

**PROGETTAZIONE CONCORRENTE DEL PRODOTTO E DEL PROCESSO:  
DAL DESIGN FOR ASSEMBLY AND MANUFACTURE ALLA PIANIFICAZIONE  
DI DETTAGLIO DEL PROCESSO PRODUTTIVO**

**CONCURRENT DESIGN OF PRODUCT AND PROCESS:  
FROM DESIGN FOR ASSEMBLY AND MANUFACTURE TO DETAILED  
PROCESS PLANNING**

**P.F. Bariani, G. Berti, L. D'Angelo, L. De Chiffre, A. Lovato, G.F. Suman e M. Vianello.**

Dipartimento di Innovazione Meccanica e Gestionale - Università di Padova - Via Venezia 1,  
I-35131 Padova

**Sommario**

L'articolo é occasione di presentazione di un'attività integrata di ricerca e formazione svolta presso la sede di Padova nell'area della progettazione concorrente di prodotto e di processo (CE). Tale attività é condotta nell'ambito di programmi di cooperazione nazionali ed internazionali.

Con riferimento ad un caso industriale vengono illustrate le applicazioni di strumenti di CE sia acquisiti che sviluppati dagli autori.

**Parole chiave:** *Progettazione concorrente, Progetto del prodotto per la fabbricazione, Forgiatura.*

**Abstract**

This paper presents an integrated research and education programme in the area of concurrent design of product and process. This programme is carried out at the University of Padova in the framework of national and international cooperation.

The applications of CE tools, acquired and developed, are here presented using a common industrial case.

**Key words:** *Concurrent Engineering, Design for Manufacture & Assembly, Forging.*

**Introduzione**

L'articolo presenta un'attività integrata di ricerca e formazione svolta presso l'Università di Padova nell'area della progettazione concorrente di prodotto e di processo nell'ambito di collaborazioni nazionali ed internazionali. La prima parte dell'articolo presenta, seppure in modo sintetico, i progetti di ricerca e formazione in atto. Sono messi in particolare evidenza gli aspetti di complementarietà, sia negli obiettivi che nelle metodologie. Nella seconda parte del lavoro sono illustrate, con riferimento ad un caso industriale, le applicazioni di strumenti *Computer Assisted* nella progettazione concorrente del prodotto e del processo. Tali strumenti, in parte acquisiti ed in parte sviluppati dal gruppo di ricerca, consentono un buon "grado di ricoprimento" delle diverse fasi di sviluppo del prodotto e costituiscono, anche per questo motivo, un'ottima base di continuità e di integrazione della didattica e della ricerca.

**I progetti di ricerca e formazione**

Vengono elencati nel seguito i progetti di ricerca e formazione dell'area disciplinare Tecnologia Meccanica e Sistemi di Produzione ai quali partecipa il Dipartimento di Innovazione Meccanica e Gestionale. Nell'ambito di tali progetti gli autori collaborano, con diverse responsabilità e compiti, con

centri di ricerca ed industrie nazionali ed estere. Per ciascun progetto si evidenziano gli obiettivi e le metodologie che più caratterizzano l'attività del gruppo.

- Progetto Brite: Integrated CAD/CAE System for Application in Cold Extrusion

L'obiettivo principale è il progetto, lo sviluppo e la validazione in ambiente industriale di moduli CAE e CAPP per la pianificazione del processo di stampaggio massivo a freddo, con particolare riferimento alle attività di pianificazione ed analisi delle sequenze di stampaggio, di scelta e *Timing* delle macchine multistazione a trasferta.

Metodi e strumenti utilizzati: G.T., A.I. e linguaggi di sviluppo in ambiente CAD/CAE.

- Progetto Eureka "Effort": Integrated Environment for Precise and Net-Shape Forming Technology

Compito principale del gruppo di Padova è la messa a punto e successiva applicazione di una serie di strumenti innovativi per la simulazione numerica e sperimentale del processo di stampaggio di precisione e per la caratterizzazione meccanica e tecnologica dei prodotti stampati.

Metodi e strumenti utilizzati: FEM, simulazioni di lavorazioni con model-materials, simulazioni sperimentali di trattamenti termomeccanici, controlli dimensionali su componenti, prove tecnologiche convenzionali e non, Computer Aided Metallurgy (CAM).

