezzo di fissaggio. Il contenitore dovrà essere preso in carico dal magazzino almeno un'ora prima dell'istante di inizio della produzione del relativo lotto; se, malgrado i solleciti, ciò non sarà avvenuto, lo schedatore in tempo reale provvederà a proporre l'avvio di un lotto alternativo il cui materiale sia disponibile ed il cui attrezzo di fissaggio si renda disponibile e possa essere allestito entro il tempo rimanente.

Verso il sistema stesso, il magazzino risolve un problema fondamentale nel caso di lavorazione di una grande varietà di pezzi: il servizio di alimentazione dei grezzi e di evacuazione dei lavorati. Un semplice ramo di trasporto servito dal trasloelevatore porta gli opportuni contenitori dei pezzi grezzi e

dei pezzi finiti in posizione agevole per le operazioni di carico/scarico.

Il sistema di supervisione (che risiede sull'unico minielaboratore di tutto l'impianto) provvede a sincronizzare gli arrivi dei pallet e dei contenitori al posto di carico/scarico.

LA GESTIONE DELLE ATTREZZATURE DI FISSAGGIO DEI PEZZI

Dopo aver pianificato un lotto, aver richiesto la preparazione del materiale, averlo preso in gestione nel magazzino automatico, per la correttezza delle operazioni anche il corrispondente attrezzo di fissaggio deve giungere puntuale al primo appuntamento nel posto di carico/scarico. Per questo, sulla base delle schedazioni in tempo reale, opportuni messaggi hanno avvertito di tale necessità il personale competente; l'anticipo è quello corrispondente alla durata della preparazione di quel dato attrezzo.

Tuttavia per fronteggiare cambiamenti imprevisti dei programmi, l'ultima parola e l'iniziativa spettano allo schedatore in tempo reale. Mentre su invito esplicito l'attrezzo viene caricato sulla postazione di ingresso dei pallet, l'istante preciso della sua immissione sul flusso della linea viene deciso, così come ogni altra movimentazione automatica, dal sistema di controllo.

Parimenti è il sistema di controllo che, dopo lo scarico dell'ultimo pezzo di un lotto, comunica all'operatore la richiesta di non caricare altri pezzi (ed infatti il magazzino non gli avrà servito il corrispondente contenitore dei grezzi); l'attrezzo vuoto sarà automaticamente instradato sulla postazione di uscita dei pallet.

L'INTERFACCIA UOMO - MACCHINA

Mentre l'integrazione con unità esterne al FMS avviene tramite lo scambio di messaggi codificati, l'integrazione con l'ambiente umano passa attraverso terminali dislocati negli uffici e sull'impianto.

Nel primo caso i termini dell'interazione sono limitati e definiti con precisione; nel secondo caso le iniziative dell'uomo dipendono da un complesso di fattori, informazioni, relazioni e criteri decisionali, non tutti sempre disponibili e non tutti ben definiti.

Ad esempio, al sopraggiungere di una anomalia esterna al sistema, dopo una fase di segnalazione da parte dell'uomo, vi è la fase «decisionale» da parte dello schedatore, basata su precisi algoritmi e dati certi, e pertanto deterministica. Ciò che resta aleatorio sono i tempi ed i modi di detta segnalazione, nonché la disponibilità di altre informazioni utili ad ottenere le migliori decisioni. Nel caso di rischedulazione precedentemente delineato, la semplice dichiarazione della mancanza dei pezzi grezzi sollecita

il sistema a scegliere fra le possibili alternative: ma la conoscenza di ulteriori informazioni e requisiti a livello di altre unità produttive dello stabilimento potrebbe indirizzare verso una scelta diversa ma complessivamente migliore.

È questo un caso che lascia intravedere i vantaggi che deriveranno da una integrazione più spinta fra le varie componenti dell'organizzazione della produzione e, in seconda istanza, fra tutte le componenti dell'azienda.

In attesa di tale evoluzione, il sistema supervisore del FMS in oggetto offre risorse che consentono all'uomo di svolgere il suo ruolo insostituibile di coordinatore.

L'interfaccia uomo-macchina si basa su due sottosistemi di software: il Sistema Informativo ed il Sistema di Gestione della Linea.

Il Sistema Informativo fornisce informazioni dettagliate sull'impianto; più che un semplice sistema di raccolta dati, esso deve essere considerato un vero supporto decisionale. I dati elaborati sono forniti dai molti altri moduli di software e permettono di avere un quadro completo di:

- schedulazione corrente
- andamento della produzione e confronti con i programmi
- stato e storia di ogni sottosistema
- situazione attrezzi e utensili
- misure in linea.

Il Sistema di Gestione della Linea, inteso come strumento interattivo a disposizione del personale operativo responsabile, permette di modificare in maniera semplice e sicura lo stato dei diversi componenti dell'impianto. Le funzioni del Sistema di Gestione della Linea sono:

- controllo delle stazioni di lavoro e del sistema di trasporto;
- gestione degli utensili;
- funzioni relative ai materiali;

- funzioni ausiliarie quali l'avviamento e l'arresto delle operazioni, la definizione del calendario lavorativo, l'introduzione di causali di fermata.

CONCLUSIONE

Sono stati descritti gli aspetti di integrazione con l'officina di un Sistema Flessibile di Produzione realizzato da COMAU. È ovvio ed evidente che ogni Sistema contiene elementi innovativi rispetto al precedente, così come esso è banco di esperienze e fonte di idee per nuove soluzioni.

Il grado di sofisticazione raggiunto con questa realizzazione è certamente elevato. È stato sfruttato un grande bagaglio di conoscenze disponibili e si è dato corso ad attività ampie ed originali di ricerca e di sviluppo indirizzate soprattutto all'integrazione con una data realtà d'officina.

Malgrado questo, solo capacità più ampie e concrete di integrazione di tutte le componenti del contesto produttivo ed aziendale apriranno la strada alla Fabbrica del Futuro. Lo consentiranno:

- le reti locali di comunicazione ad ampia banda,
- la creazione di standard per Basi Dati geometriche e tecnologiche, per sistemi CAD/CAM, per linguaggi tecnologici e per le comunicazioni fra unità di elaborazione,
- i progressi nell'ingegneria del software, nella robotica e nell'intelligenza artificiale,
- il dialogo più concreto e finalizzato che questi strumenti favoriranno (o imporranno) fra gli uomini della progettazione, della pianificazione, della produzione, della manutenzione e dei servizi generali di stabilimento.

2ª GIORNATA

7 giugno 1984

2ª SESSIONE

L'economia e l'introduzione del CAD-CAM

2ª GIO
7 giu

2^a SE

L'economia e l'intro

NATA

1984

SIONE

zione del CAD-CAM

L'innovazione tecnologica e la fabbrica del futuro: considerazioni di un economista

Sergio RICOSSA (*)

Gli economisti, spesso prigionieri dei loro propri modelli, non hanno dato finora all'innovazione tecnologica tutta l'attenzione che essa merita. Gli economisti ne riconoscono in pieno l'importanza, ma con poche eccezioni non hanno saputo tradurla in concetti inseribili nei modelli economici che vanno per la maggiore.

Una prova di questo fatto, che porta a gravi conseguenze teoriche, è la trattazione del problema dell'equilibrio economico. Sono frequentissime le critiche al mercato di concorrenza perché esso in pratica (a differenza di quanto suppone la teoria) non sembra portare all'equilibrio economico, e anzi funziona in modo alquanto «caotico». Non si comprende che il compito del mercato di concorrenza non è affatto quello di portare all'equilibrio, bensì quello di squilibrare di continuo l'economia con una incessante innovazione tecnologica e merceologica.

Il mercato libero è una palestra di innovazioni, che possono riuscire o fallire, ma che in ogni caso mettono l'economia sottosopra. Questo è il bello del mercato, non le sue (più che dubbie) capacità di ottimizzare qualcosa. È così che siamo progrediti nei consumi, ma s'intende non senza i traumi e le sofferenze del cambiamento. È insostenibile la tesi, avanzata da molti, che le «imperfezioni» del mercato (cioè gli squilibri) scomparirebbero se si riuscisse a togliere ogni intoppo alla libertà economica. Al contrario: alla libertà economica va il merito di favorire l'innovazione, e quindi di squilibrare l'economia, riuscendovi tanto meglio quanto più essa è completa.

Purtroppo, vari modelli degli economisti, presuppongono un comportamento razionale degli operatori economici, i quali pertanto cercherebbero punti di massimo di qualche funzione-obiettivo, col rispetto di determinati vincoli. È una visione che svia l'attenzione dai processi innovativi. È per sua colpa che si pretende dal mercato ciò che esso non fornisce: un massimo paretiano. Ed è colpa sua se si sbaglia nel descrivere il comportamento imprenditoriale come un comportamento rivolto a massimizzare il profitto col vincolo di una funzione di produzione.

Massimizzare il profitto a breve termine non è ovviamente un buon obiettivo, perché può pregiudicare il profitto più in là nel tempo. Massimizzare il profitto nel lungo periodo (a distanza di dieci o ven-

t'anni, quanto durano macchine, impianti, stabilimenti, ecc.) è obiettivo sensato, ma talmente fluido e indeterminabile da fare beffa dei metodi formali che gli economisti propongono. Tuttavia ancora meno soddisfacente è la parte dei modelli economici in cui si suppone che i vincoli tecnici consistano in una funzione di produzione (o in qualche altro insieme di coefficienti di input) prestabilita, nota, immutabile.

L'essenza dell'attività imprenditoriale è invece proprio il cambiamento dei coefficienti di input; è la manipolazione dei dati tecnici in modo non convenzionale; è l'invenzione di nuovi processi produttivi da sperimentare con la speranza di guadagnare molto (non di massimizzare il profitto). Voglio dire che l'imprenditore per antonomasia non cerca un punto di massimo in un campo circoscritto, ma con la fantasia allarga quel campo il più possibile, e cerca un punto anche non di massimo nel campo allargato.

Questo per la semplice ragione che un punto anche non di massimo nel campo allargato è probabilmente superiore al punto massimo nel campo ristretto. Ma mentre per cercare il punto di massimo nel campo ristretto bastano le abilità di un computer, per allargare il campo occorre l'inventiva e una certa disposizione al rischio. L'innovazione tecnologica e merceologica porta con sé inevitabilmente qualche aspetto del gioco d'azzardo, e l'inventore è sovente considerato un «pazzo».

Chi, come Keynes desidera l'equilibrio quale segno di perfezione, giunge facilmente alla conclusione che il capitalismo è un deprecabile e gigantesco casinò dove si gioca d'azzardo. Questo non solo danneggia l'equilibrio, ma per giunta impedisce di fare molta strada nella direzione dell'eguaglianza dei redditi. È vero, ma è anche vero che l'innovazione ne è favorita (ogni innovazione è una specie di salto nel buio). È presumibile che una economia pianificata avrebbe all'incirca il medesimo grado di instabilità se realizzasse il medesimo grado di innovazione del capitalismo.

In proposito merita menzionare l'opinione di quegli economisti che, come Luigi Pasinetti, spiegano in modo assai semplice la mancanza di spiccate fluttuazioni congiunturali nei paesi come l'Unione Sovietica. Si tratta di paesi dove il reddito pro capite è inferiore a quello dei maggiori paesi capitalistici, e dove quindi gran parte dei nuovi consumi avviene in ritardo, o non avviene affatto, consentendo di sfruttare le precedenti esperienze del capitalismo. È ovvio che i nuovi consumi sono a loro volta il frutto

(*) Professore ordinario di Politica economica, Università degli studi di Torino.

dell'innovazione tecnologica e merceologica. Il mercato libero è responsabile del ciclo congiunturale soltanto perché (e quando) innova più rapidamente di altri sistemi economici.

Spetta alle autorità pubbliche lenire le sofferenze del cambiamento troppo rapido, che obbliga a cambiare abitudini, a imparare cose nuove, a rischiare la disoccupazione, ecc. Ma la tutela degli interessi precostituiti non deve bloccare l'innovazione, cioè il progresso. Occorre un compromesso fra le diverse esigenze (come sempre quando ci troviamo di fronte a obiettivi incompatibili fra loro) e prima ancora occorre che l'opinione pubblica sia ben cosciente delle alternative. Una opinione pubblica abituata pigramente alla staticità e alla fuga dal rischio non può assicurare un futuro brillante alla propria economia.

Gli interventi pubblici devono tener conto delle forme particolari in cui l'innovazione si manifesta, le quali possono variare da luogo a luogo e secondo i tempi. Di gran lunga predominante, nell'esperienza storica degli ultimi due secoli, è l'innovazione che si traduce in una riduzione dei coefficienti di input del lavoro, e nella approssimativa costanza dei coefficienti di input del capitale. Detto in altro modo, aumenta il prodotto medio per lavoratore, aumenta grosso modo nella medesima proporzione la dotazione di capitale per lavoratore, ma non aumenta il capitale per unità di prodotto (nelle medie nazionali di lungo periodo).

Questo tipo di progresso tecnico presenta il vantaggio che, mantenendo costante il tasso di profitto, basta prelevare dal reddito nazionale la medesima percentuale per remunerare un capitale che cresce più rapidamente del lavoro (ma non più rapidamente del reddito nazionale stesso). Ciò va contro il pessimismo degli economisti ottocenteschi, che temevano che fosse necessario dare ai capitalisti una fetta sempre crescente di reddito nazionale, in seguito al processo di sostituzione del lavoro con le macchine.

Quando il prodotto medio per lavoratore aumenta come la dotazione di capitale per lavoratore, è facilmente dimostrabile che la produttività media e la produttività marginale del lavoro crescono di pari passo. In tal caso, la costanza del tasso di profitto assicura la possibilità che il salario reale (il quale, nella teoria economica del valore, è legato alla produttività marginale del lavoro) migliori come la produttività media (o marginale: diventa la stessa cosa) del lavoro.

Infatti, così è avvenuto, storicamente parlando, nelle economie che si sono industrializzate e che si basano sul mercato. Se al contrario fosse aumentato tendenzialmente il coefficiente di input del capitale, in seguito alla sostituzione del lavoro con le macchine, per mantenere costante il tasso di profitto, e non diminuirlo, si sarebbe dovuto prelevare una fetta crescente di reddito nazionale a favore dei capitalisti. Di conseguenza si sarebbe ridotta la parte rimanente del reddito nazionale, la parte disponibile per remunerare i lavoratori.

Nulla garantisce, per quel che se ne sa, la continuazione delle favorevoli caratteristiche dell'innovazione, come sopra accennate. Di qui l'esigenza di tenere d'occhio quanto sta accadendo, esigenza non ancora del tutto soddisfatta a causa delle lacune statistiche e anche per una certa trascuratezza degli economisti. Nel breve periodo è difficile distinguere gli effetti dovuti alle variazioni congiunturali del grado di sfruttamento della capacità produttiva impiantata dagli altri effetti (più interessanti) dovuti appunto all'innovazione tecnologica e merceologica.

Questa breve relazione non intende esaurire l'argomento, ma appena indicare alcuni campi di ricerca non ancora ben esplorati dagli economisti. Al tempo stesso sembra si possa dire che gli economisti da soli forse non riusciranno mai a terminare il compito: ricerche interdisciplinari sono auspicabili a proposito di temi che riguardano tanto gli economisti quanto i tecnologi.

Le possibili strategie di sviluppo del mercato dell'automazione flessibile, da parte delle imprese costruttrici di macchine utensili

Gian Maria GROS-PIETRO (*)

L'automazione non è una novità nella produzione industriale, poiché le sue prime applicazioni iniziano con la storia stessa del «macchinismo». Tuttavia l'automazione tradizionale, in quanto fondata essenzialmente sulla tecnologia meccanica, aveva la caratteristica di essere rigida ed al tempo stesso complessa. In termini economici, ciò significava che gli impianti automatici potevano fabbricare solo prodotti uniformi, ed erano molto più costosi degli impianti governati direttamente dall'uomo.

La funzione di costo di un processo automatico tradizionale comprendeva costi fissi molto elevati e costi variabili estremamente ridotti rispetto ad un processo non automatizzato, secondo il raffronto schematizzato in figura 1. Ciò rendeva l'automazione applicabile solo alle produzioni di massa di articoli con caratteristiche uniformi.

La differenziazione tra produzioni automatizzate non era netta in termini di costo, e da questa circostanza sono discesi alcuni dei caratteri più salienti della struttura industriale quale si è formata nel tem-

«diversità» cui l'impianto può far fronte è uno degli elementi chiave della sua progettazione e del suo successo applicativo. L'automazione flessibile è necessariamente anche intelligente, poiché richiede che l'impianto si adegui in modo automatico alle variabili esigenze produttive.

L'intelligenza si ottiene ricorrendo ad una tecnologia del tutto estranea a quella impiegata dall'impianto per produrre, cioè all'elaborazione dei dati di processo in forma digitale. Questo salto tecnologico ha implicazioni importantissime sull'applicabilità dell'automazione flessibile. In primo luogo, la versatilità ed il «livello di intelligenza» dell'impianto sono definibili in modo separato, dando luogo ad una gamma potenzialmente infinita di applicazioni più o meno flessibili, da un lato, e più o meno integrate dall'altro.

Secondariamente le variabili di governo del processo produttivo vengono ad essere espresse in un linguaggio, quello digitale, che permette di comunicare con altre aree più o meno automatizzate della gestione: la progettazione, la programmazione della produzione, la distribuzione di materiali e prodotti, il controllo di gestione. Infine è possibile spingere il «livello di intelligenza» di processi produttivi anche tecnologicamente semplici fino a renderli capaci di funzionare per un tempo predeterminato anche in assenza di operatori. In questo modo l'automazione si propone non tanto come via per ridurre l'utilizzo del fattore lavoro rispetto al capitale, quanto come rottura del vincolo di utilizzazione contemporanea dei due fattori, il che fa intravedere importanti aree di applicazione sia in direzione del miglioramento delle condizioni di lavoro, sia in direzione di un migliore sfruttamento del capitale fisso.

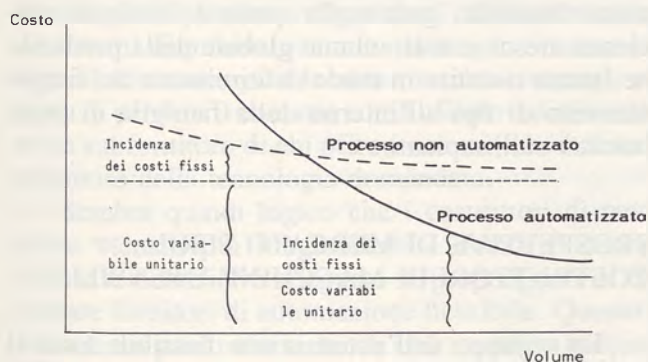


Fig. 1 - Funzioni di costo unitario medio per un processo automatizzato e per un processo non automatizzato tradizionali.

po: ad esempio, l'esistenza di forti barriere all'entrata nella produzione dei beni di massa, e la tendenza a premere sulla domanda per indurla ad accettare flussi produttivi uniformi nella qualità e possibilmente costanti nella quantità.

L'automazione flessibile si vale di impianti versatili, cioè capaci di eseguire lavorazioni diverse su prodotti diversi, dove naturalmente l'ampiezza delle

CARATTERI DI UN'ORGANIZZAZIONE INDUSTRIALE BASATA SULL'AUTOMAZIONE FLESSIBILE

Dal punto di vista della struttura industriale l'automazione flessibile ed intelligente comporta un cambiamento rivoluzionario: non vi è più una contrapposizione netta fra i prodotti fabbricabili in modo automatico e gli altri, fondata sul volume del singolo prodotto. Molti prodotti divengono suscettibili di produzione automatica, purché rientrino nella gamma producibile su di un impianto la cui convenienza si calcola non più sul volume di un prodotto

(*) Professore, direttore CERIS/CNR.

singolo, ma sul volume di una famiglia di prodotti su di esso lavorati.

