

Cicli di lavorazione automatici: i principali metodi AFR

I sistemi CAPP generativi e le tecniche AFR per riconoscere le feature di un pezzo e pianificare il ciclo di lavorazione sono stati introdotti nel numero di Giugno 2009. Presentiamo ora quattro tipologie di tecniche AFR con esempi di applicazione fra cui: metodi di riconoscimento sintattico, metodi basati su regole logiche, metodi grafici e metodi basati su indizi

(1^a parte)

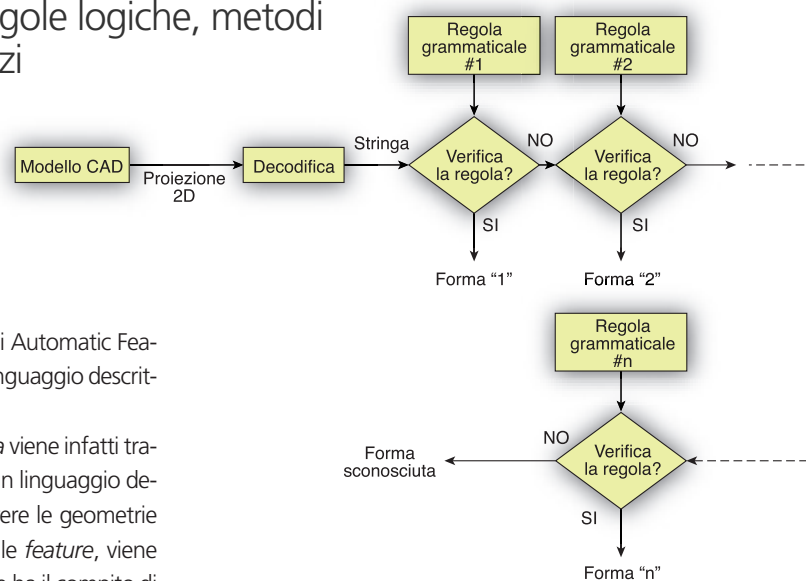


Fig. 1 - Struttura di un sistema a riconoscimento sintattico.

Metodi di riconoscimento sintattico

Questi metodi rappresentano il primo concetto di Automatic Feature Recognition (AFR) e si basano sull'uso di un linguaggio descrittivo delle caratteristiche geometriche della parte.

Il modello dal quale estrapolare le *feature di forma* viene infatti tradotto in un set di primitive semantiche scritte in un linguaggio descrittivo, che usa regole grammaticali per descrivere le geometrie del modello. Per effettuare il riconoscimento delle *feature*, viene quindi utilizzato un analizzatore grammaticale che ha il compito di analizzare grammaticalmente la sintassi dei dati di input; se questa risulta coincidere con le regole grammaticali presenti in libreria (ognuna delle quali rappresenterà una determinata classe di *feature di forma*), allora tali dati di input potranno essere associati alla corrispondente classe di feature. L'attività AFR è effettuata quindi attraverso la ricerca di particolari forme sintattiche (fig. 1); il problema maggiore che si riscontra in questo tipo di approccio è la necessità di tradurre il modello della parte in una forma sintattica appropriata per l'analisi grammaticale.

Questo metodo è stato molto più spesso e con molto più successo implementato per il riconoscimento delle *feature di forma* in 2D; può essere utilizzato per il riconoscimento di *feature tridimen-*

sionali, attraverso una previa opera di traduzione del modello 3D della parte in diverse viste bidimensionali (in pratica si esegue una messa in tavola).

Un sistema che utilizza questo approccio è presentato in [1]; questo sistema è particolarmente interessante in quanto fa uso di una rappresentazione wire frame della parte importata da file .DXF di AutoCAD. Il modello wire frame (3D), viene tradotto in una rappresentazione grafica bidimensionale fatta di vertici e spigoli, per ognuno dei sei piani di contorno di un generico parallelepipedo. Questo sistema permette il riconoscimento di un elevato numero di *feature*

di lavorazione, quali fori, cave, gradini, scanalature ed estrusi vari. Ogni rappresentazione grafica 2D viene tradotta poi in stringhe di primitive di forma, indicanti linee od archi orientati a definire il tipo di superficie (fig. 2) in maniera tale da permettere il confronto con i modelli descritti mediante i set di regole.

