

SENSORI NELLE MACCHINE CNC E NEI ROBOT INDUSTRIALI: CARATTERISTICHE E APPLICAZIONI

I SENSORI SONO UNA DELLE PIÙ IMPORTANTI COLONNE PORTANTI DELL'INDUSTRIA MANIFATTURIERA MODERNA, IN QUANTO HANNO CONSENTITO UNO SVILUPPO ESEMPLARE, IN TERMINI DI PRECISIONE E RIPETIBILITÀ, DELLE MACCHINE A CONTROLLO NUMERICO (DENOMINATE CNC "COMPUTER NUMERICAL CONTROL") E DEI ROBOT INDUSTRIALI. IL LORO SVILUPPO ED IL LORO SUCCESSO HANNO CONSENTITO UN INCREMENTO DI PRODUTTIVITÀ E DI FLESSIBILITÀ NELLE CATENE DI PRODUZIONE, COSA CHE VA "A PENNELLO" CON QUELLI CHE SONO GLI SCOPI DELL'INDUSTRIA 4.0, IN PARTICOLARE SE SI PARLA DI AUTOMAZIONE INDUSTRIALE

trasduttori, noti anche come sensori, costituiscono uno dei più importanti sviluppi per le macchine a controllo numerico (CNC) e per i robot industriali. Nel primo caso, sono finalizzati alla gestione della posizione di misura e lavorano con dei segnali a partire dal valore misurato. Nel secondo, invece, costituiscono la vera e propria intelligenza artificiale della robotica.

È possibile classificare i trasduttori di posizione come segue:

- Analogici: ad ogni valore misurato si associa un segnale distinto, senza discontinuità, nel campo di misura;
- Digitale: la grandezza misurata viene divisa in parti uguali ed il valore misurato è multiplo intero della risoluzione (valore minimo individuabile dal sensore), che è un riferimento per tutto il sistema;
- Assoluti: si ha una corrispondenza univoca tra segnale in uscita e valore misurato. Si noti che un trasdutto-

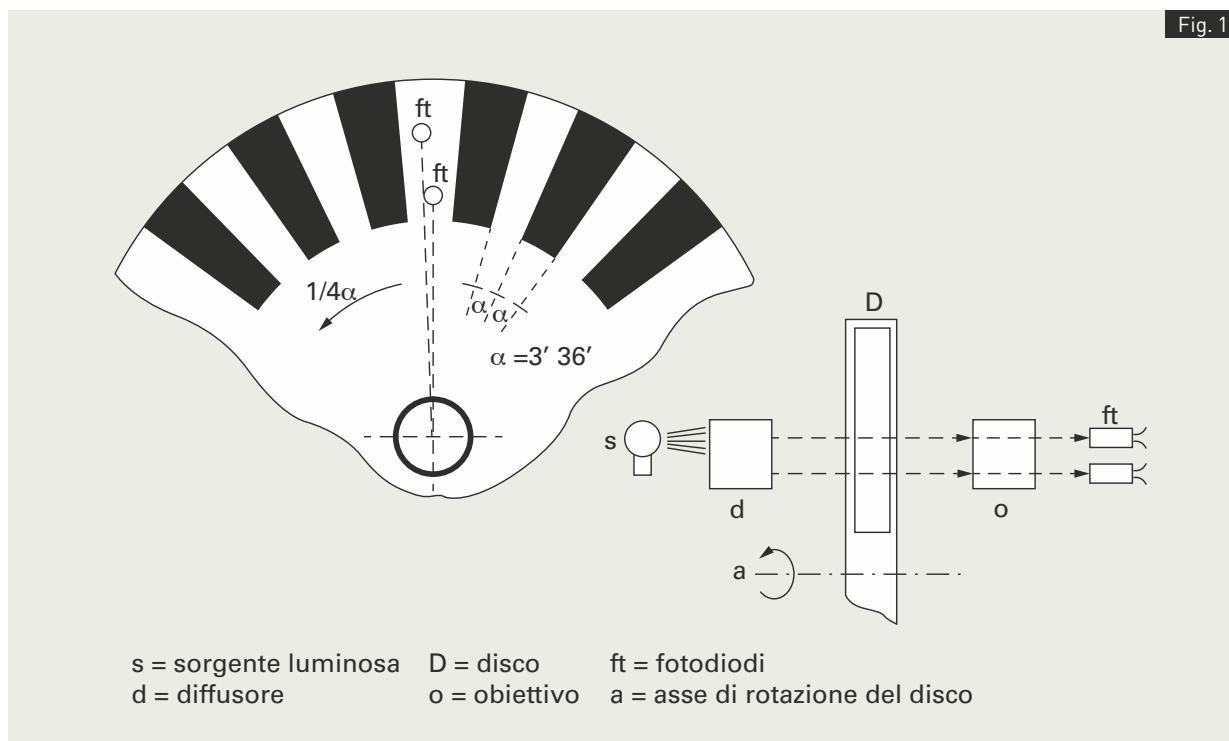


Figura 1 - Quantizer, sensore ottico. Disco con diametro di 75 mm, costituito da 50 settori trasparenti alternati con altrettanti settori opachi. Presenta una risoluzione di 50 impulsi al giro.