La scelta della configurazione dell'impianto dipende perciò da una strategia produttiva che considera volumi e versatilità contemporaneamente, secondo un concetto ormai diffuso e sintetizzato nella figura 2. I costi unitari ottenibili dipendono dall'impianto scelto e non più dal volume assicurato dal singolo prodotto. Ciò significa non solo che si possono affidare alla produzione automatica molti prodotti che oggi non lo sono, ma soprattutto che non è più necessario servire in modo uniforme i mercati di massa.

Dunque l'area di applicazione dell'automazione flessibile è destinata ad estendersi in due direzioni. da un lato porterà su impianti automatici molte pic-

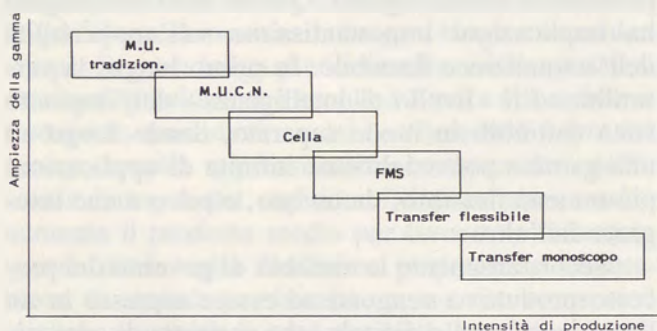


Fig. 2 - Soluzioni di impianto ottimali in funzione dell'ampiezza di gamma produttiva e dell'intensità produttiva desiderate.

cole produzioni oggi frazionate su macchine singole; così facendo ne accrescerà l'efficienza e contribuirà al cambiamento delle relazioni industriali nelle imprese medie e piccole. Dall'altro lato permetterà la differenziazione delle produzioni di massa, cancellando l'antica condanna all'uniformità di fordiana memoria: così il mercato sarà servito meglio non solo in termini di adattamento dei prodotti ai segmenti di domanda, ma soprattutto grazie alla possibilità di accorciare il ciclo di vita dei prodotti e di accelerare l'introduzione delle innovazioni. Sarebbe un errore pensare che questi sviluppi siano destinati ad attuarsi soltanto lentamente. In un mondo industriale competitivo le opportunità offerte dalla tecnologia diventano sfide che in pochi anni emarginano chi non le sa cogliere. D'altra parte le caratteristiche di impiego dell'automazione flessibile sono particolarmente idonee alle esigenze produttive che oggi si manifestano nelle imprese dei paesi industrializzati.

Da tempo è stato riconosciuto che la strategia competitiva basata sull'innovazione è la più consona a queste imprese, tanto che essa viene ormai adottata anche nei settori un tempo definiti maturi. La rein-

cicli di vita dei prodotti più brevi e su volumi produttivi più frazionati: sicuramente l'automazione flessibile è un fattore facilitante di questo indirizzo, e trova in esso un vasto mercato potenziale la cui crescita sarà in parte regolata proprio dalle innovazioni che i produttori di automazione flessibile sapranno offrire.

Le condizioni in cui opera l'industria italiana non sono fondamentalmente dissimili da quelle degli altri paesi sviluppati. I sintomi del cambiamento più sopra delineato sono già ben evidenti: dall'accorciamento dei cicli di vita dei prodotti, alla moltiplicazione dei modelli nei quali si articolano le produzioni di massa, alla riduzione, e in qualche caso al crollo, di quella che viene considerata l'entità normale dei lotti nelle imprese che attuano questo tipo di produzione. Dal punto di vista della struttura industriale è infine particolarmente interessante il rilievo che ha assunto il fenomeno della deverticalizzazione dei cicli produttivi. I produttori finali concentrano sempre più le loro risorse sulla concezione e sulla realizzazione dei «sistemi prodotto» e sul rapporto con il mercato, delegando in misura crescente le lavorazioni e talvolta anche la produzione e la progettazione dei componenti a fornitori specializzati. È una via obbligata per imprese che competono su mercati sempre più sofisticati e debbono perciò sviluppare al massimo le funzioni di tipo terziario; ma è anche una via resa possibile dall'efficienza che può essere raggiunta concentrando su fornitori specializzati la produzione di parti simili. Essa è strettamente legata all'adozione dell'automazione flessibile, grazie alla quale il livello di efficienza cresce con il volume globale della produzione, senza risentire in modo determinante del frazionamento di tipi all'interno della famiglia di pezzi lavorati sull'impianto.

PROSPETTIVE DI MERCATO PER I COSTRUTTORI DI MACCHINE UTENSILI

Lo sviluppo dell'automazione flessibile tocca il ruolo dei costruttori di macchine utensili in modo anche più radicale di quanto possa apparire a prima vista.

I riflessi sono evidenti già sul piano puramente commerciale. La domanda mondiale di macchine utensili nell'ultimo decennio si è dimostrata tendenzialmente statica rispetto al prodotto lordo, anche se fortemente ciclica. Ma è cresciuta l'incidenza dei controlli e dei dispositivi elettronici sul valore delle macchine, sicché è sceso il contenuto di valore aggiunto meccanico. Anche il valore reale medio delle macchine è cresciuto, sicché la produzione tende a concentrarsi su di un numero decrescente di macchine.

In futuro è probabile che queste tendenze si accentuino. La meccanica tende a perdere peso rispet-

to al prodotto lordo poiché altre attività si sviluppano più rapidamente.

Nuovi materiali non metallici e nuovi processi riducono il fabbisogno di lavorazione mediante utensili. L'aumento di produttività delle macchine riduce le ore necessarie a parità di fabbisogno di lavorazione. E soprattutto, l'aumento del livello di automazione delle macchine aumenta le ore di effettivo lavoro che ciascuna macchina può dare. A fronte di questa riduzione del lavoro meccanico richiesto dalla costruzione di nuove macchine utensili sta una grande domanda potenziale connessa all'introduzione dell'automazione flessibile, principalmente nelle fabbriche dei paesi sviluppati.

Due sono le caratteristiche salienti di questa domanda potenziale:

- può essere attivata solo attraverso innovazioni;
- non può essere soddisfatta se non da chi può offrire automazione, e quindi dispone di conoscenze anche nel campo dell'elettronica e dell'informatica, e di esperienze nel campo della realizzazione e della gestione dei sistemi automatici di produzione.

Non c'è dubbio che l'industria delle macchine utensili nel suo complesso non potrà salvaguardare la sua attuale consistenza se non si approprierà di una quota adeguata del mercato dell'automazione.

Va inoltre sottolineato che con l'avvento dell'automazione cambia il ruolo del costruttore della pura macchina utensile. Quando il compratore chiedeva macchine per formare, forare, rettificare, ecc., il costruttore di macchine utensili era il fornitore della tecnologia di processo. Oggi che l'utilizzatore chiede sistemi di produzione automatici più o meno integrati, chi costruisce le sole macchine utensili rischia di perdere il contatto con il cliente e di diventare un subfornitore di chi offre i sistemi, che è il vero detentore della tecnologia domandata.

Sembra quindi logico che i costruttori di macchine utensili più lungimiranti e dotati di risorse umane e finanziarie adeguate si propongono di diventare fornitori di automazione flessibile. Questo è tuttavia un passo che richiede una strategia precisa, che tenga conto delle prospettive di mercato, dei punti di forza dei competitori e dei punti di debolezza tipici dei costruttori di macchine utensili.

PUNTI PER UNA STRATEGIA DEI COSTRUTTORI DI MACCHINE UTENSILI

Per quanto si è detto in precedenza, il mercato dell'automazione flessibile è destinato a svilupparsi sia a danno delle produzioni tradizionali su macchine singole, sia sostituendo certe applicazioni di automazione rigida; la sua espansione consentirà e favorirà un cambiamento nella divisione del lavoro tra le imprese; all'interno delle imprese renderà possibile l'adozione di tecniche di gestione più sofisticate,

che ne accresceranno i vantaggi; questi ultimi saranno non solo e non tanto in termini di riduzione di costi, ma deriveranno anche dalla possibilità di impostare politiche di prodotto più redditizie.

Ciò significa che il pieno dispiegamento degli effetti dell'automazione flessibile richiede modifiche strutturali del sistema industriale, e innovazioni procedurali e culturali dentro le aziende. È quindi logico aspettarsi che occorra un lungo periodo di tempo affinché questo processo possa attuarsi, e che pertanto le applicazioni andranno via via estendendosi partendo da «punti di attacco» particolarmente favorevoli a determinate applicazioni.

Pertanto si manifesteranno diverse strategie di sviluppo dell'automazione flessibile, corrispondenti ai diversi «punti di attacco» ed ai relativi protagonisti, originando eventualmente una pluralità di indirizzi tecnologici.

Un «punto di attacco» evidente è quello dei grandi utilizzatori di automazione rigida, i quali hanno interesse a liberarsi del vincolo dell'uniformità del prodotto. Essi sono nella posizione migliore per sviluppare livelli diversi di versatilità e convertibilità, valutandone la convenienza, e trasponendo su di essi le conoscenze di cui già dispongono in tema di gestione di impianti automatici. È naturale che i grandi utilizzatori si propongano anche come offerenti di automazione flessibile, in ciò facilitati dal fatto di disporre spesso di strutture finalizzate alla realizzazione di questi impianti. Tuttavia le loro esperienze e le loro possibilità di sperimentazione sono essenzialmente portate sulla estremità di destra della curva di figura 2, mentre possono risultare meno efficienti nello sviluppo di sistemi compresi fra le celle e gli FMS veri e propri.

Un altro operatore naturale nel campo dell'automazione flessibile è il sistemista di derivazione elettronico-informatica, che propone come punto di forza la propria capacità di integrare in un unico sistema informativo tutti i punti operativi di una struttura coordinandoli ed eventualmente ottimizzandoli. Questa sua capacità è tanto più premiante quanto più complesso è il sistema, quanto più ardui sono i problemi di coordinamento e di ottimizzazione, e quanto più ambiziosi sono gli obiettivi. Il «punto di attacco» naturale di questo operatore sono le realizzazioni ad alto livello di integrazione e con requisiti operativi sofisticati, anche sul piano della flessibilità.

Ambedue gli operatori sinora citati si rivolgono a porzioni del mercato relativamente mature, esigenti ma anche più remunerative, e però comprendenti un numero relativamente limitato di applicazioni potenziali. Il grosso del mercato potenziale dell'automazione flessibile, quello delle produzioni medie e piccole non eccessivamente sofisticate, effettuate da imprese che spesso non dispongono di personale altamente qualificato, rimane tagliato fuori dal campo d'azione di queste strategie.

Tabella 1 - Rapporto fra produzione mondiale di macchine utensili e prodotto lordo dell'economia mondiale.

	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
%	2,18	2,11	2,08	1,85	1,90	1,98	2,09	2,17	2,24	1,93 (s)

Fonte: Economic Handbook of the Machine Tool Industry. NMTBA, 1983-84.

s = stima.

Ne risulta un segmento di mercato vasto, da un lato abbastanza al riparo dall'azione degli operatori prima descritti, che di solito sono legati a grandi imprese, dall'altro naturalmente più aperto all'azione dei costruttori di macchine utensili, in genere imprese medie e piccole.

Questo grado di apertura deriva non tanto dalla parziale similarità dei problemi connessa all'omogeneità dimensionale, quanto dall'estrema diversificazione delle soluzioni di automazione flessibile che il segmento richiede. Diversificazione nelle tecnologie di lavorazione, nel grado di integrazione, nel livello di automazione richiesti, nonché nel tipo di cultura aziendale esistente presso l'utilizzatore.

Si tratta insomma di un mercato estremamente frammentato che è tipicamente l'obiettivo ideale di fornitori specializzati medio-piccoli, ma il cui interesse economico complessivo non va sottovalutato. In primo luogo, perché si tratta di applicazioni di importo talvolta limitato, ma molto numerose. In secondo luogo perché il processo di sviluppo di «aziende di fornitura specializzate» tenderà ad allargare questo segmento ed a qualificarne la domanda, rendendola più interessante; essa comunque può comprendere già fin da oggi la realizzazione di veri e propri FMS.

In terzo luogo perché a queste aziende si potranno fornire non solo macchine ed automazione, ma anche know-how applicativo e gestionale, aumentando la redditività del rapporto. In quarto luogo perché proprio questo segmento così variamente ar-

ticolato potrebbe essere il terreno ideale per saggiare la validità di diverse impostazioni tecnologiche e progettuali, e per individuare configurazioni suscettibili di un certo grado di standardizzazione, operazione forse più difficile da condurre nell'ambito di applicazioni più impegnative e delicate quali quelle privilegiate dai grandi utilizzatori e dai grandi sistemisti.

L'ultima indicazione mette in rilievo l'interesse che potrebbero avere i grandi operatori verso un segmento di mercato che tuttavia per la sua attuale frammentazione sembra più attraente per operatori medi e piccoli. I costruttori di macchine utensili si trovano nella posizione ideale per coltivare tale segmento facendone crescere la domanda di automazione, anche perché possiedono un vantaggio commerciale: essi ne sono tuttora il fornitore usuale di impianti e tecnologia. Per mantenere questo ruolo essi debbono però porsi in grado di offrire non solo macchine, ma anche sistemi automatici di produzione, il che comporta l'acquisizione di risorse e conoscenze non facilmente reperibili né facilmente remunerabili.

La trasformazione della struttura aziendale sembra essere il problema principale che si pone oggi alle imprese del settore. Per alcune di esse la soluzione potrebbe anche essere trovata in una collaborazione con qualche grande operatore, che potrebbe offrire una parte del proprio patrimonio di conoscenze ed esperienze in cambio di una presenza indiretta in un segmento di mercato senza dubbio interessante.

Studi e previsione di marketing dei mezzi di produzione di fronte agli FMS

Giuseppe DELLISANTI (*)

Vale la pena di riflettere sui risultati di una recente indagine di mercato che Reseau ha realizzato nel 1983 sull'automazione flessibile della produzione, non solo per analizzarne le stime quantitative — come sempre opinabili e/o frutto di ipotesi probabilistiche — ma anche, e soprattutto, per desumerne le implicazioni che il mercato dell'automazione flessibile e più in generale dell'automazione della fabbrica, indurrà sulla struttura e la crescita di un'offerta nazionale in grado di competere sul mercato interno e internazionale.

LE DIMENSIONI DEL MERCATO

Rimandando alle righe successive l'esatta definizione delle sigle, anticipiamo alcune stime aggiornate del mercato dell'automazione della fabbrica. All'area dell'automazione della produzione sono destinati i sistemi, le celle e i moduli flessibili di produzione: Reseau stima che al mondo ne siano stati installati circa 300 al 1983, più della metà sviluppati «in casa» dall'utente finale.

Il mercato al 1990 non dovrebbe superare i 7 miliardi di \$ (il 25% dei quali in Europa). L'area della progettazione vedrà crescere vertiginosamente i 15.000 sistemi CAD/CAE installati nel 1983, per un mercato che nel 1990 può essere stimato di poco superiore ai 10 miliardi di dollari.

Rimangono le due aree — quantitativamente molto meno rilevanti delle precedenti — della movimentazione ed immagazzinamento e della gestione (informatica) della produzione, oltre, naturalmente, al futuro vertice della piramide dell'automazione della fabbrica, costituito dall'integrazione di più sistemi in un unico sistema di produzione integrato (CIM, computer integrated manufacturing). Anche «stando larghi», questi ultimi segmenti di mercato non possono superare, complessivamente, il valore dei due precedenti: se ne deduce quindi che, considerando i soli sistemi e non i componenti singoli (macchine utensili, carrelli elevatori, ecc.) che nella fabbrica ci sono sempre stati, il «nuovo» mercato dell'automazione della fabbrica sarà compreso, nel 1990, fra i 25 e i 35 miliardi di dollari.

(*) Ingegnere, RESEAU, Ricerche e studi di elettronica e automazione, Milano.

L'AUTOMAZIONE DELLA FABBRICA

È possibile classificare i sistemi computerizzati di automazione della fabbrica presenti oggi sul mercato con le sigle più disparate in quattro grandi classi, di cui due classi composte da sistemi puramente informatici:

- *Sistemi di ausilio alla progettazione*
- *Sistemi di ausilio alla pianificazione e al controllo della produzione*
a loro volta scomponibili in:
 - Sistemi di ausilio alla simulazione e alla pianificazione dei processi produttivi;
 - Sistemi di controllo e programmazione della produzione;

e due classi composte da sistemi implicanti la gestione di flussi e la trasformazione fisica di materiali, semilavorati, attrezzature, ecc.

- *Sistemi di automazione della movimentazione e dell'immagazzinamento*
- *Sistemi di automazione della produzione*
a loro volta classificati in:
 - Sistemi di automazione rigida o speciali
 - Sistemi di automazione flessibile.

Queste quattro categorie di sistemi sono, e saranno ancora per molto tempo, singolarmente individuabili nella fabbrica e operanti per lo più in modo isolato, gli uni dagli altri, e rispetto alle altre aree organizzative dell'impresa (amministrazione, direzione, ecc.).

La cosiddetta «fabbrica automatica» definisce viceversa il traguardo di un graduale e lungo processo di integrazione che porterà ad un unico sistema integrato (CIM, computer integrated manufacturing) in cui attraverso opportune reti di trasmissione dati e la disponibilità di un elaboratore di supervisione e di un'unica banca dati centralizzata, tutti i sistemi di automazione della fabbrica potranno comunicare fra di loro e con il resto dell'impresa.

L'AUTOMAZIONE FLESSIBILE DELLA PRODUZIONE

Flexible Manufacturing Automation (FMA) è la più recente e la più dinamica area di sviluppo dell'automazione della fabbrica. Molto è stato scritto su di essa, ma prevalentemente con l'accezione — restrittiva — di FMS, intesi come Sistemi Flessibili (alcuni preferiscono, o aggiungono, Integrati) di Lavorazione.

La definizione di flessibilità è già, di per sé, assai delicata, potendosi distinguere una flessibilità istantanea, da una a breve, medio o lungo termine, ma in questo contesto è possibile considerarla acquisita. Sulla definizione di «Manufacturing», viceversa, c'è molto da dire, perché «Manufacturing» significa Produzione, Fabbricazione in generale, e non solo Lavorazione, che della produzione è una delle fasi, tipicamente incentrata sulle macchine utensili: in molte produzioni — anche meccaniche — questa fase può essere secondaria; in altre del tutto assente, come in molte produzioni elettromeccaniche ed elettroniche, ad esempio.

Se effettivamente, infatti, il 90% delle attuali applicazioni di FMA è centrata sulle macchine utensili (centri di lavorazione, in particolare, per lo più di pezzi prismatici), già nel 1985 tale quota è prevista scendere al 75%, e nel 1990 al 65%, con un'ulteriore tendenza successiva alla diminuzione.

Altre difficoltà di definizione stanno nella «S», che significa effettivamente «Sistemi» (integrati è implicito, per definizione stessa di sistema), ma che definisce solo una parte delle varietà di specie presenti nel mondo dell'FMA.

Può sembrare un gioco di parole, essendo «sistema» sostantivo adattabile a configurazioni di varia dimensione e complessità, ma gli addetti ai lavori sanno che per FMS si intendono, comunemente, grosse configurazioni, composte da oltre 3 unità operatrici, integrate da mezzi di movimentazione dei

pezzi e controllate da calcolatore, di valore da 2 a oltre 15 milioni di dollari. Ebbene nel mondo gli FMS così definiti non sarebbero più del 25% del parco di sistemi di automazione flessibile, per la restante quota costituito da configurazioni molto più semplici e meno costose, come le Celle — 2/3 unità operatrici integrate come sopra — o addirittura semplici Moduli Flessibili, composti da un'unica unità operatrice, opportunamente attrezzata, alimentata e controllata.

Naturalmente moduli e celle possono costituire una parte di FMS, ovvero un FMS può essere realizzato — nel tempo — attraverso l'integrazione di più moduli e/o celle (purché integrabili ed espandibili naturalmente). Moduli e Celle flessibili costituiranno il 90% in numero e circa il 50% in valore del mercato mondiale di FMA al 1990 stando alle stime Reseau.