Una più recente tecnica che potrebbe essere inclusa in questo ambito, è la "Edge Boundary Classification"; questa tecnica si basa sul risultato della classificazione di un set di punti prova, localizzati in prossimità di ogni insieme di spigoli che realizzano un contorno chiuso, identificati a partire da un modello B-rep della parte. In funzione del fatto che questi punti prova risultino essere interni al modello, o punti dello spazio aperto, vengono opportunamente codificati e la stringa dei codici ottenuta dall'unione di più punti per ogni spigolo del contorno chiuso, forma il modello che può poi essere usato per il riconoscimento delle *feature di forma*.

Questo approccio può essere applicato per il riconoscimento di diverse *feature* in pezzi lavorati con macchine a controllo numerico 2D: tasche, scanalature e gradini costituite da facce piane e/o semi-cilindriche [2], ed anche *feature* cilindriche o tronco-coniche, rappresentanti pezzi prismatici o di rotazione [3].

Il maggiore svantaggio del metodo sintattico è rappresentato dal suo campo di applicazione, limitato ai pezzi prismatici bidimensionali, ai pezzi di rotazione con *feature* di tornitura e ai volumi assial-simmetrici (in pratica difficilmente si possono trattare pezzi complessi che presentano superfici a doppia curvatura variabile). La implementazione di queste tecniche a pezzi 3D non assialsimmetrici senza *feature* di tornitura, non ha avuto molto successo, soprattutto per la restrizione data da una rappresentazione puramente sintattica.

Regole logiche (IF-THEN) e sistemi esperti

Per sistema "esperto", si intende un sistema in grado di immagazzinare dall'esterno l'esperienza necessaria per affrontare i problemi che ad esso vengono di volta in volta proposti; tutti i sistemi che possono quindi essere definiti "esperti", basano la loro capacità di trovare la soluzione ad un problema proposto, su regole logiche di tipo IF-THEN, che vengono ad attivarsi una volta che sono rispettate le condizioni presenti nella parte IF. Questo tipo di sistemi vengono sempre usati nei metodi di AFR per il riconoscimento delle *feature* di lavorazione a partire dal tipo di rappresentazione scelta (sintattica, grafica ecc). Ad esempio un set di regole di riconoscimento:

IF C1, C2, C3 ... Cn
THEN A

può definire una particolare *feature* di lavorazione (A). Se le condizioni (C1, C2, C3) predefinite in qualche modello sono soddisfat-

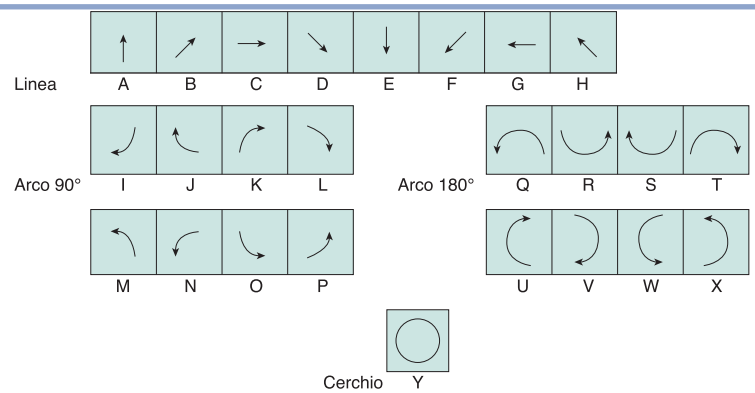


Fig. 2 - Primitive di forma per la descrizione delle superfici.

te, allora l'entità nella rappresentazione del pezzo che le soddisfa viene riconosciuta come *feature* di lavorazione A.

I sistemi esperti, possono essere classificati in tre categorie principali [4]:

- Sistemi esperti basati su regole: questi sistemi permettono di immagazzinare le regole, scritte nella forma più semplice (IF C1 C2 C3, THEN A), che guidano al riconoscimento e alla estrazione delle *feature di forma*.
- Sistemi esperti basati su strutture di dati (frame): questi sistemi permettono una organizzazione dei dati in apposite strutture parametriche predefinite per identificare set di *feature di lavorazione*. Questi metodi necessitano comunque di una fase IF-THEN per immettere i dati nelle schede appropriate.
- Sistemi basati sulla logica Fuzzy: si tratta di metodi che trattano l'incertezza, attraverso assegnazione di un "grado di soddisfazione" percentuale di una determinata regola. Tali sistemi vengono presi in considerazione nel caso in cui si abbia a che fare con caratteristiche geometriche e topologiche della parte che non permettono un riconoscimento diretto mediante confronto con modelli della libreria.

I sistemi ai quali ci si riferisce in questa sezione implementano un approccio logico anche per l'estrazione delle *feature* di forma, ovvero delle informazioni di carattere geometrico sul pezzo.