re analogico è, per definizione, assoluto;

- Incrementali: l'uscita si presenta come una successione di segnali con ampiezza costante. Il valore misurato deriva dal conteggio di questi segnali, tenendo fede degli incrementi e della risoluzione;
- Diretti: si ha una misura diretta della posizione (ad esempio, spostamento rettilineo della tavola porta pezzo);
- Indiretti: il valore misurato è proporzionale al segnale in uscita (si calcola, ad esempio, la rotazione di un sistema vite-madrevite e da lì si risale allo spostamento rettilineo).

Un trasduttore, generalmente, viene scelto in base al suo potere risolutivo e, tendenzialmente, si vuole che esso abbia una risoluzione di almeno uno o due ordini di grandezza inferiore alla qualità della lavorazione richiesta. La scelta di un sensore diretto o indiretto influenza non di poco la metodologia di costruzione di una macchina utensile. Il primo, ad esempio, elimina tutti i problemi derivanti dai giochi dei cinematismi nelle CNC, a differenza del secondo.

I trasduttori più utilizzati sono: l'encoder e la riga ottica (ottici), il resolver e l'inductosyn (elettromagnetici) ed i sensori laser.

Sensori ottici

Sono sistemi che utilizzano uno scanner fotoelettrico per leggere una scala lineare o un disco opportunamente codificato (ovvero con dei settori opachi e trasparenti, disposti in modo alternato). Il più semplice di tutti è il quantizer

(Figura 1), il quale, anche se ormai poco utilizzato, è utile per introdurre più facilmente l'encoder e la riga ottica, di maggior interesse, poiché più moderni ed usati. Esso rientra nella categoria dei trasduttori incrementali. È costituito da un disco in materiale plastico, con diametro di 75 mm, con 50 settori opachi ed altrettanti trasparenti, disposti in modo alternato. In questo modo, il quantizer consente di avere una risoluzione di 50 impulsi al giro. Quando il disco ruota, due fotodiodi registrano gli impulsi luminosi. Il conteggio di questi ultimi determina la posizione. La luce che attraversa il disco è collimata (ovvero, i raggi luminosi sono paralleli con fronte d'onda planare). È possibile avere un secondo sensore sfasato di un quarto di passo per riconoscere il verso di rotazione.

Il vero limite di questo sensore è la bassa risoluzione, visto che non consente di gestire spostamenti oltre un certo ordine di grandezza (al massimo 0,01 mm, nel caso si utilizzassero opportuni sistemi di riduzione). Questi limiti sono stati superati abbondantemente con l'encoder (Figura 2). Il principio di funzionamento è uguale a quello del quantizer, ma è stato aggiunto un regolo tra la sorgente luminosa ed il disco, per rendere più netto il passaggio tra il tratto opaco e quello trasparente. Anche qui, sono presenti due fotocellule (in realtà sono due coppie, quindi quattro in totale) per il rilevamento del verso di rotazione, più un'altra per leggere il riferimento dello zero. L'encoder è in grado di generare fino a 36000 impulsi al giro con una precisione di $\pm 5''$.

Lo sviluppo lineare dell'encoder prende il nome di encoder lineare o riga ottica (Figura 3). A differenza di quello