CONCLUSIONI

Quelli descritti sono alcuni dei risultati della ricerca condotta da Reseau nel 1983 sull'automazione flessibile.

Sono in corso altre ricerche sul CAD/CAE (aggiornamento di quelle condotte nel 1982) e sui controllori programmabili, componente strategico nelle reti industriali di automazione della fabbrica.

Valutazione del costo della flessibilità negli FMS

G. RICCIARDI (*), M. MANIERI (**), A. DAPIRAN (***)

Il presente studio vuole tentare un primo approccio al problema della misura del costo della flessibilità negli FMS, allo scopo di avere un numero obiettivo di riferimento per valutazioni comparative e per la scelta tra diverse soluzioni alternative.

INDICE DI FLESSIBILITÀ

Per ottenere una misura del costo della flessibilità è necessario, innanzitutto, mettere a punto uno schema di analisi capace di «quantizzare» la flessibilità in un sistema di lavorazione integrato e flessibile.

Poiché ci riferiamo a un sistema, possiamo ritenere che la flessibilità totale del sistema stesso sia strettamente collegata alla flessibilità dei sottosistemi che lo compongono, alle funzioni che presiedono al governo dell'FMS, e alle interrelazioni che collegano funzioni e sottosistemi. Si propone pertanto di chiamare *Indice di flessibilità* I_f di un FMS quel numero che, ottenuto come composizione di tutte le flessibilità parziali del sistema, indica la *capacità intrinseca del sistema stesso ad adattarsi alla produzione di lotti costituiti da pezzi diversi*.

L'indice I_f può quindi essere considerato come il risultante di diversi indici di flessibilità parziali I_{fk} , ciascuno dei quali si riferisce ad una determinata funzione del sistema o del sottosistema che la svolge. La formula che si propone per calcolare l'indice risultante I_f è quello della media geometrica

$$I_f = \sqrt[k]{I_{f1} \cdot I_{f2} \cdot \dots \cdot I_{fk}} \quad [1]$$

Se ciascuna delle flessibilità parziali è espressa da un numero adimensionale compreso tra zero e 1, anche l'indice di flessibilità totale I_f sarà un numero compreso tra zero e 1. Il valore zero indicherà per esempio una trasferta rigida; il valore 1 potrebbe indicare una macchina o un sottosistema o un sistema al più alto possibile livello di flessibilità.

L'uso pratico del metodo proposto richiede, naturalmente, precise definizioni per ciascuna delle flessibilità parziali.

(*) Ingegnere, direttore dell'Istituto per le Ricerche di Tecnologia Meccanica e per l'Automazione, RTM, Vico Canavese.

(**) Ingegnere, vice-direttore dello stesso Istituto.

(***) Dottore, capo Settore ricerche innovative dello stesso Istituto.

Lo studio, al momento attuale, ha raggiunto alcuni risultati in due tipi di flessibilità parziali: la *flessibilità geometrica* e la *flessibilità del sistema di trasporto*. Tutti gli altri indici di flessibilità parziali relativi a tutti gli elementi del sistema (ad esempio: flessibilità del sistema di controllo, delle stazioni di servizio, dei dispositivi di carico e scarico pezzi, ecc.) possono essere definiti e quantificati usando procedimenti simili. Questo lavoro è attualmente in corso; ciò che si vuole esporre in questa comunicazione è solo la descrizione del procedimento scelto, la cui filosofia può rappresentare un nuovo sia pure parziale aspetto di ricerca operativa da applicare allo studio dell'economia di un SIL.

FLESSIBILITÀ GEOMETRICA

Definiamo *flessibilità geometrica* di un SIL la *capacità di formare, tracciare o contornare superfici di pezzi contenute in un dato volume*. Si propone di considerare l'*indice di flessibilità geometrica* I_{fg} come risultante di due diversi fattori: l'*indice di flessibilità volumica* I_{fv} e l'*indice di flessibilità di forma* I_{ff} . L'indice I_{fg} risulterà dato da:

$$I_{fg} = \sqrt{I_{fv} \cdot I_{ff}}$$

FLESSIBILITÀ VOLUMICA

In una singola stazione di lavoro, noi chiamiamo *Volume di flessibilità* V_f il volume in cui l'elemento generatore (per esempio l'utensile) può muoversi ed operare per effetto dei possibili movimenti. Questo volume è, ad esempio, uguale a zero nelle singole stazioni di una trasferta rigida; può invece essere più o meno rilevante nelle macchine universali. In un sistema comprendente diverse stazioni e macchine, l'*indice di flessibilità volumica* I_{fv} esprimerà la coerenza tra le dimensioni operative delle stazioni stesse, e la loro correlazione al parametro «Volume in cui si può operare». L'indice I_{fv} può essere espresso dalla formula:

$$I_{fv} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{fi}}{n \cdot V_{fmax}} \quad [2]$$

in cui V_{fi} = volume di flessibilità di ogni stazione
 V_{fmax} = volume di flessibilità della stazione di massimo volume

n = numero delle stazioni considerate.

I_{fv} risulta un numero adimensionale, compreso tra zero e 1.

$$0 \leq I_{fv} \leq 1$$

L'indice esprime la conformità operativa del sistema; maggiore è il valore di I_{fv} , minore sarà la ridondanza geometrica di una o più stazioni del sistema. È evidente l'importanza della coerenza volumica di tutte le stazioni usate in un SIL.

FLESSIBILITÀ DI FORMA

La quantizzazione dell'indice di flessibilità di forma I_{ff} è basata su una procedura più complessa, che prende l'avvio dallo studio dell'analisi del modo con cui vengono generate le superfici in una macchina utensile (cfr. [1] e [2]).

Ogni superficie può essere creata, formata, tracciata o descritta da un elemento generatore soggetto a uno o più movimenti generatori. L'elemento generatore può essere un punto, o una linea, o una superficie. I movimenti generatori sono le rotazioni e traslazioni esistenti nella unità operatrice.

Tutti i possibili movimenti in una macchina utensile sono rappresentati nella figura 1, e ogni

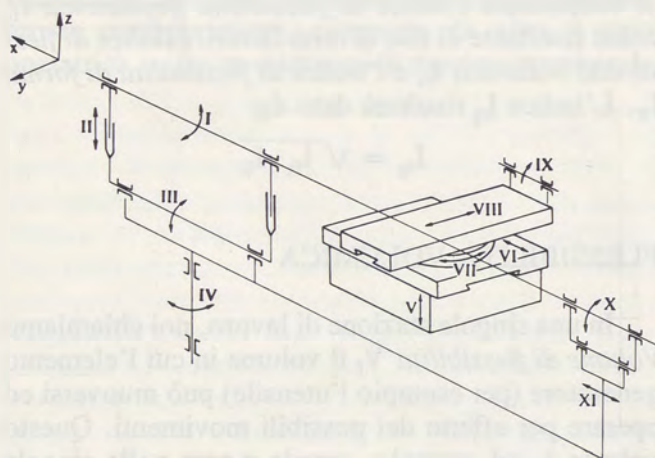


Fig. 1

macchina utensile tradizionale può essere ottenuta scegliendo o bloccando alcuni di questi gradi di libertà.

Nella figura sono indicati, riferiti ad un sistema cartesiano, 11 assi, numerati da I a XI; ciascuno di essi indica un movimento lineare o rotatorio. Ogni pezzo può essere prodotto da una combinazione di moti generatori applicati agli elementi generatori, secondo una data sequenza. Chiameremo *modulo* l'insieme dell'elemento generatore (punto, linea o superficie) e del dispositivo meccanico capace di pilotare i suoi movimenti. I moduli possono essere identificati, elencati e classificati secondo un ordine gerarchico di complessità crescente.

GERARCHIA DEI MODULI

Modulo N°	Elem. Gener.	Moti generatori											Superfici, volumi, osservazioni
		I Rot.	II Tr.	III Rot.	IV Rot.	V Tr.	VI Tr.	VII Rot.	VIII Tr.	IX Rot.	X Rot.	XI Tr.	
1	S	αL											Superfici circolari
2	S		cL										Superfici circolari
3	S	αR	cL										Superfici circolari
4	S	αR				cL							Superfici circolari
9	L	nL				cA							Superfici circolari
11	L	nL								cA			Superfici circolari
16	P	nL				cA		cA					Superfici coniche

Fig. 2

La figura 2 indica come può essere impostata questa lista; per ciascun modulo vengono indicati l'elemento generatore, gli assi interessati e il tipo di movimento (L = lavoro, A = avanzamento; R = registrazione).

Ad esempio, la macchina della figura 3 (tornio) ha come elemento generatore il punto (P); e due moti generatori (I e VI). Essa è in grado di generare un cilindro, il cui asse coincide con X.

Se la stessa macchina assumesse anche il moto generatore VIII (oltre a I e VI) potrebbe generare superfici coniche.

La tavola di figura 4 indica i movimenti generatori della maggior parte delle macchine utensili universali tradizionali.

Il numero dei moduli che può essere elencato potrebbe essere molto grande; ma in pratica la lista gerarchica dei moduli praticamente utilizzabili in un

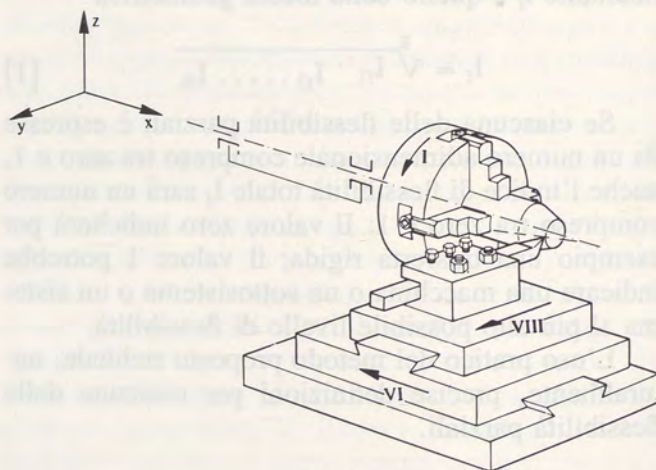


Fig. 3

sistema flessibile può essere limitata a non più di 30 moduli; gli altri molto difficilmente verranno usati, o per eccessiva complessità tecnica, o per ragioni economiche. D'altro canto, oltre alle unità modulari, possono essere usati in un sistema flessibile alcu-

ne macchine speciali come machining centre robots, macchine di lavaggio, ecc., che hanno sempre un maggior livello di flessibilità.

Per la valutazione dell'indice di flessibilità di forma I_{ff} , noi abbiamo considerato che la maggior parte dei sistemi praticamente realizzabili utilizzi 30 moduli e 10 tipi di macchine speciali. Per semplicità

		MOTI GENERATORI										
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Torni:	paralleli	•					•	•	•		•	•
	frontali	•					•	•	•		•	•
Fresatrici:	verticali	•				•	•	•	•		•	•
	a spogliare	•					•	•	•		•	•
Trapani:	orizzontali	•	•	•			•				•	•
	a colonna	•					•				•	•
Alasatrici:	orizzontali	•				•	•	•	•			
	verticali	•				•	•	•	•			
Pialatrici	orizzontali	•				•	•	•	•			
	verticali	•				•	•	•	•			
Rettificatrici:	in tondo	•			•	•	•	•	•	•	•	•
	per piani ad asse orizzontale	•				•	•	•	•	•	•	•
Dentatrici:	per piani ad asse verticale	•				•	•	•	•	•	•	•
	per filetti	•				•	•	•	•	•	•	•
Strozzatrici	orizzontali	•				•	•	•	•			
	a creatore	•				•	•	•	•			

Fig. 4

abbiamo diviso i gruppi dei 30 moduli e delle 10 macchine speciali in 5 classi, in funzione del rispettivo livello di flessibilità. La classe 1 comprenderà i moduli dal n. 1 al n. 8 della lista gerarchica; la classe 2 da 9 a 15; la classe 3 i moduli 16 ÷ 24; la classe 4 da 25 a 30, e la classe 5 le macchine speciali. I moduli di ciascuna classe hanno una flessibilità di forma maggiore di quelli della classe che precede, e minore di quelli della classe che segue come è indicato nella tabella di figura 5, per ciascuna classe è stato fissato un coefficiente adimensionale ai , che indica la flessibilità intrinseca media della classe. Ognuno di questi coefficienti ha un valore compreso tra 0 e 1, e la loro somma vale 1.

Classi	Moduli	Numero complessivo di moduli per classe	Coefficienti di fless. di forma
k_i	n_i	N_i	a_i
$k_1 = 1$	$1 \leq n_i \leq 8$	$N_1 = 8$	$a_1 = \frac{15}{100}$
$k_2 = 2$	$9 \leq n_i \leq 15$	$N_2 = 7$	$a_2 = \frac{18}{100}$
$k_3 = 3$	$16 \leq n_i \leq 24$	$N_3 = 9$	$a_3 = \frac{20}{100}$
$k_4 = 4$	$25 \leq n_i \leq 30$	$N_4 = 6$	$a_4 = \frac{22}{100}$
$k_5 = 5$	Macchine speciali	$N_5 = 10$	$a_5 = \frac{25}{100}$
$\sum_{i=1}^5 a_i = 1 \quad 0 \leq a_i \leq 1$			
$I_{ff} = \sum_{i=1}^5 a_i \cdot \frac{n_i}{N_i} \quad 0 \leq I_{ff} \leq 1$			

Fig. 5

Risulta:

— per i 3 torni $\frac{18}{100} \cdot \frac{3}{7} = 0,07714$

— le altre macchine, rispettivamente

$$\frac{22}{100} \cdot \frac{2}{6} = 0,07333 ; \frac{20}{100} \cdot \frac{1}{9} = 0,02222$$

$$\frac{25}{100} \cdot \frac{1}{10} = 0,02500$$

la cui somma ci fornisce

$$I_{ff} = 0,1977$$

Infine il coefficiente I_{fg} risulta

$$I_{fg} = \sqrt{I_{fv} \cdot I_{ff}} = \sqrt{0,808 \cdot 0,1977} = 0,3997 \quad [4]$$

Come si vede in questo esempio il procedimento proposto risulta di applicazione piuttosto facile.

È ovvio che l'arbitrarietà del sistema operativo proposto non consente valutazioni assolute; riteniamo invece molto significativa la sua validità per valutazioni comparate. Se, ad esempio, nel caso preso in esame, sostituissimo la seconda macchina tornitrice, il cui volume di flessibilità è ridondante rispetto a quello delle altre macchine del sistema, con un'altra macchina con $V_{f2} = 3000 \text{ mm}^3$, il sistema guadagnerebbe in coerenza volumica. Il nuovo valore di I_{fv} sarebbe

$$I_{fv} = \frac{19.000}{7.300} = 0,919$$

superiore del 14% al precedente.

In questo caso I_{ff} non cambierebbe, e si avrebbe

$$I_{fg} = \sqrt{0,919 \cdot 0,1977} = 0,426$$

anch'esso più grande.

Se invece nel sistema, tenendo fermo $V_{f2} = 3000 \text{ mm}^3$, ad esempio, eliminassimo la stazione di fresatura, avremmo chiaramente un sensibile calo della sua flessibilità, in quanto tutto il sistema sarebbe idoneo solo per operazioni di lavorazione di superfici rotoidali.

I diversi indici sarebbero

$$I_{fv} = \frac{16300}{63000} = 0,905$$

$$I_{ff} = 0,175$$

$$I_{fg} = 0,397$$

INDICE DI FLESSIBILITÀ DEL SISTEMA DI TRASPORTO

La valutazione di questo indice può essere fatta in modo molto semplice, e può essere spiegata con il seguente esempio che può riferirsi, ad esempio alle possibili interconnessioni tra le diverse stazioni di lavoro per il trasferimento di pezzi o di utensili.

Immaginiamo un sistema composto da n stazioni

di lavoro, ad esempio $n = 5$ (figura 7). Se il sistema fosse del tutto rigido (ad esempio trasferta rigida) si avrebbe una sola possibilità di collegare ogni stazione a quella che segue, in un'unica direzione (figura 7a). In questo caso si avrebbero

$$n_1 = n - 1 = 4 \text{ collegamenti}$$

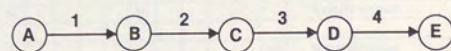


Fig. 7a

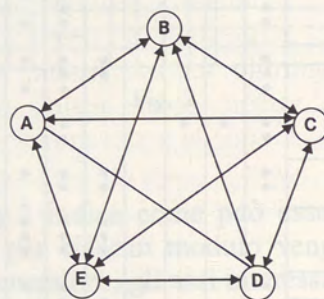


Fig. 7b

Se, al contrario le n stazioni fossero collegate con il massimo della flessibilità, ciascuna di esse potrebbe essere in comunicazione diretta con tutte le altre, nei due sensi. Si avrebbe, in questo caso (figura 7b) un numero di collegamenti pari a

$$N = 2 \sum_{i=1}^n n_i = 20 \text{ collegamenti}$$

Se indichiamo con n_e il numero effettivo di collegamenti esistenti o possibili in dato sistema, l'indice di flessibilità del sistema trasporto I_{ft} potrebbe essere dato dalla formula:

$$I_{ft} = \frac{n_e (n-1)}{N (n-1)} \quad [5]$$

Così nel caso della trasferta rigida, poiché $n_e = n - 1$, si avrà $I_{ft} = 0$; se invece $n_e = N$ risulterà $I_{ft} = 1$. Nell'esempio di figura 8 si ha un sistema con 5 unità operative e 11 possibili collegamenti.

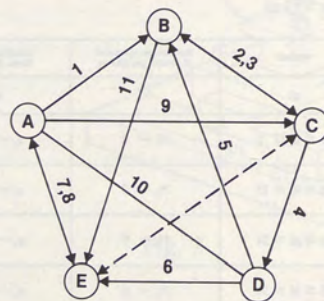


Fig. 8

Risulta:

$$I_{ft} = \frac{11 - 4}{20 - 4} = 0,4375$$

Se allo stesso sistema s'aggiungesse una linea di collegamento C = E nei due sensi, la flessibilità del sistema di trasporto aumenterebbe, assumendo il valore:

$$I_{ft} = \frac{13 - 4}{20 - 4} = 0,5625$$

ALTRI INDICI DI FLESSIBILITÀ E FLESSIBILITÀ TOTALE DEL SISTEMA

Tutti gli altri indici di flessibilità relativi a tutti i componenti e le funzioni del sistema (ad esempio stazioni di controllo servizi, sistema utensili, magazzini, ecc.) possono essere analizzati e definiti in maniera analoga a quella ora esaminata, in modo da ottenere per ciascuno di essi un indice espresso da numero adimensionale compreso tra 0 e 1. Si potrà in tal modo pervenire a un indice globale di flessibilità dell'intero sistema, usando la formula già indicata:

$$I_f = \sqrt[K]{I_{fv} \cdot I_{ff} \cdot I_{ft} \cdots I_{fk}}$$

Riteniamo opportuno ribadire il concetto che gli indici ricavati sono utili a livello comparativo, soprattutto nel caso di scelte tra più alternative; questo fatto sarà messo in maggior evidenza nell'esempio del prossimo paragrafo.

E anche importante notare che nel caso di confronto tra gli indici di flessibilità di due o più soluzioni alternative, è necessario che i rispettivi indici siano calcolati prendendo in esame le stesse flessibilità parziali, allo scopo di avere indici più coerenti.

IL COSTO DELLA FLESSIBILITÀ

Con il procedimento illustrato e tenendo presente le suddette precisazioni, si può infine esaminare un metodo di valutazione del costo comparato della flessibilità, utilizzando, per migliore comprensione, un esempio numerico.

