

PROGETTO  
NOVIMPRESA

autori

Adriano Fusco

con la collaborazione di  
Pierantonio Salvador e  
Gianluigi Bortolussi

l'argomento

# La visione artificiale: stato dell'arte e applicazioni all'industria del legno

a cura di

AREA  
SciencePark

PROGETTO  
NOVIMPRESA

numero

11



Copyright © 2000 by  
Consorzio per l'AREA di ricerca - AREA Science Park  
Padriciano, 99 - 34012 Trieste

prima edizione: Giugno 2000

progetto grafico: Mariangela Paludo  
stampato presso la Tipografia Filacorda Udine

autore

Adriano Fusco

con la collaborazione di  
**Pierantonio Salvador e  
Gianluigi Bortolussi**

l'argomento

# La visione artificiale: stato dell'arte e applicazioni all'industria del legno

a cura di



PROGETTO  
NOVIMPRESA

numero

**11**

# Presentazione

Una importante missione di AREA Science Park è rappresentata dal trasferimento di tecnologia dalla ricerca all'industria e dalla diffusione dell'innovazione tra le imprese del Friuli-Venezia Giulia.

Un obiettivo ambizioso che richiede sempre più di sostenere iniziative molto pratiche che nascono da reali esigenze delle imprese e possono svilupparsi grazie ai numerosi network di competenze di cui AREA, il principale parco scientifico e tecnologico d'Italia, può avvalersi.

Questo approccio si è rivelato vincente e ha permesso di avviare finora oltre 160 progetti di innovazione in imprese che hanno portato a notevoli ricadute economiche e di occupazione sul territorio.

In questa direzione intendiamo proseguire non solo offrendo supporto alle singole aziende che cercano innovazione, ma promuovendo nel contempo la progettualità di più imprese su temi di comune interesse e rilevanza strategica.

Nasce così questa pubblicazione che vuole stimolare l'interesse delle imprese del settore legno verso potenziali applicazioni di una tecnologia - la visione artificiale - in grado di influire positivamente sulla qualità del prodotto finito, sulla flessibilità produttiva e sulla diminuzione dei costi di produzione.

Alla realizzazione di questo studio ha contribuito il CATAS s.p.a. - Centro R&S e laboratorio prove del settore legno-arredo - un esempio di come sia proficua la collaborazione tra chi, a diverso titolo, opera sul territorio a favore del mondo produttivo.

**Lucio Susmel**

*Presidente Consorzio per l'AREA di ricerca*

L'obiettivo che il Catas si è posto, fin dalla sua istituzione, è quello di diventare il punto di riferimento tecnologico per la crescita e lo sviluppo delle Aziende del settore legno-arredo nazionale ed, in particolare modo, di quello della Regione Friuli Venezia Giulia.

Per cercare di raggiungere quest'ambiziosa meta e contribuire al miglioramento della qualità dei prodotti, oltre che all'offerta dei servizi tradizionali, quali prove, consulenze, ricerca applicata, certificazione di prodotto e le altre attività ben note agli operatori, Catas ha spesso promosso iniziative atte a far conoscere e diffondere le tecnologie innovative.

L'ultima di queste è lo studio sui sistemi di visione, oggetto di questa pubblicazione; tale lavoro si è potuto realizzare grazie alla determinante collaborazione del Consorzio per l'AREA di ricerca di Trieste ed al contributo offerto agli autori dai tecnici del nostro Istituto.

E' il primo esempio concreto di una positiva cooperazione tra la nostra società di servizi, operante da un trentennio a stretto contatto con il mondo delle imprese del legno e dell'arredamento, ed un'Istituzione regionale dedicata alla ricerca e all'innovazione tecnologica delle imprese, com'è appunto il Consorzio per l'AREA di ricerca.

I risultati ottenuti sono sicuramente soddisfacenti e confermano l'interessante nostro ruolo propositivo e d'interfaccia tra le piccole e medie imprese, che rappresentano la quasi totalità del settore, ed il mondo che produce innovazione.

**Roberto Snaidero**

*Presidente Consiglio di Amministrazione Catas s.p.a.*

# Indice

<b>Introduzione</b> .....	p.	11
<b>Parte prima</b> <b>La visione artificiale</b> .....	p.	14
<b>1 Introduzione tecnologica</b> .....	p.	14
1.1 Definizione di un Sistema di Visione		
1.2 Le componenti di un Sistema di Visione		
1.3 Architetture di sistema		
1.4 Ottiche e sistemi di illuminazione		
1.5 Interfacce con il processo produttivo		
1.6 Interfaccia uomo macchina		
<b>2 Le funzionalità</b> .....	p.	19
2.1 Riconoscimento di caratteri		
2.2 Lettura di codici a barre		
2.3 Controllo superficiale		
2.4 Misure non a contatto		
2.5 Riconoscimento e classificazione		
2.6 Verifica presenza/assenza parti		
2.7 Verifica di colori e tonalità		
2.8 Evidenziazione di particolari (image enhancement)		
<b>3 Le applicazioni</b> .....	p.	24
3.1 Controllo di qualità		
3.2 Controllo accessi, sorveglianza e sicurezza		
3.3 Posizionamento e teleguida		
3.4 Controlli su nastri continui (Web inspection)		
3.5 Classificazione e scelta		
3.6 Gestione documenti		

<b>4 Il mercato</b> .....	p.	28
4.1 Costruttori di prodotti e componenti per SdV		
4.2 Filiali italiane di costruttori esteri		
4.3 Distributori e VAR (Value Added Resellers)		
4.4 Costruttori di macchine ed impianti		
4.5 Integratori di sistema		
4.6 Utilizzatori finali		
<b>5 Vantaggi e limitazioni tecnologiche</b> .....	p.	33
5.1 Visione "naturale" e "visione artificiale"		
5.2 Vantaggi		
5.2.1 La costanza delle prestazioni		
5.2.2 La possibilità di operare in ambienti ostili		
5.2.3 La velocità di controllo		
5.2.4 La generazione di dati sul processo		
5.3 Limitazioni tecnologiche		
<b>6 L'introduzione dei sistemi in azienda</b> .....	p.	38
6.1 Fasi di sviluppo di un progetto		
6.2 Costi		
6.3 Valutazioni di convenienza economica		
6.4 Criteri di scelta di fornitori e prodotti		
<b>Parte seconda</b> <b>Le applicazioni all'industria del legno</b> .....	p.	45
<b>1 Prima lavorazione del legno</b> .....	p.	46
1.1 Ottimizzazione del taglio tronchi		
1.2 Ottimizzazione del taglio tavole		
1.3 Previsione delle caratteristiche di resistenza delle travi mediante raggi X		
1.4 Evoluzioni attese		
<b>2 Produzione di semilavorati</b> .....	p.	52
2.1 Controlli di qualità nella produzione di pannelli grezzi		
2.2 Controlli di qualità nella nobilitazione dei pannelli		
2.3 Ispezione di laminati		
2.4 Produzione di antine e altri semilavorati		

<b>3 Prodotti finiti</b> .....p.	56
3.1 Mobili per ufficio, bagno, cucine	
3.2 Sedie, tavoli, lettini ed altri prodotti assimilabili	
3.3 Assemblaggio di mobili e cucine	
3.4 Parquet	
3.4.1 Verifiche dimensionali	
3.4.2 Selezione, scelta e accoppiamento delle tavole	
3.4.3 Evoluzioni attese	
3.5 Infissi a misura	
<b>4 Sintesi delle applicazioni</b> .....p.	63
4.1 Livelli di sviluppo delle applicazioni	
4.2 Confronto fra vantaggi e difficoltà realizzative	
<b>Parte terza</b>	
<b>Conclusioni</b> ..... p.	70
<b>1 Opportunità e vincoli alla diffusione della tecnologia nel settore legno</b> .....p.	70
<b>2 Azioni di sviluppo del mercato e della tecnologia applicata all'industria del legno</b> .....p.	72
<b>3 Ringraziamenti</b> .....p.	74
<b>Appendici</b> .....p.	75
<b>1 Glossario</b> .....p.	75
<b>2 Organizzazioni e Siti Internet di interesse</b> .....p.	79
2.1 Associazioni ed enti internazionali impegnati nella visione artificiale	
2.2 Principali Istituti ed Università stranieri impegnati in ricerche e studi sulla visione artificiale	

<b>3 Approfondimenti tecnologici</b> .....p.	93
3.1 L'ottica	
3.2 Il sistema di illuminazione	
3.2.1 Illuminazione direzionale	
3.2.2 Illuminazione diffusa	
3.2.3 Illuminazione coassiale o omnidirezionale	
3.2.4 Diascopia	
3.2.5 Illuminazione strutturata.	
3.3 Le sorgenti luminose	
3.3.1 Lampade alogene	
3.3.2 Tubi fluorescenti	
3.3.3 Lampade elettroniche a fluorescenza compatte	
3.3.4 Sorgenti ultraviolette	
3.3.5 Laser	
3.3.6 Diodi Led	
3.4 L'acquisizione dell'immagine	
3.5 Telecamere	
3.6 Frame grabbers	
3.7 Tipologie di SdV	
3.7.1 Scheda frame grabber con DSP per elaborazione	
3.7.2 Scheda frame grabber con elaborazione parallela	
3.7.3 Scheda frame grabber con elaborazione su PC	
3.7.4 Sistemi compatti	
3.7.5 Smart Camera	
3.7.6 Sistemi per lo sviluppo delle applicazioni	
3.7.7 Interfaccia uomo-macchina	
3.8 Evoluzioni future	

# Introduzione

La tecnologia della visione artificiale, nata e sviluppatasi inizialmente per applicazioni militari, sta vivendo in questi anni una fase di grande crescita ed evoluzione nell'industria e nei servizi.

