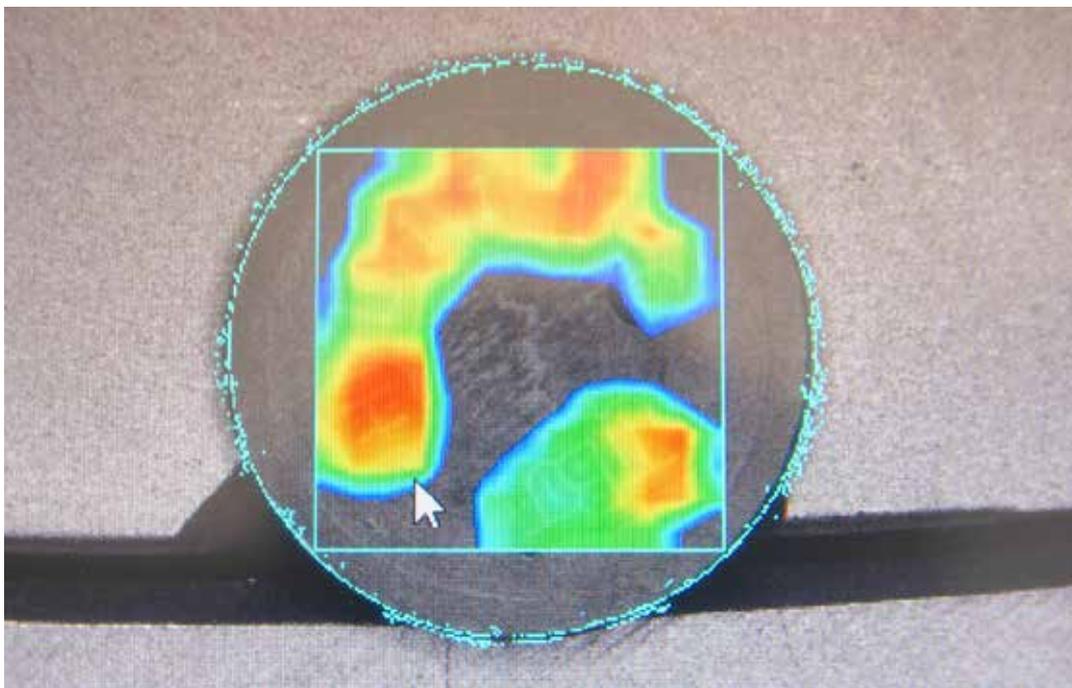


CASE
STUDY

AI e precisione di misura, le sfide del controllo di rivetti in titanio per aeronautica

Specificamente progettata per il controllo di qualità di rivetti in titanio anodizzato impiegati nell'industria aeronautica, la selezionatrice di questo caso studio è una macchina a tavola metallica indexata, modello MCV1, opportunamente equipaggiata con stazioni e software dedicati.

Insieme al pre-requisito di cadenza di selezione non inferiore a 100 pz/minuto, il contesto pone 3 controlli sfidanti.

1. Tolleranze di produzione particolarmente stringenti: 12 micron sul diametro del rivetto.
2. Controllo dell'impronta per chiave a brugola nel piede per scartare i pezzi soggetti a doppia brocciatura
3. Controllo leggibilità scritte sulla testa

A rendere più complessa la situazione, elemento emerso solo in fase di collaudo, il rivestimento superficiale dei rivetti è delicato e soggetto a graffiarsi con facilità.

Controllo tolleranze di 12 micron

I sistemi di visione utilizzati abitualmente da Dimac sono pensati per il controllo di tolleranze produttive fino a 50 micron, range che copre la maggior parte delle applicazioni della minuteria metallica. Quando si scende al di sotto di questa soglia, il sistema di controllo va studiato ad hoc, adottando accorgimenti tanto più spinti quanto inferiori sono le tolleranze da controllare. Oltre ad incrementare la risoluzione della telecamera e ad adottare obiettivi telecentrici di elevata qualità, in questo caso si è integrato l'algoritmo di correzione dell'aberrazione delle lenti (atto a ridurre gli effetti delle disomogeneità del vetro) ed un sistema di retro-illuminazione particolarmente stabile nel tempo (atto a rendere uniforme tra le diverse immagini l'effetto di diffrazione al bordo). Il sistema di visione è poi completato da filtri software che limitano gli effetti sulla misura dell'inevitabile sporco dell'ambiente produttivo.