Facendo riferimento alla tabella di figura 9 supponiamo di avere studiato e progettato un sistema flessibile di produzione, e indichiamo con C il suo costo. Non è necessario quantificare il valore di C. Supponiamo inoltre di avere trovato i valori degli indici di flessibilità parziali I_{fv} , I_{ff} , I_{ft} aventi il significato indicato, e anche un quarto valore di flessibilità parziale I_{fk} che si potrebbe riferire ad uno o a più altri elementi significativi. Da questi valori, parziali, indicati nella tabella, si può ottenere l'indice di flessibilità totale del sistema, che nel caso specifico risulta $I_f = 0,395$.

A questo punto si prendono in considerazione due alternative: da entrambe ci si attende un aumento del livello di flessibilità. La prima alternativa comporta un costo di \$ 180.000; essa causa un au-

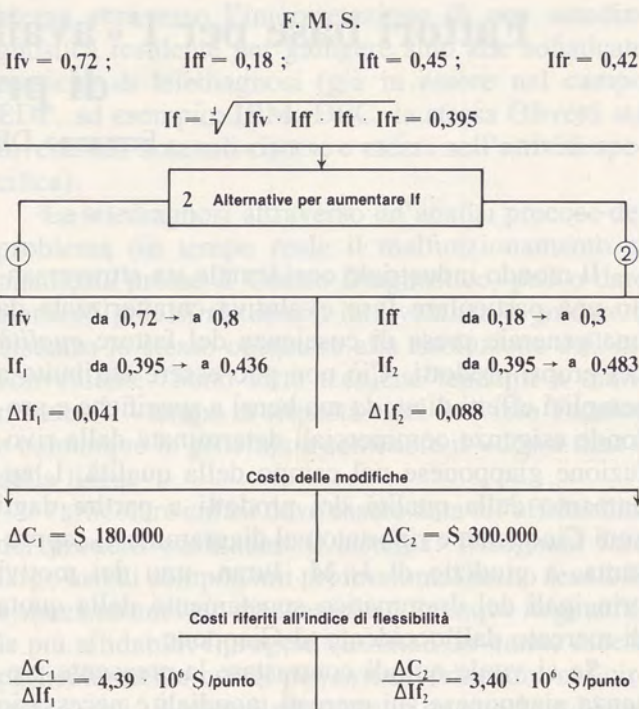


Fig. 9

mento di I_{fv} da 0,72 a 0,8 e di conseguenza una variazione di I_f da 0,395 a 0,436, con un incremento $I_f = 0,041$. La seconda costa \$ 300.000, e produce un incremento di $I_f = 0,088$. L'incremento di costo riferito all'aumento dell'indice di flessibilità risulta nei 2 casi:

$$\frac{\Delta C_1}{\Delta I_{f1}} = \frac{180.000}{0,041} = 4,39 \cdot 10^6 \text{ $/punto}$$

$$\frac{\Delta C_2}{\Delta I_{f2}} = \frac{300.000}{0,088} = 3,40 \cdot 10^6 \text{ $/punto.}$$

I dati così ottenuti, pur se ricavati con procedimento arbitrario, sono da ritenersi omogenei e confrontabili, e possono essere di aiuto nella scelta tra le due alternative. In questo caso, ad esempio, la seconda ipotesi, pur se più costosa in assoluto, potrebbe essere preferita dal punto di vista della flessibilità.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] D. BERRETTA, *I fondamenti delle macchine utensili*, Vol. 1, Monografia RTM n. 33, gennaio 1972.

[2] D. BERRETTA, *I fondamenti delle macchine utensili*, Monografia RTM n. 50, gennaio 1984.

[3] B. F. VON TURKOVICH, *On the consistent description of metal working processes*, in «Metal Processing and machine tools», RTM, novembre 1970.

[4] M. VETTORI, A. CAMERA, *Sistemi flessibili di produzione*, Monografia RTM, n. 49, 1978.

[5] COMAU, *Sistemi flessibili di lavorazioni* - Esperienze e risultati del COMAU.

[6] I. L. BURBIDGE, *The introduction of Group Technology*, Heinemann, 1975.

Fattori base per l'«availability» dei sistemi flessibili di produzione

Ermanno DEGLI ESPOSTI (*)

Il mondo industriale occidentale sta attraversando una particolare fase evolutiva caratterizzata da una generale presa di coscienza del fattore *qualità* dei propri prodotti. Ciò non può essere attribuito a semplici effetti di *moda* ma bensì a specifiche e profonde esigenze commerciali determinate dalla rivoluzione giapponese nel campo della qualità. L'andamento della qualità dei prodotti a partire dagli anni Cinquanta è riportato nel diagramma 1, rappresenta, a giudizio di J. M. Juran, uno dei motivi principali del drammatico spostamento della quota di mercato dall'occidente al Giappone.

Se si vuole quindi contrastare la crescente presenza giapponese sui mercati mondiali è necessario operare attraverso gli stessi strumenti che hanno determinato il grande successo dell'industria nipponica.

Se queste semplici considerazioni hanno una loro validità nel campo dei prodotti industriali in generale, diventano di vitale importanza nel campo

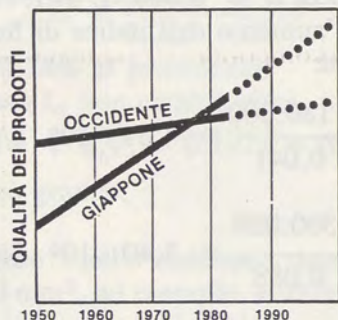


Diagramma 1

dell'automazione industriale dove la presenza giapponese ha determinato un drastico ridimensionamento dell'intera struttura produttiva europea di settore.

Impegno quindi primario dell'industria europea è quello di assicurare una elevata qualità ai propri prodotti. Ma la qualità significa, nella logica cliente, *availability*, cioè disponibilità del «bene» nel tempo.

Nasce quindi la necessità di un attento esame del significato di *availability*; senza entrare in una dettagliata analisi matematica ma solo per fissare delle idee di base e su queste formulare alcune semplici considerazioni, si ritiene utile richiamare le defini-

zioni di *availability* comunemente accettate nella letteratura specializzata. Come è noto si può parlare di una *availability intrinseca* A_i e di una *availability operativa* A_o espresse rispettivamente da:

$$A_i = \frac{T_f}{T_f + T_r} = \frac{1}{1 + \frac{T_r}{T_f}} = \frac{1}{1 + \frac{\tau_r}{\vartheta}}$$

$$A_o = \frac{T_f}{T_f + T_a} = \frac{1}{1 + \frac{T_a}{T_f}} = \frac{1}{1 + \frac{\tau}{\vartheta}}$$

dove: T_f Tempo di funzionamento ($T_f = \vartheta \cdot r$)
 T_r Tempo di riparazione ($T_r = \tau_r \cdot r$)
 T_{ri} Tempo di risposta ($T_{ri} = \tau_{ri} \cdot r$)
 T_a Tempo di arresto (Down Time) = $T_r + T_{ri}$
 τ_{ri} MTTR (Mean time to repair)
 τ_r MTTA (Mean time to answer)
 τ $MTTR_e = MDT$ (Mean Down Time)
 ϑ MTBF
 r Numero di guasti

Dall'analisi delle precedenti espressioni risulta evidente che l'*availability operativa* è sempre minore dell'*availability intrinseca* e che la differenza è tanto più piccola quanto più piccolo è il «tempo di risposta» del Servizio di Assistenza a specifiche richieste di intervento da parte del cliente.

Risulta inoltre chiaro che A_o è grandemente influenzato dalla *manutenibilità* e dall'*affidabilità* delle macchine

$$\left(\text{rapporto } \frac{\tau}{\vartheta} \rightarrow \frac{MDT}{MTBF} \right)$$

Volendo meglio analizzare i parametri in gioco si può osservare che i fattori fondamentali che influenzano la *manutenibilità* sono:

- accessibilità (bassa, media, alta);
- riparabilità;
- modularità, sostituibilità;
- diagnostica, autodiagnostica, telediagnostica;
- sicurezza del manutentore;

mentre quelli che influenzano l'*Affidabilità* sono:

- derating (temperatura, tensione);
- ridondanza (semplice, complessa);

(*) Dottore, responsabile Assicurazione Qualità, OCN S.p.A., Ivrea.

- sicurezza di funzionamento (margin);
- impiego di componenti normali o professionali;
- resistenza a urti e vibrazioni.

Nelle macchine tradizionali (o comunque in singoli MC) i fattori citati possono essere ricondotti a modelli matematici più o meno noti, mentre nei Sistemi Flessibili di Produzione, in cui più celle produttive concorrono in maniera eterogenea e spesso complessa a fornire il « Servizio » richiesto, è difficile trovare un supporto analitico di facile interpretazione che quantizzi in maniera univoca il peso dei singoli fattori coinvolti dell'*availability*. Unico dato certo è che le singole variazioni hanno un effetto amplificato sul fenomeno globale.

Per avere un'idea dello sforzo che è necessario compiere a livello di sistema per ottenere valori accettabili dell'*availability* basta osservare la tabella:

Andamento della disponibilità operativa al variare del rapporto T_u/T_a

$\frac{T_u}{T_a}$	$A = 1 - \frac{T_a}{T_u}$
10,0	0,900
20,0	0,950
50,0	0,980
100,0	0,990
500,0	0,998
1000,0	0,999

$$T_u = T_a + T_f$$

Da questa tabella si può notare che, se per un'unica Unità un $A_0 = 0,95$ può ritenersi accettabile, per singoli componenti di un Sistema complesso può essere necessario spingersi a valori di $0,98 \div 0,99$ (miglioramento del rapporto T_u/T_a da 3 a 5 volte) per avere un A_0 di Sistema sufficientemente elevato.

Da qui la necessità di agire sistematicamente su ognuno dei fattori prima citati sia per massimizzare l'*availability intrinseca* sia per rendere l'*availability operativa* quanto più vicino possibile a quella *intrinseca*.

Ecco quindi che si presentano nuovi orientamenti progettuali e nuove filosofie di assistenza.

Diventa fondamentale prevedere già in fase di stesura di specifiche dei valori massimi di MTTR. Ciò si può ottenere ad esempio curando particolarmente l'accessibilità dei vari organi critici. Cambia la filosofia di intervento, si opererà per sostituzione di moduli anche complessi e non più per singole piastre. Il progetto dovrà quindi orientarsi opportunamente nella fase di impostazione dei nuovi studi per soddisfare queste specifiche esigenze.

La diagnostica assume un ruolo fondamentale, si tende a demandare al Cliente una preanalisi del pro-

blema attraverso l'interpretazione di una autodiagnostica residente per giungere sino alle sofisticate tecniche di telediagnosi (già in essere nel campo EDP, ad esempio: IBM, DEC; la stessa Olivetti sta investendo notevoli risorse e mezzi nell'attività specifica).

La telediagnosi attraverso un'analisi precoce del problema (in tempo reale il malfunzionamento si manifesta presso il Centro Diagnostico) può o dare elementi precisi al tecnico-interventista o guidare a distanza lo stesso operatore alla risoluzione dell'inconveniente. Sono tutte tecniche tendenti a minimizzare il « tempo di risposta » del Servizio Tecnico e comunque in generale a contenere il « down time » della linea.

Particolare enfasi deve essere data all'affidabilità dei prodotti costituenti il sistema. Bisognerà fare largo uso di componenti professionali meno sensibili a shock termici e/o meccanici e comunque in generale più affidabili. I progetti circuitali dovranno essere particolarmente curati per evitare criticismi nei circuiti logici. Il tema è rilevante in quanto i problemi causati dai bassi margini di funzionamento sono estremamente difficili da risolvere (guasti saltuari) e quindi tendono ad impegnare per lunghi periodi di tempo, su un medesimo inconveniente, il Servizio Tecnico di Assistenza (alto DT, disottimazione nell'utilizzo delle risorse). Sarà necessario prevedere delle ridondanze funzionali sia a livello di componenti semplici del sistema sia a livello di parti complesse. Questo comporterà ovviamente non solo delle complicazioni progettuali di tipo HW ma anche SW sia per la gestione del Back Up sia per la gestione dell'intero sistema degradato.

Il Servizio di Assistenza Tecnica ha un'importanza fondamentale nella determinazione dell'*availability* sia a livello preventivo (supporto ai Progetti e/o Produzione per massimizzare l' A_i) sia a livello di supporto al cliente ($A_0 \rightarrow A_i$). Esistono ovviamente diverse metodologie di approccio al problema, da quella banale di presidiare in maniera permanente il sistema con uno o più tecnici specialisti a quella di proliferare sul territorio di vendita i centri abilitati all'assistenza sino, infine, alla già citata diagnostica teleguidata. Quest'ultima comporta però una struttura organizzativa consolidata e particolarmente evoluta, con alla base supporti SW adeguati. Non ho esplicitamente citato l'adeguatezza professionale del servizio perché questo è ovviamente alla base di tutti i ragionamenti tecnico-organizzativi.

È comunque opportuno, in questa sede, valutare attentamente anche un diverso approccio all'assistenza. Ciò è tanto più necessario quanto più il Servizio Tecnico non può contare su supporti organizzativi particolarmente evoluti. (Ad esempio: la già citata Telediagnostica, Magazzini parti particolarmente forniti e dotati di capacità di smistamento con bassissimi tempi di reazione, ecc.).

Diagramma 2

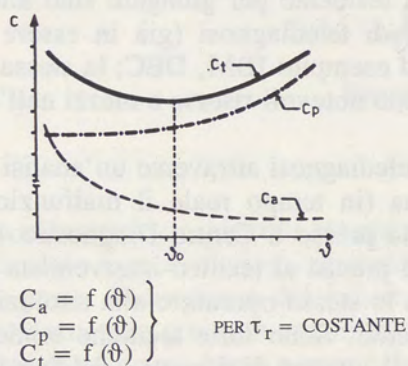
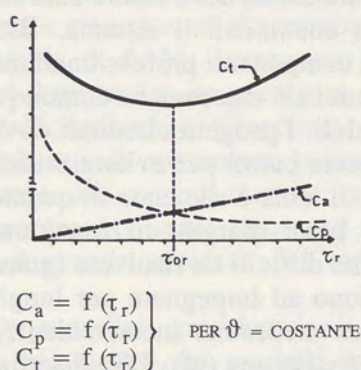


Diagramma 3



C_a = costo assistenza, C_p = costo prodotto, C_t = costo totale

Si tenga infatti conto che a fronte di investimenti molto rilevanti per affrontare le strutture necessarie, si contrappone un parco clienti in genere fortemente polverizzato che rende difficile il ritorno a breve degli investimenti. Né tantomeno è pensabile allargare indiscriminatamente la rete di assistenza per supportare tempestivamente i vari canali di vendita in modo da soddisfare le esigenze minime di *availability* richieste dal mercato per questi tipi di prodotti. Può quindi essere necessario, in queste condizioni, coinvolgere, in maniera pressoché totale lo stesso cliente sul problema dell'assistenza, limitando il

Servizio Tecnico del fornitore, ai soli interventi di tipo specialistico.

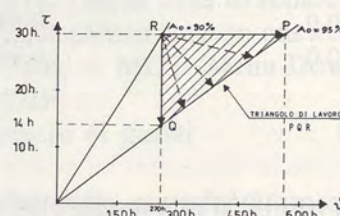
È necessario infine fare alcune considerazioni di tipo economico perché non sempre minimizzare il costo dell'assistenza può essere la strada ottimale. I grafici 2 e 3 riportati ci danno l'andamento del costo totale (C_t) come somma del costo di prodotto (C_p) e del costo dell'assistenza (C_a) in funzione dell'MTBF (MTTR costante) o dell'MTTR (MTBF costante).

In entrambi i casi si hanno dei punti ottimali (C_t minimo) per fissati MTBF o MTTR.

Se, prendendo spunto da un prodotto già in essere e quindi con valori noti di A_r , τ_r , ϑ_r , si desiderasse realizzare un nuovo prodotto con un diverso $A_p > A_r$, si avrebbero infinite coppie di τ e ϑ che soddisfano la condizione imposta. In tal caso si possono scegliere o le coppie τ e ϑ che minimizzano il costo del prodotto o, imponendo un ulteriore vincolo al progettista, fissato oltre ad A_p anche τ o ϑ , definire l'altro parametro in maniera da minimizzare ancora il costo totale.

Diagramma 4

$$\begin{aligned} A_o &= 90\%: T_u = 3000 \text{ ore} \\ T_f &= A_o \times T_u = 2700 \text{ ore} \\ T_a &= (1 - A_o) T_u = 300 \text{ ore} \\ \vartheta &= 270 \text{ ore} : \tau = 30 \text{ ore} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \vartheta_{\max} &= \tau_{\max} \cdot \left(\frac{A_o}{1 - A_o} \right) = 30 \left(\frac{0.95}{0.05} \right) = 30 \times 19 = 570 \text{ ore} \\ \tau_{\min} &= \vartheta_{\min} \cdot \left(\frac{1 - A_o}{A_o} \right) = 270 \left(\frac{0.05}{0.95} \right) = 270 \times 0.053 = 14 \text{ ore} \end{aligned}$$

Fattori finanziari e innovazione: nuove forme di finanziamento, investimenti, agevolazioni

L'innovazione tecnologica, così come la ricerca applicata, reperiscono le proprie risorse finanziarie di sostegno — nei Paesi industrializzati, ai quali ci si sta qui riferendo — attraverso tre canali:

- interventi governativi, nelle loro diverse articolazioni in forma diretta o indiretta;
- altre fonti di finanziamento pubblico;
- risorse e disponibilità interne delle imprese.

I Governi intervengono, usualmente, sotto forma di:

- concessioni di finanziamenti, erogati da taluni Ministeri o da Consigli nazionali delle ricerche o da Enti governativi costituiti « ad hoc »;
- erogazione di contributi agevolati e crediti, sulla base di specifiche regolamentazioni;
- riduzioni od esenzioni fiscali per i costi, documentabili, sostenuti per attività di ricerca applicata e/o per interventi tecnologicamente innovativi.

Altre fonti di finanziamento pubblico sono in genere da identificare in iniziative di carattere regionale o di amministrazioni civiche. Infine, le imprese provvedono autonomamente a destinare parte degli utili al proprio rinnovamento e al sostegno di attività per la ricerca e lo sviluppo. Sono ancora da segnalare le « commesse governative », sia per quanto attiene a programmi veri e propri di ricerca, sia con sostegno implicito di programmi innovativi a monte, i cui risultati sono utilizzati su scala industriale per l'esecuzione di commesse governative (questo canale è largamente privilegiato negli USA).

A livello internazionale, sono infine da menzionare casi particolari, finanziati dalla Banca Mondiale per gli investimenti e dalla Banca Europea per gli investimenti, attraverso procedure piuttosto complesse e variamente regolamentate nei singoli Stati cui i finanziamenti sono destinati.

È da aggiungere che — in ogni Stato — si assiste da qualche tempo ad una crescente pressione di richieste, da parte del mondo della produzione, volte a ottenere più cospicui e tempestivi sostegni, cui i rispettivi Governi rispondono attraverso la formulazione di programmi d'intervento, che costituiscono — tra l'altro — interessante oggetto di legislazione comparata.

Per quanto riguarda, nella fattispecie, la Comunità Economica Europea, sarà opportuno ricordare che essa sta esercitando un'attività guardingo di controllo, per evitare che si configurino situazioni di concorrenza non corretta, in violazione di precise norme comunitarie. (È il caso della ormai famosissima Legge italiana 675/77, ancora sub-judice).

Vale la pena di sottolineare, a conclusione di questa premessa, una concordanza generalizzata di convincimenti, circa l'indispensabilità di politiche nazionali di sostegno dell'innovazione tecnologica, i cui costi divengono vieppiù elevati con più lunghi tempi di recupero e remunerazione, così da giustificare interventi agevolati, dall'esterno delle imprese.

