



Università degli Studi di Pisa

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

TESI DI LAUREA

Sviluppo di un sistema esperto ed estrazione automatica di feature per la riprogrammazione di sistemi di visione artificiale

SINTESI

Candidato

Francesco Innocenti
MATRICOLA: 455114
FrancescoInnocenti.mct@hotmail.it

Relatore

Prof. Michele Lanzetta
Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale

Ing. Corrado Bonanno
Azienda Gkn Driveline
Ing. Michele Biancalana
Azienda Gkn Driveline

Sessione di Laurea del 19 Febbraio 2020
A. A. 2019/2020

Sviluppo di un sistema esperto ed estrazione automatica di feature per la riprogrammazione di sistemi di visione artificiale

Francesco Innocenti

Sommario

Questo lavoro rappresenta lo sviluppo di un sistema esperto partendo da un prototipo di sistema esperto precedentemente realizzato per la riprogrammazione dei sistemi di Visione artificiale con la prospettiva di venir usato anche da operatori poco esperti. Tale sistema si è ottenuto grazie alla collaborazione di GKN Driveline Firenze con il dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale (DICI) dell'Università di Pisa.

Le industrie automotive hanno ridotto il tempo di sviluppo e di progettazione di componenti meccanici e in questa ottica GKN ha intrapreso la sperimentazione di nuovi software per controllo.

Dopo aver considerato lo stato dell'arte dei sistemi di visione artificiale e le sue componenti, ci siamo soffermati sullo sviluppo di un sistema esperto rapido e semplice in modo che l'operatore possa effettuare un controllo qualità sui vari pezzi semilavorati in maniera veloce ed efficiente.

Si sono analizzate i vari sistemi CAPP che permettono il passaggio tra i sistemi CAD, che rappresentano la fase di progettazione e i sistemi CAM, corrispondenti alla fase di produzione, cercando di capire se fosse possibile interfacciare il software esperto al software CAD per estrapolare tutte le caratteristiche geometriche utili per il riconoscimento, la progettazione del pezzo meccanico per impostare gli strumenti d'analisi.

Dopo lo sviluppo di questo sistema esperto si è iniziata una sperimentazione della sua applicabilità e la possibilità di interfacciarlo con software CAD per l'estrazione delle feature da modelli CAD che è tuttora in corso.

Abstract

This work represents the development of an expert system starting from a prototype expert system previously built for the reprogramming of computer vision systems with the prospect of being used even by inexperienced operators. This system was achieved thanks to the collaboration of GKN Driveline Florence with the Department of Civil and Industrial Engineering (DICI) of the University of Pisa.

Automotive industries have reduced the development and design time of mechanical components, and in this way GKN has undertaken the testing of new software for control.

After considering the state-of-the-art computer vision systems and its components, we focused on developing a quick and simple expert system so that the operator can perform a quality check on the various semi-finished pieces in fast and efficient.

The various CAPP systems that allow the transition between CAD systems, which represent the design phase and CAM systems corresponding to the production phase, were analyzed, trying to understand if it was possible to interface the expert software with the software CAD to extrapolate all the geometric features useful for recognition, the design of the mechanical piece to set the analysis tools.

After the development of this expert system, a trial of its applicability began and the possibility of interface with CAD software for extracting features from CAD models that is still ongoing.

1. Introduzione

Lo scopo della mia esperienza è stato lo sviluppo di un sistema esperto partendo da un prototipo di tale sistema con la finalità di estrarre in maniera semi-automatica le feature necessarie alla riprogrammazione di sistemi di visione artificiale.

Questo lavoro è stato svolto in collaborazione con il dipartimento d'Ingegneria Industriale e Civile (DICI) dell'Università di Pisa e con GKN Driveline, società leader nel campo dei sistemi ingegneristici e tecnologici che si occupa nella realizzazione di semiassi e alberi di trasmissione.

La rapidità di introduzione di nuovi prodotti ha portato le industrie automotive, tra cui GKN, a ridurre il tempo di sviluppo e di progettazione di componenti meccanici e l'inserimento di modifiche ai prodotti esistenti, e in questa ottica GKN ha intrapreso la sperimentazione di nuovi software.