L'aumento della potenza dei sistemi di calcolo, unito alla loro diminuzione di prezzo, favorisce l'introduzione di questi sistemi in fasce di applicazioni sempre più ampie e con costi per le aziende sempre minori.

L'AIA (Automated Imaging Association), associazione che raggruppa i principali fornitori mondiali di prodotti e sistemi per la visione artificiale, stima che il mercato mondiale abbia superato i 4,6 miliardi di dollari nel 1999, con tassi di crescita - in termini di unità di sistemi venduti - superiori al 20%. Il fatto che Stati Uniti e Canada, dove sono presenti tutti i principali produttori di componenti e sistemi di visione, costituiscano un mercato più che doppio rispetto a quello europeo, indica come questa tecnologia sia utilizzata in Europa in misura molto inferiore rispetto alle reali potenzialità.

La tendenza verso la produzione a zero difetti, la riduzione delle dimensioni dei componenti ed il ricorso a metodologie produttive sempre più automatizzate e flessibili costituiranno un terreno fertile per l'ulteriore diffusione dei sistemi di visione.

Scopo di questo rapporto è portare a conoscenza delle aziende del settore legno le grandi potenzialità applicative dei sistemi di visione artificiale ed i benefici che la loro introduzione in azienda può portare in termini di:

- miglioramento della qualità del prodotto finito
- aumento della flessibilità produttiva
- diminuzione dei costi di produzione

traducendosi, in altre parole, in un complessivo aumento della capacità competitiva dell'impresa.

Il rapporto è strutturato nelle seguenti sezioni:

1. una panoramica sulla visione artificiale comprendente una breve introduzione alla tecnologia, una descrizione delle funzionalità e delle applicazioni sviluppate, la struttura del mercato e le principali tematiche legate all'introduzione dei sistemi di visione nei processi produttivi aziendali: dalle considerazioni strategiche ed economiche di base, ai criteri di selezione e scelta dei fornitori, alle fasi di sviluppo di un progetto.
2. un approfondimento delle applicazioni già sviluppate nell'industria del legno e, soprattutto, delle potenzialità di applicazione che questo importante settore industriale offre.
3. in conclusione vengono analizzate le opportunità ed i vincoli alla diffusione, nell'industria del legno, di questa affascinante tecnologia e suggerite alcune azioni per facilitarne e velocizzarne lo sviluppo.

L'indagine è stata condotta attraverso:

- a. interviste a produttori del settore legno/mobili in ambito regionale e nazionale allo scopo di verificare le esigenze applicative legate ai diversi processi produttivi.
- b. interviste a fornitori della tecnologia della visione artificiale in Italia e all'estero per verificare lo stato dell'arte e le tendenze in atto.
- c. interviste a produttori di macchinari per l'industria del legno.
- d. analisi delle fonti informative pubblicate ed accessibili, Internet, delle associazioni di categoria, ecc..
- e. informazioni ed analisi provenienti da studi di mercato realizzati precedentemente dallo scrivente.

Nelle appendici sono riportati gli elenchi dei principali fornitori di sistemi di visione in Italia e all'estero, dei siti Internet identificati come più interessanti ed un approfondimento sulla tecnologia della visione artificiale realizzata dall'Ing. Pierantonio Salvador - Presidente di Eidon SpA - e dal suo staff, che ringrazio anche per i contributi e gli utili suggerimenti forniti nel corso della realizzazione dell'indagine.

Alla realizzazione di questa indagine ha contribuito il Catas - Centro ricerca-sviluppo e laboratorio prove settore legno-arredo.

Ringrazio l'Ing. Angelo Speranza - Direttore ed Amministratore delegato, per le indicazioni sulle tecniche produttive e sulle segmentazioni della filiera del legno, ed i signori Tiziano Vecellio, Claudio Caon e Paolo Balutto per l'assistenza nell'organizzazione delle visite alle industrie del triangolo della sedia.

# La visione artificiale

## 1 Introduzione tecnologica

### 1.1 Definizione di un Sistema di Visione

Un Sistema di Visione (nel seguito SdV) è costituito dall'integrazione di componenti ottiche, elettroniche e meccaniche che permettono di acquisire, registrare ed elaborare immagini sia nello spettro della luce visibile che al di fuori di essa (infrarosso, ultravioletto, raggi X, ecc.). Le immagini possono altresì essere derivate da sistemi di acquisizione non ottici come ad esempio i sistemi ad ultrasuoni.

Il risultato dell'elaborazione è il riconoscimento di determinate caratteristiche dell'immagine per varie finalità di controllo, classificazione, selezione, ecc.

Da questa definizione sono quindi esclusi tutti i sistemi di pura acquisizione o memorizzazione delle immagini, sia in formato analogico che digitale, come ad esempio i sistemi multimediali.

### 1.2 Le componenti di un Sistema di Visione

Lo schema seguente comprende tutte le principali componenti di un SdV, in particolare:

- il sistema di illuminazione
- l'oggetto da esaminare
- l'ottica e la telecamera
- il sistema di acquisizione e di elaborazione dell'immagine
- le interfacce uomo macchina
- le interfacce con l'ambiente esterno

Le parti da ispezionare vengono posizionate - nelle applicazioni industriali spesso in modo automatico - di fronte a una o più telecamere ed illuminati in modo appropriato, in modo cioè da evidenziare il più



Figura 1 - Schema funzionale di un SdV.

possibile i difetti da individuare. Il sistema ottico forma un'immagine sul sensore della telecamera che produce un segnale elettrico in uscita. Questo segnale verrà digitalizzato, cioè convertito da analogico (continuo) in digitale (discretizzato) e memorizzato da una apposita scheda chiamata in gergo "frame grabber".

L'immagine, catturata e resa in questo modo "comprensibile" da un calcolatore, potrà quindi essere elaborata con un apposito software che comprende particolari algoritmi di calcolo ed analisi, in grado di individuare le caratteristiche dell'immagine e amplificarne alcuni aspetti - ad esempio contorni, spigoli, forme, strutture - allo scopo di eseguire i controlli e le verifiche per i quali il sistema è stato concepito.

Sulla base dei risultati dell'elaborazione il sistema prenderà decisioni in merito alla destinazione dell'oggetto, ad esempio smistarlo fra i "buoni" o scartarlo e fornirà le informazioni opportune al resto del sistema produttivo.

### 1.3 Architetture di sistema

Lo schema di SdV descritto nel paragrafo precedente può essere realizzato con architetture hardware e software anche molto diverse fra loro, in funzione delle singole esigenze applicative, della necessità di disporre di potenze di calcolo più o meno grandi e di altre caratteristiche richieste al sistema.

Nella configurazione minima, un SdV può essere costituito da un semplice PC corredato da una scheda per l'acquisizione delle immagini e per l'elaborazione grafica, all'altro estremo si può arrivare fino a potenti sistemi di calcolo parallelo, in grado di acquisire immagini ad alta risoluzione da diverse telecamere contemporaneamente e di elaborare i risultati dell'analisi in pochi millisecondi (intervallo sufficientemente breve quindi, per gestire il processo produttivo in tempo reale).

A seconda delle prestazioni desiderate - e delle scelte progettuali dei singoli fornitori - "l'intelligenza" del sistema può essere localizzata in punti diversi del sistema: alcuni fornitori utilizzano "frame grabber" molto sofisticati che svolgono molte delle elaborazioni grafiche necessarie, altri scelgono prodotti molto semplici per l'acquisizione delle immagini e concentrano l'intelligenza nelle fasi successive.

Le ampie variazioni di prezzo associate alle tipologie di prodotto indicate nei capitoli successivi sono dovute a questo fenomeno, che denota - fra l'altro - la relativa immaturità tecnologica del settore.

Per applicazioni non particolarmente complesse, sono da qualche anno disponibili sistemi compatti e modulari e sistemi completamente integrati (Smart camera - telecamere intelligenti) che inglobano in un unico contenitore tutto il sistema di visione.

Entrambe le tipologie di sistema (compatti e telecamere intelligenti) dispongono di software di visione in grado di svolgere determinate funzioni, come ad esempio verifiche di posizionamento, lettura di caratteri o di codici a barre, presenza/assenza di parti.

Questi prodotti non necessitano di programmazione e sono altresì configurabili anche da personale non specializzato.

Concettualmente possono essere considerati veri e propri sensori intelligenti, a metà strada fra i SdV veri e propri ed i sensori tradizionali.

Non a caso questi prodotti sono sviluppati e commercializzati dai principali produttori di sensori.

### 1.4 Ottiche e sistemi di illuminazione

L'ottica ed i sistemi di illuminazione sono componenti essenziali e allo stesso tempo critici del SdV completo.

A seconda della struttura fisica e delle dimensioni del sistema su cui il SdV deve operare (ad esempio nastri trasportatori) e a seconda dei difetti da rilevare, ottiche ed illuminazione devono essere progettati in modo da riprendere gli oggetti e da evidenziarne le caratteristiche da controllare.

Considerata l'importanza di questi componenti, in appendice sono riportate le principali tecniche di illuminazione e i principi alla base del funzionamento delle ottiche e dei sensori.

### 1.5 Interfacce con il processo produttivo

Nelle applicazioni industriali, il SdV è spesso inserito in linea all'interno del processo produttivo sia esso di tipo continuo che discreto.

L'integrazione con il processo è un aspetto importante del sistema totale e riguarda ad esempio:

- il controllo delle fasi di movimentazione automatica, per posizionare le parti da esaminare nel raggio delle telecamere
- la sincronizzazione temporale con il processo
- i comandi alle fasi successive del processo sulla base dei controlli effettuati (ad esempio al sistema di smistamento posto a valle del SdV)
- la gestione degli allarmi, nel caso in cui il SdV rilevi uno scostamento del processo dai parametri normali di funzionamento
- la trasmissione dei dati relativi al controllo o l'elaborazione e la trasmissione periodica dei dati statistici.