In Italia le agevolazioni si riconducono attualmente a varie leggi, dalle quali proviene una raffigurazione composita, ove interferiscono ottime intenzioni e impedimenti operativi, cui si cerca di ovviare. Fondamentalmente, le Leggi (*) più conosciute ed alle quali le imprese italiane hanno fatto maggiore ricorso sono:

Legge 28.11.1965 N. 1329 (nota come « Legge Sabatini »)

Provvedimenti per l'acquisto di nuove macchine utensili;

D.P.R. 9.11.1976 N. 972

Disciplina del credito agevolato al settore industriale (realizzazione di progetti di ammodernamento, a manodopera costante);

Legge 12.8.1977 N. 675, e successivi Decreti

Provvedimenti per il coordinamento della politica industriale, la ristrutturazione, la riconversione e lo sviluppo del settore;

D.P.R. 6.3.1978 N. 218

Contributi a tasso agevolato delle Leggi sugli interventi nel Mezzogiorno;

Legge 21.5.1981 N. 240

Provvedimenti a favore dei consorzi e delle società consortili di Piccole e Medie imprese o società consortili miste;

Legge 27.7.1981 N. 394

Misure a sostegno delle esportazioni italiane;

Legge 17.2.1982 N. 46 e successivi Decreti

Interventi per i settori dell'economia di rilevanza nazionale:

- fondo speciale per la ricerca applicata,
- programmi di innovazione tecnologica;

Legge 29.5.1982 N. 308

Norme sul contenimento dei consumi energetici;

Legge 19.12.1983 N. 696

Contributi a fondo perduto del 25% per l'acquisto di macchine e attrezzature ad avanzata tecnologia da parte di piccole e medie imprese;

si cita ancora:

C.N.R., 1983, *Progetto finalizzato Tecnologie Meccaniche (sistemi integrati di produzione).*

(*) Chi lo desidera, può richiedere i testi delle Leggi citate alla Segreteria, Società Ingegneri e Architetti.

- Ciò che interessa maggiormente le aziende, a proposito delle disposizioni legislative, consiste in:
- conoscere lo stato di «agibilità» delle Leggi e dei vari Decreti; vale a dire, se, entro quanto tempo, e con quale esito di fattispecie, le richieste da parte delle Aziende stesse vengano accolte (o respinte) dagli Enti preposti alle istruttorie;
 - potersi avvalere di procedure per quanto possibile semplificate, sopra tutto nei confronti delle imprese medio-piccole, poco aduse e poco inclini ad elaborazioni complesse;
 - dover predisporre una documentazione, seppure in modo rigoroso, ma contenuta ad elementi contabili, amministrativi ed essenziali;
 - non essere costrette a tempi troppo lunghi di attesa, per l'avvio, lo svolgimento e la conclusione delle fasi istruttorie, considerando che il progresso tecnico assume ritmi accelerati ed è condizionato dal progredire di una concorrenza, anche internazionale, molto aggressiva.

Per parte propria, le Autorità preposte all'elaborazione ed emanazione delle leggi e/o Decreti, nonché all'espletamento sia delle istruttorie, sia delle verifiche tecniche ed amministrative, devono compiutamente accertare:

- la validità dei programmi di ricerca, di innovazione, di promozione dell'export, di acquisti, di ammodernamenti ecc.;
- la capacità delle imprese ad espletare proficuamente i programmi prospettati;
- l'esecuzione corretta, e la rigorosa annotazione contabile dei costi;
- gli effetti obiettivamente positivi dei risultati conseguibili, nel trasferimento su scala industriale e produttiva.

Uno studio attento ed una precisa applicazione delle Leggi facilitano l'impostazione e l'espletamento delle pratiche, eventualmente ricorrendo ad organizzazioni, associazioni od esperti che correttamente aiutino ad allestire le domande e la documentazione.

Gli Enti cui le istruttorie fanno capo (diversificati, a seconda delle Leggi: Ministeri, Istituti Bancari, IMI/FRA, ecc.) periodicamente forniscono dati informativi e statistici sul numero, andamento, esiti delle pratiche. In questo periodo sono particolarmente attivi:

- il Ministero per l'Industria (Direzione Generale per la produzione industriale), cui fanno capo la Legge 46/82 per i programmi di innovazione, e la Legge 696/83 per i contributi a fondo perduto del 25%;
- l'Istituto Mobiliare Italiano, IMI Fondo Ricerca Applicata, per la Legge 46/82 istituyente lo speciale Fondo per la Ricerca Applicata;

- alcuni Istituti di Credito, a ciò demandati, per il DPR n. 902/76, sull'ammodernamento (a tale proposito, si parla di una modifica alla clausola che prescrive il mantenimento della manodopera costante, pena il decadimento dai benefici del Decreto, qualora venga assunta anche una sola unità eccedente il numero dichiarato al momento della approvazione della domanda).

È da segnalare, a proposito dei controlli compiuti dalla Comunità Economica Europea (CEE), l'opportunità (che il Ministero dell'Industria ha già tradotto in atto) di consultare gli organi competenti della Comunità stessa in fase preliminare, in guisa che Leggi e Decreti siano emanati con disposizioni tali, da non contrastare con le direttive comunitarie, per evitare blocchi ed intralci successivi all'emanazione.

Del tutto diverso è un aspetto, che sta sollevando crescente interesse anche in Italia (dove per altro non esiste una legislazione «ad hoc»): si tratta del ricorso al «capitale di rischio», o venture capital, che sostiene un ruolo molto attivo in altri Paesi industrializzati.

Convegni, Seminari ed iniziative promosse da varie parti ad opera di Associazioni bancarie, industriali, di studio, hanno condotto a formulare proposte, che sono state portate all'attenzione delle apposite Commissioni Parlamentari.

Occorre infatti definire ruoli, compiti, attività e limiti di quanti possano essere coinvolti dall'introduzione del «venture capital» in Italia: banche, società finanziarie, gruppi industriali, agenzie, società di consulenza e di gestione. Una estesa disponibilità di dati, provenienti dall'estero, sta ad attestare l'utilità e l'efficacia di questo strumento per promuovere e reperire finanziamenti, soprattutto destinati al sostegno di tecnologie avanzate ed al trasferimento su scala produttiva, di idee e progetti ad alto contenuto tecnologico.

Si attende quali saranno i tempi e l'esito delle proposte, avanzate di recente al nostro Parlamento su tale tema.

Resta comunque confermato — per la situazione interna italiana anche in funzione della «ripresa» che sembra essersi avviata, e per il confronto con le agevolazioni esistenti in Stati verso i quali l'Italia deve sostenere o condurre una azione concorrenziale serrata — il ruolo estremamente rilevante di una politica di sostegno all'innovazione industriale.

L'affermazione assume anche maggiore risalto, in presenza e in vista di un «salto» tecnologico così eccezionale, cui la «fabbrica del futuro» darà impulso, implicando per altro la disponibilità di finanziamenti, la cui entità deve essere commisurata all'alto livello degli investimenti prevedibili.

Automazione flessibile: cambiamenti nel processo produttivo e cambiamenti nel lavoro

August 1984

2ª GIORNATA

7 giugno 1984

3ª SESSIONE

L'aspetto umano e la fabbrica del futuro

Automazione flessibile: cambiamenti nei processi produttivi e cambiamenti nel lavoro

Angelo DINA (*)

Il concetto di flessibilità appare sempre di più come una parola chiave (insieme con quello di integrazione) nel discorso sull'innovazione tecnologica di processo nel periodo attuale. Ma, come spesso avviene in questi casi, la sua definizione non è né facile né univoca. In molte delle relazioni qui esposte ed in varie pubblicazioni si fa riferimento alla flessibilità come capacità dell'impianto: a) di processare contemporaneamente diversi tipi o varianti di prodotto in diverse proporzioni; b) di adattarsi a rinnovamenti del prodotto stesso; c) di essere riutilizzato con pochi interventi per modelli radicalmente nuovi.

Se questi aspetti comportano già un notevole cambiamento dei parametri tecnico-economici di valutazione di un impianto produttivo, credo però che essi non esauriscano, soprattutto dal punto di vista delle motivazioni alla ricerca della flessibilità, il campo dei possibili significati che si danno a questo concetto. Molti, ad esempio, definiscono come flessibilità anche la capacità di rispondere alle richieste di miglioramento della qualità della vita di lavoro.

Un altro elemento ricollegabile alla caratteristica «flessibilità», è la capacità dell'impianto di rispondere col minimo degrado delle sue prestazioni all'insorgere di fattori di disturbo di carattere sia socio-economico (variazioni nei programmi produttivi), sia tecnico (guasti o indisponibilità di risorse materiali, varianza nelle condizioni dei materiali da lavorare, ecc.), sia anche sociale all'interno dell'azienda. La prima classe di fattori si ricollega al concetto di flessibilità come sopra individuato in senso tecnico-economico, l'ultima riprende in un certo senso in negativo quello sociale (sia la varianza nella prestazione del lavoro, sia anche le manifestazioni di conflittualità diventano in un certo senso più tollerabili per il management).

Appare chiaro come tutto questo complesso di richieste conduca ad esigenze dalle caratteristiche assai variabili e talvolta anche in contrasto fra loro. Tuttavia credo che un elemento comune si possa ritrovare: *la capacità di trattare ed elaborare in tempo reale il complesso delle informazioni relative al processo produttivo.*

Almeno nei suoi aspetti tecnici più elementari, la flessibilità è naturalmente sempre stata una caratteristica necessaria per l'industria di piccola e media

produzione. In questo campo, almeno a livello delle singole macchine, una soluzione di automazione flessibile è già disponibile da parecchio tempo con le macchine utensili a controllo numerico. È significativo però che fino a che non si sono succedute le generazioni tecnologiche di unità di governo ad elettronica cablata, l'effettiva diffusione delle macchine a controllo numerico si sia mantenuta assai al di sotto delle previsioni e delle possibilità teoriche e di impiego. Un netto aumento della velocità di diffusione si è manifestato quasi contemporaneamente alla comparsa di unità di governo computerizzate (CNC) e, forse non casualmente, alla crisi dei procedimenti di automazione rigida nella grande produzione.

Per parecchio tempo sono state le stesse case costruttrici di macchine a controllo numerico ad insistere nella loro pubblicità sulla possibilità di utilizzare personale scarsamente qualificato come addetti macchina, ottenendo per questa via una notevole riduzione di costi. In un periodo più recente il tono è notevolmente cambiato e si è preferito sottolineare invece l'opportunità di nuovi tipi di qualificazione per gestire macchine ad elevata sofisticazione ed il cui arresto può risultare economicamente disastroso.

All'estremo opposto delle produzioni industriali, nelle lavorazioni meccaniche di grande serie, le esigenze di flessibilità si sono fatte pesantemente sentire, soprattutto nell'ultimo decennio, per ragioni sia di mercato che politico-sociali, mettendo in crisi la classica automazione rigida «modello Detroit». Tuttavia le possibilità dei sistemi flessibili di produzione restano tuttora assai al di sotto dei livelli di produttività richiesti in quest'area, sicché la transfer è ancora prevalente nelle lavorazioni con asportazione di truciolo, sebbene a questo tipo di sistemi parecchi neghino ora la qualifica di automazione, relegandoli nella più modesta categoria della meccanizzazione.

In un certo senso, però, anch'essi realizzano un trattamento automatico delle informazioni relative al processo produttivo: ciò avviene tuttavia incorporandole nella stessa struttura fisica della macchina, quindi con estrema rigidezza.

Non si può dire però che la richiesta di flessibilità non abbia trovato alcuna risposta nell'ambito delle lavorazioni meccaniche di grande serie. La stessa evoluzione della struttura meccanica ha cercato di attenuare in parte la sua intrinseca rigidità (suddivisione in tronchi, possibilità di adattamento a piccole variazioni o a famiglie di pezzi simili...). Più significativi anche qui i cambiamenti legati ai progressi

(*) Ingegnere, CSEA, Torino.

della microelettronica e dell'informatica distribuita, dall'uso dei controllori programmabili in luogo delle apparecchiature logiche a relé, al monitoraggio con calcolatore del funzionamento delle linee. Questo, oltre a consentire sensibili miglioramenti nell'efficienza operativa delle transfer, si può dire contribuisca alla flessibilità intesa come capacità di reagire col minimo di degrado produttivo ai disturbi operativi.

Altri sviluppi, in un'area che già aveva visto una forte eliminazione di posti di lavoro con l'automazione rigida e successivamente la riduzione delle residue mansioni di carico, scarico, e manipolazione (con caratteristiche spesso negative di stupidità, ripetitività e ritmi di lavoro vincolati ed intensi) con l'uso di caricatori automatici e dispositivi pick and place, potranno vedere la sostituzione di questi con veri e propri robot.

Soprattutto va notato che sempre più frequentemente si realizzano, anche per produzioni relativamente elevate, soluzioni intermedie fra la transfer classica e i veri e propri sistemi flessibili di produzione, e che i confini del campo di applicazione di questi ultimi sono tutt'altro che precisi e tendono ad estendersi coi nuovi sviluppi.

Al di fuori delle lavorazioni con asportazione di truciolo, esistono anche nella produzione di serie aree dove si vanno introducendo sistemi automatici di ampia flessibilità. Non è il caso di soffermarsi su esempi famosi quali il Robogate, che è un vero e proprio sistema flessibile di produzione per la lastrofferratura o, sull'estensione dell'uso di robot industriali per la verniciatura e per varie manipolazioni.

Naturalmente il campo principale di applicazione dei sistemi integrati di automazione flessibile resta, almeno per ora, quello dei medi volumi produttivi. Mi sembrerebbe inutile e presuntuoso tentare di dire qualcosa sugli aspetti tecnici e sulle linee di evoluzione di questi sistemi, che pur sono al centro dell'attenzione di questo convegno, dopo le relazioni che sono state già presentate. Vorrei solo ricordare, fra le cose importanti, la tendenza ad un livello di integrazione che supera ormai i confini dell'officina per raccordarsi non solo con la progettazione ed i metodi ma con la programmazione e la gestione della produzione nel suo complesso: dall'integrazione CAD-CAM al CIM (Computer Integrated Manufacturing) e la determinazione automatica delle strategie produttive in funzione degli obiettivi e della disponibilità delle risorse.

Quello che a questo punto mi sembra da sottolineare, per l'importanza che ha nei confronti delle condizioni del lavoro umano, è che per la maggioranza delle applicazioni finora citate la flessibilità si identifica con la programmabilità in linguaggio leggibile dalla macchina delle modalità esecutive del processo produttivo. Mancano a questi sistemi sia i canali per interagire con l'ambiente esterno (organi

di senso) sia il livello di intelligenza artificiale per interpretare ciò che «vedono» ed autoprogrammarsi in conseguenza. Tutto ciò, certo, non è vero in assoluto: cominciano per esempio ad essere numerosi i robot dotati di forme più o meno rudimentali di sensorialità e di una certa adattività; ma si tratta ancora quasi sempre di applicazioni particolari scarsamente generalizzabili a livello di officina. Sono limitazioni destinate probabilmente a scomparire, data la quantità di ricerche e di esperienze in corso su questi argomenti, ma è ben difficile prevedere modi e tempi di questa scomparsa.

Di conseguenza esiste ancora un certo numero di mansioni che si prestano male ad essere eseguite dalle macchine e nelle quali quindi si concentra tuttora una sensibile quantità di operai diretti. Un esempio tipico è costituito dai montaggi meccanici. Gli interventi a livello di questi reparti paiono dirigersi per ora su due strade, forse provvisorie: una continua ad affidare all'uomo l'esecuzione del lavoro automatizzando in modo flessibile il «material handling» (caso LAM della Fiat); l'altra punta all'automazione flessibile delle unità operative (robot) disponendole però in un ambiente servito da attrezzature specifiche che limitano notevolmente il grado di flessibilità. Questa seconda strada permette una automazione pressoché totale; per contro rappresenta una brusca eliminazione di posti di lavoro e spesso costringe quelli residui a mansioni ripetitive rigidamente vincolate al ritmo della macchina.

Se non tutte le attività di officina sono ancora investite dalla automazione flessibile (ed almeno per il prossimo futuro ci si può aspettare che queste limitazioni rimangano), per contro i rapidissimi progressi della microelettronica e dell'elaborazione automatica delle informazioni stanno portando nuove forme di automazione nei lavori d'ufficio con aspetti ben diversi dai «santuari» che erano, ancora fino a pochi anni fa, i centri di elaborazione dati. Si tratta da un lato del CAD e delle applicazioni della «computer graphics» che, almeno nel settore meccanico, procedono rapidamente in direzione di una integrazione automatica col processo effettivo di lavorazione; dall'altro di tutte quelle applicazioni che con termine generico vengono raggruppate sotto il nome di «office automation» e che anch'esse, in prospettiva, tendono a confluire nel sistema informativo generale a fianco di quelle più direttamente legate alla produzione. In questi casi le profonde trasformazioni nel modo di lavorare non appaiono come conseguenza diretta della sostituzione della macchina all'uomo nell'esecuzione di alcune operazioni quanto piuttosto come conseguenza dell'intermediazione costituita dal sistema di elaborazione fra l'uomo e l'oggetto del lavoro.

È ormai diventato un luogo comune dire che la rapidità dell'attuale fase di progresso tecnologico, l'estrema diffusività di questi sviluppi e la novità dei loro caratteri stanno già determinando ed ancor

più determineranno effetti sconvolgenti sul lavoro umano.

Vorrei però dire che queste trasformazioni non devono a mio parere essere considerate come «conseguenze oggettive» del progresso tecnologico. Gli effetti delle nuove tecnologie dipendono secondo me in larga parte dai principi organizzativi, dalle finalità predominanti e dal sistema di rapporti sociali che stanno alla base del progetto delle specifiche applicazioni.

Fatta salva questa importante riserva si possono, io credo, individuare alcune caratteristiche di fondo: — la tendenziale scomparsa del lavoro umano *diretto*. Con esso tendono a scomparire tutte le vecchie forme di professionalità legate in modo immediato al «saper fare» specifiche operazioni sull'oggetto del lavoro, sia esso materiale o no. Il lavoro operaio muta quindi profondamente le sue caratteristiche e tende a vanificarsi il confine che lo separa da quello che si usa chiamare impiegatizio;

— al livello della produzione la comunicazione uomo-macchina, quando è ancora necessaria, si svolge sempre più attraverso l'intermediazione del sistema informativo;

— ma a tutti i livelli anche le comunicazioni interpersonali fra uomo e uomo tendono sempre più ad essere assorbite dal sistema informativo, creando problemi di linguaggi e standard di comunicazione e negative situazioni di isolamento.

Nel quadro definito da queste caratteristiche si presentano una serie di problemi, sui quali già molto si è discusso ma che credo valga la pena di puntualizzare rapidamente:

a) *Le tendenze quantitative dell'occupazione*. Questo aspetto continua a dar luogo ad ampie discussioni nelle quali si contrappongono previsioni largamente divergenti. Ma, pur con tutte le cautele sulla attendibilità delle estrapolazioni, mi sembra che in termini di scenario le tesi ottimistiche sconti- no tutte, direttamente o indirettamente, un aumento della produzione totale di beni e servizi almeno pari a quello della produttività media del sistema: ipotesi che mi sembra assai dubbia e, considerando limiti come quelli ecologici, forse neppure desiderabile.