Uno di questi sistemi è presentato in [5], dove viene applicato il metodo per il riconoscimento di *feature* di foratura più o meno complesse, per la produzione di scatole di ingranaggi ad uso aeronautico.

In [6] viene presentato un metodo nel quale il modello del pezzo è traslato dal CAD 3D in un file IGES, a partire dal quale, attraverso un programma di servizio, vengono estratte le *feature di forma* con l'utilizzo di opportune regole in forma IF-THEN.

I metodi basati su regole hanno dato prova di essere molto più robusti e maneggevoli dei diversi tipi di metodi sintattici. La richiesta di una rappresentazione ambigua e di specifiche regole per ogni tipo di *feature* rendono tuttavia questi metodi sovraccaricati e poco flessibili.

Approccio grafico

L'approccio grafico (graph-based) ha iniziato il suo sviluppo nei primi anni '80 e si basa sulla rappresentazione del pezzo tridimensionale tramite elementi grafici che includono informazioni topologiche e

geometriche. Questi elementi vengono detti Attributed Adjacency Graph (AAG) e vengono creati a partire da modello B-rep del pezzo. AAG è un grafico composto da nodi, che rappresentano le superfici del pezzo in esame, collegati tra loro tramite linee. Quando due superfici del pezzo sono adiacenti i due nodi corrispondenti nel grafico vengono uniti tramite una linea che presenta un valore "0" se le superfici hanno una relazione di adiacenza concava e un valore "1" se hanno una relazione convessa, figg. 3a e 3b.

In questi grafici le feature di forma sono rappresentate da sub-grafici del principale ed il riconoscimento delle stesse avviene attraverso il confronto con altrettanti grafici elementari presenti in libreria.

Un metodo alternativo presentato in [7], prevede una estrazione eseguita analizzando l'AAG sui nodi (superfici) che hanno tutti spigoli adiacenti convessi.

Il concetto AAG, in questa forma originale, soffre di due maggiori difetti:

- l'impossibilità di distinguere tra i molteplici tipi di spigolo, dato che si definisce solo il caso concavo o convesso e dunque non si hanno informazioni sull'angolo effettivo.

- l'impossibilità di riconoscere la tipologia della superficie (curva o piana) dato che si danno solo informazioni sugli spigoli.

I difetti dell'AAG possono essere significativamente diminuiti attraverso il concetto di MAAG (Multi-Attributed Adjacency Graph),

assegnando dei valori aggiuntivi che descrivano con maggior precisione le relazioni di adiacenza (es.: se un piano e una faccia curva formano un angolo convesso, 270° , allora l'attributo è "2"). Se il grafico MAAG è rappresentato da una matrice allora il sistema viene chiamato MAAM (Multi-Attributed Adjacency Matrix). Il processo di riconoscimento delle *feature* viene eseguito su minori della matrice principale che sono predefiniti per ogni forma elementare. In [8] viene proposto un esempio di implementazione di un sistema CAPP mirato al concurrent engineering, basato sull'approccio grafico. Tutti i metodi grafici richiedono un ampio pre-processing per costruire la rappresentazione di ogni parte. Anche quando i metodi sono capaci di riconoscere con successo le *feature di forma*, non ci sono garanzie che quelle riconosciute siano applicabili nell'ambito della fabbricazione.