### 1.6 Interfaccia uomo macchina

Gli attuali SdV sono nella maggior parte dei casi completamente trasparenti all'operatore (in altre parole il personale che controlla la linea non si accorge della loro presenza, né deve eseguire operazioni su di essi).

Questo avviene sia quando la linea lavora normalmente, sia in fase di setup di produzione, il SdV può acquisire il tipo di produzione ed i controlli da effettuare direttamente dal sistema di controllo del processo senza alcun intervento umano.

In altre fasi invece, è necessaria l'interazione con l'operatore, in particolare quando:

- è necessario configurare il SdV per nuovi tipi di produzione (fase di apprendimento)
- si verificano anomalie al processo che richiedono l'intervento umano (gestione degli allarmi impianto)
- il SdV non opera correttamente (gestione degli allarmi SdV e auto-diagnosi)

Man mano che i sistemi si evolvono migliora la capacità di gestire queste fasi in modo efficace, veloce e semplice per l'operatore.

Per la fase di apprendimento sono state sviluppate tecniche di configurazione in cui è sufficiente mostrare al sistema le principali anomalie da rilevare e verificare per un certo numero di volte che il sistema operi correttamente: dalle correzioni fornite dall'operatore il sistema autoapprende come operare.

Nel caso il SdV abbia smesso di funzionare correttamente sono disponibili tool software di autodiagnosi che aiutano l'operatore ad individuare e correggere le possibili cause dell'anomalia.

Qualora non sia possibile risolvere il problema, il sistema può essere collegato direttamente al centro di assistenza del fornitore per una verifica più approfondita (telediagnosi) prima di richiedere l'intervento tecnico.

## 2 Le funzionalità

Le funzionalità principali che i SdV sono in grado di assolvere sono:

- riconoscimento di caratteri
- lettura di codici a barre
- controllo superficiale
- misure non a contatto
- riconoscimento e classificazione
- verifica presenza/assenza parti
- verifica di colori e tonalità
- evidenziazione di particolari (image enhancement)

### 2.1 Riconoscimento di caratteri

Il riconoscimento di scritte -stampate con caratteri predisposti a questo scopo (OCR - Optical Character Recognition) o con i normali caratteri di stampa- avviene senza particolari problemi da diversi anni.

Molto più complesso e con elevatissime probabilità di errore è il riconoscimento della scrittura manuale, che viene effettuato in contesti ben delimitati, per lo più con caratteri in stampatello, e su appositi moduli spaziati.

### 2.2 Lettura di codici a barre

Per la lettura di codici a barre vengono utilizzati tipicamente lettori ottici dedicati con tecnologia laser o CCD, che non rientrano nel settore dei SdV. I SdV vengono utilizzati per questa funzione in applicazioni in cui, oltre alla lettura del codice a barre, sia necessario eseguire altre verifiche o controlli, come ad esempio la verifica delle date di scadenza di un prodotto.

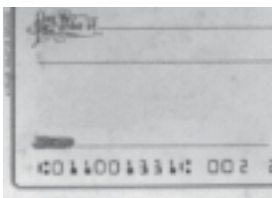


Figura 2 - Lettura di codici OCR su assegni bancari



Figura 3 - Lettura di codici a barre su fiale - Eidon

### 2.3 Controllo superficiale

Questa funzionalità comprende vari aspetti, come ad esempio:

- controllo uniformità della superficie (verniciatura, trattamenti superficiali, ecc.)
- bilanciamento del colore (colorimetria, qualità di stampa, ecc.)
- verifica presenza di inclusioni, macchie, fratture superficiali (stampaggi plastici, flaconi in plastica o vetro, nodi legno, ecc.)



Figura 4 - Controllo di qualità sulla superficie anello di catena di bicicletta - Eidon

### 2.4 Misure non a contatto

Per svolgere questa funzione, il SdV viene spesso utilizzato insieme ad altri sistemi di misura: meccanici, ad ultrasuoni, laser.

Si distinguono in genere misure ad una o due dimensioni: diametri, lunghezze ed altezze che possono essere effettuate in modo relativamente semplice per mezzo di una telecamera accoppiata ad un sistema di rilevazione della distanza dell'oggetto.

Misure a tre dimensioni riguardano i calcoli di volume attraverso analisi di immagini acquisite da più angolazioni. L'utilizzo del SdV risulta particolarmente indicato per misurare oggetti fragili, difficili da raggiungere contenuti in altri oggetti, a temperature elevate: ad esempio bolle di sapone o bollicine di spumante, acciaio fuso in un laminatoio, ecc.

Nell'industria del legno questa tecnica è utilizzata per ricavare il profilo dei tronchi, le dimensioni delle tavole, ecc.



Figura 5 - Misura della filettatura di componenti per serramenti - Eidon

### 2.5 Riconoscimento e classificazione

Il riconoscimento consiste nella classificazione di un oggetto in base a particolari caratteristiche desunte dalla sua immagine.

Esso prevede una fase di apprendimento propedeutica alla fase di riconoscimento vera e propria. Esistono applicazioni caratterizzate da crescenti livelli di complessità che vanno dalla semplice corrispon-

denza di profili di oggetti meccanici fino al riconoscimento della fisionomia umana. Per questa applicazione, i primi sistemi sperimentali, dopo aver identificato occhi, naso, bocca ed altri parametri fisionomici nell'immagine del soggetto - anche in movimento - comparano i parametri caratteristici con il database precedentemente costruito, fino a riconoscere la persona.

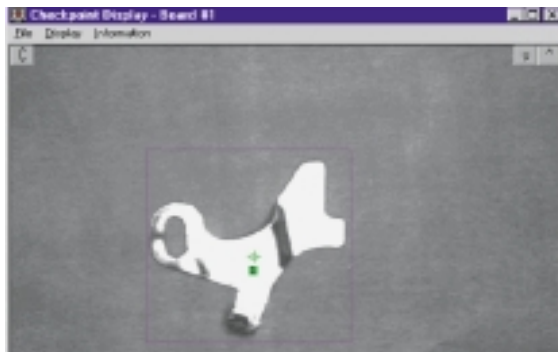


Figura 6 - Riconoscimento di forme, fase di apprendimento



Figura 7 - Riconoscimento di forme precedentemente memorizzate

## 2.6 Verifica presenza/assenza parti

Utilizzando algoritmi di riconoscimento, un sistema è in grado anche di verificare la mancanza di parti o il loro errato posizionamento. Allo stesso modo è in grado di eseguire conteggi, ad esempio di parti di diverso tipo che scorrono su un nastro trasportatore.

## 2.7 Verifica di colori e tonalità

Sono funzionalità in cui la criticità è rappresentata dalle condizioni di illuminazione e dalla precisione e ripetibilità del sistema di acquisizione dell'immagine, piuttosto che dagli algoritmi di elaborazione. Esistono molti campi di applicazione che vanno dalla verifica della qualità di stampa, alla verifica del funzionamento e taratura automatica di monitor televisivi, alla misura del colore delle pietre preziose. Come vedremo più avanti, nell'industria del legno queste funzionalità vengono utilizzate in particolare per la classificazione e scelta delle tavole.

## 2.8 Evidenziazione di particolari (image enhancement)

Questa funzionalità permette di trasformare immagini riprese in luce naturale, o in altre frequenze (dagli infrarossi ai raggi X) per esaltare la visibilità dei particolari di interesse. Le maggiori applicazioni si hanno nel settore biomedico: elaborazione di immagini ecografiche e radiografiche o nella sicurezza (ricerca di armi ed esplosivi tramite raggi X).

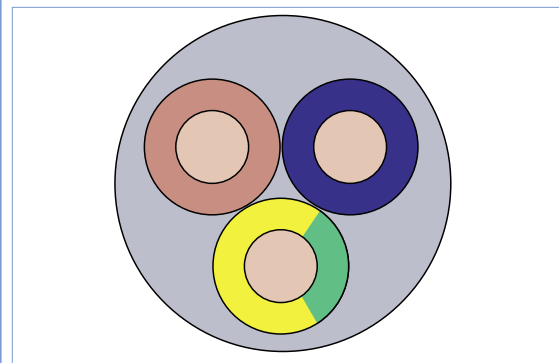


Figura 8 - Verifica colorazione cavi elettrici - Eidon

### 3 Le applicazioni

I campi di applicazione dei SdV sono virtualmente illimitati.

Man mano che le potenze di calcolo crescono, gli algoritmi di elaborazione migliorano ed i costi scendono, nuove applicazioni diventano realizzabili tecnicamente e convenienti dal punto di vista economico.

Non a caso la visione artificiale si è sviluppata ed evoluta dapprima in campo militare dove il fattore prezzo è trascurabile rispetto alle prestazioni e alle funzionalità offerte.

In questo settore sono stati sviluppati sistemi per l'elaborazione di immagini da satelliti e ricognitori, fino ai sofisticati sistemi di guida in tempo reale per dirigere i missili sull'obiettivo.

A queste applicazioni ne sono seguite altre a partire ancora dai settori meno sensibili al costo come il medicale (trattamento di immagini radiografiche, risonanza magnetica, ultrasuoni, ecc.), la ricerca scientifica (analisi di fenomeni ultra rapidi o ultra lenti, intensificazione di



Figura 9 - Il processo di diffusione delle applicazioni di visione artificiale

fenomeni a bassa luminosità come osservazioni astronomiche, ecc.) la sorveglianza (controllo accessi automatizzato, individuazione di comportamenti aggressivi in luoghi pubblici, conteggio persone o autoveicoli, rilevazione automatica di incidenti o code, ecc.)