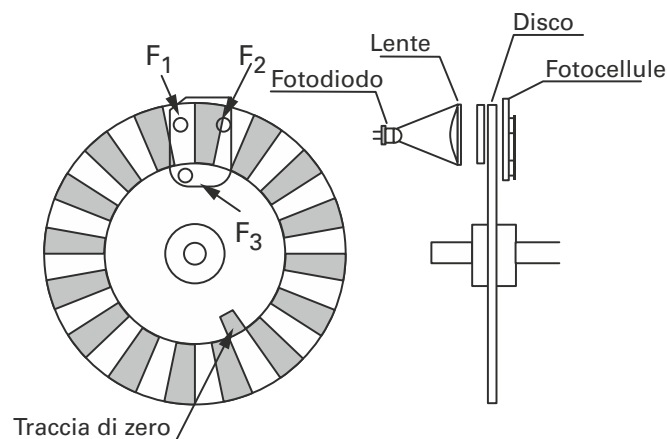
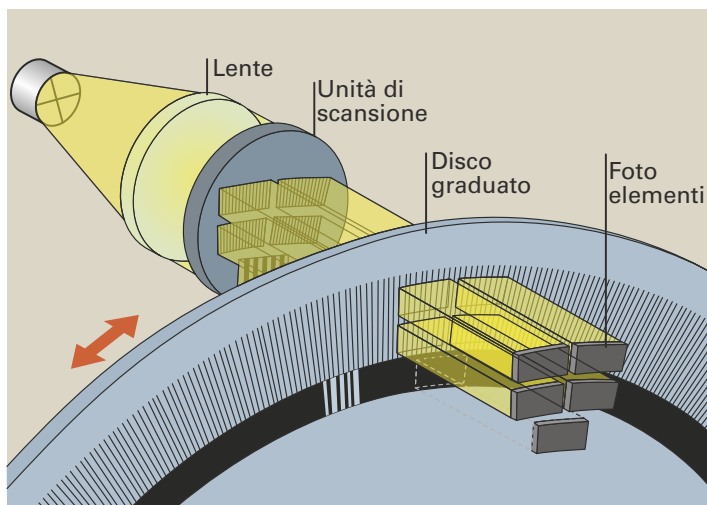


Fig. 2

descritto fino ad ora, è di tipo diretto e viene montato sulla guida su cui scorre la tavola. Le righe ottiche devono avere una lunghezza pari a quella dell'asse ed in alcuni casi si utilizzano delle serie di righe ottiche (a discapito, però, della precisione). Esistono, per questa tipologie di sensori ottici, configurazioni per funzionamento in luce trasmessa (si utilizza il vetro come materiale) o in luce riflessa (la riga ottica, in questo caso, è realizzata in acciaio).

Nella figura 4, è riportato, in modo schematico, il calcolo relativo alla risoluzione. Si noti come l'utilizzo dell'encoder sia di gran lunga più conveniente, in termini di valore minimo controllabile, rispetto al più datato quantizer.

Sensori elettromagnetici

Prima di arrivare allo sviluppo tecnologico degli encoder, veniva usato il resolver. Si tratta di un trasduttore magnetico, il cui funzionamento è legato alla legge di Lenz. Oggi è utilizzato per lo più in campo militare. È un trasduttore indiretto, analogico e assoluto nell'ambito del giro. Il resolver viene posizionato sul vano motore o sulla vite a ricircolo di sfere. In generale, si preferisce sempre l'encoder, perché è molto più semplice a livello costruttivo e soprattutto dal punto di vista della gestione dell'unità di governo (visto che si lavora con segnali digitali). Tuttavia, in condizioni di vibrazioni elevate, si preferisce sempre il resolver. Un altro trasduttore di tipo elettromagnetico è l'inductosyn lineare, che presenta un meccanismo di funzionamento simile a quello del resolver, ma è un sensore di tipo diretto. Nel caso di sensori per tavole girevoli, è possibile avere dei particolari inductosyn detti "circolari", in cui vengono usati due dischi, uno fisso ed un altro mobile.

I sensori nei robot industriali

Come accennato precedentemente, una delle più grandi fonti di successo per i robot va ricercata nei sensori. Questi, infatti, ne costituiscono l'intelligenza artificiale, nonché l'interfaccia con l'ambiente esterno (tutto l'insieme di macchine ed attrezzature, presenti nei sistemi di produ-

zione). I sensori, nel campo della robotica, consentono di identificare e rilevare la posizione del pezzo ed il suo stato di lavorazione. Per capirne la loro importanza, si pensi alla presa di un oggetto da un nastro trasportatore: se non viene dato il giusto comando al robot e, più in particolare, alla pinza di afferraggio, si rischia di far cadere l'oggetto o di rovinarne, in alcuni casi (se la presa è troppo forte e la superficie del pezzo delicata), lo stato superficiale. Il loro campo di applicabilità è molto vasto. Si definiscono, infatti: sensori di contatto, di forza e di visione.

Sensori di contatto e di forza

I sensori di contatto consentono di rilevare la posizione, eseguire allineamenti in un montaggio o identificare componenti. Essi sono costituiti da:

- Microinterruttori;
- Sensori capacitivi o induttivi di prossimità;
- Matrici sensibili alla pressione.

Solitamente, vengono installati nell'ambiente esterno per controllare l'apertura di un organo mobile da asservire o sulle dite del robot, per rilevare la presenza dell'oggetto. In ogni caso, la loro funzione è rivolta alla manipolazione di oggetti.