Gli obiettivi sono:

1. Sviluppo di un sistema esperto collegato a un sistema di visione artificiale.
2. Riduzione del tempo di riprogrammazione del sistema di visione.
3. Svolgimento dell'operazione di controllo in maniera semplificata. L'operatore non deve intervenire per la sistemazione ed interazione del codice in maniera manuale tramite calibro o strumenti di misurazione ma può rilevare tutti i difetti o le caratteristiche rilevanti del codice analizzato tramite interfaccia PC.
4. Sviluppare una metodologia rapida d'estrazione e analisi di feature senza entrare in contatto con il sistema di visione.

Nel 2016, GKN ha deciso di installare un sistema di visione artificiale e di effettuare lo sviluppo di un sistema ad esso collegato in modo da rilevare difetti, errori d'assemblaggio (guarnizioni mancati, componenti errati, controllo delle misure come lunghezza e diametro degli alberi di trasmissione).

I pezzi meccanici da controllare sono generalmente semiassi provenienti dal reparto assemblaggio e produzione e devono essere sottoposti a un accurato controllo prima di essere posti in giacenza nel magazzino o inviati al cliente.

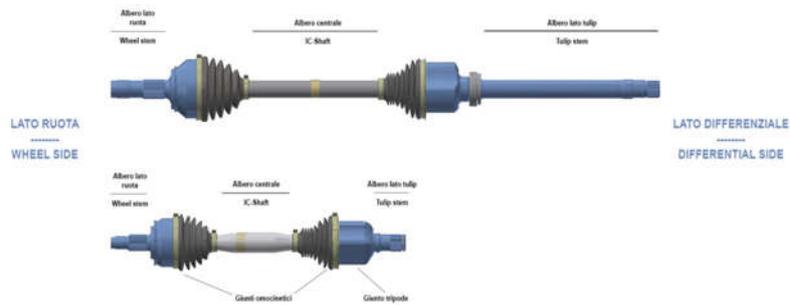


Figura 1: Un semiassa o drive shaft è un componente meccanico che nell'autoveicolo permette la trasmissione della forza motrice dal motore alle ruote. Esso collega il differenziale, montato sul telaio e collegato al motore, alle ruote motrici, con lo scopo di trasmettere la potenza e permettendo di sterzare e seguire le oscillazioni della ruota rispetto al telaio. Esso è costituito da due giunti, uno fisso collegato alla ruota di guida e uno scorrevole collegato al differenziale, da 2 cuffie che consentono la protezione delle parti periferiche e da uno shaft centrale che consente di trasferire il moto rotatorio dal differenziale alla ruota

2. Sistema di Visione Artificiale

Durante la mia esperienza in GKN sono entrato in contatto con un sistema di Visione artificiale ubicato nello stabilimento GKN a Firenze.

Il sistema di visione è composto da un hardware e software.



Figura 2: Sistema di Visione artificiale in GKN.

2.1 Hardware

Il sistema di Vision, utilizzato per il controllo dei semiassi, come si vede in Figura 2, ha una configurazione verticale e riesce a sostenere il semiassi attraverso un sistema di pinze mobili, che consentono d'adattarsi a una varietà di modelli di semiassi, e contropunte, che comprimono e fanno ruotare il semiassi, in modo che le fotocamere, sei disposte a 44,5 cm a fianco del semiassi e due disposte perpendicolarmente rispetto al esso, possano analizzare tutta la superficie del pezzo a 360°. Le pinze sono mosse da carrelli azionati da motori collegati da un sistema di vite a ricircolo di sfere e madrevite collegata al supporto mobile. Dato che l'illuminazione dell'ambiente è uno degli aspetti fondamentali per la progettazione di un sistema di visione, sono presenti illuminatori spot, necessarie non solo per le telecamere ma anche per evitare interferenze con altre fonti luminose esterne. L'intero sistema è racchiuso in un box dotato di sportello che si apre in maniera automatica per consentire a un braccio robotico il carico e lo scarico del pezzo.