Penso quindi che occorra prepararsi, sia pure in un quadro non uniforme, ad una diminuzione della quantità di lavoro socialmente necessaria, ed in questo senso ritengo che vadano considerate con attenzione e non solo come manifestazioni di irresponsabilità o di infantilismo agitazioni come quelle in corso in Germania nel momento in cui scrivo per la riduzione dell'orario di lavoro (pur con tutti i loro limiti, perché questa non rappresenta di per sé la soluzione del problema).

b) *Qualità e sicurezza del lavoro*. A questo riguardo si attribuiscono di solito alla nuova automazione effetti incondizionatamente positivi. Tuttavia ci sono ancora molti limiti e spesso i maggiori risul-

tati si sono avuti dove i posti di lavoro non sono migliorati ma sono senz'altro scomparsi. Invece non sempre la flessibilità del sistema conduce a rendere meno rigida e vincolata la prestazione lavorativa e possono comparire nuovi fattori di stress e di disturbo e persino nuove occasioni di rischio fisico (vedi l'attuale attenzione dei giapponesi agli incidenti prodotti dai robot). Ciò riguarda anche applicazioni come l'automazione d'ufficio, per la quale sono ben noti i disturbi denunciati dagli addetti ai terminali. In conclusione, affinché i benefici della nuova automazione flessibile sulla qualità del lavoro diventino da potenziali a reali, credo occorra ripensare le finalità, gli strumenti tecnici ed i procedimenti di sviluppo della progettazione, includendo momenti di esplicito confronto con gli interessati al lavoro.

c) *Professionalità ed esigenze formative*. Nonostante tutto, nelle applicazioni finora effettuate sembra si sia di rado riscontrata una reale riprofessionalizzazione delle mansioni. È piuttosto nato un certo numero di nuovi compiti altamente qualificati, spesso separati anche fisicamente dagli altri lavoratori. Anche per questi ultimi però il lavoro, se non è necessariamente più qualificato, è spesso profondamente mutato. Tutto ciò pone da un lato il problema di ripensare il progetto dei sistemi per privilegiare una migliore utilizzazione del lavoro umano (cosa per cui in via di principio le nuove tecnologie offrono degli spazi e sulla quale si vanno conducendo, per esempio in Inghilterra, interessanti esperienze); dall'altro pone l'esigenza di un nuovo tipo di formazione. In tutte le occasioni si ripete che questa dovrà essere politecnica, versatile, capace di contribuire positivamente alle novità. Ma, a parte il difficilissimo problema umano della riqualificazione dei già occupati, troppo spesso ciò viene ridotto in pratica alla richiesta di un prodotto umano «semilavorato» da specializzare sulla mansione.

d) *I problemi del controllo*. La sempre maggiore sostituzione delle comunicazioni interpersonali attraverso il tramite del sistema informativo apre la via anche a nuove forme, apparentemente impersonali, di controllo in tempo reale sul lavoro dei singoli, che si sostituiscono alle vecchie strutture tecnico-gerarchiche. È anche questo, come hanno sottolineato anche alcuni ricercatori americani, un elemento da considerare attentamente.

Mi sono limitato ad indicare sommariamente e forse troppo grossolanamente alcuni elementi problematici aperti dal rapporto lavoro umano - nuove tecnologie. Essi dovranno comunque essere affrontati con apertura e spregiudicatezza. E poiché diversi sono gli attori coinvolti, non sono d'accordo con chi crede che nella fabbrica del futuro il momento conflittuale sia da riguardarsi come un arnese superato e dannoso, contrario agli interessi di tutti. Al contrario credo che, indirizzato in uno spirito costruttivo, esso possa svolgere una indispensabile funzione.

2^a GIORNATA

7 giugno 1984

4^a SESSIONE

**La produzione integrata e flessibile.
Aspetti tecnologici, economici, umani**

TAVOLA ROTONDA

TEMATICA ATTIVITÀ

Il tema della produzione integrata e flessibile è stato affrontato in questa sessione da una tavola rotonda che ha coinvolto esperti di diverse discipline: tecnologia, economia, sociologia, psicologia, ecc. La tavola rotonda è stata presieduta dal Prof. G. Neri, che ha moderato le discussioni e ha guidato i lavori.

La tavola rotonda ha discusso i vari aspetti della produzione integrata e flessibile, con particolare riferimento ai problemi tecnologici, economici e umani. Gli interventi sono stati molto interessanti e hanno fornito molte informazioni preziose.

La tavola rotonda è stata molto fruttuosa e ha permesso di chiarire molti dubbi e di individuare le linee guida per la produzione integrata e flessibile.

La tavola rotonda è stata molto fruttuosa e ha permesso di chiarire molti dubbi e di individuare le linee guida per la produzione integrata e flessibile.

La tavola rotonda è stata molto fruttuosa e ha permesso di chiarire molti dubbi e di individuare le linee guida per la produzione integrata e flessibile.

La tavola rotonda è stata molto fruttuosa e ha permesso di chiarire molti dubbi e di individuare le linee guida per la produzione integrata e flessibile.

La tavola rotonda è stata molto fruttuosa e ha permesso di chiarire molti dubbi e di individuare le linee guida per la produzione integrata e flessibile.

La tavola rotonda è stata molto fruttuosa e ha permesso di chiarire molti dubbi e di individuare le linee guida per la produzione integrata e flessibile.

La tavola rotonda è stata molto fruttuosa e ha permesso di chiarire molti dubbi e di individuare le linee guida per la produzione integrata e flessibile.

La tavola rotonda è stata molto fruttuosa e ha permesso di chiarire molti dubbi e di individuare le linee guida per la produzione integrata e flessibile.

La tavola rotonda è stata molto fruttuosa e ha permesso di chiarire molti dubbi e di individuare le linee guida per la produzione integrata e flessibile.

La tavola rotonda è stata molto fruttuosa e ha permesso di chiarire molti dubbi e di individuare le linee guida per la produzione integrata e flessibile.

La tavola rotonda è stata molto fruttuosa e ha permesso di chiarire molti dubbi e di individuare le linee guida per la produzione integrata e flessibile.

Gian Federico MICHELETTI

Il tema che la Tavola Rotonda si pone, è cercare di discutere in modo incrociato una serie di problemi, che sono stati presentati nel corso del Convegno: problemi relativi all'aspetto tecnico dei sistemi di produzione flessibile, di automazione flessibile e di robotica; problemi economici; infine problemi di formazione.

Esistono aspetti, che è opportuno considerare da un punto di vista integrato, avendo attorno ad uno stesso tavolo, esperti che muovendo da punti di vista diversi per le loro diverse professionalità, sono in grado di portare un contributo qualificati nei rispettivi settori.

Sono stati pertanto invitati il dottor Caravita, giornalista del Sole 24 Ore; l'ingegner Sartorio, presidente del Consorzio CSEA; il dottor Pacini, direttore della Fondazione Agnelli; il signor Pichetto, presidente dell'Unione Industriale di Torino; il professor Gallino dell'Università di Torino; il dottor Vitari della Confindustria; il professor Gabetti, del Politecnico di Torino.

A questi esperti si chiedono impressioni sui temi trattati, tutti di grande attualità.

Si può incominciare con la voce di un esperto di automazione, di informatica, di sistemi di lavorazione e di misura: l'ingegner Sartorio, per conoscere quale ritiene sia l'impatto delle nuove tecnologie sui problemi di carattere economico e di carattere sociale, offrendo su questi temi il punto di vista del tecnologo.

Franco SARTORIO

Volendo essere estremamente sintetici, nell'osservare quali conseguenze possono configurarsi nell'impatto della tecnologia sulla società (anche se per approfondire occorrerebbero corsi universitari, ed ampiezza di tempo), va anzitutto riconosciuto che le tecnologie stanno incidendo profondamente sul modo di vivere e su tutti gli aspetti della società, sia attuale sia futura.

Sta avvenendo un fatto di grande importanza: forse l'uomo, nella corsa verso il dominio dell'universo, che è cominciata con la scoperta del «metodo sperimentale», ha trovato definitivamente il modo di liberarsi dalla fatica: almeno, dalla fatica fisica.

Quando si parla di fabbrica automatica e di incremento della produttività, è implicito che si sta

eliminando l'operaio diretto, cioè «colui che nell'azienda si misura in proporzione alla quantità di prodotto uscente». In effetti, si deve riconoscere che ormai la maggior parte, oltre il 99%, degli investimenti produttivi che si decidono in una fabbrica, si decidono sulla scorta di un incremento di produttività, che si misura appunto con l'eliminazione di una certa quantità di personale diretto. Una macchina risparmia 4 persone su un turno; 8 persone su due turni. Quanto costano 8 persone in un anno? Si presume che l'investimento sia recuperato in tre anni; da qui, il limite massimo del costo di convenienza, ad esempio di un dato impianto. Se il costo, dal confronto, risulta inferiore, l'investimento è deciso e si rendono disponibili altrettante persone.

Questo sta avvenendo in tutto il mondo, ed in misura sempre maggiore: c'è quindi da chiedersi dove porterà una tendenza di questo genere.

Si va drasticamente riducendo la popolazione delle fabbriche: è un fenomeno già capitato nel corso della storia dell'industria. Si consideri l'industria meccanica. Fin dall'avvento delle cosiddette macchine a trasferta (con un uomo all'inizio della linea, stazioni intermedie ed un uomo alla fine) si era in grado di «spopolare» i reparti che producevano pezzi di meccanica destinati alla grande serie.

Oggi assistiamo al passaggio dall'automazione rigida (che consente di fabbricare tanti pezzi uguali a basso costo) all'automazione flessibile (in grado di produrre ampie gamme di pezzi diversi, sempre con gli stessi mezzi e con piccoli costi di riattrezzamento). Questo è un grosso segreto. Oggi si progettano e costruiscono macchine che rendono economici — cioè producibili automaticamente — lotti sempre più limitati di pezzi (al limite, tendenti all'unità, al pezzo singolo). Il matrimonio tra CAD (Computer Aided Design) e Automazione di fabbrica, in particolare di FMS (Flexible Manufacturing Systems) farà sì che, nell'arco di dieci o vent'anni, si realizzerà la fabbricazione totalmente automatica anche del pezzo singolo, che serve da prototipo o da attrezzamento: in modo, cioè, che dal disegnatore all'uscita del pezzo non occorra altro intermediario. Non è una ipotesi, è già una realtà: i mezzi sono ormai disponibili.

Questo che significa? Significa che il livello del 35% di popolazione attiva oggi occupata nell'industria, scenderà a valori più bassi, identificabili tra il 10 e il 15%. Siffatta trasformazione potrà gettare estremo scompiglio e non potrà essere presa con la gioia che deriverebbe dal solo assunto «si farà più ricchezza con meno fatica».

Purtroppo l'uomo oggi non è preparato a tutto ciò. Non si sa come cavalcare la tigre che abbiamo creato noi stessi, anche se fenomeni analoghi sono avvenuti nel passato, e questo secolo ha già vissuto un'analoga trasformazione nell'agricoltura: 50% e più di occupati della popolazione attiva all'inizio del secolo; oggi, meno del 4% in America e intorno al 10% in Italia. Fortunatamente l'industria ha consentito di assorbire la mano d'opera eccedente dell'agricoltura, seppure mediante migrazioni e fenomeni dolorosissimi, anche mal gestiti. Non di meno in qualche maniera è stato attutito l'impatto di questo grossissimo e grave fenomeno. Oggi purtroppo, — qui e questo è lo sgomento — non si intravedono alternative o possibilità di assorbimento equivalenti, che richiedano personale reso disponibile dall'industria. Si deve inoltre considerare — e ciò rende ancora più grave quanto dicono le cifre — come quel 12 o 15% che rimarrà nell'industria sarà costituito da personale *diverso* da quello attuale, perché occorreranno altri tipi di preparazione ed altra cultura. Questo è il problema! È un problema umano gravissimo. Fenomeni del genere, come già rilevato, si sono presentati anche nel passato: dal giorno dell'assalto ai telai meccanizzati una generazione ha sofferto, ma la generazione successiva ha visto la Gran Bretagna come prima potenza economica mondiale. La storia si snoda attraverso questi alterni periodi: purtroppo la nostra generazione sta pagando una propria crisi. Occorre predisporre; occorre che gli uomini di potere considerino urgentemente i fenomeni, e gli stessi imprenditori — spesso culturalmente spiazzati — devono accelerare una preparazione che consenta loro di prendere decisioni.

Mi fermerei a questo punto, avendo già gettato abbastanza pietre nello stagno.

Luciano GALLINO

È il momento per toccare brevemente una questione molto specifica, che si può esprimere in forma di domanda. Ai fini di una interazione efficace fra operatori umani, variamente qualificati, e sempre meno numerosi — come appena detto — e vari tipi di sistemi flessibili di produzione, è opportuno, o è necessario, o è utile — secondo i punti di vista — che i sistemi flessibili di produzione incorporino uno dei tratti umani; in altre parole, che incorporino «capacità di ragionamento» di tipo umano? È un interrogativo che può suonare molto strano: ma è una domanda realistica, con implicazioni tecniche e umane di prima grandezza. È un interrogativo che attualmente viene studiato con investimenti crescenti di tempo e di risorse in campo informatico, dove ci si interroga appunto sulla natura, sulle evoluzioni, sulle conseguenze dell'interazione tra operatori, e sistemi di computazione in generale, e ci si chiede

— ad esempio — come far cooperare più efficacemente la persona con il computer.

Una delle risposte, avanzata da alcuni, è la seguente: sarebbe necessario che le macchine manifestassero forme di intelligenza un po' più simili o analoghe a quelle degli esseri umani, al fine di poter cooperare con essi.

Secondo alcuni ricercatori, l'analogia dovrebbe spingersi fino al punto in cui singole macchine, un complesso di macchine o un sistema, simulino le incertezze, le procedure approssimative, la logica spesso sfocata, ma anche abbastanza efficace, del decisore umano. Emergono molti argomenti, ed argomenti abbastanza solidi, per sostenere qualcosa del genere; per sostenere, cioè, che le macchine possano incorporare forme di intelligenza di tipo umano, appunto con le incertezze, le imprecisioni e così via.

Uno dei problemi delle macchine, ed in particolare dei sistemi di computazione (ma certo non solo di quelli) è riuscire ad essere convincenti: essere credibili quando prendono decisioni, in qualche misura sottratte all'uomo: od anche quando «propongono», come sempre più spesso avviene, decisioni che poi un manager deve far proprie. Per far sì che questa sorta di «consultazione con il sistema» risulti vantaggiosa, è importante che la risposta del sistema sia affidabile. Di questi argomenti si dice, ad esempio: «un tecnico, che formula una diagnosi di un certo tipo su un guasto di qualche apparato, apprende da un sistema di computazione che si tratta di un guasto avente natura e origine completamente diversa, rispetto a quanto il tecnico stesso ipotizzava». Allora, per poter prendere sul serio la risposta del sistema, è necessario che il sistema stesso sia credibile: e perché sia credibile, dovrà incorporare la capacità di ragionamento, argomentazione, dimostrazione, di tipo umano. Esistono, come è noto, «sistemi che imparano», e con questi ci si avvicina già ai sistemi flessibili di produzione, includenti la prossima generazione di robot che sarà molto più «intelligente» di quella attuale.

Certamente sono già progettati robot che incorporano programmi in grado di apprendere, sulla base di sistemi relativamente semplici all'inizio ma che si complicano per strada, attraverso l'esperienza; e se un sistema dimostra di aver acquisito capacità e conoscenze che all'inizio non aveva, deve dimostrare di averle acquisite in un modo comprensibile ed accettabile per l'utente umano.

Altri problemi tecnici insorgono anche nel campo dei sistemi flessibili di produzione: ad esempio già si pone il problema della interazione «a voce». Si sa, oggi, che per semplificare enormemente un sistema il quale decodifica il linguaggio naturale, è importante che esso incorpori una certa conoscenza degli scopi che il parlante (l'operatore) sta perseguendo il quel momento. Questo vuol dire semplificare, ridurre da cento a cinque le dimensioni del sistema.

Ancora: si chiede ai sistemi di essere adattabili, di flettersi alle caratteristiche dell'utente — l'utente più rapido, l'utente più lento, l'utente più anziano o più giovane, l'utente la cui competenza evolve da livelli iniziali molto bassi a livelli avanzati. Naturalmente tutti sanno che i sistemi flessibili di produzione sono entità assai diverse, poiché includono molti tipi di macchine, machining, unità di comando, trasportatori, magazzini automatici e mille altre cose. Ma si sa altresì che essi incorporano dosi crescenti di informatica. Si è già parlato dei robot « intelligenti » — componenti nei quali sarà maggiore l'incidenza informatica, terminali che collegano calcolatori piccoli e grandi, posti un po' dappertutto, e microcomputers che, per certi aspetti ed in certi casi, sono più interessanti ed efficaci dei terminali. Inoltre si dispone di sistemi computerizzati che coordinano i diversi aspetti dei processi di produzione, facendo sì che il pezzo in lavorazione pervenga nel momento giusto, all'operatore giusto, alla stazione di lavoro giusta, e così via. Quindi l'integrazione tra operatori e sistemi flessibili di produzione essendo ovviamente diversa rispetto all'interazione tra operatori e sistemi informatici, non è « estremamente » diversa da quella che già oggi si pone in modo molto concreto e preciso, ed è già oggetto di notevole sforzo e ricerche in campo informatico. I risvolti delle risposte tecniche a queste domande sono molto più avanzati, perché se gli esperti operatori cooperano efficacemente con il sistema flessibile di produzione, presumibilmente il sistema ne risulterà più efficiente ed efficace. Nondimeno permangono risvolti umani molto importanti, giacché va riconosciuto come un'interazione, adeguata alle caratteristiche dell'operatore umano, un'interazione con la macchina o con complessi di macchine o con sistemi di macchine, conduca a condizioni meno stressanti, faccia crescere e sviluppi le competenze dell'operatore, permetta di compiere migliori e maggiori esperienze e produca nell'insieme livelli elevati di qualità del lavoro.

Per rispondere adeguatamente alle domande, occorre dunque una estesa ricerca interdisciplinare con ingegneri, informatici, psicologi, sociologi che collaborino su tematiche per loro natura specifiche. Non è detto affatto che si debba, o si possa, dare una risposta affermativa generalizzata, cioè che ai fini di una cooperazione e di una interazione efficace sia davvero necessario per i sistemi flessibili di produzione incorporare forme di ragionamento di tipo umano: è possibile che, in certi casi, ciò non convenga per ragioni tecniche, e/o per ragioni economiche, o magari persino per ragioni umane. In tali casi è preferibile un sistema che risponda rigorosamente a certe esigenze, ad esempio di controllo o di approssimazione ad un obiettivo molto specifico.

La questione resta abbastanza rilevante, perché di essa ci si debba occupare con tutto l'impegno che merita.

Giuseppe PICHETTO

Io non sono persona di scienza, ma persona calata nella realtà concreta di tutti i giorni; per questo non mancherò di sollevare problemi, di contribuire a cercare soluzioni, e di integrare quanto è stato detto. Credo che da questo Convegno possa nascere l'idea di studiare come si configuri l'*ingegnere economista*: non può più permanere la distanza tra gli ingegneri e gli economisti così come tra chi vive nella realtà operativa e chi vive nel mondo della scienza. Quindi io auspico che si affronti questo problema. Il professor Micheletti potrebbe farsi promotore di uno studio in questa direzione: la figura dell'ingegnere economista, i requisiti che si presume debba avere, e come lo si possa preparare.

Dice l'ingegner Sartorio che noi siamo la generazione destinata a subire la crisi, e vede ciò in senso negativo. Vorrei aggiungere che la nostra generazione, pur vivendo il momento forse più drammatico dell'economia di questi ultimi anni, vive però anche un momento molto interessante: quello della presa di coscienza e della responsabilizzazione. È il momento nel quale si parla di futuro. La Confindustria ha organizzato un « *Convegno sul futuro* » che, anche nei suoi aspetti di immagine esteriore, ha detto molto di nuovo. Il direttore della Fondazione Agnelli, dottor Pacini, ha di recente lanciato « *Futurama* » e « *Tecnocity* », tutte iniziative delle quali si parlerà. Questo futuro noi non lo vogliamo subire, pensiamo di poterlo anche determinare e costruire: ecco l'aspetto positivo in questo momento difficile.

Mentre si razionalizzava l'industria, ed avvenivano concentrazioni di processi di modernizzazione ed innovazione legati ai tempi ed alla tecnica, avvenivano anche espulsioni di manodopera; contemporaneamente si verificavano mutamenti internazionali che preannunciavano la crisi: una crisi che si è accavallata alla razionalizzazione e che, in Italia — in Piemonte e in altre zone — ha originato scompensi maggiori di quanto ci aspettassimo. Ci troviamo in un momento che non può essere superato con argomenti congiunturali essendo la crisi di tipo strutturale. Da qui tutta la serie di valutazioni e di interventi che si devono attivare.

