

# Esperienze di Design Automation

Nella progettazione delle macchine, la definizione dell'architettura del prodotto e il dimensionamento dei componenti hanno una notevole importanza e richiedono notevoli risorse. Gli aspetti essenziali di queste attività sono la definizione e/o la scelta dei componenti, il loro dimensionamento e la successiva aggregazione in assiemi funzionali fino alla macchina completa.

L'architettura di molti prodotti è ben codificata e le possibili soluzioni di progetto possono riguardare la scelta del tipo di componente e le dimensioni o le prestazioni dello stesso. Le dimensioni sono, in generale, funzione di differenti esigenze, quali, ad esempio, la resistenza meccanica, la rigidità strutturale, le prestazioni di tipo cinematico e/o dinamico, l'ergonomia. In generale, esse non hanno tutte la stessa importanza: alcune, che possiamo definire indipendenti, possono essere fissate prioritariamente e, da esse, risultano individuate tutte le altre. I legami fra le dimensioni indipendenti e le dipendenti sono espressi, in generale, da:

- a) relazioni analitiche,
- b) tabelle, diagrammi, abachi riportati, ad esempio, in norme, cataloghi, testi tecnici,
- c) regole empiriche, desunte dalla pratica costruttiva.

Le attività di progettazione non finalizzate alla ricerca di soluzioni innovative, ma che si esplicano in procedure operative consolidate, possono oggi avvalersi di strumenti inno-

vativi che operano a un livello funzionale più elevato degli strumenti CAD per la modellazione geometrica di prodotto e di assieme. Questi strumenti sono noti nell'ambito della ricerca applicata alla progettazione come KBE (Knowledge Based Engineering); essi permettono lo sviluppo di applicazioni software in grado di effettuare automaticamente molte o tutte le attività necessarie per la configurazione e il dimensionamento completo di una macchina.

Nell'articolo si presenta un'applicazione dell'approccio KBE alla progettazione di presse piegatrici per lamiera; essa è frutto di una collaborazione fra il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano e la Colgar Spa di San Pietro all'Olmo (Mi) e riguarda una famiglia di prodotti, le presse piegatrici contrassegnate dalla sigla commerciale PS, caratterizzate da una forza di piegatura fino a 250 tonnellate e da una lunghezza di piegatura fino a 5 metri.

## **Obiettivi del progetto**

La collaborazione ha avuto come obiettivi la progettazione e l'implementazione di un'applicazione software in grado di automatizzare la procedura di progettazione delle macchine della suddetta famiglia; con maggiori dettagli, l'applicazione deve provvedere:

- alla scelta e dimensionamento di tutti i componenti,

Anche nelle piccole e medie aziende l'approccio Knowledge Based Engineering (KBE) può essere realizzato con grandi vantaggi in termini di riduzione dei tempi e dei costi di progettazione e di aumento della qualità del prodotto. Come dimostra la realizzazione di un sistema completamente automatizzato di progettazione per una famiglia di presse piegatrici

- alla configurazione dell'architettura dei sottoassiemi e della macchina completa,
- alla produzione della documentazione tecnica e commerciale, suddivisa in:

- modelli CAD tridimensionali delle parti e degli assiemi,
- tavole costruttive,
- distinte dei componenti e dei materiali.

Sono stati inoltre fissati ulteriori requisiti relativi al ruolo della nuova applicazione nel contesto operativo aziendale:

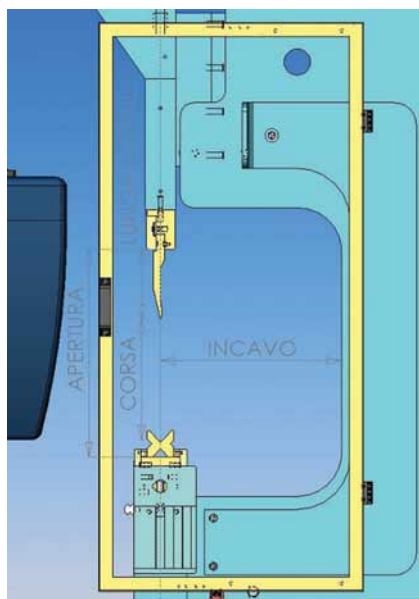
- l'espandibilità, in modo da poterla adattare facilmente ad altre famiglie di presse piegatrici;