- Progetto Brite-EuRam II: Development of a Decision support System for Predicting Wear in Bulk and Sheet Metal Forming

E' responsabilità del gruppo di Padova progettare e sviluppare nuove prove di usura con riferimento a lavorazioni di stampaggio a freddo ed a caldo, con il fine duplice di validare (i) modelli di usura, principalmente abrasiva, delle attrezzature in diverse condizioni operative e (ii) metodi numerici, implementati su tecniche FEM, per la previsione del danno da usura.

Metodi e strumenti utilizzati: DOE (Design of Experiment), FEM, simulazioni sperimentali di trattamenti termomeccanici, controlli dimensionali sui componenti.

- Progetto CNR bilaterale: Italia-USA: Feature Based Cost Estimating per Prodotti Forgiati

Il contributo al progetto dato dal gruppo di Padova è quello di progettare una metodologia di analisi di producibilità di un componente per la tecnologia dello stampaggio a freddo. Tale analisi, che si colloca nelle prime fasi della progettazione, deve consentire di associare a caratteristiche progettuali del componente i relativi costi di produzione.

Metodi e strumenti utilizzati: *Early Cost Estimating*, DfM.

- Progetto CNR: Concurrent Design di Prodotto e di Processo per tecnologie di Produzione Net and Near-Net Shape

Il progetto ha come obiettivo principale la valutazione di tecniche A.I. e di integrazione CAD/CAE per la realizzazione di ambienti integrati di progetto ed industrializzazione di prodotto con particolare riferimento alla tecnologia di lavorazione *net-* o *near-net-shape*.

- Progetto MURST: Problematiche CAE nei Processi di Formatura dei Metalli

Obiettivo specifico del gruppo di Padova è quello di sviluppare moduli CAE sia per il progetto ed il dimensionamento automatico di attrezzature di stampaggio a freddo che per la valutazione dei relativi costi di produzione. Lo studio richiede l'analisi di una notevole quantità di dati industriali.

Metodi e strumenti utilizzati: G.T., linguaggi di sviluppo in ambiente CAD/CAE, *Cost Estimating*.

- Progetto Tempus Jep 1925: Advanced Manufacturing Technology Engineering Economy and CIM Oriented Techniques in Metal Forming

Il contributo dato dagli autori a tale progetto é principalmente sui temi CAPP e Cost Estimating per le tecnologie di stampaggio massivo

- Progetto FOREMA - Formazione per l'impresa (Associazione Industriali di Padova)

E' rivolto principalmente a imprenditori, dirigenti e quadri dell'industria veneta. Gli autori partecipano a questo progetto con intenti mirati alla presentazione di metodologie CE ed in particolare DfA, DfM, DOE e QFD.

Da questa seppur breve, presentazione dei progetti viene naturale osservare come alla forte coerenza tecnologica dei temi di ricerca corrisponda, al contempo, una ampia varietà ed articolazione di metodi e tecniche impiegate.

### Presentazione di un'applicazione

Seguendo lo schema di Fig. 1 e con riferimento al prodotto rappresentato in Fig. 2a vengono illustrati, seppure con estrema sintesi, alcuni risultati dell'applicazione di tecniche di *Concurrent Engineering*.

Il prodotto, una pompa volumetrica ad ingranaggi, consta, nella versione originale, di 39 componenti (Fig. 2b) e fa parte di una famiglia che comprende 12 modelli. Il volume di produzione previsto é di 300.000 esemplari per anno suddiviso in 6 lotti di 50.000 pz. annui. L'assemblaggio della pompa é manuale e richiede 57 operazioni. L'applicazione del metodo di DfA di Boothroyd & Dewhurst [1] porta ai risultati di Fig. 3a. La riprogettazione del prodotto (vedi esempi di Fig. 4) é condotta sulla base delle indicazioni fornite dall'analisi precedente e porta ad un aumento dell'efficienza di assemblaggio dal 16% al 21% (Fig. 3b). Tale aumento é conseguenza di una significativa riduzione del numero dei componenti (da 39 a 14) e del numero delle operazioni (da 57 a 26).

Alcuni risultati della pianificazione del processo di stampaggio a freddo dell'ingranaggio conduttore della pompa (Fig. 5) ottenuti utilizzando il sistema CAD/CAE di Fig. 6 sono illustrati nelle Figg. 7, 8 e 9. La Fig. 7 mostra la sequenza delle preforme ottenuta per via automatica-interattiva. La foto di Fig. 8 dà un esempio di simulazione di ciò che accade nell'area di lavoro della pressa a trasferta a 4 stazioni designata per la produzione del componente. Questo tipo di simulazione é necessaria per il progetto del *Timing* della macchina.

