



Macchine per clinching su pedane per edilizia

# Controllo di qualità distribuito

Pierfrancesco Bellini, Ivan Bruno, Paolo Nesi, Luciano Pederzoli

Nell'ambito dell'iniziativa comunitaria Eutist, il progetto Visicon Ist ha permesso di sviluppare speciali algoritmi e un sistema distribuito per il controllo della qualità in tempo reale nella produzione di pedane di lamiera zincata per ponteggi edili, realizzate con la tecnologia della giunzione a freddo detta clinchiatura. La soluzione proposta si basa sulla visione artificiale, l'ingegneria del software, la modellizzazione dei processi e la rappresentazione della conoscenza con tecniche object-oriented. L'architettura applicata è fortemente modulare e facilmente adattabile ad altre applicazioni industriali.

È comunemente noto che in campo edilizio, sia per le nuove costruzioni che per le ristrutturazioni, vengano utilizzate intelaiature formate da tubi di acciaio, noti in Italia con la denominazione "tubi Innocenti". Su di esse un tempo venivano depositate assi di legno, sulle quali gli addetti ai lavori potevano camminare. Oggi, al posto di tali assi, sono utilizzate pedane di lamiera zincata, opportunamente profilate per aumentarne la resistenza meccanica e dotate di appendici saldate per il fissaggio all'intelaiatura di tubi. Proprio le saldature rappresentano, tuttavia, un punto debole, perché possono essere difettose internamente, e quindi alla lunga pericolose, senza che il difetto sia visibile dall'esterno. Per di più nella zona di saldatura l'integrità della zincatura è spesso compromessa, consentendo alla ruggine di formarsi e di indebolire rapidamente i punti di giunzione; non dimentichiamo, infatti, che l'ambiente di normale utilizzazione è solitamente corrosivo ed esposto alle intemperie. Il cedimento delle saldature che fissano le staffe di collegamento all'intelaiatura di tubi può far precipitare la persona che è in quel momento sulla pedana, provocandole gravissimi danni.

In luogo delle saldature può essere utilizzata una tecnica, definita *clinchung* (o clinchiatura), con la quale si possono accoppiare due lamiere mediante punzonatura a freddo, senza produrre inquinamento, senza compromettere la zincatura superficiale e garantendo un'ottima resistenza meccanica. La punzonatura viene effettuata imbutendo ad alta pressione due lamiere sovrapposte, per mezzo di un apposito punzone e della relativa matrice, in modo che quella superiore formi un sottosquadro all'interno di quella inferiore, sottosquadro al quale è affidata la solidità dell'accoppiamento meccanico tra le lamiere stesse (Figura 1). Praticamente si ottiene una specie di rivettatura in cui il corpo del rivetto è rappresentato dal mate-

riale della lamiera superiore. Siccome non sono richieste forature e la continuità superficiale delle lamiere non è per nulla compromessa, se il sottosquadro è stato realizzato correttamente si ottiene un punto di accoppiamento robusto e non esposto ad attacco da parte della ruggine. La tecnica del "clinchung" è, pertanto, decisamente competitiva nei confronti della tradizionale saldatura e la Novacetass di Empoli ha sviluppato e messo in commercio macchine specificamente dedicate alla realizzazione, mediante tale tecnica, delle suddette pedane per uso edilizio.

## Il progetto Visicon

L'ispezione dei punti di accoppiamento ricavati per mezzo del "clinchung" è attualmente affidata ad operatori umani, i quali la effettuano a campione e controllano che il punzone non si sia rotto né scheggiato, che le lamiere non siano danneggiate e che la forma dell'imbutitura sia quella corretta.

Naturalmente ciò comporta l'utilizzazione di personale appositamente addestrato, una certa lentezza operativa e, soprattutto, il rischio di un errore umano.

Per le ragioni esposte risulta particolarmente interessante realizzare l'ispezione di tutti i punti di accoppiamento mediante tecniche di visione artificiale, al fine di garantire la costanza della valutazione dell'affidabilità di tutti i punti di clinching. A tale scopo è nato il progetto Visicon (*Vision System Inspection for CONTROL of Clinched Boards*), che si svolge nell'ambito dell'iniziativa comunitaria Eutist (*EUropean Take-up of essential Informa-*

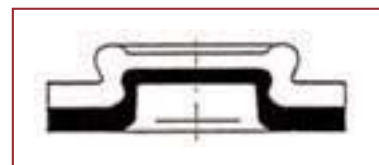


Figura 1 - Vista in sezione di un "bottono" prodotto mediante clinching

Pierfrancesco Bellini, Ivan Bruno e Paolo Nesi, Dsi - Università di Firenze; Luciano Pederzoli, Sed Srl.