- la facilità di utilizzo e gestione, per permettere un agevole utilizzo nell'ambito dell'ufficio tecnico;

- la coerenza con le procedure aziendali;

- l'integrabilità con il sistema informativo dell'azienda, soprattutto per quanto riguarda la gestione della distinta base.

Le motivazioni che spingono alla realizzazione di applicazioni software per la progettazione automatica sono numerose e di grande importanza per le aziende manifatturiere; anzi-



**I. Alcuni dei parametri fondamentali di una pressa piegatrice.**

re operative, che agevola la realizzazione di prodotti di elevata qualità, l'automatizzazione delle attività ripetitive e il consolidamento delle conoscenze aziendali.

## Il processo di sviluppo dell'applicazione KBE

Il processo di progettazione di una macchina della famiglia è ben noto e consolidato in ambito aziendale e si concretizza in un dimensionamento geometrico di parti e sottoassiemi; i parametri fondamentali che governano l'intero processo sono (figura 1):

- la forza massima di piegatura,
- l'apertura dell'incavo,
- la profondità dell'incavo,
- la corsa,
- la lunghezza di piega,
- l'interasse tra le spalle.

tutto, la riduzione dei tempi di progettazione e quindi del "time to market" per un nuovo prodotto o per un modello personalizzato sulle specifiche richieste del cliente. Inoltre, la formalizzazione delle cosiddette "best practices" aziendali, in termini di know-how e procedu-

## La Knowledge Based Engineering in sintesi

La Knowledge Based Engineering (KBE) tratta delle metodologie, degli strumenti e delle applicazioni finalizzate all'acquisizione, formalizzazione e rappresentazione in ambiente informatico della conoscenza relativa a uno specifico dominio applicativo. In particolare, un'applicazione KBE può essere definita come "l'uso di tecniche e software avanzati per catturare e riutilizzare le conoscenze di prodotti e processi in maniera integrata [1]."

Una delle applicazioni più note è quella cosiddetta del "Design Automation" e cioè della realizzazione di programmi software per automatizzare totalmente o parzialmente il processo di progettazione di una macchina, un dispositivo, un componente. L'analisi della documentazione tecnico-scientifica evidenzia come l'argomento sia stato poco affrontato da progettisti e studiosi della progettazione industriale (legga si ingegneri) e molto da studiosi ed esperti di informatica (per lo più nel settore specifico dell'Intelligenza Artificiale). Questo fatto si giustifica osservando che un'applicazione di Design Automation prevede che attività cognitive svolte tradizionalmente da un esperto umano siano compiute da una macchina; questo trasferimento di competenze richiede un'adeguata attività di programmazione e quindi competenze tipiche dell'Informatica e dell'Intelligenza Artificiale, nel caso

particolare. È logico quindi che lo sviluppo della tecnologia sia stato avviato dagli esperti degli strumenti piuttosto che dagli esperti del problema applicativo.