L'influenza dei diversi *Cost Drivers* sul costo di stampaggio dell'ingranaggio conduttore é illustrata in Fig. 9.

L'applicazione del *Design for Machining* nell'analisi preventiva delle lavorazioni di finitura del componente porta ai risultati riassunti nello schema di Fig. 10.

Alcuni dei principali benefici attesi dall'utilizzo dei diversi moduli CAE nella progettazione del processo sono: (i) l'integrazione delle diverse attività che concorrono alla pianificazione ed avvio del processo produttivo, (ii) una standardizzazione delle procedure, (iii) un migliore sfruttamento delle risorse (macchine e attrezzature) e (iv) una maggiore conoscenza dei costi associati alle singole fasi dei processi.

### Conclusioni

Dall'analisi dei temi di ricerca e formazione in atto presso la sede di Padova emergono (i) una forte coerenza e complementarietà dei temi di ricerca con un benefico effetto sinergico sugli obiettivi e sui risultati della stessa ed, al contempo, (ii) una ampia varietà di metodi e tecniche impiegati, che risulta di fondamentale importanza per la formazione dei ricercatori.

La presentazione di applicazioni di strumenti CE, sia acquisiti che sviluppati dagli autori, mette in evidenza un'apprezzabile integrazione tra attività di ricerca e di formazione.

### Bibliografia

- [1] Boothroyd G., Dewhurst P. - *Product Design for Assembly Handbook* - BDI Inc., (1990)
- [2] Bariani P.F., Berti G., D'Angelo L., Marengo M. - *Development of an Integrated CAD/CAE-System for Cold Forging in the Automotive Industry* - XXXIII FISITA Congress, Torino (1990)
- [3] Bariani P.F., Berti G. - *Machine Timing Integrated into an Expert CAD/CAE-System for Cold Forging Technology* - Proceeding of 5th Int. Conference on Metal Forming (ICMF), GyÖr, (1991)
- [4] Bariani P.F., D'Angelo L., Knight W.A. - *Computer Aided Economic Process Design for Cold Forged Parts* - Proceeding of the Int. Forum of DFM&A, Newport, (1991)
- [5] Boothroyd G., Dewhurst P. - *Design for Machining Handbook* - BDI Inc., (1991)

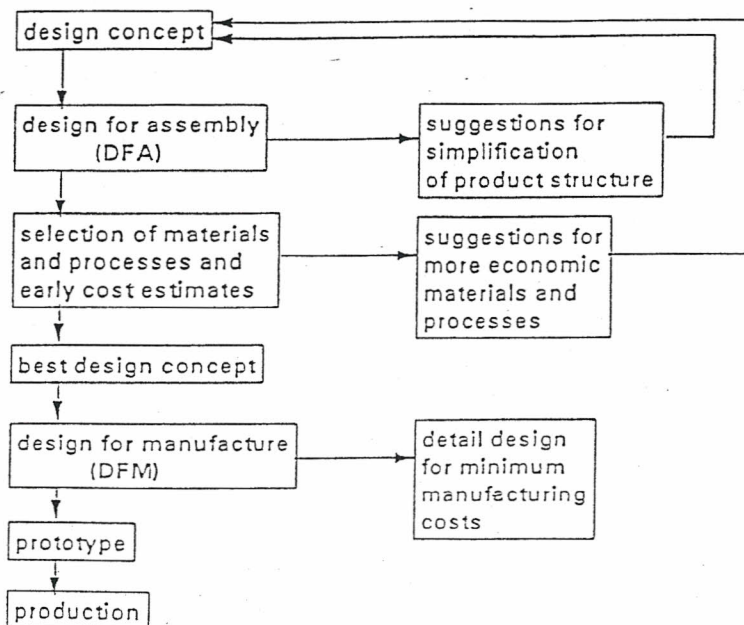


Fig. 1 - Sequenza di applicazione di metodi CE nello sviluppo di un nuovo prodotto