tion Society Technologies), all'interno del raggruppamento Imv (*Integrated Machine Vision*). I componenti del consorzio che si occupa del progetto Visicon sono:

- Sed, Special Electronic Design di Certaldo (FI), una società che produce controlli automatici fin dal 1975 e svolge la funzione di coordinatore del progetto e ricevitore del trasferimento tecnologico, soprattutto per quanto concerne gli aspetti hardware e software;
- Disit-Dsi, Distributed Systems and Internet Technology Lab del Dipartimento di Sistemi e Informatica dell'Università degli Studi di Firenze, un istituto di ricerca che svolge la funzione di fornitore della tecnologia di visione, dell'ingegneria del software, analisi ed elaborazione dell'immagine e ricopre un ruolo fondamentale nella diffusione dei risultati nelle aree tecnica e scientifica;
- Cpr, Consorzio Pisa Ricerche, è l'elemento di congiunzione tra i componenti del consorzio e il gruppo-progetti della Comunità Europea, nonché un valido supporto per la disseminazione dei risultati attraverso il raggruppamento Imv;
- Nuovacetass di Empoli (FI), una società toscana che fa parte del gruppo industriale vicentino Poletto Group e costruisce macchine per la produzione di pedane per edilizia in lamiera. Essa è sia il fornitore della tecnica di clinching sia l'utilizzatore finale del progetto, con il compito di effettuare i test sul controllo automatico della qualità e di convalidarne la tecnologia.

Nell'ambito del progetto Visicon, il Disit-Dsi ha sviluppato specifici algoritmi e le tecniche software necessarie, mentre Sed si è occupata dello sviluppo del software di controllo e dell'elettronica di acquisizione ed elaborazione delle immagini e dei collegamenti per lo scambio dei dati con la rete aziendale; Novacetass ha infine effettuato il collaudo e validazione sul campo presso i propri impianti della soluzione innovativa prodotta dal progetto.

Durante la normale produzione di serie delle pedane è stato ricavato un vasto assortimento di campioni contenenti "bottoni" (come vengono comunemente definiti i punti di accoppiamento ricavati per mezzo del clinching), di più diametri, di conformazione corretta ed errata sia in modo grave sia in modo lieve, prodotti con lamiere di vari spessori in acciaio ed in alluminio.

Lo studio effettuato presso il Dsi su tali campioni, ha utilizzato inizialmente più telecamere digitali, per ritrarre i "bottoni" da più angolazioni e su ambedue le facce; infatti, a causa dell'elevatissima pressione che si deve esercitare sul punzone per ottenere l'imbutitura, esso si può rompere o scheggiare, oppure può, per vari motivi, risultare non perfettamente concentrico con il foro della matrice sottostante. La matrice, a sua volta, è particolarmente importante, poiché il bordo del foro in essa presente è lavorato in modo da renderlo elastico. Il punzone schiaccia le due lamiere da accoppiare contro il fondo della matrice con una forza tale da ridurre lo spessore e da far "strabordare" il materiale in eccesso, generando un sottosquadro nella lamiera inferiore: il materiale in eccesso della lamiera superiore penetra, così, nel sottosquadro ricavato, per

deformazione, in quella inferiore e, senza interrompere la continuità della loro superficie, blocca la lamiera superiore contro quella inferiore. All'esterno del "bottono" questo materiale forma un bordo rilevato simmetrico, purché la parte elastica della matrice non sia rotta e l'elemento elastico che la rinforza funzioni correttamente.

Una buona ripresa televisiva della parte rilevata del "bottono", eseguita con risoluzione medio-bassa ed adeguata illuminazione, si è rivelata sufficiente a fornire i dati occorrenti per decidere se la qualità del punto di accoppiamento è accettabile oppure no. È stato tuttavia necessario sviluppare appo-

### La trasformata "G"

La trasformata "G" è stata ideata per evidenziare forme anulari in una normale immagine a scala di grigi acquisita nel mondo reale, infatti consente di localizzare facilmente il centro di un anello e di classificarne la forma attraverso un indice sintetico. Si possono elaborare immagini complesse, contenenti forme di ogni tipo, insieme ad anelli che, dal punto di vista visuale, possono differire molto l'uno rispetto all'altro, infatti la trasformata "G" produce un picco tanto più alto quanto più la figura in esame è radialmente simmetrica. Questo metodo si è rivelato efficace durante le prove di riconoscimento dei "bottoni" di accoppiamento delle lamiere ottenuti



Immagine di un "bottono" eseguito correttamente

per mezzo del clinching. Il principio su cui si fonda la trasformata "G" è il seguente: se si percorre in senso radiale (quindi rettilineo) una figura anulare partendo dal suo centro, si incontrano variazioni di luminosità molto maggiori di quelle che si riscontrano muovendosi intorno allo stesso punto lungo circonferenze.