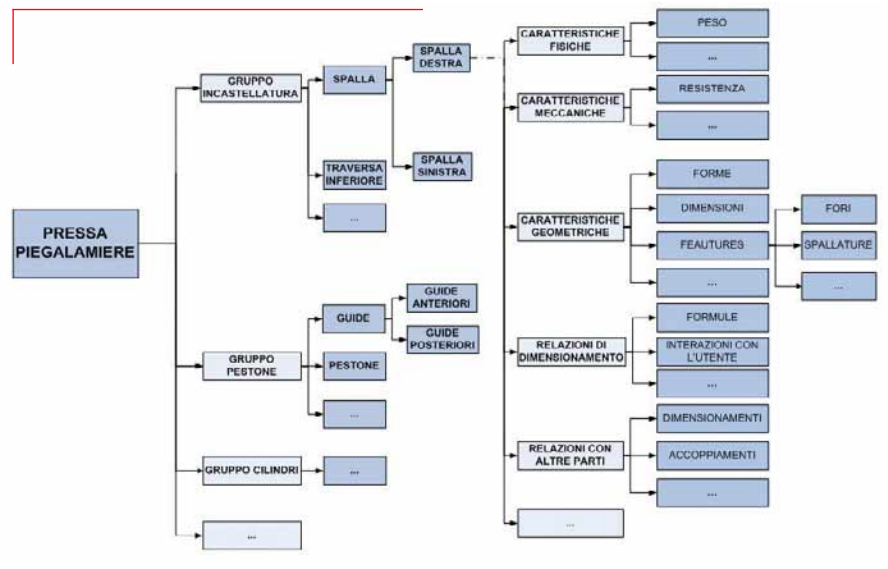
Parlando di applicazioni KBE due sono gli aspetti di particolare interesse dal punto di vista di un'azienda: il primo riguarda l'utilizzo dell'applicazione, il secondo, lo sviluppo della stessa. Se l'utilizzazione di un'applicazione KBE non comporta particolari problemi in un ufficio di progettazione con consolidata esperienza nell'utilizzo di strumenti CAD e CAE, tutt'altro discorso merita il secondo punto. Esso richiede un'onerosa e complessa attività di programmazione e questo è stato il limite evidente alla diffusione della tecnologia KBE nell'ambito delle piccole e medie imprese industriali che pure trarrebbero grande giovamento dal loro utilizzo.

Anzitutto, la realizzazione di un'applicazione KBE necessita di opportuni strumenti di sviluppo; i primi a livello commerciale apparvero verso la metà degli anni '80 dello scorso secolo. I due più noti e relativamente diffusi furono ICAD e The Concept Modeller; avevano caratteristiche simili e per entrambi lo strumento di sviluppo fondamentale era un linguaggio di programmazione Object-Oriented, nei casi specifici derivato dal Lisp. Erano corredati da una serie di accessori, quali un kernel di modellazione geometrica, librerie gra-

L'azienda prevede a catalogo alcuni modelli standard di macchina, caratterizzati dal valore della forza massima di piegatura (per esempio i modelli PS75, PS 100 e PS125, con forze massime di piegatura rispettivamente di 75, 100 e 125 tonnellate). Il cliente, per ciascun modello standard, può richiedere differenti valori per alcune specifiche, quali ad esempio la lunghezza di piega o la profondità dell'incavo, ed eventuali personalizzazioni, per esempio degli accessori specifici. Pertanto la maggior parte degli ordini comporta una notevole attività di progettazione per definire la distinta base, per modificare ed adattare i modelli 3D, per derivare i disegni esecutivi delle parti e dei semilavorati iniziali. Un'applicazione KBE è stata ritenuta lo strumento più adatto e opportuno per automatizzare questa articolata e onerosa procedura di progettazione.

Lo sviluppo dell'applicazione si è articolato in tre attività fondamentali, caratteristiche di ogni applicazione KBE, tradizionalmente indicate come:

- acquisizione della conoscenza,
- della conoscenza acquisita,



- rappresentazione della conoscenza e cioè implementazione dell'applicazione.

La fase di acquisizione della conoscenza richiede lo studio dettagliato del prodotto e del processo di progettazione; le conoscenze e competenze necessarie possono essere ricavate da pubblicazioni tecniche e scientifiche, normative, capitolati, dalle procedure adottate in

## 2. Architettura logica, parziale, di una pressa piegatrice.

azienda, dall'esperienza diretta dei progettisti. La conoscenza contenuta in pubblicazioni, trasmessa in corsi di formazione e comunque codificata e di pubblica accessibilità è solitamente indicata come "esplicita"; quella desun-

fiche, strumenti per creare interfacce utente grafiche, interfacce software per programmi esterni (CAD, data-base, fogli di calcolo e via dicendo). Il tipo di linguaggio evidenzia ancora una volta la provenienza di tali metodologie dall'ambito dell'Intelligenza Artificiale e caratterizza il dominio KBE dove la programmazione ad oggetti ha trovato valida e diffusa applicazione [2].