Un SdV in grado di svolgere le funzioni descritte in precedenza può essere impiegato utilmente in applicazioni di vario tipo come ad esempio:

- controllo qualità
- controllo accessi, sorveglianza e sicurezza
- posizionamento e teleguida
- controllo robot e macchine utensili
- misure
- verifiche su nastri in continuo (Web Inspection)
- classificazione e scelta
- gestione documenti

#### 3.1 Controllo di qualità

Si tratta di una delle applicazioni più diffuse in ambito industriale, in quanto nessuna produzione industriale può dirsi esente da difetti e gran parte dei difetti è riscontrabile visivamente.

Spesso l'ispezione della produzione è condotta da operatori specializzati, con elevati costi per la movimentazione dei pezzi e di risorse umane.

L'applicazione di un sistema di controllo basato sulla visione artificiale presenta numerosi vantaggi:

- riduzione dei costi legati alla manodopera
- controllo della produzione al 100%
- controllo in base a criteri oggettivi e ripetibili

I principali controlli di qualità sono riconducibili a molte delle tipiche funzionalità dei SdV descritte in precedenza: controlli superficiali, controlli di presenza/assenza parti, conteggi, verifiche di colore, ecc.

#### 3.2 Controllo accessi, sorveglianza e sicurezza

La crescente richiesta di sicurezza sta stimolando lo sviluppo di SdV in grado di identificare comportamenti anomali o aggressivi in luoghi pubblici come stadi, metropolitane, centri commerciali, ecc.

Le immagini provenienti dalle telecamere, posizionate nei punti da controllare vengono "presidiate" automaticamente dal SdV, che è in grado di richiamare l'attenzione di un operatore umano non appena rilevi la presenza di comportamenti potenzialmente pericolosi.

Si tratta di evoluzioni importanti avvenute in questi anni rispetto ai semplici controlli del traffico, rilevazione delle targhe delle auto che accedono ai centri storici senza autorizzazione, ecc.

### 3.3 Posizionamento e teleguida

Tralasciando le sofisticate applicazioni militari per la guida di missili su bersagli o per il supporto ai piloti nei combattimenti aerei, le applicazioni industriali dei SdV consentono di dirigere manipolatori, robot antropomorfi o carrelli in ambienti industriali non noti a priori. Si pensi ad esempio ad un robot di carico e scarico che deve individuare la posizione esatta di oggetti diversi e posizionarli su pallet o in contenitori o ad un sistema di movimentazione intelligente, in grado di muoversi in uno stabilimento dove circolano persone, altri mezzi di movimentazione e spesso le aree sono occupate da merci.

### 3.4 Controlli su nastri continui (Web inspection)

Sono applicazioni molto diffuse in particolare negli Stati Uniti. SdV di questo tipo vengono montati a bordo delle stampanti ad altissima tiratura per verificare che la stampa sia corretta (ad esempio per evitare che le bollette che vengono recapitate agli utenti siano illeggibili a causa di problemi della stampante).

Controlli simili vengono effettuati nell'industria cartotecnica, nell'industria metallurgica sui nastri metallici, nella chimica su nastri in polietilene ed altri materiali plastici, nell'industria tessile per verificare l'integrità dei rotoli di tessuti, ecc.

In queste applicazioni vengono usati prevalentemente sensori e telecamere lineari: l'immagine viene ricostruita basandosi sul movimento relativo del nastro da verificare rispetto alla telecamera.

Questa tecnica consente di ottenere una elevata risoluzione (quindi capacità di rilevare difetti anche molto piccoli) anche su aree piuttosto grandi da ispezionare.

Controlli sui nastri di polietilene o su pannelli grezzi o nobilitati possono richiedere larghezze fino a 3 m.

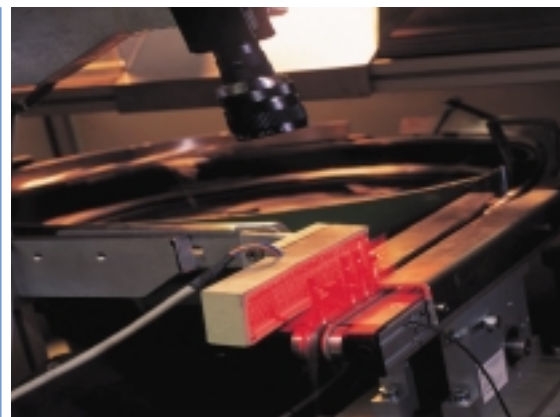


Figura 10 - Controllo saldatura robot - Eidon

### 3.5 Classificazione e scelta

Si tratta di una delle applicazioni più complesse per un SdV in quanto intervengono spesso meccanismi di scelta non facilmente ed esattamente codificati o codificabili.

L'esempio tipico è quello della scelta delle piastrelle di ceramica o di marmo. Le venature e le sfumature di colore di un pezzo rispetto all'altro sono tutte diverse, tuttavia esiste un aspetto di insieme che un operatore addestrato è in grado di individuare in una frazione di secondo.

Le più recenti tecnologie di Fuzzy Logic hanno dato un impulso allo sviluppo e al successo di queste applicazioni.

### 3.6 Gestione documenti

Sono applicazioni basate essenzialmente sulla capacità del SdV di riconoscere i caratteri scritti sia a macchina che - anche se con qualche difficoltà - a mano.

La gestione dei documenti con sistema di visione differisce quindi dalla pura registrazione ottica dei documenti, in quanto consente di memorizzare il contenuto e non solo l'aspetto grafico.

## 4 Il mercato

Lo schema di riferimento del mercato - riportato in figura - riassume le principali tipologie di operatori presenti e le relazioni che fra essi intercorrono.

Comprendendo anche i costruttori di macchine ed impianti che incorporano e/o sviluppano SdV, sul mercato italiano operano oltre 200 aziende.

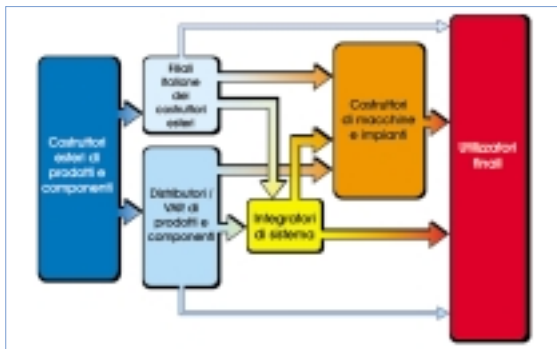


Figura 11 - Schema di riferimento del mercato dei SdV in Italia

### 4.1 Costruttori di prodotti e componenti per SdV

In questa categoria rientrano i produttori di hardware di elaborazione ed acquisizione, di sensori, di sistemi di illuminazione, di telecamera, ecc. Le tecnologie abilitanti sono sviluppate da società di dimensioni grandi o medie, localizzate prevalentemente all'estero, con Stati Uniti e Giappone in prima fila.

### 4.2 Filiali italiane di costruttori esteri

Alcuni produttori esteri sono presenti con una struttura di vendita diretta in Italia.

Fra essi figurano:

- i più importanti "Vendor" specializzati in prodotti e sistemi di visione
- aziende di grandi dimensioni, tipicamente attive nella produzione e vendita di sensori, sistemi di controllo ed automazione industriale, che hanno sviluppato anche una divisione dedicata ai SdV.

Le filiali rivendono i prodotti della casa madre e svolgono attività di supporto specialistico del tipo di quella fornita dai VAR. A loro volta possono avvalersi o meno di rivenditori locali. In alcuni casi sviluppano direttamente sistemi e soluzioni applicative per i clienti finali.

### 4.3 Distributori e VAR (Value Added Resellers)

I primi acquistano e rivendono componenti e sistemi ad integratori e ad utenti finali. I secondi sono in grado di fornire consulenza applicativa, specificazione e progettazione, sviluppo e personalizzazione applicativa, messa in servizio, formazione e manutenzione dei prodotti e sistemi forniti.

Spesso la distinzione fra distributori e VAR non è ben delineata ed esistono operatori che agiscono secondo entrambe le modalità, addirittura sviluppando SdV per l'utilizzatore finale, agendo quindi addirittura da integratori di sistema. Entrambe le tipologie di operatori sono estremamente specializzate: selezionano sul mercato internazionale i prodotti specifici e li supportano attraverso specialisti di prodotto interni in grado di consigliare la clientela nelle scelte di prodotto e nello sviluppo delle applicazioni.

Si tratta quindi di operatori ben diversi dalla figura ormai tipica del "box mover" dell'informatica. È questo un ulteriore segnale del fatto che questo mercato non è ancora consolidato tecnologicamente ed è in fase di veloce evoluzione, non essendosi ancora attuate le distinzioni e le specializzazioni tipiche di mercati più maturi come l'informatica più classica.

### 4.4 Costruttori di macchine ed impianti

Sono produttori di apparati/sistemi di produzione in cui il SdV entra a far parte, incidendo sulle prestazioni finali in modo più o meno determinante.

Le tipologie più frequenti sono:

- costruttori di sistemi di automazione e robotica
- costruttori di macchinari per produzione elettronica
- costruttori di macchinari per l'industria tessile
- costruttori di macchinari per l'industria del legno
- costruttori di sistemi di smistamento e gestione documenti
- costruttori di macchine ed impianti per il packaging
- costruttori di apparati biomedicali

Questi operatori possono sviluppare direttamente il SdV da applicare a bordo delle loro macchine/sistemi, oppure acquistarlo da integratori. In molti casi il fatto che il macchinario o impianto sia dotato di un SdV di elevate prestazioni costituisce un elemento distintivo rispetto alla concorrenza talmente importante da indurre i costruttori ad impegnarsi nello sviluppo di SdV.