Si considera, dunque, centro dell'anello il punto che massimizza il rapporto tra le suddette variazioni. È possibile distinguere i difetti dei singoli bottoni, anche quando sono raggruppati in un'unica immagine; la ripresa è stata effettuata con una risoluzione di 768 x 576 pixel e 256 livelli di grigio.

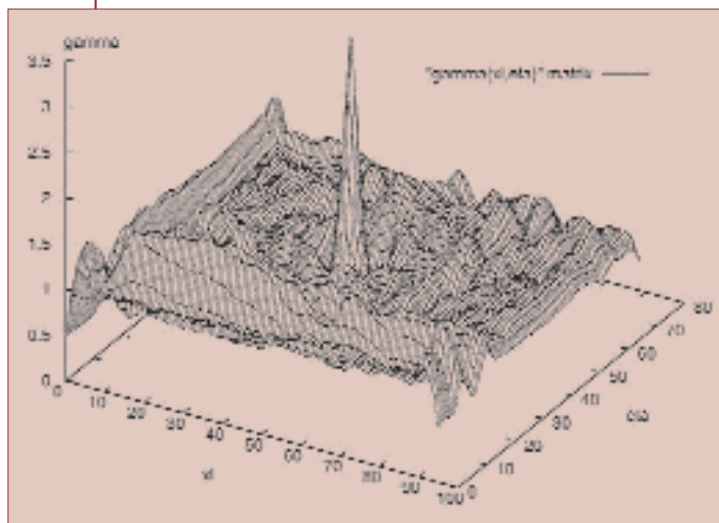


Immagine dei risultati prodotti dalla trasformata "G" applicata al "bottono" stesso

siti algoritmi (vedi riquadro), capaci di trasformare la forma del “bottone” in dati digitali rapidamente elaborabili in modo automatico. Le immagini sono ottenute tramite telecamere sistemate all'interno di un apposito tunnel illuminato (Figura 2), in cui la tavola, depositata dalla macchina per il clinching su di un nastro trasportatore, entra per il collaudo automatico che la fa accettare o scartare.

## L'architettura del sistema

Visicon è un sistema distribuito costituito da un gruppo di computer industriali (denominati Local Inspector) i quali acquisiscono ed elaborano simultaneamente le immagini di par-



Figura 2 - L'area di controllo della qualità

ti diverse di una pedana clinciata. Tale struttura consente di valutare in modo parallelo la qualità di ogni singola giunzione e di dedurre la qualità globale della pedana. Visicon consente un controllo di qualità in continuo sulla catena di produzione. Un controllo automatico continuo incrementa la qualità e riduce le variazioni nel prodotto finale legate a fattori di giudizio soggettivo che possono cambiare durante il processo di produzione. La conseguente riduzione del numero di pedane difettose produce sostanziali benefici.

In questa sezione, viene presentata e descritta l'architettura hardware. Alcuni termini e componenti citati saranno usati nel resto dell'articolo. Visicon si basa su un'area per il controllo di qualità da collocare alla fine della macchina produttrice di pedane clinciate, in questo modo tutte le pedane prodotte sono analizzate in tempo reale mantenendo il passo con la produzione della macchina di clinchiatura.

Il sistema di controllo di qualità distribuito di Visicon può essere applicato in differenti contesti. Il numero di Local Inspector può variare in base al tipo di pedana e alla velocità della linea di produzione. Questo garantisce la scalabilità del sistema per rispettare i requisiti di ogni particolare applicazione. L'architettura hardware (Figura 3) e software di Visicon è costituita dai componenti di seguito descritti.