2.2 Software

Il software è gestito principalmente da un PC e da un PLC (Programmable logic controller) dove il PC è la piattaforma su cui il software elabora le immagini provenienti dalle telecamere e analizza i dati estrapolati, mentre il PLC è un dispositivo che guida il movimento degli assi per muovere pinze e contropunte in modo da caricare e scaricare i pezzi e per posizionare le telecamere in posizioni variabili a seconda del part number ispezionato.

Il software permette di elaborare le immagini riprese dalle telecamere durante un ciclo di rotazione e consulta le informazioni contenute all'interno di file XML conservati all'interno di librerie aziendali in modo da ricostruire in maniera automatica la struttura del pezzo e stabilire i parametri di riferimento per svolgere le varie lavorazioni del pezzo e per identificare le posizioni reciproche tool/pezzo in fase di controllo. (Calle, Y. C. Vila, 2018)

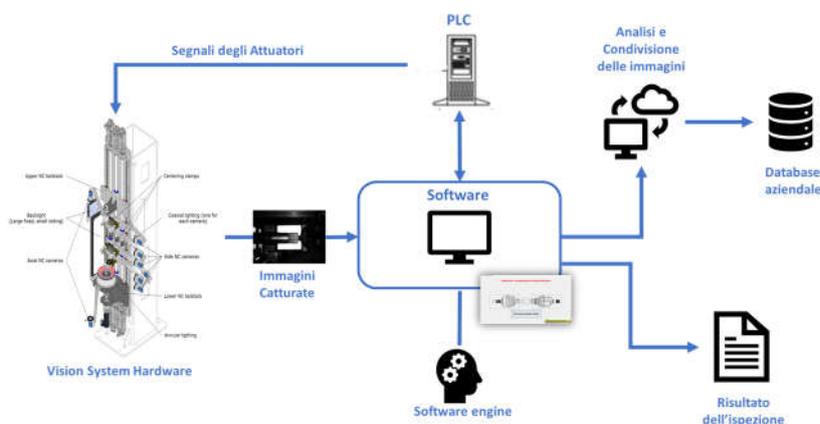


Figura 3: Interfaccia tra Hardware e Software del sistema di visione

3. Sistema Esperto "Industrializzazione rapida del sistema di visione"

Precedentemente in GKN, è stato sviluppato un prototipo di sistema esperto, che migliora l'analisi dei diversi componenti e dei rispettivi difetti presenti nell'ispezione visiva del semilavorato e allo stesso modo garantisce l'inserimento di nuovi tipi di semiassi d'analizzare facilitando il loro monitoraggio. Analizza le diverse famiglie dei semiassi e le elabora tramite l'utilizzo di un'interfaccia PC grafica, riportando le immagini ricavate all'interno nel database locale del PC e successivamente nel server aziendale. Questo prototipo di sistema esperto genera il file di configurazione XML che contiene le informazioni del prodotto che vengono recuperate dalle immagini del semiassi e traduce le informazioni geometriche in linguaggio macchina.

Però esso non è stato progettato per il controllo dei semiassi non soggetti a industrializzazione, non contenendo alcun riferimento numerico per quanto riguarda posizione e soglie d'accettazione della parte e ciò comporta elaborazioni problematiche all'interno dei file di configurazione.

Quindi il suo impiego richiede conoscenze approfondite da parte dell'operatore sia in termini di linguaggio di programmazione sia in termini di sistema di visione e proprio per rendere più facile l'utilizzo di tale applicazione abbiamo sviluppato un nuovo software esperto in grado di recuperare ed elaborare le informazioni geometriche e dimensionali (ROI, soglie e valori nominali) utili per impostare gli strumenti d'analisi. (Biancalana M., 2019)