Per diversi anni, fino a oggi, KBE e ICAD sono stati intesi quasi come sinonimi; nel 1993 la società sviluppatrice di The Concept Modeller venne acquisita da quella sviluppatrice di ICAD che divenne lo strumento KBE più noto, diffuso ed utilizzato. Dopo acquisizioni e trasformazioni societarie, ICAD è oggi commercializzato da KTI, controllata da Dassault Systems, nota per essere la sviluppatrice e distributrice di Catia e SolidWorks. Attualmente alcuni tra i principali programmi CAD (Catia, Unigraphics, Pro-E, ...) dispongono di moduli dedicati allo sviluppo di applicazioni di progettazione automatica; essi non sembrano però disporre di funzioni e di possibilità di sviluppo confrontabili con quelli di strumenti KBE specifici.

Le applicazioni KBE hanno conosciuto buona fortuna nella grande industria, specificamente quella aeronautica e dell'automobile. Molti sono gli articoli che testimoniano di applicazioni realizzate in Airbus, Boeing, Jaguar; in [3], ad esempio, è descritta un'applicazione sviluppata con ICAD® nel

settore aeronautico. Le potenzialità della tecnologia hanno favorito l'avvio di importanti progetti di ricerca in ambito europeo; si ricorda il progetto MOKA (Methodology and tools Oriented to Knowledge based engineering Applications EP 25418) [4] che ha coinvolto aziende aeronautiche ed automobilistiche.

Le applicazioni KBE non hanno purtroppo conosciuto analogo diffusione nelle piccole e medie aziende, soprattutto per i già evidenziati problemi di complessità della fase di programmazione; negli ultimi anni sono stati sviluppati alcuni strumenti KBE che possono rendere più agevole ed accessibile lo sviluppo di applicazioni. Un esponente di questa nuova tipologia di prodotti è RuleStream dell'omonima azienda americana, che è stato utilizzato in questo progetto ed in uno precedente con lo specifico obiettivo di verificarne l'utilizzabilità in un contesto industriale di piccole e medie dimensioni [5]. RuleStream propone strumenti di sviluppo sostanzialmente simili a quelli di ICAD contraddistinti da una maggiore immediatezza e semplicità d'utilizzo; è caratterizzato da un linguaggio di programmazione con diversi elementi simbolici e da una serie di strumenti per la visualizzazione grafica, per la definizione di interfacce utente, da interfacce per programmi esterni come sistemi CAD, data-base, strumenti di calcolo, sistemi CAE (programmi di analisi ad elementi finiti e multibody).



**3. Procedura di modifica** del progetto standard per una specifica richiesta del cliente.

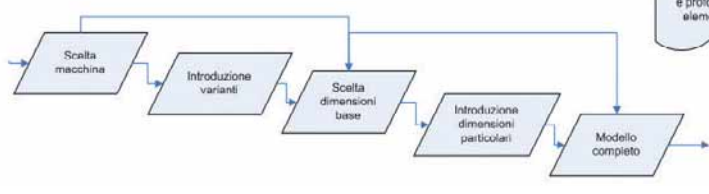
ta dalle procedure aziendali, e ancor di più quella patrimonio di uno specialista, è definita come “implicita” o “strategica” ed è di difficile e laboriosa acquisizione [6]. L’acquisizione della conoscenza è pertanto un’attività onerosa e difficile, ma da essa dipende la qualità del risultato finale, in quanto è ovvio che non si può implementare ciò che non si conosce.