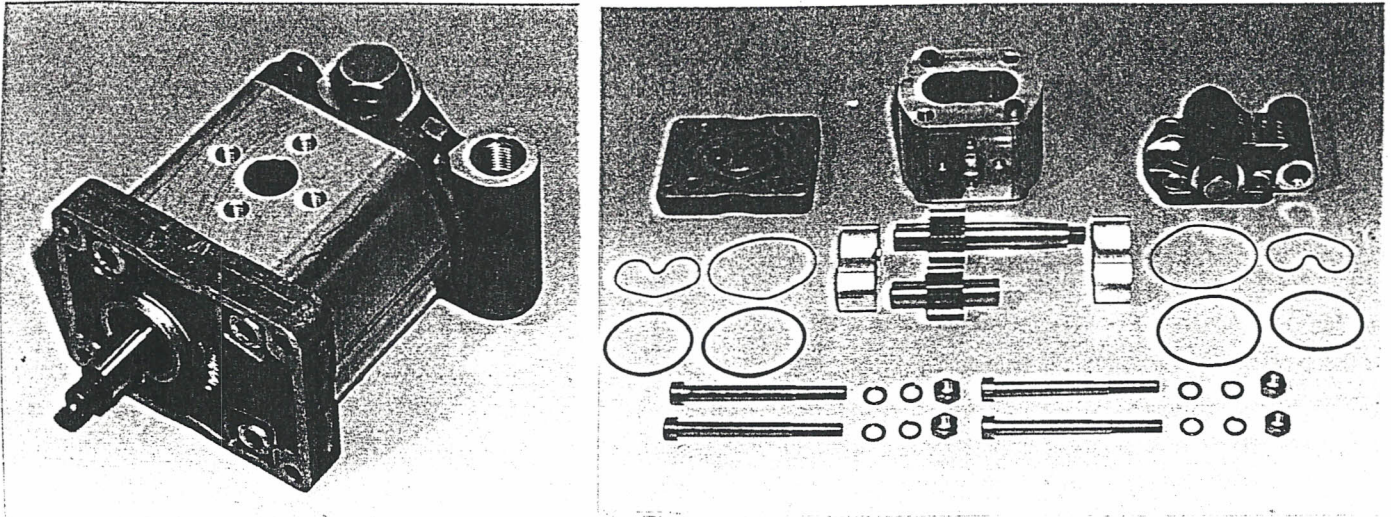


Fig. 2 - (a) Il prodotto analizzato; (b) Il prodotto disassemblato

Assembly data (a)		Assembly data (b)	
Total assembly cost (dollars)	0.94	Total assembly cost (dollars)	0.41
Total manual assembly time (seconds)	260	Total manual assembly time (seconds)	112
Total number of operations (inc. repeats)	57	Total number of operations (inc. repeats)	26
Total soldered electronic components	0	Total soldered electronic components	0
Total parts and non-soldered electronic components *	39	Total parts and non-soldered electronic components *	14
Theoretical minimum number of parts or pre-assembled items *	14	Theoretical minimum number of parts or pre-assembled items *	8
Average assembly cost for soldered electronic components (cents/component)	0.00	Average assembly cost for soldered electronic components (cents/component)	0.00
Assembly efficiency (percent)	16	Assembly efficiency (percent)	21
Labor rate	13.00	Labor rate	13.00

Fig. 3 - Risultati dell'analisi per il prodotto originale (a) e riprogettato (b)