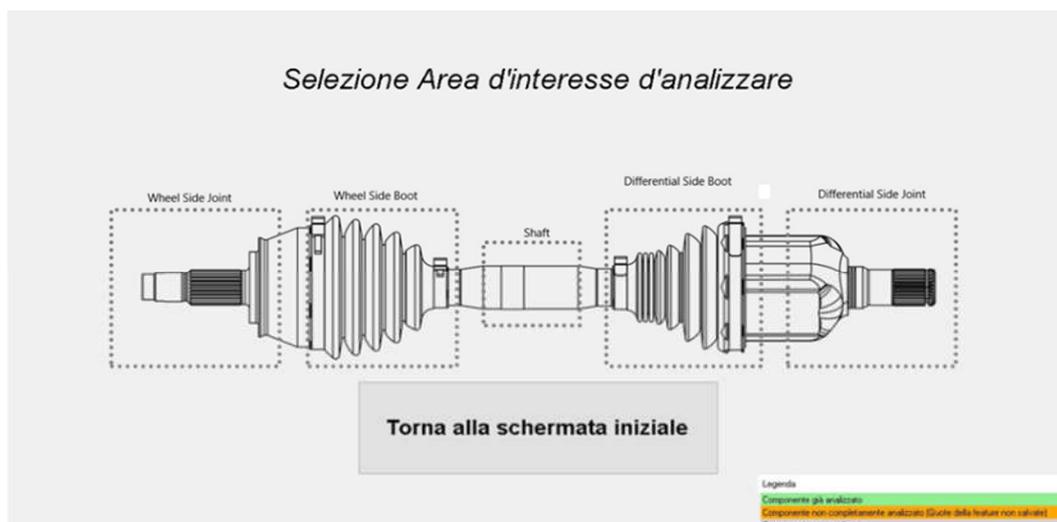


Figura 4: Interfaccia iniziale del software

Lo scopo principale del sistema esperto è quello di determinare i parametri di calibrazione richiesti dagli algoritmi di ispezione. Tali parametri sono necessari per definire i più specifici settaggi dell'algoritmo, come ad es. le soglie di transizione e di filtro e le ROI (region of interest). Le ROI cambiano sia per le diverse dimensioni del semialbero (a short o a long tulip) sia per il posizionamento delle telecamere rispetto ad esso; inoltre tale software permette di calcolare la posizione relativa tra semialbero e le telecamere.

Tramite l'interfaccia l'operatore avrà la possibilità di visualizzare i vari componenti del semiasse (giunto omocinetico fisso o scorrevole, shaft e cuffia fissa o scorrevole), le loro caratteristiche, soglie e tolleranze e una volta combinati tali parametri, potrà salvarli all'interno di un file di configurazione xml.

Il file di configurazione xml è un file scritto in linguaggio XML, associato a ciascun prodotto ispezionato dal sistema, il quale una volta creato viene memorizzato in un database della macchina di visione o sui server aziendali in modo da permettere una sua modifica o aggiunta.

Tali file vengono letti quando la macchina carica il programma di ispezione, preparandosi a lavorare con quel part number.

3.1 Flusso di lavoro mediante il sistema esperto

Tramite l'interfaccia, l'operatore può accedere ad un'immagine stilizzata del semiasse e tramite l'accesso alla ROI desiderata può accedere alle specifiche caratteristiche del componente da analizzare.

Per la descrizione del ciclo di lavoro del sistema esperto partiamo dalla condizione in cui la macchina di visione è già in funzione, e quindi il semiasse è già stato posizionato grazie all'utilizzo di un braccio robotico tra punta e contropunta del sistema di visione e l'albero di trasmissione è già stato posizionato tra le telecamere assiali per consentire di scattare le foto per analizzare i vari componenti.

In questo momento il robot di caricamento è fuori dalla stazione, la porta del coperchio è chiusa e inizia il ciclo d'acquisizione.

L'operatore si trova davanti all'interfaccia del software in fase di controllo qualità dei semilavorati provenienti dal ciclo produttivo.