Se la grande industria si è razionalizzata con espulsioni di manodopera, la piccola e media industria, forse, non si è ancora razionalizzata a questo punto, e non per mancanza di cultura industriale o di conoscenze scientifiche, ma per l'incidenza del costo del denaro, per la carenza di mezzi finanziari adeguati, per la politica che non stimola e non aiuta gli investimenti. L'autofinanziamento è quasi vietato dalla tassazione; la Pubblica Amministrazione non facilita né accompagna la vita della piccola e media industria.

Tale ritardo di realizzazione della piccola e media industria è da considerare un fatto positivo, o no? Ho letto con stupore che l'economista Franco

Momigliano scrive: «*Gli effetti diretti della distribuzione dei posti di lavoro saranno in ogni paese correlati alla velocità di diffusione delle nuove tecnologie*». Egli pone, dunque, un paradosso, quasi a sperare che la piccola e media industria rallenti la sua razionalizzazione per salvare l'occupazione! Credo che questo non lo pensi neppure Momigliano, poiché sarebbe tragico: la non competitività tecnologica delle piccole e medie imprese le porterebbe alla crisi, al fallimento, alla chiusura. Ho qui ampliato i dati che già l'ingegner Sartorio citava: percentuali di occupati nell'industria, occupati nel terziario, occupati nell'agricoltura. Come in periodi passati si era verificato un allontanamento di addetti dall'agricoltura, così si assiste ora ad un allontanamento di addetti dall'industria. A livello nazionale la media degli occupati nell'industria ammonta al 35%; a Torino salgono al 50%, e nel terziario a 45%: all'agricoltura spetta il 4%! Ora se da questo 50% di occupati nell'industria a Torino si dovesse scendere ai valori della media nazionale del 35% vorrebbe dire scendere di oltre 10 punti percentuali, forse ancora di più, similmente a quanto è avvenuto negli Stati Uniti, ove oggi la percentuale è del 30% e si prevede scenda al 15%. Queste cifre racchiudono la tragedia. In una situazione simile alla nostra nella Germania Federale si registra complessivamente un'occupazione del 43% nell'industria, 51% nel terziario: situazione abbastanza simile a Torino. Paradossalmente si constata come una città molto industrializzata sia sotto questo profilo, più arretrata e certamente con più problemi. La diminuzione di occupati a Torino sarebbe addirittura perniciosa, se seguisse rapidamente il trend di altre nazioni industrializzate: il problema diventerebbe spaventoso.

Alternative, speranze: che cosa fare? È chiaro che si è stretti in una via senza uscita: essere competitivi con le nazioni civili, lavorare a prezzi concorrenziali, produrre bene nonostante un'inflazione a due cifre, e con otto punti di differenza di inflazione in più sui Paesi occidentali.

Come si è investito, in Torino? Si è investito in macchinari, in robot, in beni di questo tipo, cioè si è investito per produrre. Ciò chiaramente ha determinato espulsioni occupazionali, e diminuzioni marcate in nuovi investimenti; spero però, — e vorrei che i tecnici me lo confermassero —, che i mezzi finanziari siano stati indirizzati preferibilmente verso la formazione, l'organizzazione, la migliore gestione delle piccole e medie imprese, degli uffici, dell'esportazione, del modo di acquistare le materie prime. Infatti tutte queste razionalizzazioni non comporterebbero espulsione di manodopera, i prodotti acquisterebbero maggior valore aggiunto, creerebbero una ricchezza indotta maggiore nell'area facendo nascere un terziario industriale e non un terziario ipotetico o pubblico che fugge da Torino (RAI, SIP, MIAD, ecc.).

C'è un altro dato di speranza, dovuto allo studio del movimento della popolazione. Si ritiene che la crisi dell'84 continui fino all'86, ma che nel 1990 — ecco il dato bellissimo — ci dovrebbero essere 36.000 richieste di manodopera non soddisfatte, cioè una eccedenza di 36.000 posti di lavoro nella città di Torino. Mi auguro che sia vero, che gli investigatori del futuro non abbiano sbagliato.

Ritorno all'intervento dell'ingegner Sartorio, che ha «*buttato pietre nello stagno*», riprendendo l'affermazione che gli imprenditori sarebbero culturalmente spiazzati.

È vero: la classe dirigente è inadeguata all'Italia di oggi.

Cosa chiediamo?

Chiediamo che anche gli altri facciano il loro dovere; lo faccigli altri facciano il loro dovere; lo facciano le banche, che dicono di essere efficienti, la Pubblica Amministrazione, le parti sociali, i sindacati, che devono affrontare in modo finalmente moderno questi problemi.

Marcello PACINI

Ringrazio il professor Micheletti, del quale ho accettato volentieri l'invito, anche per riferire della nostra ultima ricerca, già conosciuta con il termine — allusivo — di «*Tecnocity*». Però vorrei prima spendere alcune parole su un punto fondamentale, sollevato sia dall'ingegner Sartorio sia dal signor Pichetto: punto sul quale vale la pena insistere poiché soltanto se si assume — di fronte a questo problema — un atteggiamento consapevole, si possono affrontare in termini più esaustivi e più tranquilli i successivi problemi. È il tema centrale della disoccupazione. Ponendoci nell'ottica di valutare il futuro sulla base di questa premessa, non si può sentirsi estremamente preoccupati. Personalmente, sono abbastanza dubbioso nell'accettare i confronti internazionali nel modo con cui qualche volta vengono esposti. In pratica, il confronto è sempre prospettato con gli Stati Uniti, col «paese lepre», rispetto al quale ci si vuole misurare.

Negli USA c'è una tendenza a diminuire l'incidenza occupazionale nell'industria. Che tale tendenza, con andamento eguale, debba necessariamente verificarsi anche in Italia, non è altrettanto certo. Quanti anni saranno necessari per arrivare a quel tipo di situazione? Alcune recenti indagini in Italia presentano prospettive più tranquille. Certamente si profila una diminuzione dell'occupazione, ma il problema italiano si presenta con due caratteristiche sulle quali vorrei richiamare l'attenzione.

Prima caratteristica: l'esistenza del famoso problema della generazione eccedente, nata nel periodo del *baby-boom*, fra il '56 ed il '74, in cui sono nati 1.700.000 bambini in più del trend storico. Questa generazione è cresciuta. Le prime leve si sono presentate sul mercato del lavoro con una eccedenza

numerica che dà luogo alla attuale disoccupazione giovanile. Se non verranno adottati provvedimenti per riassorbirla, gli individui di questa generazione eccedente invecchieranno, e permarranno eccedenti, come a vent'anni, anche a quaranta, sessanta ed oltre.

Seconda caratteristica: la profonda differenza nelle varie regioni in rapporto a questo problema. L'articolazione regionale italiana è tale da presentare valori molto diversi dell'andamento demografico, che influisce sull'andamento del mercato del lavoro. Esistono, ai due estremi, il Piemonte e, al lato opposto, la Calabria. Nel 1990 è prefigurata per Torino una richiesta di lavoratori pari a 36.000 unità a causa dell'andamento demografico.

La Fondazione Agnelli ha elaborato scenari di questo tipo; effettivamente la situazione potrà verificarsi. Altri scenari attengono alle previsioni industriali, all'andamento del reddito, del prodotto nazionale lordo, del prodotto regionale. Sono scenari che aiutano a capire quando vi sarà il punto di incontro per pareggiare la domanda e l'offerta di lavoro, e quando si dovranno ricreare condizioni di scomparsa della disoccupazione. Effettivamente il Piemonte si presenta come una regione favorita, nel senso che, pur fronteggiando problemi gravi diversi, questi sono certamente molto meno gravi di quelli ad esempio delle regioni tirreniche nell'Italia Meridionale e, in particolare, della Calabria e della Campania. La regione Piemonte presenta un andamento industriale molto industrializzato, ed un andamento demografico molto maturo, con caratteristiche peculiari rispetto alle altre regioni. L'articolazione regionale, la generazione eccedente, l'espulsione dalle fabbriche a causa dell'introduzione delle nuove tecnologie, mostrano una situazione molto sfaccettata. In realtà, ciò che occorre fare è oltrepassare la politica delle pianificazioni rigide ed appropriarsi dell'aggettivo che contrassegna il titolo di questo convegno: l'aggettivo «flessibile». Non è soltanto la fabbrica che diventerà flessibile, ma tutta la società.

Data la complessità di fenomeni, così poliedrici da regione a regione, occorre prospettare un tipo di società in cui non si assumano più criteri generali validi per ogni situazione (ad esempio un orario unico obbligatorio per tutti, e normative comuni) ma si riesca ad introdurre un parametro flessibile, con l'accettazione, ad esempio del part-time (di un monte ore annuali da cui ciascuno può attingere in piena libertà), con l'introduzione del pensionamento flessibile (novità che in Italia è diventata reale, purtroppo, in un momento negativo, di crisi, ma che è da considerarsi come un progresso rispetto al pensionamento obbligatorio a date definite ed inflessibile per tutti).

La «società flessibile» promuove un adattamento maggiore. Al di là delle cifre, sulle quali si può polemizzare, resta il compito di inventarci un tipo di società e di relazioni più adatti ai problemi, paralleli

con la maggiore flessibilità complessiva di tutto il sistema. Il «costo della flessibilità» è soltanto uno degli aspetti della risposta alla transizione.

Altra incombenza è riuscire a guidare con maggiore fermezza, con maggiore coerenza, e trovando strumenti giusti, il progresso tecnologico, che ha colto di sorpresa un po' tutti, ma non gli addetti ai lavori. Ha colto di sorpresa l'opinione pubblica, e, con essa, la cosiddetta classe dirigente. Pochi anni or sono si mostrava non solo indifferenza, ma una certa repulsione, un senso di ostilità nei confronti della tecnologia. Non c'erano certo riforme luddistiche, ma certamente un atteggiamento di netto rifiuto in molte parti dell'opinione pubblica e della classe dirigente. Però la forza delle cose, i mezzi di comunicazione che giocano in questo senso un ruolo molto positivo, hanno provocato le diverse modificazioni. I casi di Genova sono tanti ed hanno insegnato all'opinione pubblica italiana molto più di tantissimi libri che possono essere stati scritti sul progresso tecnologico. Ci siamo trovati di fronte, improvvisamente, a città gloriose che si dimostravano consunte, svuotate per mancanza di cultura, incapaci di avanzare al passo con la tecnologia. Ora si va passando, quanto meno, dall'ostilità preconcepita ad una forma di accettazione. Ciò che manca, è un passaggio ulteriore: cioè, non l'accettazione puramente generica e di mera forma, ma accettazione consapevole di ciò che impone la tecnologia per poter fruire di tutte le opportunità che essa offre. La classe dirigente, a livello nazionale e regionale, come già ha saputo in altre epoche, deve assecondare il processo con strumenti adeguati per cogliere il bene che la tecnologia sa allestire.

L'opportunità, identificata in una ricerca recentemente conclusa e proprio centrata su Torino, è identificabile nella utilizzazione, a livello prioritario, delle cosiddette *aree forti*: grandi aree internazionali divenute famose, ormai oggetto anche di quiz televisivi (dalla Silicon Valley Californiana a quelle presso Tokyo, per citare soltanto le più note). Queste sono le strutture territoriali che hanno saputo dotarsi di certe «condizioni sinergiche» col risultato che una lira investita in queste aree rende molto di più che in altre aree, quale conseguenza di effetti cumulativi, dovuti all'esistenza di Politecnici, di Centri di ricerca, di ricercatori, di fantasia e creatività, generatrici delle nuove tecnologie e dell'innovazione.

In Italia, la Fondazione Agnelli ha cercato di individuare aree potenzialmente consimili, assumendo quali indicatori le spese di ricerca e sviluppo private, o — per meglio dire — industriali. Effettivamente circa il 28%, ora salito al 29,4%, spetta al Piemonte, il 40% alla Lombardia; il rimanente 31% è sparso per tutto il resto d'Italia.

È da rilevare che, quando si parla di Piemonte, si parla di un'area fra Torino e Ivrea o, più estensivamente, comprensiva anche di Novara per alcuni

aspetti tecnologici. Con un passo ulteriore, al di là di quello che era il dato aggregato di spesa di ricerca, si sono individuate fisicamente le comunità di ricercatori, e si è rilevato che esistono 14.000 addetti tra Torino e Ivrea, o 18.000 nel triangolo Torino-Ivrea-Novara. Dunque Torino si trova in condizioni certamente più favorevoli rispetto ad altre situazioni italiane.

Per poter restare «agganciati» all'avanzata tecnologica e fare, quindi, qualcosa di interesse nazionale, bisogna valorizzare queste realtà esistenti, facendo in modo che da realtà formatesi per forza propria, e da opportunità di investimento puramente casuali, si converga a decisioni di azione politica. Ciò significa azione di ricerca e politica di sviluppo economico con il sistema di sinergie maggiori fra Industria, Università e Politecnico. Occorrono particolari strutture, muovendo dalla disponibilità di capitale di rischio verso economie esterne di nuovo tipo; verso l'ampio ricorso alle telecomunicazioni, verso moderne forme d'uso di laboratori, che permettano di abbattere la prima soglia dell'investimento-ricerca. È un complesso di provvedimenti e di politiche attive, che possono innescare forme moltiplicatrici di sviluppo.

Di fronte al progresso tecnologico, l'odierno atteggiamento cauto diviene atteggiamento di fiducia. La tecnologia non porta necessariamente tristezza; ove sia oculatamente e massicciamente gestita, porta alla liberazione dell'uomo dalla fatica, e quindi ad una società sostanzialmente migliore, a condizione che si sappiano trovare formule di intervento che ho cercato di riassumere: da una parte, una società maggiormente flessibile, dall'altra, una forma attiva di potenziamento delle aree forti, per le quali, in Italia, quella di Torino è certamente la più importante.

Michele VITARI

Agganciandoci un attimo a quanto detto in precedenza, è stato tracciato un quadro sociale che sembra oscillare oggi fra il pessimismo più buio e il turbamento delle coscienze. Vorrei per un minuto abbassare questa componente di pathos che aleggia nell'aula, e riferire un'esperienza occorsa di recente.

Al ministero per la Ricerca Scientifica e Tecnologica si è insediato il Comitato Italiano della partecipazione al programma comunitario *ESPRIT*, in forza del quale la Comunità Europea ha posto a disposizione 750 ML di unità di conto per programmi di ricerca nel campo delle tecnologie dell'informazione, erogabili attraverso contratti, a spese ripartite (nel senso che, per ogni lira che mette la comunità, una lira dovrà essere messa dal contraente fra i dieci Paesi della CEE). Condizione essenziale per accedere a questo finanziamento è che il programma presentato sia congiunto fra almeno due Entità della

Comunità stessa. Le Entità possono essere: Università, Laboratori pubblici, privati, misti, ecc. Si è potuto constatare che sono state complessivamente presentate alla Comunità 444 richieste di intervento; orbene, la partecipazione italiana è presente in 280 di queste 444.

È un dato dal quale si traggono motivi di compiacimento, sembrando che finalmente la struttura di ricerca italiana sia riuscita ad agganciare il treno della Comunità. Si è poi — però — scoperto un ruolo strano: quello per così dire, *dell'accompagnatore tecnologico*. Pare che in questo ruolo di accompagnatori tecnologici si stiano specializzando l'Italia, l'Irlanda e la Grecia. Siccome infatti i programmi devono essere presentati congiuntamente da due imprese di due Paesi diversi, accanto a programmi validissimi presentati dall'Italia, è sorta una pleiade di programmini o di pseudo-programmi, che servono soltanto a giustificare la presentazione da parte di un grosso programma (tedesco o olandese o francese) il quale viene ad assumere una forma consortile per la circostanza che anche solo lo 0,5% sia Greco o Irlandese, o Italiano. In questa maniera, attraverso una partecipazione fittizia, si favoriscono programmi di altri Stati che, ove fossero stati presentati da soli, non sarebbero stati accettati dalla Comunità Europea. Sui vantaggi reali e concretamente acquisibili, risponderà l'avvenire, caso per caso.

Si è parlato di esigenza di innovazione per l'Italia, Paese con economia di trasformazione quasi pura, che deve acquistare materie prime, trasformarle e venderle. Su questo tipo di trasformazione, o si innova o si sparisce. Si è quindi *condannati a innovare* per restare sul mercato. Se non innoviamo noi, innovano gli altri: i giapponesi, gli americani, i partners euro-occidentali, per cui, volendo mantenerci a livelli occupazionali morbidi (che consentano riduzione di costi di mano d'opera diluiti nel tempo) attraverseremmo pericoli anche maggiori. L'Italia è «condannata all'innovazione», non tanto per conquistare posizioni aggiuntive, quanto per mantenere la posizione che ha.

Nel commercio mondiale la nostra penisola ha una posizione di tutto rispetto. Assumendo il saldo commerciale dei manufatti, al netto dei movimenti di materie prime, per oltre un decennio si trova che l'Italia è al terzo posto nel mondo, costantemente. L'importazione e l'esportazione di *prodotti finiti*, presentano un saldo sempre positivo. Siamo al terzo posto, dopo il Giappone e la Germania Federale. È un indice significativo della capacità di tenuta del nostro sistema. È nella trasformazione dei prodotti finiti, evidentemente, che si misura il grado di competitività di un paese, quindi — indirettamente — il grado di innovazione: una posizione di tutto rispetto, desunta dall'OCSE, i cui dati purtroppo sono fermi al 1981 (le statistiche OCSE vengono fornite con molto ritardo; sarebbe interessante sapere che cosa è successo nell'82/83). Il distacco rispetto al quarto

paese, era comunque tale da presumere che siamo tuttora al terzo posto. Ecco le cifre: nel 1981 il saldo commerciale in manufatti, espresso in miliardi di dollari, era 118 per il Giappone, 60 per la Germania Federale, 19 per l'Italia; al quarto posto la Francia, con 9.

Che cosa esporta l'Italia? Analizzando il mix tecnologico delle esportazioni italiane in questo decennio si rileva che, mentre tutti i principali concorrenti si stanno specializzando verso *prodotti avanzati*, l'Italia si sta specializzando verso prodotti *maturi*. Questo dato, preso così, colpisce, quasi come un indice di condanna. Fatto pari a 100 il mix tecnologico dei singoli Stati, l'Italia ha mantenuto la stessa posizione per quanto riguarda i prodotti avanzati fra il 1970 e l'80 (l'11%); mentre i prodotti intermedi fra il '70 e l'80 sono passati dal 50% al 44% e i prodotti maturi dal 38% al 44%, cioè i prodotti maturi hanno riempito nel decennio, quella parte che è stata abbandonata dai prodotti intermedi.

Che cosa intende l'OCSE per prodotti «*avanzati*», «*intermedi*» e «*maturi*»?

Prodotti avanzati sono: aerei, calcolatori, chimica fine, farmaceutica, strumentazione scientifica, telecomunicazioni. *Prodotti intermedi sono:* macchine per ufficio, gomma, fertilizzanti, derivati dal petrolio, mezzi di trasporto. *Prodotti maturi sono:* pelli, cuoio, calzature, abbigliamento, arredamento, mobilio, carta, siderurgia, ecc.

In tutti gli altri Paesi, nessuno escluso, lo spostamento sta avvenendo da prodotti maturi a prodotti avanzati: quella del nostro Paese è una posizione di estrema debolezza. Nei prodotti maturi figurano però tipologie, quali calzature, pelli, tessili, abbigliamento, arredamento, in cui l'Italia detiene posizioni di leader mondiale; produzioni che hanno un valore aggiunto non propriamente tecnologico, ma valore aggiunto creativo di design, di stile, di moda. Nondimeno sono tipologie statisticamente classificate come produzioni mature. Un'interpretazione corretta dovrebbe depurare, da queste statistiche, produzioni che, anche se tecnologicamente mature, assumono un valore aggiunto qualitativo, e non possono essere mischiate alle produzioni di massa.