È il caso ad esempio di impianti per lo smistamento postale automatico, dove le prestazioni dell'impianto completo sono fortemente influenzate dalla capacità di leggere correttamente il maggior numero possibile di indirizzi scritti a mano sulla busta o almeno di individuare il codice postale.

#### 4.5 Integratori di sistema

Offrono il SdV completo al cliente finale, includendo telecamere, sensori, sistemi di illuminazione, hardware di elaborazione, software, servizi pre e post vendita e facendosi carico del problema applicativo completo (comprese le interfacce con le linee di produzione) e dello sviluppo e/o personalizzazione del software.

Frequentemente sono specializzati in aree applicative per le quali dispongono già di tools software preconfigurati.

Soprattutto in passato, quando l'hardware di potenza adeguata non era sempre disponibile, sviluppavano schede speciali di accelerazione grafica. Oggi questa tendenza tende a scomparire in quanto vengono sempre più utilizzati hardware e schede grafiche standard prodotte da aziende specializzate.

La maggior parte di queste società è specializzata esclusivamente nello sviluppo di SdV ed opera a livello locale o regionale, anche in

considerazione del fatto che lo sviluppo dei sistemi avviene spesso sul campo.

Le ridotte dimensioni degli integratori, da cui conseguono ridotte possibilità di investimento in ricerca e sviluppo ed in marketing, costituiscono - come vedremo in seguito - una delle principali limitazioni allo sviluppo ed alla diffusione su scala più ampia della tecnologia nel nostro paese.

#### 4.6 Utilizzatori finali

Anche quando il SdV è parte integrante della macchina o impianto produttivo acquistato da fornitori terzi, gli utilizzatori finali hanno un ruolo importante nel determinare le specifiche applicative e la scelta del fornitore e della soluzione SdV.

Ad esempio, nel caso del settore farmaceutico, indicano al fornitore della linea produttiva quale modello e marca montare sulla base di specifiche e standard tecnologico-applicativi predefiniti.

Alcuni utilizzatori di grandi dimensioni, soprattutto in passato ed in assenza di integratori sufficientemente qualificati, hanno investito in gruppi di ricerca e sviluppo interni, per risolvere problematiche produttive interne particolarmente critiche.

Oggi la tendenza a sviluppare soluzioni totalmente customizzate con risorse interne sta venendo meno al crescere di soluzioni standard o facilmente personalizzabili.

Il potere contrattuale ed il ruolo dell'utilizzatore finale nella definizione della soluzione restano tuttavia alti, al punto che molte soluzioni sono sviluppate con vincoli di esclusività nei confronti di utilizzatori che puntano ad acquisire vantaggi competitivi difendibili nel tempo.

La tabella seguente, senza alcuna pretesa di esaustività, riporta alcuni esempi di applicazioni suddivisi per mercato, rilevate sia in Italia che all'estero.

Mercati	Applicazioni
Auto/meccanica	Verifiche e identificazione di presenza pezzo Verifica della verniciatura (copertura e lucentezza) Misure di componenti meccanici Verifica della qualità delle finiture superficiali Controllo della completezza degli assemblaggi Controllo inserimento e sigillatura parabrezza Controllo dell'orientamento di parti prima dell'assemblaggio Controllo dell'attività dei robot di produzione e trasporto
Farmaceutico/cosmetico	Verifica della presenza e dell'integrità delle pasticche inserite nei blister Verifica dell'integrità dell'incollaggio della parte di alluminio alla base plastica dei blister Controlli lungo tutta la catena di confezionamento medicinali: - Presenza delle etichette sui flaconi - Verifica della corretta corrispondenza etichetta/contenuto - Verifica della stampa delle etichette (ad esempio che non manchi un colore di stampa) - Verifica flaconi (pulizia, chiusura, presenza di oggetti)
Elettronica/microelettronica	Verifica delle maschere di incisione Verifica dei chip dopo la separazione Verifica delle connessioni alla piedinatura Verifica della marcatura dopo l'inserimento nel package Verifica del montaggio dei componenti elettronici sui circuiti stampati (presenza e orientamento) Verifica delle saldature Verifica del funzionamento di display, terminali video, ecc.
Alimentare/bevande	Rilevazione di prodotti deformati, sopra o sotto dimensionati Verifica delle forme (ex. biscotti, canditi, cioccolatini) Verifica dell'avvenuto imbottigliamento Verifica dell'integrità dei contenitori nuovi e riutilizzabili (assenza di schegge e altri corpi estranei) Verifica della chiusura bottiglie Selezione tappi Verifiche della corretta etichettatura (presenza, posizionamento, stampa) Controllo del processo
Metallo e materiali non ferrosi	Verifica dei nastri dei laminatoi Controlli qualità in linea
Stampaggio metalli e plastica	Riconoscimento e verifica della qualità di oggetti in uscita dagli stampi Verifica dello svuotamento completo degli stampi
Banche e assicurazioni	Gestione ed archiviazione documenti
Cartotecnica	Verifica della stampa di tutti i colori (web inspection) Verifica della qualità di stampa su nastri
Biomedicale	Elaborazione e memorizzazione di immagini per macchine diagnostiche e microscopia
Vetro/Ceramica	Verifiche dimensionali Rilevazione difetti su piastrelle (scheggiature, non planarità, ecc.) Classificazione e scelta delle piastrelle
Poste/distribuzione	Smistamento lettere e pacchi
Enti pubblici /banche assicurazioni	Controllo accessi Verifica di comportamenti anomali in aree controllate Controllo del traffico Gestione ed archiviazione documenti In fase di sviluppo: Riconoscimenti biometrici (iride, impronte digitali, lineamenti del volto, ecc.)
Agricoltura	Verifica dimensionale di frutta ed ortaggi Selezione di frutta e ortaggi in base a dimensioni, difetti superficiali e colore Guida di robot per la raccolta di frutta

## 5 Vantaggi e limitazioni tecnologiche

La tecnologia della visione artificiale è oggi sufficientemente evoluta per giocare un ruolo importante nei processi produttivi della maggior parte dei settori industriali, verso obiettivi di miglioramento della qualità dei prodotti e di riduzione dei costi.

D'altro canto, molte esperienze negative dei primi anni '90, quando sembrava che la tecnologia fosse giunta ad un livello tale da poter essere impiegata facilmente e con successo in ogni campo ed in ogni applicazione, hanno messo in guardia utilizzatori e produttori dai facili entusiasmi rispetto alla soluzione di problemi di maggiore complessità. Il fenomeno cui assistiamo oggi, dopo la fase di ripensamento ed il ridimensionamento vissuto dal mercato dei sistemi di visione, è la progressiva verticalizzazione delle applicazioni e la specializzazione degli operatori, logica conseguenza della estrema variabilità delle problematiche tecniche ed applicative.

### 5.1 Visione "naturale" e "visione artificiale"

La visione naturale è il risultato di milioni di anni di evoluzione biologica e di adattamento all'ambiente.

Potendo contare su miliardi di neuroni e di cellule ultra specializzate, il cervello umano può risolvere facilmente e velocemente un grande numero di problemi diversi.

Tentando un improbabile ma suggestivo paragone con l'informatica, possiamo considerare che il cervello umano abbia circa  $10^{10}$  (dieci miliardi) di neuroni dedicati all'elaborazione delle informazioni visive, in grado di eseguire in totale circa  $10^{15}$  (leggi un milione di miliardi) di operazioni al secondo.

Tradotta in MIPS (milioni di operazioni per secondo) questa potenza di calcolo equivarrebbe a quella di un computer con 1.000.000.000 di MIPS. Per contro, un normale personal computer di oggi ha una potenza di 300-400 MIPS, mentre anche un hardware dedicato alla visione diffi-

cilmente supera i 50.000 MIPS, è quindi almeno 20.000 volte meno potente del cervello umano.

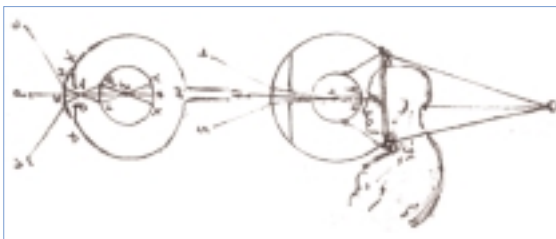


Figura 12 - Modello di sistema di visione "naturale" - Leonardo da Vinci



Figura 13 - Sistema di visione artificiale

L'enorme capacità di elaborazione del cervello ci permette di risolvere problemi di visione complessi, come trovare la nostra fidanzata fra la folla o identificare una preda o una minaccia mimetizzati nell'ambiente circostante.

Per rendere possibile il funzionamento di un sistema di visione artificiale è necessario semplificare al massimo le problematiche; questo viene fatto in vari modi, controllando ad esempio il modo con cui l'oggetto viene presentato al sistema, isolando le parti da identificare,

utilizzando un sistema di illuminazione che ne evidenzia i particolari di interesse.

La visione artificiale presenta comunque alcuni vantaggi rispetto a quella umana dal punto di vista della velocità, precisione, affidabilità, ripetibilità.

I SdV sono in grado di eseguire centinaia di misure al secondo senza neppure dover toccare l'oggetto, possono eseguire controlli di qualità utilizzando sempre gli stessi criteri e senza registrare cali di attenzione. Nella valutazione preliminare circa un investimento in SdV occorre quindi avere ben presenti vantaggi che possono derivare, ma anche gli indubbi vincoli ed incognite che ancora esistono.