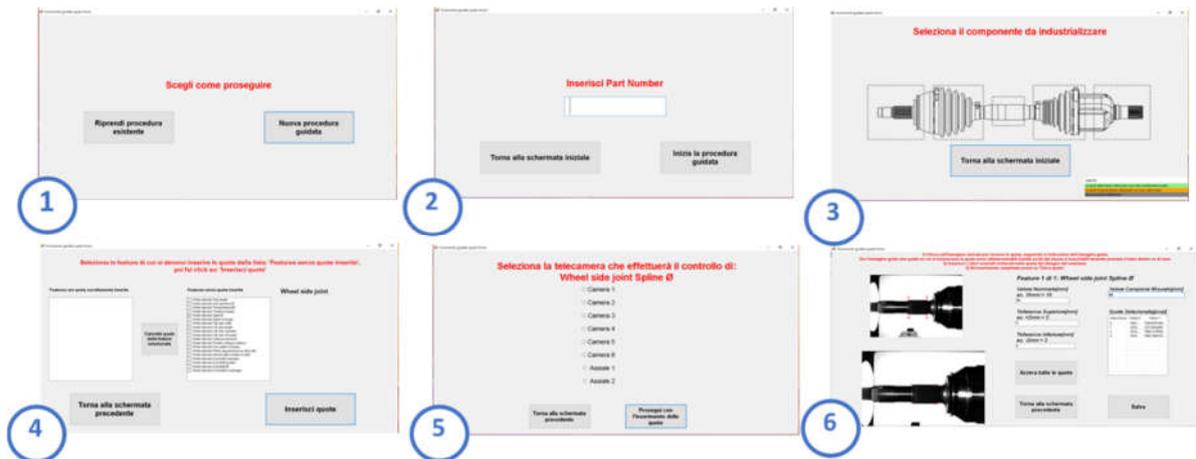


Figura 5: Il funzionamento del sistema esperto si compone dei seguenti step:
Dopo che il sistema esperto ha inviato segnali d'acquisizione alle telecamere per attuare il ciclo d'acquisizione delle immagini.

1. L'operatore sceglie tra vecchia o nuova procedura iniziata (analisi nuova tipologia di semiasse o tipologia già presente) tramite creazione o caricamento del file di configurazione xml.
2. Definizione del particolare da analizzare tramite trascrizione del part number del semiasse considerato
3. Visualizzazione dell'immagine completa del semiasse e indicazione dei componenti sottoposti ad analisi.
4. Visualizzazione feature rilevanti per quel componente del semiasse selezionato e selezione feature da sottoporre a rilevazione
5. Caricamento immagine prelevato da database del sistema di visione, tramite scelta della fotocamera corrispondente
6. Analisi feature selezionata (es. lunghezza, tolleranze), salvataggio delle informazioni geometriche all'interno del file di configurazione xml conservato nel database aziendale (quote, tolleranze, soglie, ecc..) e inserimento del valore del campione misurato tramite calibro da parte dell'operatore.

Il risultato, salvato all'interno del file xml, viene memorizzato nel server aziendale.

Il sistema esperto analizza tutte le informazioni salvate nel file XML, ricostruendo la struttura del semiasse, rapportando pixel a mm ed estrapola le caratteristiche geometriche richieste dall'operatore.

Riassumendo, gli obiettivi principali dell'intero sistema sono: ricerca dei difetti in un semiasse analizzato, classificazione dei gruppi omogenei di semiassi secondo criteri prestabiliti, verifica delle tolleranze di lavorazione, controllo delle uniformità superficiale e verifica delle non conformità (componente mancante o errato, stato superficiale, verifica delle tolleranze geometriche e di forma, controlli di errori derivanti da assemblaggio, imperfezioni come perdite di grasso).

3.2 Sperimentazioni

Per testare l'affidabilità di questo sistema esperto e per convalidare la sua effettiva semplicità abbiamo deciso di farlo provare prima a soggetti poco esperti sia in sistemi di visione sia nell'utilizzo di software di programmazione, come studenti d'ingegneria gestionale magistrale dell'Università di Pisa. A tali studenti è stato proposto un

questionario di valutazione del sistema. Successivamente abbiamo collaudato il sistema esperto ultimato in corrispondenza del sistema di visione ubicato in una cella dello stabilimento GKN Driveline Firenze.

In seguito a queste prove, possiamo affermare che il software riesce ad elaborare in maniera semplice e funzionale le feature in fase d'analisi e si integra facilmente con le telecamere del sistema di visione.