### Quality Control Area

L'area di controllo della qualità consiste in un tunnel fornito di telecamere, un sistema di illuminazione, un nastro trasportatore, una guida meccanica e un sensore di posizione. In questa area le pedane prodotte dalla macchina clinchiatrice sono sottoposte al controllo. Il posizionamento di ciascuna pedana è realizzato mediante il nastro trasportatore, con assi gestiti da un controllore numerico Sed, e disponendo i punti clinciati sotto le telecamere, in accordo alle posizioni pianificate, per l'acquisizione e la valutazione delle immagini. Il rivelatore di zero, realizzato con un sensore di prossimità, costituisce il riferimento per l'esatta collocazione della pedana; esso è stato posizionato all'ingresso del tunnel, affinché non vi sia interferenza con i fori tipicamente presenti nella struttura delle pedane durante la fase di rilevazione.

La guida meccanica, opportunamente rivestita di materiale plastico, facilita lo scorrimento e corregge gli errori di posizionamento introdotti dalla macchina clinchiatrice lungo la direzione della larghezza (fino a 5 mm).

L'acquisizione dell'immagine e il posizionamento della pedana è gestito dal Quality Control Server che a sua volta comunica con i Local Inspector per il processo di acquisizione ed elaborazione dell'immagine. Il numero di telecamere è sufficiente per acquisire tutti i giunti della pedana, ma non tutti contemporaneamente.

La stessa telecamera è, quindi, utilizzata per ottenere differenti serie di bottoni. Le telecamere sono equipaggiate di una matrice Ccd bianco e nero a risoluzione media e ottica di 16 mm. Le telecamere laterali acquisiscono le immagine sui lati della pedana, mentre quelle in alto acquisiscono il davanti e il retro della pedana. Sono state collocate a due altezze differenti per poter acquisire in fase di sperimentazione sia gruppi di bottoni che bottoni singoli. Il sistema di illuminazione è stato realizzato con lampade a basso consumo e coperte con un vetro diffusore, in questo modo è stato ottenuta un'illuminazione uniforme in modo da minimizzare le riflessioni sulle pedane metalliche. Le luci sono controllate da segnali indipendenti. Il tunnel che circonda il nastro trasportatore è in grado di contenere l'intera pedana e consente di tenere le telecamere ad una distanza tale da mantenere a fuoco le immagini dei bottoni.

### Quality Control Server (Qcs)

È un computer che esegue differenti attività. Esso esegue il software di gestione dell'area di controllo qualità e fornisce l'interfaccia utente dell'intero sistema Visicon. È il centro decisionale per il controllo della qualità e del processo di produzione. Le decisioni sono prese sulla base delle informazioni di configurazione e dei risultati del controllo di qualità ottenuti dai Local Inspector. Il server Qcs spedisce/ricrive messaggi (allarmi, messaggi di sincronizzazione, immagini) a/da ciascun Local Inspector e controlla il posizionamento delle pedane via CanBus interfacciato con i motori, le porte I/O del nastro trasportatore, per ottenere le posizioni, controllare le luci e sincronizzare la macchina clinchiatrice. Il server Qcs, inoltre, consente il controllo dell'intera attività producendo pagine web con i parametri di controllo e statistici e le

immagini dei giunti accessibili da qualunque computer connesso alla rete Lan dell'azienda, per esempio da una stazione di supervisione (Supervisor Workstation).

*Local Inspector*

Consiste di un computer industriale equipaggiato con una o più schede dotate di frame grabber per l'acquisizione di immagini per mezzo di una o più telecamere. Ciascun Local Inspector durante lo sviluppo è stato dotato di un'interfaccia utente (Figura 6), successivamente rimossa nella fase operativa del controllo di qualità. Ogni Local Inspector interpreta i comandi di comunicazione e di sincronizzazione provenienti dal Qcs, acquisisce le immagini, esegue l'analisi dell'immagine per il controllo di qualità, comunica i risultati e, quando richiesto, spedisce le immagini correnti al Qcs. Tipicamente, questo accade quando viene rilevato un bottone difettoso. Ciò consente di tenere traccia della storia dei difetti e delle decisioni prese.

*Quality Control Network*

È una rete locale che fornisce il supporto per la comunicazione fra le unità dell'architettura Visicon. La comunicazione è principalmente gestita dal Qcs. Questa rete è tenuta separata dalla rete aziendale per evitare interferenze.

*Supervisor Workstation*

È un personal computer che consente di supervisionare l'attività di più linee di produzione tramite pagine web prodotte dai Quality Control Server di ciascuna linea di produzione. Questo permette un monitoraggio multiplo delle linee di produzione direttamente da un singolo computer

**Prospettive**

Visicon è sistema generalizzato per il controllo di qualità distribuito basato sulla visione artificiale. L'architettura di Visicon consente la valutazione in tempo reale di prodotti complessi, dove la valutazione totale può dipendere dall'analisi di decine di punti, delegando gli aspetti di analisi e valutazione delle immagini ed il corrispondente costo computazionale ad un numero variabile di Pc. Questo rende l'architettura sviluppata fortemente modulare e facilmente adattabile ad altre applicazioni industriali permettendo di soddisfare i requisiti legati alla velocità della linea di produzione e ai requisiti di qualità dell'utente finale.