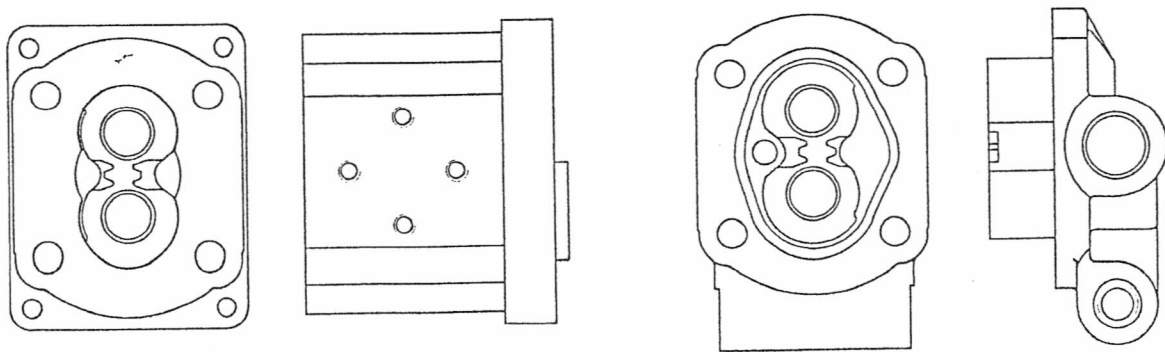


Fig. 4 - Componenti A e B di Fig. 2b dopo la riprogettazione

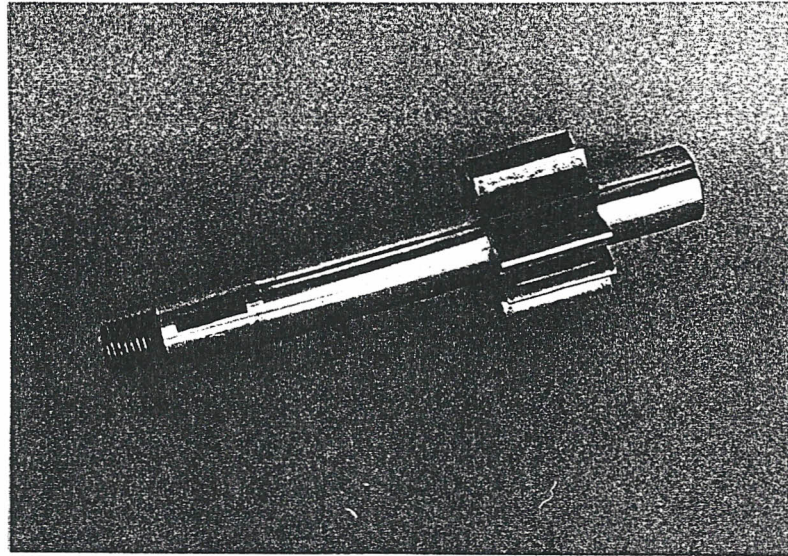


Fig. 5 - Ingranaggio conduttore della pompa di Fig. 2

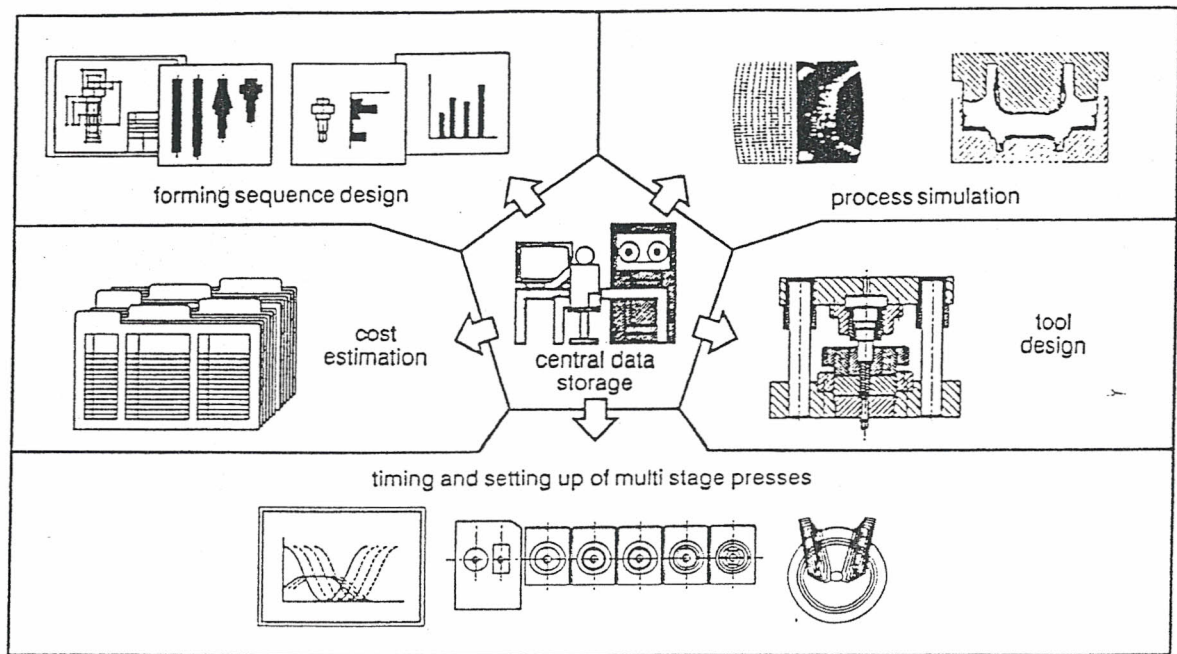


Fig. 6 - Sistema integrato CAD/CAE per la pianificazione del processo di stampaggio a freddo [2]