4. CAD Feature Extraction

Una volta messo a punto il sistema esperto chiamato "Industrializzazione rapida del sistema di visione", ci siamo preoccupati di creare una metodologia semplificata e rapida d'estrazione e analisi delle feature senza entrare in contatto con il sistema di visione, dato che il sistema esperto ha la possibilità di interfacciarsi non solo con il sistema di visione ma anche con il modello CAD (Turner et al., 1989).

Nel corso degli anni sono stati sviluppati sistemi complessi per estrarre le feature direttamente da un modello CAD (Liu, Sunil et al., 2010), (Somashekar S., 1995), (H. Pottmanna, 2005) e seppur non applicati concretamente, rappresentano il punto di partenza per i lavori successivi.

Ci siamo chiesti anche se il nostro sistema potesse estrapolare tutte le informazioni geometriche utili per il riconoscimento del pezzo meccanico.

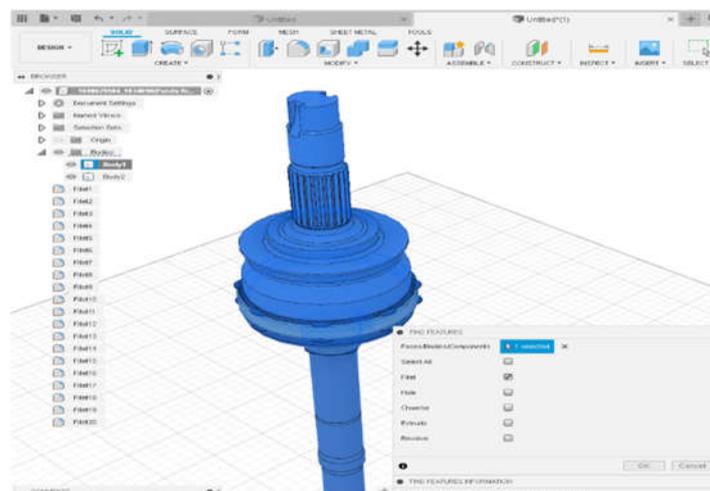


Figura 6: Esempio estrapolazione feature tramite Autodesk Fusion 360

Abbiamo preso in considerazione software CAD che vengono generalmente utilizzate nelle aziende manifatturiere, cercando di raggiungere l'obiettivo d'estrazione delle feature sia da modelli CAD in 2D, utilizzando file .dwg e successivamente da modelli 3D, utilizzando file STEP ed IGES.

Per primo abbiamo utilizzato il software AutoCAD, dato che le conoscenze riguardo alle funzionalità su "Estrazione dei dati" erano molto più avanzate rispetto ad altre. L'unico

difetto di questo software è la necessità di trasformare il modello CAD 3D (file IGES) in modello 2D, trasformandolo in una messa in tavola.

Il secondo software utilizzato è Solidworks, che è uno dei software di modellazione CAD generalmente più utilizzato all'interno dell'industria automotive, è facilmente compatibile con diverse tipologie di macro/api e include la possibilità di sviluppare macro in vba; quindi abbiamo ricercato e sviluppato macro in linguaggio di programmazione Visual Basic, applicate sia a complessivi semplici, come linee, cubi o semplici assemblati, sia al modello 3D CAD del semiasse GKN.

Sicuramente le ricerche sono ancora all'inizio, ma possono venir sfruttate per un successivo impiego per lo sviluppo di macro più elaborate che consentono di svolgere la funzione di "Feature Extraction" nella stessa modalità ottenuta con AutoCAD o con altri software CAD sviluppati da sviluppatori indipendenti.

Nel nostro processo di ricerca, ci siamo imbattuti in altri tipi di software CAD, simili a Solidworks CAD, che consentono supportare numerosi formati vettoriali e 3D, misurare formati in 2D e in 3D e hanno la capacità di conversione di file DWG in STEP.