CASE
STUDY

L'intera sequenza di misura, a causa delle diverse correzioni software adottate, risulta particolarmente pesante dal punto di vista computazionale. Per la cattura ed elaborazione di tre immagini per pezzo (corrispondenti a tre sezioni longitudinali disposte a 120°) alla cadenza di 100 pezzi al minuto, si è ricorso ad un computer industriale attrezzato con scheda grafica NVIDIA.

Il risultato è una macchina in grado di superare i test MSA1 e MSA3 anche con il campo di tolleranza progettuale di 12 micron.

Può essere interessante osservare che l'incremento di risoluzione delle telecamere, porta vantaggi in termini di qualità della misura, ma incide significativamente sulla produttività della selezionatrice. La soluzione adottata è dunque scelta come migliore compromesso tra necessità di controllo e produttività, al fine di fornire la migliore combinazione qualità-costo.



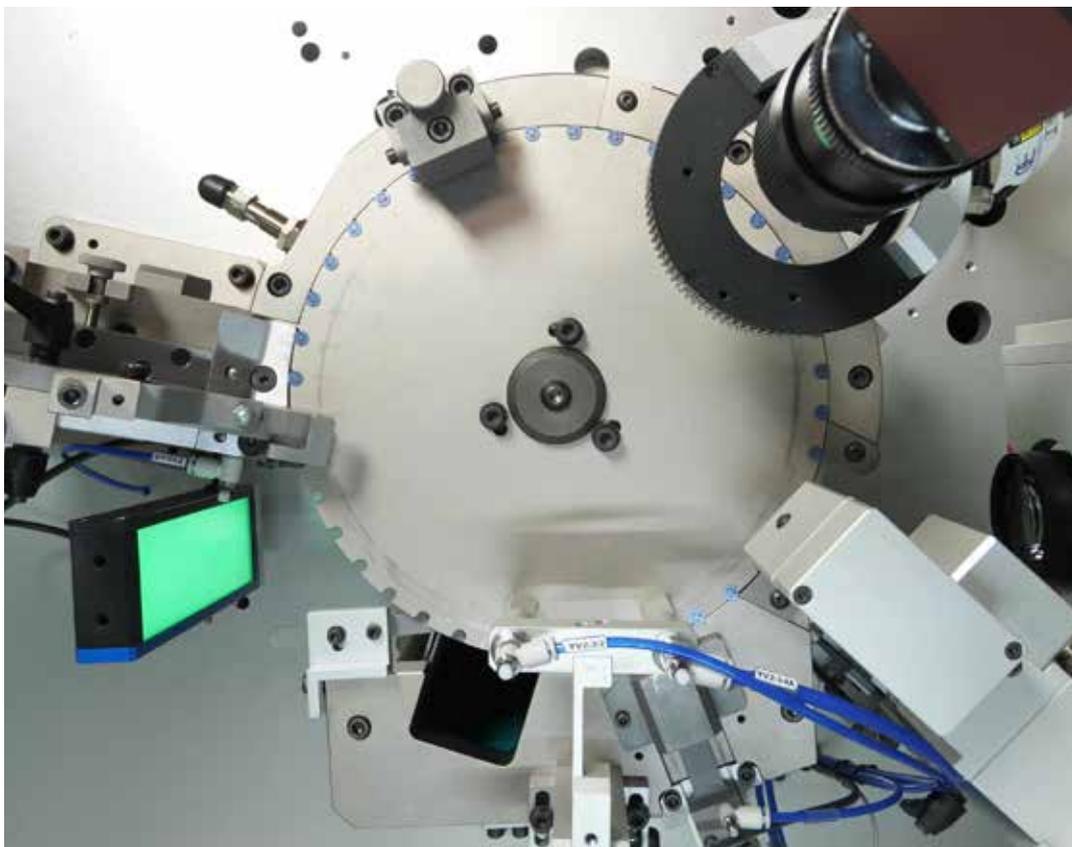
Controllo dell'impronta esagonale nel piede del pezzo

È richiesto di controllare la presenza del foro nel piede, la presenza dell'esagono e l'assenza di segni di doppia passata di brocciatura. Con quest'ultimo difetto, l'impronta assume forma simile ad una stella, generata dal leggero sfasamento che intercorre tra primo e secondo passaggio del tagliente.