La formalizzazione è l’attività successiva nella quale le conoscenze acquisite vengono organizzate e riassunte in funzione delle caratteristiche dello strumento KBE che verrà utilizzato per l’implementazione. Nel caso in esame, sono due gli aspetti essenziali da considerare: l’architettura (o modello) del prodotto e il processo di progettazione. Per la formalizzazione, possono essere utilizzati opportuni linguaggi grafici; nel caso di un’implementazione di tipo object-oriented, particolarmente adatti sono i diagrammi di Yourdon e Coad [7] e soprattutto l’Unified Modeling Language (UML) [8][9], standard riconosciuto per questo tipo di applicazione.

La formalizzazione di un processo sequenziale, come spesso si configura l’attività di progettazione, può più opportunamente giovare dei diagrammi di flusso e/o del linguaggio grafico IDEF [10].

La figura 2 riporta il diagramma ad albero che rappresenta l’architettura, parziale, di un modello della famiglia; ovviamente tutti i modelli condividono la stessa architettura logica, mentre possono esse-

**5. Processo di definizione** di un modello di pressa utilizzando l’applicazione KBE.



presenti parti e sottoassiemi differenti.

Le figure 3 e 4 sintetizzano, rispettivamente, la procedura generale di modifica che l’ufficio di progettazione esegue a seguito della richiesta di una specifica di progetto non standard e le modifiche relative alla specifica “profondità dell’incavo”. Nella fase di acquisizione della conoscenza, è stata individuata la sequenza di dimensionamento di specifici sottoassiemi e della macchina completa correlata a ciascuna specifica di progetto e le relative interdipendenze.

La terza fase del progetto ha riguardato l’implementazione dell’applicazione software. È stato utilizzato come tool di sviluppo, RuleStream, del quale si è già sinteticamente detto nel paragrafo precedente; il programma CAD utilizzato per realizzare i modelli parametrici dei diversi componenti è SolidWorks. Si evidenzia il fatto che in un’applicazione KBE la geometria tridimensionale di un pezzo ha il significato di un semplice attributo della parte, con lo stesso livello di importanza, ad esempio, di parametri fisici quali il carico di rottura o la densità del materiale. Sono stati inoltre utilizzati altri tools software quali il data-base Microsoft SQL, necessario per la gestione delle parti, delle regole e delle procedure di di-

mensionamento definite in RuleStream, il foglio elettronico Excel e l’ambiente di programmazione Visual Basic per la gestione della distinta base.