È emblematico, a tale proposito, il ruolo che ha avuto in Italia l'industria tessile, struttura portante fino a qualche decennio fa, e data per spacciata tante volte. L'industria tessile è rimasta viva e vitale per le trasformazioni di processo che ha introdotto. Le statistiche (per essere centrate non sul processo ma sul prodotto), sottostimano e penalizzano la tecnologia, volendo censire il contenuto tecnologico di processo produttivo avanzato andrebbero quindi viste con una chiave di lettura appropriata.

Quali sono gli strumenti finanziari di incentivazione dell'innovazione tecnologica? Vorrei iniziare a parlare sotto un aspetto che un po' si discosta da quelli usuali: l'aspetto dei difetti. La legislazione italiana nel tempo si è andata appesantendo, soprat-

tutto la legislazione di carattere economico sociale: è sembrata esigenza ineluttabile duplicare e triplicare i controlli, segmentare i ruoli e le responsabilità, non armonizzarli con la Comunità Europea, politicizzare al massimo (nel senso che, durante i vari passaggi di interventi, c'è uno strumento di controllo politico. E controllo politico significa ritardo, condizionamenti di varia natura, subordinazione di interessi che quasi mai coincidono con quelli delle imprese. È il caso della Legge 46 emanata nell'82, che presenta però tutti i difetti menzionati).

Come esempio di legiferazione nuova, vale invece il riferimento alla Legge 696/83 sul contributo per l'acquisto di macchine operatrici; il suo testo è stato concordato *previamente* con la Comunità Europea, per cui la CEE non ha più fatto obiezioni una volta che la legge è stata pubblicata sulla «Gazzetta Ufficiale» italiana. La CEE ha suggerito preventivamente certi aggiustamenti, puntualmente introdotti nella decretazione successiva. La Legge 696/83 individua un polo unico di responsabilità al quale si deve far capo, sia per l'invio delle domande, sia per l'istruttoria, sia per l'erogazione dei contributi.

Il polo unico funziona da sportello quale Ente di istruttoria e di erogazione. Questa recentissima legge è riuscita già a «smaltire» un migliaio di progetti nel volgere di qualche mese; laddove la Legge 46/82 si è andata ad invischiare in una griglia garantista che, tanto per citare qualche esempio, prevede — per quanto riguarda la gestione del Fondo Ricerca Applicata — un comitato tecnico scientifico di pre-selezione, convocato su indicazione di un organo politico (il Ministero della ricerca scientifica), discontinuo e incerto nelle date di riunione. Altro aspetto negativo è infatti da ravvisare nella segmentazione delle competenze, allorché sono diversi l'Ente che istruisce (es., l'IMI per il Fondo Ricerca Applicata), il Comitato che verifica, i Ministeri coinvolti nelle delibere.

La Legge 46/82 prevede, oltre il Fondo Ricerca Applicata, «il Fondo Innovazione Tecnologica» caratterizzato da una ripetizione dell'esame: il Ministero dell'Industria istruisce i progetti, che sono poi inoltrati al CIPI per un riesame (cinque o sei mesi, perché il CIPI è un organismo politico, e si riunisce con frequenze politiche e non tecniche). Riassumendo: la Legge 696/83 serve per l'acquisto di macchine operatrici; la Legge 46/82 evidenzia, fra le priorità, l'automazione industriale. Le due Leggi funzionano con velocità diverse per il semplice fatto che sono state «concepite» in maniera diversa.

Sembra che il Parlamento sia ora riuscito a prendere coscienza della necessità di operare secondo certe modalità per assicurare una configurazione ottimale.

Io sono un giornalista; cercherò quindi di parlare per immagini, in modo che i concetti emergano con maggiore incisività.

Si è qui presentata sia una faccia distruttiva del progresso tecnologico, sia una faccia creativa, per gran parte inesplorata. Non sappiamo veramente ancora dove ci porterà quest'ondata tecnologica, frutto della logica informatica e del microprocessore; non sappiamo ancora quali nuovi prodotti e quali nuovi mercati si apriranno.

Un esempio: un ricercatore americano, Alan Key, che ha lavorato nel Laboratorio XEROS di Palo Alto, passa per essere il padre dei nuovi personal computers. Sono calcolatori i quali adottano un tipo di software di comunicazione non più basato sul classico linguaggio di programmazione (frasi scritte di programma) ma *immagini*. Nel caso si voglia utilizzare un programma che cancella, c'è l'immagine di un bidone della spazzatura; nel caso si voglia utilizzare un programma che apre un documento, si preme su una immagine di un documento. Queste possono sembrare cose frivole, in realtà contrassegnano un tipo di ricerca di informatica dal quale trae stimolo lo sviluppo dei personal computers.

È un nuovo fronte di interazione tra uomo e macchina. Si cerca di scoprire nuove estensioni dell'intelletto umano: estensioni naturali, estensioni semplici per cui si possa dialogare agevolmente. Da questo filone di ricerca scientifico-psicologico-commerciale nessuno sa prevedere che cosa deriverà in termine di prodotti futuri. Come sarà la macchina intelligente di domani, incorporante una intelligenza artificiale? Potrebbe, appunto, essere una macchina estremamente gradevole e di facile uso. Alan Key, la persona che ha scoperto questi linguaggi, è un musicista, ed ha sviluppato l'argomento, trasferendolo da una ricerca musicale.

Nel 1983, soltanto in Italia, sono stati venduti quasi 200.000 personal computers, con una crescita sull'anno precedente del 600% (dati USMAU). C'è tutta un'ondata di prodotti nuovi, che può essere incrementata solo tramite una ricerca di tipo interdisciplinare: e non soltanto interdisciplinarietà classica fra le discipline scientifiche, ma estesa ai campi dell'arte e della creazione fantastica, proprio perché problemi di comunicazione tra uomo e macchina riguardano anche l'intuizione, la fantasia, una capacità non-logica in senso stretto.

Giustamente il dottor Pacini si rifaceva all'esempio estero, nell'osservare che oggi la Regione Piemonte è una delle meglio posizionate, per una diffusione interindustriale, con nascita di nuove imprese.

Intorno all'Olivetti, ad Ivrea, ha iniziato a mettersi in moto un circuito di piccole aziende di subfornitura, che sbocciano proprio sull'onda dell'unica azienda europea, la quale produce personal compu-

ters. Ecco un nuovo esempio di «occupazione indotta netta». Quando un prodotto a tecnologia avanzata sostituisce un processo produttivo convenzionale e crea nuovi posti o rimpiazza lavoratori — sostanzialmente — si ha il fenomeno dell'occupazione netta, che può essere positivo o negativo. Ma quando c'è un prodotto di consumo radicalmente nuovo, su questo si innesta un meccanismo di crescita; l'occupazione è di tipo aggiuntivo; crea un nuovo bisogno e quindi un nuovo mercato. Qui insorge l'interesse per intravedere misure e vie da tentare, per far avanzare la frontiera tecnologica e per controllare se e quanto la fase tecnologica sia a somma negativa (e non ne sono convinto) ovvero positiva (come credo).

L'impostazione tradizionale è il fatto limitante. Il problema è piuttosto da incentrare su un altro evento: la capacità di produrre, nei prossimi dieci anni, il *capitale umano*, ossia la formazione che a tutti i livelli di ricerca avanzata e di aziende, sarà necessario. Questo è il vero punto interrogativo. Chi pagherà i grossissimi investimenti di cui bisognerà disporre nei prossimi anni? La ricerca condotta dalla Fondazione Agnelli, per un incontro con la Fondazione nipponica Honda, nel tracciare lo scenario ha prospettato due alternative: da un lato l'ipotesi in base alla quale nei prossimi dieci anni non si prevede se non uno sforzo di formazione esteso a tutto il sistema industriale; dall'altro, l'individuazione del dove e del come lo sforzo va concentrato. Nel primo caso, non si ha trasformazione industriale ma un semplice aggiustamento interno delle aziende; nel secondo caso, si prospetta una crescita occupazionale concomitante al settore che «produce formazione».

Si è di fronte a variabili: ma è attendibile che, mentre si cadrà al 10% a livello di forza-lavoro nel lungo periodo, è anche vero che si raddoppierà o triplicherà l'investimento in capitale umano addetto.

La domanda è questa: chi dovrà affrontare questa fase? E come? Chi farà questo grande investimento? Qui è il punto, qui il dubbio che aziende piccole e medie, quali sono quelle italiane, non possano o non sappiano come sopportare il livello prevedibile di investimenti.

Roberto GABETTI

Mi giustifico, come «incompetente». Gli architetti sono incompetenti dei grossi problemi dell'industria, ma sono spesso invitati ad occuparsi di problemi produttivi, in «situazioni di frangia», e ad utilizzare queste frangie per qualche scopo preciso. Quando il nostro Presidente, G. F. Micheletti, aveva dettato la frase «Produzioni integrate e flessibili» mi sono lasciato sedurre, in modo del tutto irresponsabile, ad intervenire a questa Tavola Rotonda, avendo in mente questi due termini, molto usati da noi

architetti, nel nostro settore professionale. L'aggettivo «integrato» richiama infatti un modo di produrre gli edifici, utilizzando al massimo le competenze convergenti. L'aggettivo «flessibile» riguarda invece i caratteri che gli edifici devono possedere per un diverso uso nel ciclo diurno-settimanale-annuale e ancora nel tempo futuro della loro eventuale modificabilità. Mentre «l'integrazione» tende a risolvere problemi di complessificazione, mantenendone tuttavia ancora le strutture così aderenti alle attività insediate da determinare una certa rigidità negli edifici — che vengono a funzionare un po' come orologi meccanici — la «flessibilità» suggerisce viceversa l'idea di guscio fragile e che tutto può contenere. Sono nate negli anni '60, sull'argine della «flessibilità», anche città provvisorie, città che possono esistere e non esistere attraverso pochi movimenti di scena.

La «querelle» attorno a questo tavolo, su ottimismo e su pessimismo davanti al progresso tecnologico, è secondo me antica. Percorrendo la storia dall'800, la vedo riprodotta tra i *romantici*, indubbiamente legati agli impatti — sull'umanità minuta — delle modificazioni che si andavano introducendo nella vita quotidiana, attraverso le innovazioni dell'industria, e quindi portati a richiamare un medio evo, con soluzioni autentiche — definitive per i grossi problemi della società — ed i *classicisti*, legati più a concetti astratti, a forme di razionalità, che ribaltando le cose tanto indietro nel tempo, in una antichità classica evocata e luccicante, la portavano a diventare «presente» e quindi anche «futuro».

La posizione classicista ha avuto per l'architettura — attraverso l'Ecole Polytechnique e ancora fino almeno agli anni '30 del Novecento — uno sfoggio culturale mirabile: divenendo componente specifica della cultura architettonica europea. Il razionalismo architettonico europeo ha molto vantato l'idea di flessibilità (attuando però edifici solitamente non flessibili!) e ha molto vantato l'idea di integrazione delle varie componenti nel prodotto (di nuovo arrivando a strutture edilizie estremamente rigide!). Napoleone non si era posto questi problemi. Si era trovato la Francia coperta da un'organizzazione di «conventi», che erano stati costruiti con criteri di modularità analitica di base, e di ripetitività nei tipi: strutture contenenti in sé un'enorme flessibilità di trasformazione.

Oggi, come stanno le cose? Questa bella integrazione di competenze, presiedute dall'Architetto come «leader», pare assurda proposta per correggere solo formalmente i limiti di competenza degli architetti. Gli architetti si erano collocati al vertice di piramidi progettuali: proposta priva di effetto, naturalmente. Il punto di convergenza non è certamente l'architetto «leader». Esistono società complesse di progettazione, che progettano industrie come altre cose, e che dovrebbero possedere enormi capacità ed esprimere flessibilità non solo funzio-

nali, ma culturali, essendo i mutamenti culturali più veloci di alcuni mutamenti tecnologici: quindi il discorso architettonico deve assumere spazio e dignità.

La prospettiva può suggerire l'ipotesi di architetti che si affiancano come «staff» nel quadro dell'organizzazione, per riportare l'immagine dell'industria nell'attività di una «linea» di uffici progettuali interni, e gli uffici progettuali interni nell'immagine di una «staff» autentica ed aggiornata interprete dei temi industriali.

Il lavoro di routine accumula un grande sapere e consente una gestione corretta di tutto il patrimonio edilizio: è il padrone di casa che interviene saggiamente sull'edificio, e che si rivolge a consulenze esterne, quando lo richiedono condizioni di competenza specifiche, aggiornatissime. Si ha così un raccordo fra la filosofia e la tecnologia: una filosofia non fabulata, ed una tecnologia non schemizzata in assurdi assetti.

La situazione che si poneva al principio del '900 può ribaltarsi oggi. Il termine «arte» era invece al principio dell'800 assai equivoco: *Facultés des arts* erano le facoltà umanistiche; e così l'arte poteva anche voler dire artigianato. Succesero poi infinite cose, sulle quali manca il tempo per sostare. Però, oggi, ritenere che in una galleria d'arte le manifestazioni della tecnologia siano assenti, vorrebbe dire di non aver visto una galleria d'arte contemporanea; ed asserire che l'architettura non sia arte, e non debba essere arte per essere più tecnologica, vuol dire non capire nulla dell'oggi. Ecco quindi l'impulso che proviene dalle strutture medie della nostra professione, verso una responsabilizzazione dei tecnici in una direzione nuovissima (e anche — a mio avviso — antica).

Sostenere che esistano due culture, nonché l'opposizione tra due culture, è soltanto più l'ultima opposizione dogmatica negli anni '60, che divideva situazioni che apparivano inconciliabili.

Un edificio totalmente brutto all'osservazione, squallidamente eseguito, non può oggi suscitare nessun tipo di interesse presso la collettività e non si pone in alternativa a nulla. Non credo che l'elogio dello squallore possa oggi essere sostenuto, e che le tecnologie debbano provocare solo esiti dannosi sul paesaggio. Costruire non è necessariamente la rovina della città come delle campagne. C'è una chiara prospettiva culturale di distruzione del contesto della terra attraverso opere che dovrebbero essere opere di pura scienza e di pura tecnica (come se la scienza e la tecnica fossero assolutamente assenti da qualsiasi interesse di arte). Occorre ricostruire i legami fra architettura e ingegneria, chiudere l'enorme frana che c'è stata fra architettura ed ingegneria e ancora fra architettura e opinione pubblica: anche così sarà salvo il paesaggio, saranno cioè salvi i luoghi di vita degli uomini, rispetto alla distruzione prodotta da errori economici e culturali.

È il momento della sintesi, che vorrei articolare in una successione di punti, emersi dagli interventi:

- «*occorre un'altra cultura aziendale*», il che significa aprire orizzonti molto impegnativi dalla scuola media alla formazione universitaria e postuniversitaria, all'aggiornamento sistematico delle competenze, per evitare l'effetto negativo derivante da esitazioni e carenze decisionali nei momenti critici di scelta delle soluzioni;
- «*credibilità dei sistemi preposti per la gestione delle macchine*»: concetto che appare fantascientifico, ma che dovrà contrassegnare l'intelligenza artificiale, a séguito d'una confluenza interdisciplinare che accolga, fra le componenti tecnologiche, anche quelle psicologiche, e principi ancora da esplorare nell'interazione uomo-macchina;
- «*la nostra generazione parla del futuro*», quale generazione cui preme conoscere quello che accadrà domani, ed è impegnata in un ruolo di attività costruttiva, che saprà fare — di questo periodo — una fase di transizione piuttosto che di crisi, a conferma di una continuità industriale, incernierata su una non cessata vitalità;
- «*le due flessibilità*, rispettivamente dell'automazione e della società, devono procedere di pari passo», ciascuna fruendo di una propria capacità di maturazione, seppure con un ritmo accelerato, che alcune aree industriali forti già hanno saputo imprimere a se stesse;
- «*è importante operare una distinzione fra prodotti maturi, e processi produttivi avanzati*», posti in essere per realizzare quei prodotti, che consentono all'Italia di occupare il terzo posto nella scala mondiale dei saldi commerciali; ed è

importante estendere le occasioni, previste da Leggi apposite italiane e comunitarie per sostenere, con una politica di crediti agevolati ed erogazioni in conto capitali, gli investimenti, incentrati sulla innovazione tecnologica, tanto di prodotto, quanto di processo;

- «*le nuove tecnologie si presentano con due facce*»: una, temibile e temuta, distruttiva; l'altra, nella quale più si deve confidare, creatrice di nuove soluzioni, nuove prospettive, e posti di lavoro; nuove modalità di sinergia, interazioni, analogie fra l'intelligenza umana e intelligenza artificiale;
- «*l'integrazione e la flessibilità appaiono, allo stato attuale, i due aspetti vincenti*», sotto il profilo dell'avanzata tecnologica; del fattore umano con le sue doti di versatilità; dell'adattabilità sociale attuata senza drammatici sovvertimenti, della continuità che correla l'antico con il nuovo, il passato con l'avvenire.

La sensazione, ricavata da riflessioni di personalità così qualificate nei vari campi, che hanno privilegiato con i loro interventi questa Tavola Rotonda, sembra di gran lunga e prevalentemente positiva, pur non sottovalutando zone ancora in ombra e possibili insidie, derivanti da una non appropriata od incerta gestione dei fenomeni. L'investimento più urgente, più impegnativo, più complesso, più da articolare in molte direzioni e su molti livelli, è concordemente indicato nella formazione: di manager, di ricercatori, di tecnologi, di studiosi, degli stessi « formatori ».

Non resta che far propri gli auspici qui emersi, e dedicare responsabilmente capacità, risorse, energia, per riuscire a dominare il complesso degli eventi, riconducendoli — dal loro casuale ed accelerante insorgere — ad un sistema governabile con intelligenza e determinazione.

La Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino accoglie nella « Rassegna Tecnica », in relazione ai suoi fini culturali istituzionali, articoli di Soci ed anche non Soci, invitati. La pubblicazione, implica e sollecita l'apertura di una discussione, per iscritto o in apposite riunioni di Società. Le opinioni ed i giudizi impegnano esclusivamente gli Autori e non la Società.

Direttore responsabile: **GIAN FEDERICO MICHELETTI**

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

Spedizione in abbonamento postale GR III/70 - Mensile

STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE - CORSO SIRACUSA, 37 - TORINO

Una grande banca è sempre con voi



anche a Natale con Prontabanca 24 ore su 24 7 giorni su 7

Fare gli acquisti durante i giorni che precedono il Natale... un acquisto imprevisto... si può finire il denaro... magari alle 18,00 con le Banche chiuse... un vero problema...

Non con Prontabanca C.R.T.

Vieni alla tua agenzia C.R.T. per richiedere gratuitamente la tua tessera di prelievo PRONTABANCA-BANCOMAT e l'elenco delle centinaia di sportelli automatici operanti 24 ore su 24 tutti i giorni dell'anno in tutta Italia.

è un servizio della



CASSA DI RISPARMIO DI TORINO
LA BANCA CHE CRESCE PER VOI.



copri con
Onduline®

scopri che risparmi

Onduline® S.T.

sottocoppo

«intelligenza soprattutto»

**ONDULINE,
LA COPERTURA PIÙ ECONOMICA:**

- conveniente all'acquisto
- semplice ed economica da installare
- massima sicurezza
- lunga durata
- resistente alle più avverse condizioni atmosferiche
- nessun problema di manutenzione.

**ONDULINE ST,
LA LASTRA DAI SETTE VANTAGGI:**

- risparmio di tempo del 50% nella posa dei coppi
- allineamento perfetto dei coppi
- stabilità totale dei coppi
- impermeabilità assoluta con ogni pendenza
- manutenzione eliminata per sempre
- isolamento termico superiore
- transitabilità del tetto senza rotture.

**IN VENDITA
NEI PRINCIPALI
MAGAZZINI
E NEI C.A.P.**

Onduline ITALIA SPA

55011 ALTOPASCIO (LUCCA) Via Sibolla - Tel. (0583) 25611/2/3/4/5 r.a. - Telex 500228 ITOFIC I