I sensori di forza, invece, sono utili per capire se il robot sta eseguendo operazioni corrette o se l'aumento delle sollecitazioni è indice di urti o forzamenti con elementi dell'ambiente esterno. Le applicazioni, quindi, riguardano manipolazione e montaggio di oggetti.

Sensori di visione

I sensori che godono di un grande prestigio nella robotica e, più in generale in tutta l'industria 4.0, sono quelli di visione. Essi consentono di misurare le dimensioni, la posizione e l'orientamento di un pezzo, oltre che il suo riconoscimento tra molti altri. Sono costituiti, in buona sostanza, da:

- un sistema di illuminazione per aumentare il contrasto;

Figura 2 – I problemi di bassa risoluzione del Quantizer vengono superati dall'Encoder, grazie all'aggiunta di un regolo che rende più netto il tratto opaco e quello trasparente.

- una o più telecamere ed un sistema computerizzato per l'analisi e l'elaborazione delle immagini.

Per ovvie ragioni di tempo di elaborazione dell'immagine acquisita, è necessario estrarre una serie di parametri da confrontare con quelli di riferimento. Non è, infatti, pensabile di effettuare un confronto pixel per pixel e si opera usualmente con una sola telecamera ed in modo bidimensionale. L'immagine acquisita a colori viene:

1. Trasformata a livelli di grigio (il colore non è un'informazione utile);
2. Scansionata per trasformarla in una immagine binaria (1: presenza oggetto; 0: assenza oggetto), questo permette di conoscere il perimetro dell'oggetto;
3. Analizzata per estrarre alcuni parametri d'interesse, come:

- Area;
- Perimetro;
- Baricentro;
- Momenti d'inerzia;
- Elementi di forma vari.

Negli ultimi anni, si è pensato di sviluppare dei sensori "vo-

cali" per rendere ancora più flessibile l'utilizzo dei robot e di tutta la catena produttiva (si parla, in questo caso, di robotica collaborativa). Ciò potrebbe significare un enorme incremento dei tempi produttivi in produzione, a patto di una programmazione informatica preliminare non di banale realizzazione. I sensori, quindi, si possono definire il vero e proprio "occhio" dell'industria manifatturiera e consentono di raggiungere risultati finali sempre più ottimizzati, in termini di qualità e produttività. ■

Figura 3 - Riga ottica o encoder lineare, trasduttore di tipo ottico, diretto.

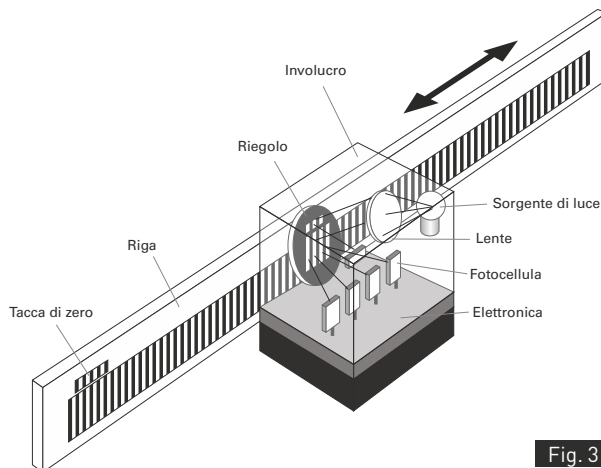


Fig. 3

Figura 4 - Calcolo della risoluzione minima controllabile da un trasduttore, nel caso di quantizer (1) ed encoder (2)

Si definisce il rapporto di trasmissione τ , il rapporto tra la rotazione del trasduttore e quella della vite, definiti come segue:

$$\tau = \frac{\theta_{\text{trasduttore}}}{\theta_{\text{vite}}}$$

$$\theta_{\text{trasduttore}} = \frac{360}{i}$$

$$\theta_{\text{vite}} = \frac{360}{50 \times i}$$

Da cui si sa che:

$$\theta_{\text{vite}} : 360 = p : s$$

Avendo definito con "p" il passo della vite e "s" lo spostamento (nel caso in esame, corrisponderà alla risoluzione).

Facendo le dovute sostituzioni algebriche si ricava:

$$s = \frac{p}{i \times \tau}$$

(1) 0,02mm

(2) 0,00077 mm

I valori ricavati equivalgono allo spostamento minimo (rilevabile) della tavola, nel caso di un **quantizer (1)** e nel caso di un **Encoder**.

I dati a cui si è fatto riferimento sono i seguenti:

- i (impulsi al giro): 50 per il **quantizer** e 1300 per l'**encoder**;
- p (passo della vite): 5 mm per entrambi i trasduttori;
- τ (rapporto di trasmissione): 5.

Fig. 4