Il controllo, richiesto in genere per l'impronta sulla testa, è in questo caso eseguito sull'impronta al piede con chiave da 2 mm.

Gli elementi principali di difficoltà stanno ancora una volta nella stabilità dell'immagine, nella difficoltà di far risaltare adeguatamente tutte le situazioni difettose e nell'implementazione di un algoritmo di interpretazione in grado di discriminare efficacemente il problema, senza falso scarto.

Per quanto riguarda l'immagine, si è optato per una telecamera entocentrica con illuminatore anulare diretto sul bordo inferiore del piede. Questo illuminatore, per evidenti motivi geometrici, fornisce illuminazione omogenea solo se il pezzo inquadrato è posto al centro dell'inquadratura in maniera precisa (decimi di millimetro sono rilevanti). Sfruttando la tolleranza produttiva di 12 micron sul diametro, si è curata la realizzazione delle cave della tavola di trasporto in modo che queste costituiscano il vincolo di verticalità del pezzo. Attraverso un riscontro a molla posizionato sopra la tavola e il perfetto accoppiamento dello smusso delle cave con la testa del pezzo, quest'ultimo viene tenuto in posizione anche in presenza di vibrazioni.

CASE
STUDY

Il risultato è una immagine in cui l'impronta esagonale risalta in nero all'interno della corona circolare chiara del piede del pezzo.

Per l'interpretazione il problema è nuovamente lo sporco, perché i bordi non sono perfettamente netti: non è sufficiente cercare l'esagono, perché in caso di doppia brocciatura lo si rileverebbe comunque; non è sufficiente controllare le dimensioni di esagono minimo o massimo che descrivono l'area di transizione della chiave, perché lo sporco potrebbe influire in maniera determinante.

È stato necessario mettere a punto un algoritmo basato sul gradiente di luce, ossia sull'estensione di una fascia di grigio attorno alla circonferenza iscritta nell'esagono, contando il numero di volte in cui il gradiente attraversa una seconda circonferenza di un diametro impostabile dall'utente. La misura di questa circonferenza stabilisce la soglia tra lo sporco accettabile e il difetto reale, rendendo quindi regolabile la sensibilità del controllo.

Controllo leggibilità scritte sulla testa del rivetto

Nella testa del rivetto, piana, è impressa tramite marcatura una scritta con contenuto variabile, ad esempio il lotto di produzione. Quando il pezzo si muove sotto la marcatrice, la scritta risulta doppia o sfumata e per questo illeggibile.

Questo tipo di difettosità, non rilevabile con le tecniche tradizionali di analisi delle immagini, viene oggi selezionata tramite l'intelligenza artificiale.

L'AI integra, infatti, valide funzioni OCR (Riconoscimento Ottico dei Caratteri) per le situazioni comuni e può essere addestrata anche al riconoscimento di caratteri con Font speciali, disposti casualmente nello spazio e secondo percorsi curvilinei.

Nel caso specifico, però, le funzioni OCR vanno in crisi in termini di tempi computazionali: la cadenza richiesta di 100 pezzi al minuto risulta irraggiungibile. La soluzione adottata si basa invece su un training della rete neurale agnostico alla lettura delle scritte, addestrato esclusivamente al riconoscimento del difetto. In sostanza, dunque, non si è addestrata l'AI a leggere la scritta, il cui contenuto peraltro non è di interesse, ma la si è addestrata a cercare il difetto, indipendentemente dal contenuto testuale. Perché questo procedimento sia effi-

CASE STUDY

case, gioca anche in questo caso un ruolo importante la stabilità dell'immagine: le instabilità costituiscono infatti una sorta di rumore di fondo nel processo di training che va a sfumare il limite tra componente conforme e non conforme. Di nuovo, come per i precedenti controlli, si pone il tema della ricerca dell'ottimizzazione tecnico-economica tra tempi computazionali, capacità di discernere il difetto, investimento nella qualità delle componenti.