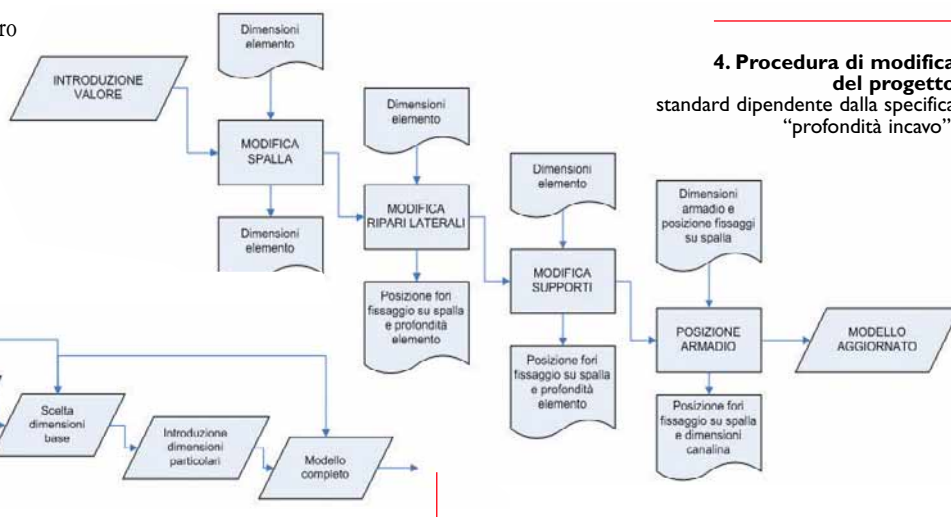
## L’applicazione realizzata

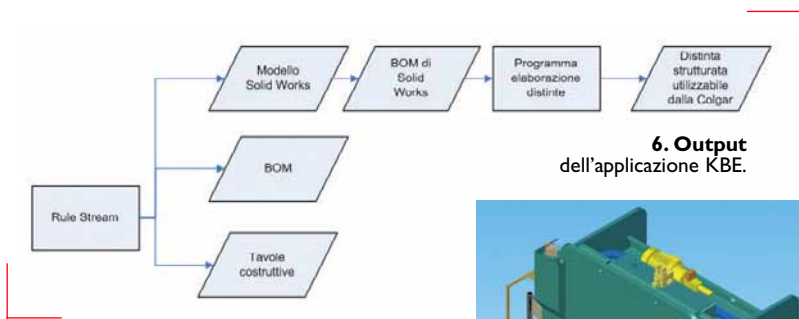
La figura 5 sintetizza la procedura di progettazione di un modello di pressa piegatrice della famiglia PS realizzata utilizzando l’applicazione KBE sviluppata.

La prima attività (scelta macchina) prevede la scelta di un modello standard della famiglia, per esempio la PS125; di seguito, si definiscono i valori dei parametri di progetto fondamentali, scegliendo tra quelli corrispondenti a componenti e semilavorati utilizzati in azienda. Queste due semplici attività portano alla configurazione completa in modalità automatica del modello richiesto; è previsto un utilizzo avanzato che consente l’utilizzo di tipi di componenti (introduzione varianti) e di dimensioni (introduzione dimensioni particolari) non utilizzati normalmente in azienda. Inoltre è possibile “forzare” il dimensionamento, specificando parametri diversi da quelli determinati dall’applicazione KBE. Al riguardo, sono previste due diverse modalità di utilizzazione dell’applicazione: la prima, totalmente automatica oppure la seconda che prevede interruzioni a stati di avanzamento prefissati, rendendo in tal modo possibile la supervisione di un progettista qualificato che valuti i risultati delle singole attività svolte dal programma.

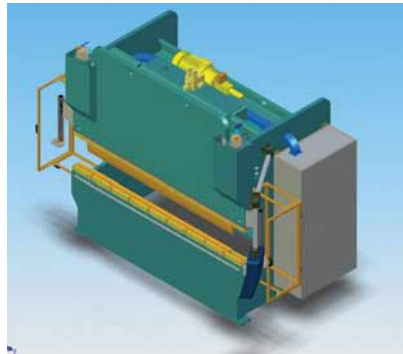
L’output è riassunto nel diagramma di figura 6; si segnalano il prototipo virtuale dell’intera pressa, gestito dal sistema CAD, i disegni co-

**4. Procedura di modifica del progetto** standard dipendente dalla specifica “profondità incavo”.





**6. Output dell'applicazione KBE.**



**7. Il prototipo virtuale di un modello di pressa, configurato dall'applicazione KBE descritta.**

struttivi dell'assieme totale, di sottoassiemi parziali, delle parti grezze prima delle lavorazioni di finitura, delle singole parti rifinite, la distinta base. Le figure 7 e 8 mostrano, rispettivamente, il prototipo virtuale della pressa e un esempio di disegno costruttivo.

Inoltre, l'applicazione gestisce la distinta base (Bill of Materials) integrandosi con il sistema PDM aziendale consentendo così l'accesso anche alle istruzioni di montaggio e di manutenzione.

La fase di testing ha permesso di verificare:

- la validità della procedura di configurazione implementata;
- la consistenza geometrica del modello generato;
- il corretto dimensionamento della pressa e di ogni suo componente;
- i tempi di esecuzione contenuti.