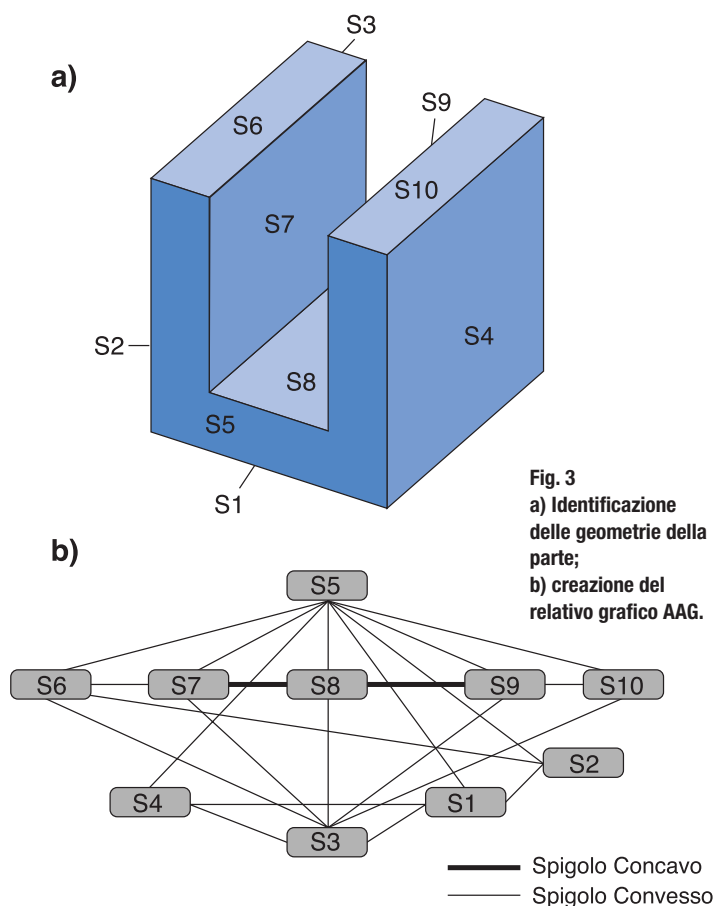
Il principale problema che comunque permane è che il metodo graph-based non può risolvere l'interazione tra *feature* e cioè non riesce a riconoscere una macro-*feature* composta da più *feature di forma* elementari, se non in casi particolari; una strada per arginare questo problema è quella di arricchire la libreria di *feature* con tante interazioni tra *feature* quante ne sono possibili, trattando ognuna come una singola. Questo approccio richiede molto tempo computazionale per la ricerca e l'abbinamento e soprattutto non dà una soluzione universale e completa.

Approccio basato su indizi

L'approccio basato su indizi (hint-based approach) è stato sviluppato per la necessità di risolvere i problemi riguardanti l'interazione arbitraria tra *feature*; tale metodo nasce da una combinazione tra approccio grafico ed approccio logico. In questo metodo, le informazioni topologiche e geometriche riguardanti la parte sono utilizzate come indizi per il riconoscimento delle *feature di forma e/o di lavorazione*. Praticamente questi indizi possono consistere nelle tracce lasciate dagli utensili durante il percorso di lavorazione del pezzo (fig. 4); queste tracce forniscono delle informazioni aggiuntive che facilitano il riconoscimento di *feature* composte.

Questo metodo fu presentato da Vandenbrande e Requicha [9] in un sistema chiamato "Object Oriented Features Finder (OOF)" il quale era stato progettato per trattare diversi tipi di intersezione tra *feature* e prevedeva un esatto riconoscimento di facce, spigoli e vertici.

In alcune ricerche successive [10], questo metodo è stato migliorato grazie alla possibilità di argomentare gli indizi geometrici e topologici direttamente dall'utente, il quale fornisce tolleranze e alcune caratteristiche distintive. Questo sistema è stato rinominato come IF² (Integrated Incremental Feature Finder); a differenza dell'OOF, il quale produce tutte le possibili interpretazioni di intersezioni tra *feature*, IF² utilizza le informazioni euristiche per generare una in-



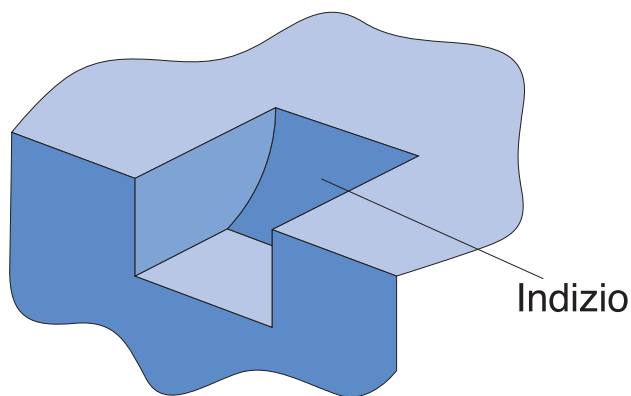


Fig. 4 - Esempio di indizio nel metodo "hint-based"; la superficie indicata suggerisce l'utilizzo di una fresa periferica per eseguire il rientro illustrato.

interpretazione delle varie proposte, scegliendone una sola, mentre considera più alternative solamente quando si fa riferimento a scelte eseguite dall'operatore.

Conclusioni

L'AFR è il primo e più importante passo nel processo di trasformazione delle informazioni provenienti dal CAD in informazioni di lavorazione; la sua completa automazione è fondamentale per lo sviluppo di un sistema CAPP indipendente.