## 5.2 Vantaggi

I principali vantaggi che l'adozione di un SdV presenta rispetto ad un operatore umano sono:

### 5.2.1 La costanza delle prestazioni

Basti pensare ad un operatore umano che lavori su un nastro trasportatore per il controllo difettosità dei pezzi che ivi transitano: è impossibile pretendere un controllo al 100% su tutti i pezzi e la costanza dei criteri di valutazione.

Lo stesso vale nel caso più operatori svolgano lo stesso tipo di controllo: è impossibile che tutti abbiano esattamente gli stessi criteri di valutazione.

### 5.2.2 La possibilità di operare in ambienti ostili

Senza pensare a condizioni estreme come quelle che si verificarono nel reattore della centrale di Chernobyl, dove gruppi di volontari si esposero a radiazioni mortali (da quell'esperienza partì fra l'altro lo sviluppo di robot equipaggiati con sistemi di visione per operare in condizioni estreme) nei nostri ambienti industriali esistono molte aree dove un operatore non può operare in condizioni di totale sicurezza e ambienti dove le condizioni ambientali sono al limite.

### 5.2.3 La velocità di controllo

Un SdV è in grado di svolgere operazioni di verifica in frazioni di secondo anche su oggetti in movimento molto veloce come su nastri trasportatori. La velocità di controllo genera due importanti opportunità fra loro correlate:

- a. è possibile ripensare il sistema di controllo qualità passando da verifiche a campione a controlli totali (100% dei prodotti) con tutti i vantaggi che ne conseguono
- b. è possibile ridisegnare i processi e le linee di produzione, introducendo sistemi di movimentazione automatici ed evitando i polmoni intermedi dedicati ai controlli qualità e al trasferimento dei pezzi da una fase all'altra.

#### 5.2.4 La generazione di dati sul processo

Un sistema di visione posto in una certa fase del processo produttivo, oltre ad assolvere al suo compito specifico, è in grado di produrre e memorizzare dati sul processo e soprattutto sulle variazioni dei parametri, consentendo di generare statistiche che permettono di individuare eventuali segnali o trend di peggioramento del processo, aiutando così i gestori della linea di produzione ad intraprendere le azioni correttive prima che il processo esca dalla soglia di tolleranza prevista.

#### 5.3 Limitazioni tecnologiche

Le limitazioni tecnico-applicative sono ancora numerose, soprattutto se il sistema non viene concepito ed installato sulla base di specifiche ben definite e stabilite a priori.

Operazioni che il cervello umano è in grado di svolgere in frazioni di secondo richiedono migliaia di linee di programma e processori molto più potenti di quelli attualmente disponibili.

Tipici esempi sono l'interpretazione di forme complesse o tridimensionali: ognuno di noi è in grado di riconoscere centinaia di volti in una frazione di secondo o di trovare un cacciavite a stella in una scatola degli attrezzi molto disordinata.

Il nostro occhio si adatta piuttosto bene a variazioni di luminosità, variazioni della distanza del soggetto ed è in grado di mantenere l'oggetto che interessa nel campo visivo, concentrandosi sugli aspetti importanti per la funzione che stiamo svolgendo.

Tutti questi compiti non sono così scontati per un sistema automatico. In generale i sistemi di visione presentano limitazioni quando devono operare con:

- grandi varietà di pezzi da riconoscere
- pezzi di forme molto complesse da ispezionare su più lati
- elevato numero di punti di vista (ad esempio per riscontrare sulla

stessa parte difetti individuabili solo in controluce e difetti individuabili solo in trasparenza)

- impossibilità di portare il pezzo sotto un campo visivo predeterminato
- valutazioni e scelte sulla base di parametri non facilmente codificabili

Particolari accorgimenti ed attenzioni devono essere prestate quando vi siano:

- ambienti sporchi e polverosi
- variazioni delle condizioni di illuminazione
- variazione delle condizioni con cui l'oggetto si presenta

Da queste considerazioni possiamo prevedere fin da ora come le applicazioni dei SdV al settore legno presentino un elevato grado di complessità e di criticità.

Il legno infatti, essendo un materiale naturale e vivo, presenta venature, tonalità, gradazioni di colore ed imperfezioni molto variabili che da un lato lo rendono un materiale estremamente affascinante e dall'altro mettono a dura prova i sistemi automatici di rilevazione delle caratteristiche e dei difetti. La lavorazione del legno inoltre, comporta elevata polverosità degli ambienti.

## 6 L'introduzione dei sistemi in azienda

L'introduzione di un SdV in azienda comporta un impegno considerevole di risorse sia in termini di costi esterni ma anche - e potremmo dire soprattutto - di costi interni, in particolare per l'impegno di personale specialistico (esperti di processo) e per la necessaria riorganizzazione del sistema produttivo.

In questo capitolo verranno descritte le tipiche fasi di sviluppo di un progetto di introduzione di un SdV e fornite indicazioni in merito ai criteri di scelta di prodotti e fornitori e alla giustificazione dell'investimento sulla base dei costi e benefici attesi.

### 6.1 Fasi di sviluppo di un progetto

L'introduzione di un SdV - funzionante secondo le aspettative e nei tempi previsti - è il risultato di un progetto complesso, caratterizzato da aspetti organizzativi non banali.

Le fasi di sviluppo del progetto sono sintetizzate e descritte in tabella 1.

### 6.2 Costi

Il costante aumento delle capacità di calcolo dei microprocessori unito alla loro diminuzione di prezzo e alla diminuzione dei costi dei sensori e degli altri apparecchi, sta progressivamente riducendo i costi medi dei SdV in particolare in rapporto alle prestazioni, rendendoli accessibili a fasce di utenza e relative applicazioni via via più ampie che in passato. Secondo una stima dell'AIA - l'associazione americana dei produttori di componenti e sistemi di visione - il costo medio di un sistema negli Stati Uniti è sceso a 35.000 dollari nel 1999; contemporaneamente il numero di sistemi installati rispetto all'anno precedente è cresciuto di oltre il 20%. Nel costo medio sono inclusi l'hardware, il software, l'integrazione ed i servizi di ingegnerizzazione dell'applicazione. Occorre osservare però, che il dato medio risente in particolare del fatto che molte realizzazioni vengono oggi fatte con sistemi integra-

Tabella 1 - Fasi di sviluppo di un progetto di SdV

Fasi di sviluppo	Descrizione
Costituzione di un gruppo di sviluppo (task force)	Del gruppo dovrebbero far parte figure professionali con una buona visibilità del processo produttivo e delle procedure di assicurazione qualità. Il gruppo dovrebbe studiare attentamente gli aspetti chiave del processo e, al contempo, acquisire conoscenza delle potenzialità e caratteristiche dei sistemi di visione. Questo può essere fatto attraverso la lettura di testi specializzati, incontri con potenziali fornitori e utilizzatori di SdV, la partecipazione a seminari formativi, fiere di settore, ecc.
Definizione delle esigenze	Sulla base delle caratteristiche del processo produttivo, delle criticità attuali e degli obiettivi di miglioramento, il gruppo dovrebbe identificare l'area o le aree di potenziale applicazione del SdV e definire le specifiche generali.
Verifica tecnica di fattibilità	Le aree identificate dovrebbero essere analizzate con i fornitori potenziali, integratori di sistema e consulenti.
Stesura delle specifiche di dettaglio	Le specifiche tecniche ed applicative dovrebbero contenere una descrizione dettagliata dell'applicazione e i principali dati prestazionali come velocità, produttività, ripetitività, tolleranze ammesse, nonché le procedure ed i parametri di accettazione del sistema. È essenziale anche definire quale è il grado di errore massimo accettabile del sistema (ad esempio quanti pezzi "buoni" possono essere scartati). Un altro aspetto importante è l'interazione del SdV con la linea di produzione ed i sistemi di supervisione e controllo della produzione.
Valutazione delle variazioni tecnico/organizzative	L'introduzione di un SdV può indurre variazioni anche importanti sul processo produttivo. Ad esempio può comportare variazioni fisiche del lay out, l'introduzione di sistemi di movimentazione automatici, l'eliminazione/spostamento di polmoni intermedi, ecc. Altro aspetto tipico e niente affatto trascurabile può richiedere modifiche delle mansioni degli addetti.
Richiesta di offerta	La richiesta di offerta dovrebbe essere sottoposta ad un numero selezionato di fornitori (3-6), scelti fra quelli interpellati in precedenza e che meglio rispondono ai criteri di scelta.
Selezione delle soluzioni e dei fornitori	Le offerte dovrebbero essere valutate in modo sistematico. Dovrebbero dimostrare che il proponente ha familiarità con la specifica problematica tecnico applicativa e descrivere come la soluzione tecnica proposta sia in grado di assolvere le specifiche richieste. La proposta dovrebbe inoltre contenere chiari riferimenti alla fase post-vendita (garanzia, servizi, update software, parti di ricambio, training operatori, ecc.)
Ordine	La forma di acquisto più comune è quella "Turnkey - chiavi in mano". Nel caso in cui la soluzione delle problematiche non sia certa e consigliabile emettere un ordine su più fasi, con una prima fase di studio di fattibilità e messa a punto di un dimostratore, cui seguirà, in caso di successo, lo sviluppo completo del sistema.
Sviluppo	È importante trasferire allo sviluppatore tutte le informazioni sull'applicazione e tutti i campioni di difettosità in modo da poter tarare il funzionamento del sistema al meglio.
Test	È preferibile condurre la prima fase di test presso il fornitore e mettere alla prova il sistema in tutti i suoi aspetti funzionali, prima di inserire il sistema sulla linea produttiva.
Training	Addestrare tutte le figure professionali coinvolte nell'utilizzo e mantenimento del sistema (addetti alla linea, addetti alla manutenzione, ecc.)
Installazione	Condurre la fase finale di test valutando le prestazioni del sistema rispetto alle specifiche di produttività e qualità emesse in fase di ordine.
Avvio del sistema	Esigere dal fornitore il supporto per tutto il tempo necessario al personale interno ad operare in piena autonomia.