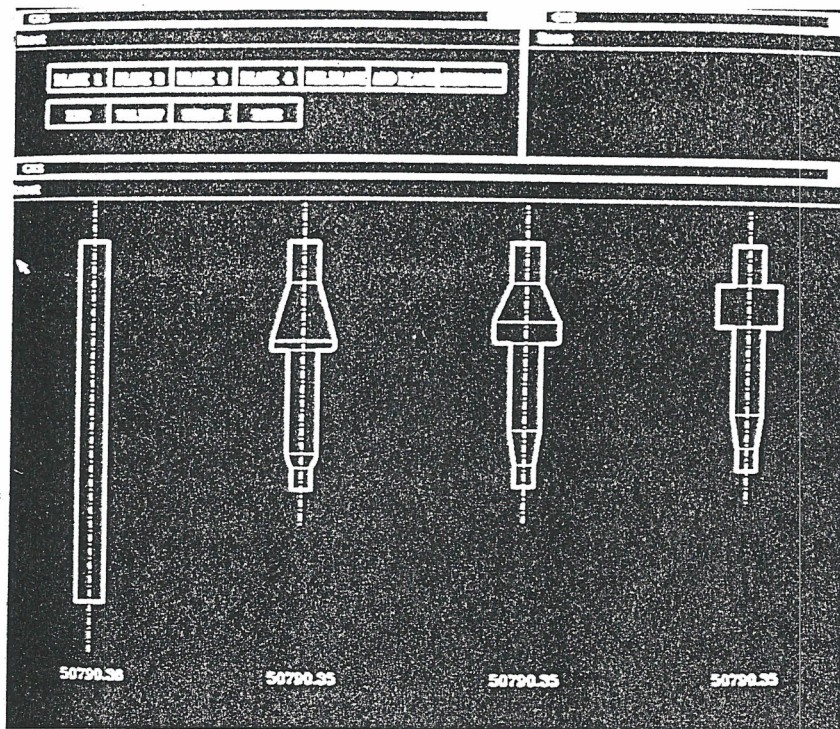


Fig. 7 - Sequenza di stampaggio per il componente di Fig. 5

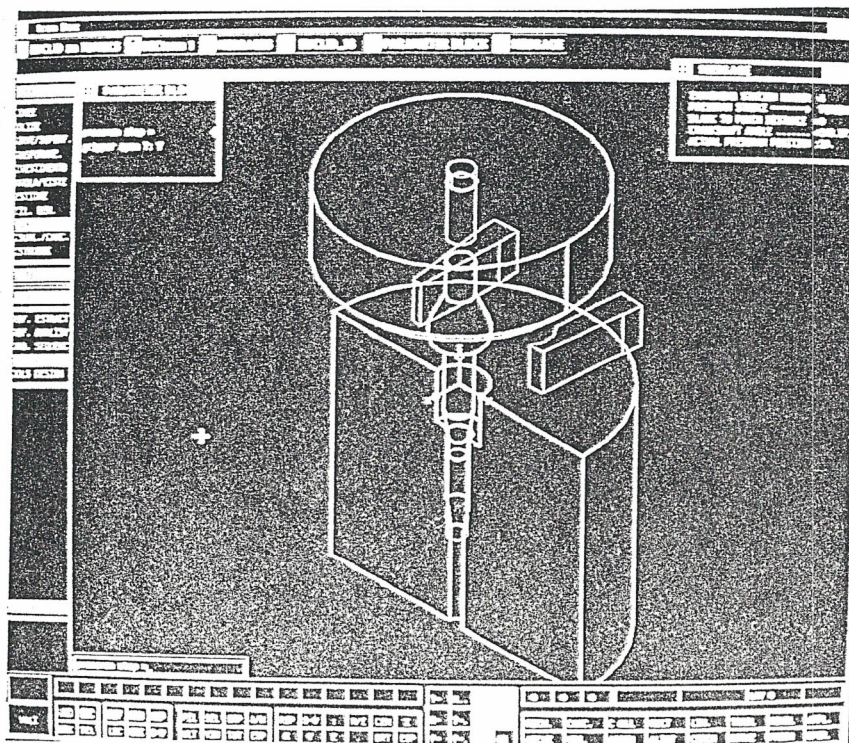


Fig. 8 - Timing per la pressa multistazione [3]