In base all'analisi della letteratura sull'argomento possiamo affermare che:

- le maggiori ricerche si sono sviluppate nel campo delle lavorazioni meccaniche, ma ultimamente [11], si sono sviluppate tecniche AFR in altri campi come stampaggio di lamiere, formatura e fusione;
- non esiste ad oggi una soluzione generale per problemi che possono avere più interpretazioni; esiste sempre una limitazione infatti nel database di *feature* riconoscibili ed inoltre alle stesse *feature di forma* possono essere associati diversi modi di asportazione del materiale;
- allo scopo di garantire l'effettiva capacità di riconoscimento delle *feature*, il sistema deve essere capace di riconoscere anche dimensioni e tolleranze, informazioni essenziali alla pianificazione delle lavorazioni.

Nella seconda parte di questa rassegna verranno descritti altri tre metodi AFR e gli indirizzi della ricerca in corso.

Bibliografia

- [0] A. Francesconi, G. Matteucci, M. Pagni, M. Lanzetta, Cicli di lavorazione automatizzati tramite sistemi AFR, *Macchine Utensili* n. 6 Giugno 2009
- [1] P.K. Jain, S. Kumar, Automatic *feature* extraction in PRIZCAPP, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 11 (6) (1998) 500–512.
- [2] N. Ismail, N. Abu Bakar, A.H. Juri, *Feature* recognition patterns for form features using boundary representation models, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 20 (2002) 553–556.
- [3] N. Ismail, N. Abu Bakar, A.H. Juri, Recognition of cylindrical and conical features using edge boundary classification, *International Journal of Ma-*

Glossario

Feature di forma: Entità volta ad identificare una particolare forma piana o tridimensionale dello spazio, "feature" significa infatti dall'inglese "caratteristica"; alcuni esempi di *feature di forma* possono essere rappresentati da elementi volumici (cubo, sfera, parallelepipedo etc. . .) o da elementi piani (superfici planare, cilindrica, sferica, etc, o linee rette o curve indicanti spigoli del pezzo). Una *feature*, sia di "forma" che di "lavorazione", può presentarsi in modi diversi a seconda del metodo AFR che si va ad utilizzare.

Wireframe: Tipo di rappresentazione grafica di oggetti tridimensionali, detta anche "vettoriale"; con questo metodo vengono disegnati soltanto i bordi dell'oggetto, il quale di fatto resta trasparente al suo interno.

Feature di lavorazione: Entità volta a rappresentare una forma composta dello spazio, che identifica una lavorazione (o un insieme di lavorazioni) di asportazione di truciolo, necessaria all'ottenimento di quella particolare geometria; la forma di una *feature di lavorazione* viene sempre ottenuta come unione di due o più *feature di forma* (es. la *feature di lavorazione* "foro cieco" è ottenuta dall'unione di *feature di forma* come "superficie cilindrica di sezione circolare", "superficie conica", e "superficie piana di testa").

IGES: Formato di scambio dati geometrici per il trasferimento di modelli tridimensionali tra software CAD.

B-rep: Abbreviazione di "boundary representation", indica un metodo di rappresentazione di un modello tridimensionale attraverso entità geometriche "delimitate" (boundary = confine); i principali elementi che definiscono un modello in questo tipo di rappresentazione sono le facce, parti delimitate di superfici, gli spigoli, parti delimitate di curve, ed i vertici. Un solido viene quindi definito come un insieme di superfici connesse, che ne rappresentano il confine esterno.

chine Tools and Manufacture Design, Research and Application 45 (2005) 649–655.

[4] S. J. Russell, P. Norvig, *Artificial Intelligence, A modern approach*, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River; New Jersey (1995).

[5] J. Gao, D.T. Zheng, N. Gindy, Extraction of machining features for CAD/CAM integration, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 24 (2004) 573–581.

[6] B. Babic', Z. Miljkovic', *Feature* recognition as the basis for integration of CAD and CAPP Systems, *Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Manufacturing Processes and Systems*, 1997, 596–601.

[7] O. Owodunni, S. Hinduja, Evaluation of existing and new *feature* recognition algorithms. Part 1. Theory and implementation, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* 216 (Part B) (2002) 839–851.

[8] C.F. Yuen, S.Y. Wong, P.K. Venuvinod, Development of a generic computer-aided process planning support system, *Journal of Materials processing Technology* 139 (2003) 394–401.

[9] J.H. Vandenbrande, A.A.G. Requicha, Spatial reasoning for the automatic recognition of machinable features in solid models, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 15 (12) (1993) 1–17.

[10] J.H. Han, A.A.G. Requicha, Integration of *feature* based design and *feature* recognition, *Computer-Aided Design* 29 (5) (1997) 393–403.

[11] C.F. Yuen, S.Y. Wong, P.K. Venuvinod, Development of a generic computer-aided process planning support system, *Journal of Materials processing Technology* 139 (2003) 394–401.