ti (smart camera e sistemi compatti) di costi inferiori ai 10.000 dollari e quindi il mix di prodotto si sposta progressivamente su sistemi di fascia più bassa (downsizing). Va detto inoltre che i sistemi compatti e le smart camera attuali hanno prestazioni analoghe a quelle di sistemi che cinque anni fa costavano dai 35 ai 45.000 dollari. A fronte di consistenti cali dei costi dell'hardware, il costo del software e dei servizi tende a restare costante, per cui la loro incidenza sul costo totale del sistema tende a crescere. Secondo alcuni operatori italiani ed esteri interpellati nel corso dello studio, pur non essendo possibile generaliz-

Tabella 2 - Tipologie di prodotti e componenti e livelli tipici di prezzo all'utente finale

Tipo	Fascia di prezzo (€)	Descrizione
Telecamere con uscita standard	400-2.000	Dalle più semplici in B/N con uscite CCIR e funzioni standard a quelle programmabili in scansione, tempi, ecc.
Telecamere digitali lineari e matriciali	2.000-10.000	Vengono utilizzate nelle applicazioni più complesse, nelle quali sono richieste elevate prestazioni dal punto di vista risoluzione, velocità, dinamica.
Frame grabbers	500-10.000	Ne esistono innumerevoli versioni e produttori. L'elevata variabilità del prezzo è dovuta al fatto che in questa tipologia di prodotti co-esistono prodotti molto semplici con funzionalità e prestazioni poco più che amatoriali e prodotti in grado di eseguire complesse operazioni di elaborazione dell'immagine.
Smart Cameras	3.000-10.000	Sono telecamere con elettronica incorporata che assolve a funzioni di: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Acquisizione</li> <li>● Elaborazione</li> <li>● Decisione (settaggio di I/O)</li> </ul> Costituiscono un'evoluzione/integrazione dei sistemi compatti.
Sistemi compatti o Configurabili	5.000-12.000	Il termine configurabili deriva dal fatto che il cliente può configurare i parametri di funzionamento del sistema per adattarlo alle proprie esigenze specifiche. Non è possibile invece programmare questi sistemi per operazioni diverse o aggiuntive di quelle per cui sono stati espressamente progettati. I configurabili sono adatti ad applicazioni di fascia bassa, spesso in sostituzione di uno o più sensori di cui costituiscono una evoluzione ed integrazione. <p>Tipiche applicazioni sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Verifica di posizionamento etichette</li> <li>● Rilevamento presenza/assenza di stamp</li> <li>● Posizionamento di circuiti integrati</li> </ul> Sono programmabili tramite interfacce interne oppure da PC.
Sistemi general purpose	Oltre 10.000	Sono costituiti da hardware basati su varie architetture (DSP, RISC...) e da software specifico che svolge le funzionalità tipiche di un SdV: conteggi, riconoscimenti, lettura caratteri, ecc. Vengono personalizzati dall'integratore o dall'utente finale per l'applicazione specifica.
Sistemi applicati	Oltre 20.000 (compresi servizi)	Sono sistemi di visione completi e funzionanti sulla singola applicazione. Vengono sviluppati dal System Integrator utilizzando i prodotti e componenti elencati sopra.

zare, il costo totale di un sistema può essere valutato oggi da 3 a 6 volte il costo dell'hardware. Occorre precisare infine che questi costi sono riferiti ai costi esterni del sistema e quindi non comprendono tutti i costi del personale interno e delle eventuali modifiche alle linee. A scopo puramente indicativo riportiamo una breve descrizione ed i livelli di prezzo dei principali componenti di un SdV.

### 6.3 Valutazioni di convenienza economica

Le giustificazioni dell'investimento in un sistema di visione, così come in generale per i processi di automazione, possono essere di ordine strategico e/o tattico.

Ogni caso deve essere valutato singolarmente.

Dal punto di vista strategico un'installazione può essere giustificata semplicemente perché elimina o riduce significativamente aspetti critici della produzione tali da migliorarne significativamente la soddisfazione del cliente e l'immagine aziendale. In questo caso l'introduzione del SdV rientra nel generale processo di rinnovamento degli impianti e delle tecnologie produttive.

Spesso l'introduzione del SdV introduce vantaggi competitivi tali da indurre il cliente a pretendere l'esclusiva dal fornitore e a mantenere per quanto possibile segreta l'installazione del sistema. Dal punto di vista tattico esistono numerose motivazioni economiche, fra cui spiccano:

- la riduzione dei costi della materia prima
- aumento della produttività
- la riduzione dei costi del personale
- la riduzione degli scarti
- la riduzione dei costi di rilavorazione
- la riduzione di lavorazioni pericolose e quindi dei rischi di infortuni
- la riduzione dei costi per lo smaltimento degli scarti
- la riduzione dei ritorni per non conformità/garanzia, compresi i costi di spedizione
- l'ottimizzazione del tempo utile di lavorazione, ad esempio riducendo i fermi linea, ecc.

In alcuni casi l'incostanza della qualità della materia prima in ingresso, unita all'impossibilità di eseguire controlli al 100% con i sistemi tradizionali, induce molti produttori ad esigere standard qualitativi superiori a quelli effettivamente necessari, per essere certi di rimanere all'interno dei parametri di qualità voluti.

Alcuni produttori di mobili ad esempio, hanno evidenziato che se potessero avere un maggior controllo sulla qualità delle tavole in

ingresso, sarebbero in grado di ordinare materiali di livello qualitativo più basso - e quindi di ridurre i costi - mantenendo inalterati gli standard voluti per il prodotto finito.

L'analisi della riduzione del costo del personale dovrebbe riguardare sia il lavoro diretto che quello indiretto in tutte le aree dove l'introduzione del SdV andrà ad impattare. Oltre al costo orario del personale impegnato nelle lavorazioni vanno considerati anche i costi di gestione, i costi per la sua assunzione ed addestramento, le riduzioni dei costi amministrativi per la gestione della garanzia o la minore gestione dei resi del processo, ecc.

Il controllo di qualità al 100% riduce sensibilmente gli scarti ed i costi di rilavorazione anche perché permette di individuare eventuali trend di peggioramento ed allertare gli operatori in modo che prendano le necessarie contromisure. Un vantaggio accessorio è costituito dal fatto che non è necessario verificare le parti rilavorate.

Altri vantaggi importanti anche se non quantificabili economicamente, soprattutto in certe applicazioni, riguardano l'aspetto della qualità e della sicurezza del lavoro. Il SdV è in grado di sostituirsi all'uomo in operazioni ripetitive, poco gratificanti dal punto di vista professionale e molto faticose, quando non pericolose o svolte in ambienti di lavoro molto duri. Basta pensare, nel caso dell'industria del legno, ai reparti di scelta colore nei parchettifici o ai reparti verniciatura nelle produzioni di mobili, o alle operazioni di segazione svolte in molte aziende ancora in forma completamente manuale. Infine vale la pena di citare fattori più difficilmente quantificabili dal punto di vista economico che tuttavia in determinate situazioni possono avere grande importanza:

- riduzioni del layout produttivo, dovuto ad esempio all'eliminazione della fase di controllo manuale fuori linea.
- riduzioni delle aree di stoccaggio intermedie, dovute ad esempio allo snellimento del processo reso possibile dall'introduzione del SdV.

Se l'azienda si trova in carenza di spazio, il recupero di questi spazi può essere molto importante. Alcuni studi hanno evidenziato che tutti i costi sommati possono anche arrivare al 30-40% dei costi diretti.

Senza entrare in questa sede nel dettaglio di giustificazione degli investimenti di casi concreti, la maggior parte dei fornitori quantifica il ritorno dell'investimento dei progetti svolti in meno di un anno.

Occorre però osservare che questi dati rientrano nelle classiche argomentazioni di marketing, tendono quindi ad essere estremamente ottimistiche e a prendere in considerazione i casi migliori, oltre a non considerare nei calcoli i costi interni sostenuti dal cliente.

## 6.4 Criteri di scelta di fornitori e prodotti

La scelta dei fornitori è particolarmente importante nel caso di sistemi con elevata componente di servizi come i SdV.

La tabella riassume i criteri di scelta in ordine di importanza secondo vari utenti di SdV ed esperti del settore italiani ed esteri.

Tabella 3 - Criteri di scelta dei fornitori

Criteri di scelta dei fornitori	Grado di importanza	Note
Specializzazione applicativa	Alto	L'integratore con una conoscenza dei processi dell'industria di riferimento e che può dimostrare di avere già sviluppato la stessa applicazione o applicazioni simili da sicuramente maggiori garanzie di successo
Capacità di fornire un sistema completo	Alto	La messa a punto di un SdV richiede competenze multidisciplinari, dall'ottica al controllo di processo, alla meccanica, ai sistemi di illuminazione. La struttura dell'integratore prescelto dovrebbe essere in grado di fornire tutte le competenze necessarie
Qualità dei servizi pre vendita	Alto	La capacità di assistere il cliente in fase prevendita, dai contatti iniziali per verificarne le esigenze applicative, alla proposta di una soluzione completa, alla stesura di un'offerta che comprenda tutto ciò che occorre al cliente sono indicatori della capacità di fornire un buon sistema
Qualità e tempestività dei servizi post-vendita	Alto	Questa caratteristica essenziale dovrebbe essere verificata contattando soprattutto le referenze del fornitore. In fase di stesura dell'ordine è opportuno concordare chi la erogherà, in che modo (telefono, fax, e-mail, interventi sul campo) e i costi
Referenze	Medio	Un grande numero di sistemi sviluppati con successo è senza dubbio un indicatore importante della capacità dell'integratore
Ricerca e sviluppo	Medio	I SdV sono un mercato in continua evoluzione tecnologica. I fornitori devono sviluppare costantemente nuovi prodotti e soluzioni per continuare a restare sul mercato. È importante guardare ai prodotti offerti e agli sviluppi che vengono fatti, anche in vista di futuri upgrade del sistema.
Vicinanza geografica	Medio	La vicinanza geografica incide sia sui costi che sulla rapidità dei servizi post vendita. Dovrebbe intervenire a parità delle altre condizioni
Livello di prezzo	Medio	Dovrebbe intervenire a parità delle altre condizioni

La scelta del prodotto è in generale subordinata a quella del fornitore, tuttavia è importante scegliere un prodotto di prestazioni adeguate all'applicazione: un prodotto sottodimensionato non sarà in grado di

assolvere alla sua funzione, uno sovradimensionato sarà probabilmente troppo complesso e costoso.