I Local Inspector, infatti, possono ospitare una vasta gamma di algoritmi di visione per la valutazione della qualità di produzioni di vario genere. Una possibile soluzione Visicon è stata studiata in riferimento ad una situazione industriale reale con speciale attenzione verso un utente finale: una piccola media impresa dell'Italia Centrale che produce pedane per

ponteggi edili. Questa è dotata di tre macchine per la clinchiatura, utilizzate per tre turni al giorno per cinque giorni la settimana, per una produzione totale di 15.000 pedane alla settimana. Circa l'1-2% di queste pedane sono difettose per la mancata accuratezza nel posizionamento delle lamiere o per problemi legati alla macchina clinchiatrice, ma circa il 95% delle pedane difettose può essere corretto e distribuite sul mercato risottoponendole alla clinchiatura: i risultati ottenuti sono accettabili, ma comportano una spesa in termini di tempo e denaro. Il materiale perso può essere stimato in circa undici pedane per settimana. Le persone incaricate di bloccare i difetti di clinchiatura in tempo utile per sospendere il processo di produzione lavora molte ore uomo per settimana. A questo deve essere aggiunto il numero di ore uomo per settimana da utilizzare per clinchiare nuovamente le pedane difettose per recuperare il 95% di queste pedane. Un prototipo di sistema di controllo di qualità costituito da 4 computer industriali e

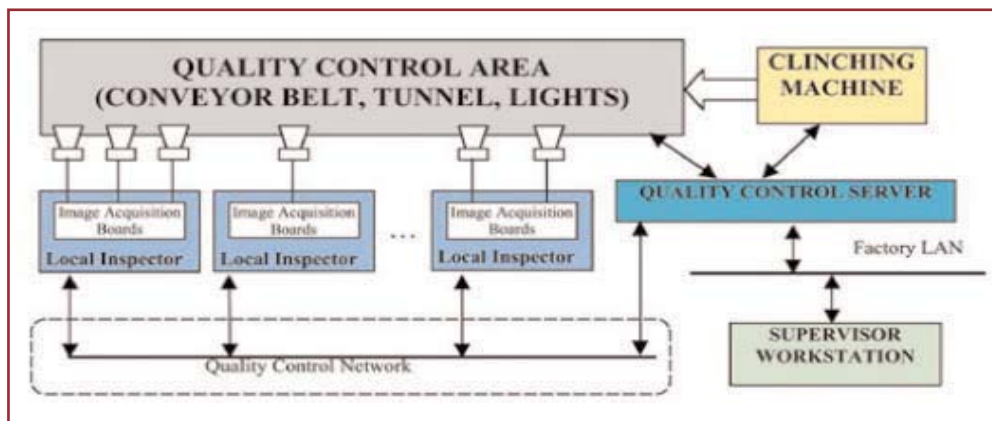


Figura 3 - L'architettura hardware di Visicon

12 telecamere è stato testato con migliaia di pedane su un linea di produzione reale. Il sistema ha eseguito con successo il controllo continuo di qualità on-line riconoscendo le pedane difettose con un'accuratezza superiore al 90%. L'individuazione dei giunti ha ottenuto una prestazione del 99%.

**Bibliografia**

- P. Bellini, M. Buonopane, M. Montanelli, P. Nesi, Evaluating a Flexible Architecture for Distributed Control, Proceedings of the 5th Ieee International Conference on Engineering of Complex Computer Systems, Iceccs '99, Ieee Press, Las Vegas, pp.66-76, Oct. 1999
- I. Bruno, A. Giotti, M. Monsignori, P. Nesi, A distributed industrial application for quality control of clinched boards based on computer vision, Proceedings of the 14th international conference on Software engineering and knowledge engineering, Acm Press, Seke 2002, July 2002

**Ringraziamenti:** Gli autori desiderano ringraziare tutti i partner del progetto Visicon: Dsi, Cpr, Sed e Novacetass per l'esperienza e il tempo dedicato durante la fase di validazione; l'ingegner A. Giotti per il supporto nell'analisi dei dati; la Commissione Europea e i suoi officer per il contributo finanziario.