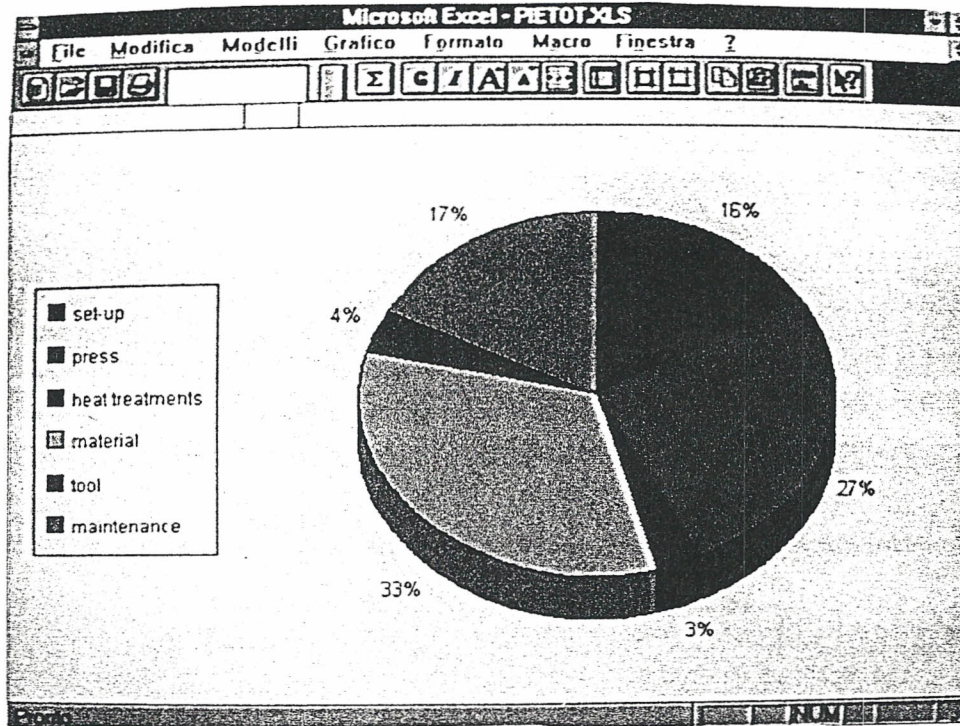


Fig. 9 - Cost Drivers per lo stampaggio a freddo del componente di Fig. 5 [4]

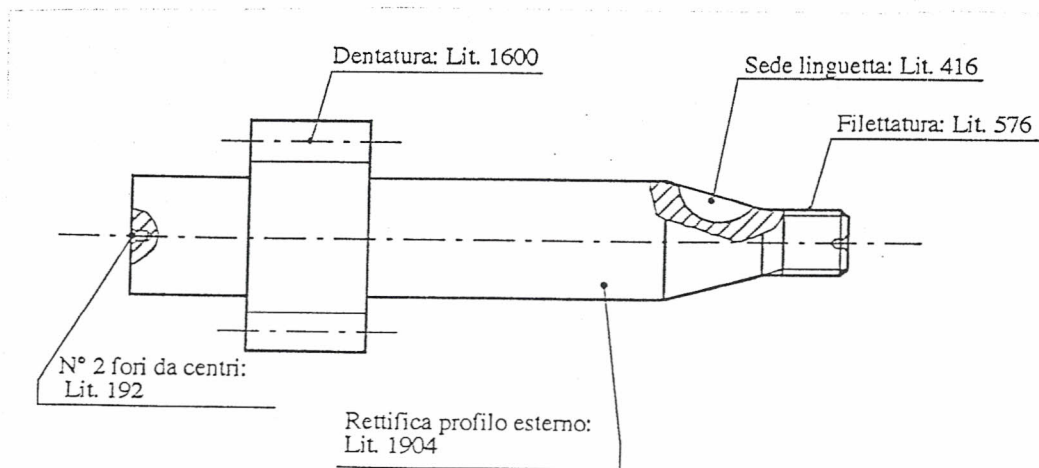


Fig. 10 - Feature based cost estimating nella finitura del componente[5]