La manipolazione di pezzi con rivestimento superficiale delicato

I rivetti, in titanio, non sono normalmente manipolati con particolare attenzione. La delicatezza del rivestimento si è manifestata esclusivamente in fase di messa a punto della macchina, nella rotazione a 360° del pezzo all'interno delle cave del disco di trasporto: la parete laterale del rivetto ne usciva occasionalmente segnata, con ripercussioni esclusivamente estetiche ma inaccettabili per il cliente.

L'abrasione procurata dal contatto tra disco e pezzo durante la rotazione è generata dalla combinazione di una serie di elementi che impediscono di adottare gli accorgimenti normalmente utilizzati in questi casi.

Tra questi il più semplice consiste nel sollevare il pezzo oltre il bordo del disco: nel caso in questione non è attuabile perché il maggior tempo di sollevamento comporterebbe riduzione delle cadenze.

Alternativa è l'incremento della luce delle cave: non è qui attuabile in quanto l'accoppiamento preciso tra cava e pezzo, come abbiamo visto, è funzionale alla stazione di controllo dell'impronta nel piede.

Si è quindi lavorato alla cura del contenimento delle oscillazioni di rotazione del pezzo, giochi compresi, all'interno della luce delle cave (5 centesimi): una sfida meccanica superabile solo con aggiustaggio artigianale.

AI e training

Per definizione il controllo con l'Intelligenza Artificiale non è realizzato attraverso un calcolo analitico che segue regole prestabilite dal programmatore, come succede con un software di visione tradizionale. L'algoritmo dell'Intelligenza Artificiale calcola una serie di variabili che definiscono il grado di somiglianza tra immagini omogenee per categoria (ad esempio



CASE STUDY

parti conformi e non conformi). Questa serie di variabili, definita rete neurale, viene poi utilizzata per valutare il grado di appartenenza di una nuova immagine ad una o all'altra categoria, in base ad una sorta di percentuale di somiglianza.

L'AI non ha dunque i limiti dell'interpretazione analitica dell'immagine ma, generandosi in autonomia i criteri di ricerca, segue logiche non direttamente comprensibili alla mente umana. Questo ne fa uno strumento molto versatile e potente, con il risvolto che i risultati non sono completamente prevedibili a priori e, per questo, è da mettere in conto una fase di accurata validazione sul campo.

Il processo di training AI (la creazione della rete neurale) richiede, oltre ad una postazione di calcolo opportunamente attrezzata e alle necessarie licenze software, expertise specifica per convergere rapidamente su soluzioni efficaci nella selezione e efficienti dal punto di vista computazionale. Richiede inoltre un tempo di calcolo non indifferente, sia in fase di training che in fase di validazione, motivo che, da solo, spinge a disgiungere nettamente la postazione di training dalla selezionatrice per evitare lunghi tempi non produttivi.

Pur lasciando agli utenti la possibilità di attrezzarsi, Dimac si è strutturata per eseguire il training delle reti neurali ed offrirlo come servizio da remoto. Per rendere efficiente il processo, è stata implementata una procedura nel software di macchina che supporta l'operatore nell'acquisizione delle immagini di campioni conformi e difettosi in quantità sufficiente. Su queste immagini Dimac esegue il training, lo affina e lo valida, per poi installare da remoto la rete neurale addestrata in macchina.

Il controllo al 100% di scritte sulla testa dei rivetti è un problema non risolvibile con tecniche tradizionali, dove l'AI è ad oggi l'unica strada percorribile al di fuori dell'occhio umano. E l'occhio umano è oggi necessario, e forse lo sarà per sempre, nel definire e ottimizzare il processo di lavoro dell'AI.