## Conclusioni

L'approccio KBE si è segnalato per le grandi potenzialità nello specifico settore del Design Automation; fino a oggi, il maggior numero di applicazioni di tale tipo è stato realizzato in grandi contesti aziendali, dove maggiori sono le risorse economiche, tecniche e umane. Tale strada può e deve però essere percorsa anche nelle piccole e medie aziende perché anche in tali contesti è necessario perseguire gli obiettivi di elevata qualità del prodotto e di riduzione dei costi. Lo studio qui descritto riguarda un contesto aziendale di questo tipo e ha portato alla realizzazione di un sistema completamente automatizzato di progettazione per una famiglia di presse piegatrici.

I vantaggi che un'applicazione di tale tipo permette di conseguire sono molteplici e qui segnaliamo:

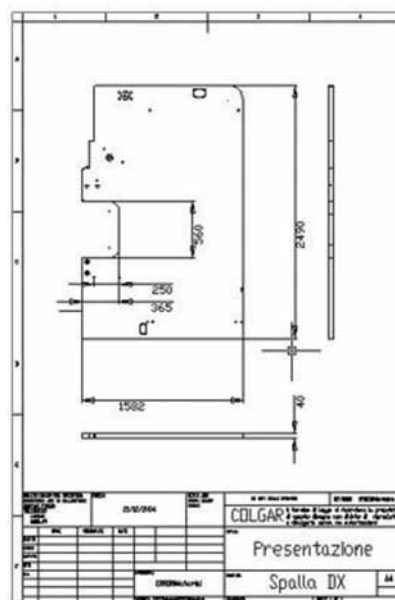
- la riduzione drastica dei tempi di progettazione (da 20 giorni/uomo a circa 40 minuti, nel caso specifico);

- il miglioramento della qualità del prodotto. La rappresentazione in una struttura informatica delle migliori modalità per l'ottenimento di un obiettivo consente di operare sempre al meglio delle competenze aziendali, indipendentemente dalle capacità e conoscenze dell'addetto;

- la possibilità di estendere facilmente la gamma di prodotti configurabili, aggiungendo al data-base componenti e sottosistemi;

- il miglioramento della gestione integrata dei

**8. Il disegno costruttivo di una parte generato dall'applicazione KBE.**



reparti di progettazione, produzione e commerciale.

La fase di testing ha fornito risultati incoraggianti; si prevede di valutare nell'immediato futuro la possibilità di estendere l'applicazione alla famiglia di presse meccaniche.

G. Colombo, A. Girotti, E. Rovida, Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano.

## Bibliografia

- [1] M. Stokes (ed.), MOKA Consortium (ed.), "Managing Engineering Knowledge: MOKA – Methodology for Knowledge Based Engineering Applications", *Professional Engineering Publishing*, October 2001.
- [2] Colombo, G., Cugini, U., "An Example of Knowledge Representation in Mechanical Design Using Object-Oriented Methodology", *Proceedings of The 1992 European Symposium Simulation and AI in Computer-Aided Techniques*, Dresden, 5-8 November 1992, pp. 28-214.
- [3] La Rocca, G., Krakkers, L., van Tooren, M.-J.-L., "Development of an ICAD generative model for blended wing body aircraft design", *9th Symposium on multidisciplinary analysis and optimization*, AIAA2002-5447, 2002.
- [4] MOKA project: <http://www.kbe.cov.ac.uk/moka/project.htm>
- [5] G. Colombo, D. Colombo, G. Cosmai, M. Pulli, "A KBE Application to Automate Heat Exchangers Design in a SME", *14th International CIRP Design Seminar*, 16-18 May, Cairo, 2004, Abstracts p. 20, full paper on CD.
- [6] Y. Ishino, Y. Jin, "Acquiring Engineering Knowledge from Design Processes", *AIEDAM Journal*, vol. 16, n. 2, pp. 73-91, 2002.
- [7] P. Coad, E. Yourdon, "Object Oriented Analysis", 2nd ed., Prentice Hall, 1990.
- [8] UML website: <http://www.uml.org/>.
- [9] M. Fowler, "UML Distilled: a Brief Guide to the Standard Object Modeling Language", 3rd ed., Addison-Wesley Professional, 2003.
- [10] IDEF standard: <http://www.idef.com/>.