Figura 7: Flusso d'estrazione d'informazioni geometriche e dimensionali da modelli CAD

Un altro metodo d'analisi delle feature è la tecnica di rendering, la quale serve a produrre immagini dall'aspetto realistico. Ogni piccolo componente del semiasse analizzato richiede molta cura nel dettaglio sia in modellazione sia in realizzazione, in quest'ottica abbiamo svolto un'operazione di rendering tramite il software CAD Fusion 360 e abbiamo ottenuto immagini reindirizzate dei vari componenti del semiasse. Tale operazione ha il compito di mostrare la sensazione spaziale della forma del pezzo e la sua percezione di profondità con l'ambiente (interno del sistema di visione). Prima di eseguire il rendering è necessario controllare le dimensioni in pixel. Il tempo di rendering è direttamente proporzionale alle dimensioni e alla risoluzione dell'immagine. (Simons. G., et al, 2019)

4.1 Applicazione pratica per l'estrazione delle feature tramite metodo sintattico

Il metodo di riconoscimento sintattico si basa sull'uso di un linguaggio descrittivo delle caratteristiche del particolare meccanico (Francesconi A. et al., 2009). Per ricreare questo metodo a livello pratico, abbiamo sviluppato in Visual Studio una macro in linguaggio di programmazione Visual Basic sulla base di codici di programmazione già esistenti che svolgevano tale funzionalità (misurazione della lunghezza di un'entità geometrica selezionata). Abbiamo utilizzato la macro sviluppata per l'estrapolazione di feature sia da entità geometriche semplici (cerchi, linee e punti) sia da entità geometriche selezionate dal modello tridimensionale del semiasse (anche se quest'ultima funzionalità è ancora in corso di lavorazione). Il software CAD utilizzato per la creazione o caricamento dei file step dei modelli di prova è Solidworks.

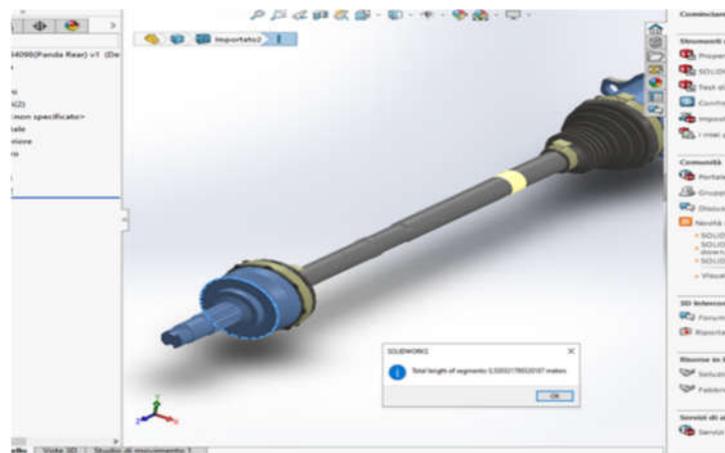


Figura 8: Interfaccia che mostra la lunghezza dell'entità selezionata (diametro)

Il risultato di queste applicazioni è stato quello di creare una metodologia semplificata e rapida d'estrazione e analisi delle feature ottenendoli da un modello CAD, come si vede in Figura 9.

La metodologia si basa su sei passaggi:

1. Caricamento del modello CAD
2. Estrazione dei dati del file IGES
3. Definizione delle feature del codice selezionato
4. Ispezione dei pezzi mediante visione industriale
5. Calibrazione
6. Misurazioni

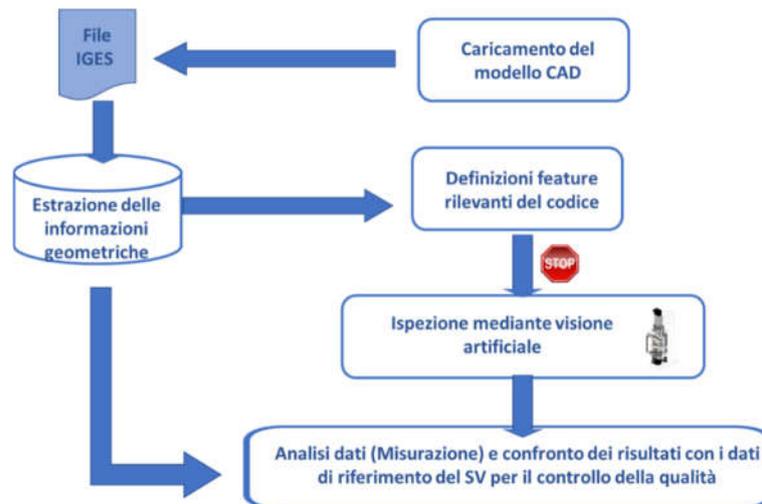


Figura 9: Procedura per l'attuale sistema di controllo integrato

Una volta classificate le funzionalità del semiassi e identificate le sue caratteristiche principali, dopo i primi tre passaggi il processo di controllo risulterebbe completato (Sivakumar.S, V Dhanalakshmi, 2013). Solo in casi eccezionali (codici meccanici di estrema rilevanza per il lotto produttivo e nel caso di richiesta di zero defects sul lotto) è possibile confrontare tali dati con quelli provenienti dalla combinazione tra sistema esperto e sistema di visione artificiale e proseguire nella fase successive.

5. Conclusioni

Lo sviluppo del sistema esperto è nato dal bisogno di collaborazione tra la fase di produzione e quella di controllo per produrre un prodotto di maggior qualità. Il sistema esperto realizzato ha cercato di rendere più rapido l'utilizzo di sistemi già esistenti in modo da permettere all'operatore di effettuare controlli in maniera più semplice con la prospettiva di essere usato da persone non esperte in campo ingegneristico. Per testare la sua affidabilità e convalidare la sua semplicità si è fatto provare anche da persone non esperte e si sono ottenuti buoni risultati.

In seguito alle prove effettuate possiamo affermare che il software si integra facilmente con il sistema di visione e riesce ad elaborare in maniera semplice e funzionale le feature in fase d'analisi del semiassi.

Per quanto riguarda la creazione di una metodologia rapida per semplificare l'estrazione delle feature direttamente dal CAD senza l'impiego di sistema di visione, è ancora in fase di sperimentazione e sarà il passo futuro.

Riferimenti

- Francesconi Andrea, Gianluca Matteucci, Maurizio Pagni, e Michele Lanzetta. «Cicli di lavorazione automatizzati tramite sistemi AFR.», *Macchine Utensili*, pp. 78-81, 2009-06.
- Liu, Sunil and Pande, Kamrani et al. 2010, Sunil et al. «Feature extraction and classification for rotational parts taking 3D data files as input» *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 21 (5), pp. 432– 443, 2004
- N. Ismail, N. Abu Bakar, A.H. Juri. «Recognition of cylindrical and conical features using edge boundary classification» *International Journal of Machine Tools and Manufacture Design, Research and Application* 45, pp. 649–655, 2005
- Simons, G., et al. «Applying Visual Analytics to Physically Based Rendering» *Computer Graphics Forum Vol.38 (1)*, pp.197-209, 2019
- Sivakumar. S, and V Dhanalakshmi. "An approach towards the integration of CAD/CAM/CAI through STEP file using feature extraction for cylindrical parts." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, pp.561-570, 01 June 2013
- Somashekar Subrahmanyam, Michael Wozny. «An overview of automatic feature recognition techniques for computer-aided process planning» *Computers in Industry* 26, pp 1-21; 1995
- Turner, R.-F. Wang and J. Recent research in feature-based design. Technical. Report No. 89020, Troy, NY: Rensselaer Design Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, May 1989
- Calle, Y. C. Vila. « Computer Vision system for Automatic Inspection of Automotive parts in Assembly Lines», *Tesi di dottorato*, 2018
- Biancalana Michele. «Hardware and software solutions to develop a flexible vision system for halfshaft inspection», *Tesi di dottorato*, pp 51-57; pp 38-39, 2019
- H. Pottmanna, S. Leopoldsedera, M. Hofera, T. Steiner, W. Wang. «Industrial geometry: recent advances and applications in CAD» *Computer-Aided Design* 37, pp.751–766, 2005