Anche la fase di ciclo di vita del prodotto dovrebbe essere tenuta in conto: per applicazioni non troppo sofisticate in cui si vogliono risultati in tempi brevi sarà meglio orientarsi su prodotti più maturi (uno o due anni di vita) per applicazioni molto sofisticate sarà meglio investire in prodotti nuovi e più potenti.

Altri criteri di scelta dei prodotti sono la:

- modularità
- integrabilità
- scalabilità

delle soluzioni, preferibilmente basate su hardware per quanto possibile standard.

## Parte seconda

# Le applicazioni all'industria del legno

L'industria del legno è costituita da numerosi sotto settori produttivi, caratterizzati da fasi di lavorazione, tipologie di semilavorati e di prodotto anche molto diversi fra loro. Allo scopo di collocare ciascuna delle applicazioni potenziali o già realizzate in un contesto preciso, proponiamo uno schema di filiera che, nonostante rappresenti una semplificazione rispetto alla complessa struttura del settore, fornisce una immediata percezione del vasto spettro di applicabilità dei SdV. Come vedremo più avanti, virtualmente tutte le produzioni elencate nella tabella possono trarre beneficio dall'introduzione di un SdV in una o più fasi di lavorazione.

Tabella 4 - Schema semplificato della filiera della lavorazione del legno

Livello della filiera	Prodotti
<b>Prima lavorazione del legno</b>	Travi Tavole Fogli Troncati Compensati Lamellari Sfogliati per impiallacciatura Legname da lavoro Legname per uso strutturale in edilizia Pannelli grezzi e nobilitati (in fogli)
<b>Semilavorati</b>	Antine Pannelli grezzi e nobilitati (a misura) Sedili Cassetti Profili Altri semilavorati
<b>Prodotti finiti</b>	<b>Mobili</b> Imbottiti Ufficio Zona giorno/notte Cucina Bagno Sedie Tavoli
	<b>Parquet</b> Legno massiccio Multi-strato Laminato
	<b>Infissi</b> Altri prodotti in legno/laminato



### 1.2 Ottimizzazione del taglio tavole

A valle delle operazioni di taglio del tronco e del suo scortecciamento, le tavole ottenute vengono selezionate e stoccate per l'essiccazione.

Una volta essiccate, le parti - lunghe tipicamente da 2 a 10 metri - vengono tagliate longitudinalmente in tavole di ampiezza e spessore variabili a seconda delle esigenze dell'utilizzatore. Ogni tavola viene squadrata e portata alle dimensioni volute. L'operatore taglia il legno in funzione della venatura e seleziona un certo numero di dimensioni a seconda delle commesse di produzione acquisite. Anche in questo caso un sistema automatico basato su sistema di visione permette di ottimizzare il taglio: la soluzione è costituita da telecamere a colori - nella maggior parte dei casi lineari - che acquisiscono l'immagine della tavola. Una serie di algoritmi individua nodi, spaccature, fessure, macchie e altri difetti presenti sulla tavola e calcola il percorso di taglio, ottimizzando la quantità di legno utilizzato sulla base dei formati richiesti. Attraverso l'utilizzo di sistemi a processori paralleli si sono raggiunti tempi di processo di soli 4 secondi per tavola.

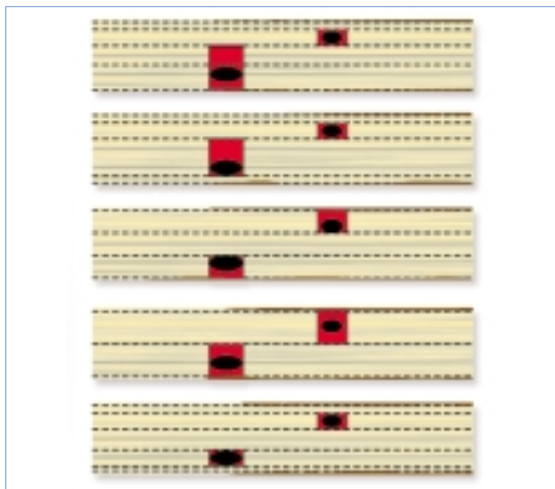


Figura 16 - Ottimizzazione taglio tavole, esclusione difettosità

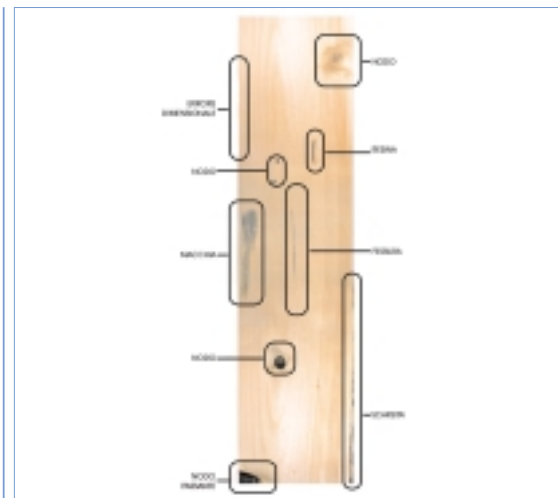


Figura 17 - Difettosità rilevate su una tavola

### 1.3 Previsione delle caratteristiche di resistenza delle travi mediante raggi X

Si tratta di un'applicazione studiata sperimentalmente alcuni anni fa e che oggi inizia ad essere applicata industrialmente.

Vari utilizzi strutturali del legno, come ad esempio le travi o tavole portanti richiedono che la resistenza venga verificata con precisione.

Se, da un lato, le caratteristiche di resistenza di ciascun tipo di legno sono relativamente costanti, nodi ed altre deformità possono ridurre considerevolmente la resistenza.

Normalmente le travi vengono testate applicando sforzi di taglio con un sistema meccanico.

Questo sistema ha due principali limitazioni: gli sforzi non possono essere applicati per tutta la lunghezza della trave, inoltre una trave che non dovesse passare il test e cedere, incepperebbe la macchina.

Un metodo alternativo di test è costituito da un sistema automatico basato sui raggi X.

Il legno viene fatto passare sotto la sorgente a raggi X e, poiché l'attenuazione dei raggi varia a seconda della presenza di nodi ed altri difetti, è possibile prevedere le caratteristiche di elasticità e resistenza della parte senza sottoporla a stress. Questo tipo di macchina può essere messa in linea nel sistema produttivo in quanto analizza le travi più velocemente dei sistemi tradizionali e, non rompendo le travi da scartare, evita l'intasamento della linea stessa.

Evitando di installare una macchina in parallelo al processo, si riducono inoltre gli spazi ed i costi del sistema di movimentazione.

Altri sistemi possono utilizzare tecniche di rilevazione ad ultrasuoni anziché la sorgente a raggi X.



Figura 18 - Scanner a raggi X per tavole - Eyetech machine

#### 1.4 Evoluzioni attese

Le varie fasi di taglio del legname dalla tavola grezza al semilavorato comportano scarti molto elevati, per minimizzare i quali sono in corso vari studi e sviluppi di prodotto. Ad esempio, per produrre lo schienale di una sedia con una certa forma - non necessariamente rettangolare - il costruttore richiede alla segheria una tavola di forma rettangolare avente lunghezza e larghezza superiori di un certo margine alle dimensioni massime dello schienale. Fra le specifiche figura l'assenza di nodi e difetti di una certa dimensione su tutta la superficie della tavola. In realtà questa specifica non sarebbe completamente necessaria, perché eventuali nodi presenti nelle parti che verranno tagliate nelle successive fasi di lavorazione non pregiudicherebbero la qualità del prodotto finale. Purtroppo la segheria, almeno ad oggi,

non è in grado di conoscere la forma che verrà ricavata dalla tavola e quindi eseguirà un taglio ottimizzato soltanto sulla base delle misure (base per altezza) ordinate dai clienti. Conoscendo le reali forme che verranno ricavate successivamente invece, il sistema di ottimizzazione potrebbe ottenere notevoli risparmi di materia prima, in quanto potrebbe decidere il taglio in modo da inserire i difetti in porzioni di tavola che non faranno parte del pezzo.

Gli elementi essenziali per questa ottimizzazione sono:

- l'integrazione cliente-fornitore attraverso lo scambio dei disegni delle parti da produrre
- un sistema di visione in grado di identificare i difetti del legno e fornire i dati all'ottimizzatore del taglio

Un altro fattore di scarto è costituito dal fatto che la maggior parte delle seghe può eseguire soltanto tagli lineari e quindi occorre sempre passare attraverso la fase di taglio di tavole rettangolari.

La forma del tronco è spesso non perfettamente lineare e questo comporta ulteriori scarti. Integrando un sistema di visione che individui i difetti del legno ed un sistema di ottimizzazione del taglio del tipo di quelli in uso da tempo in campo tessile per ottimizzare i tagli stoffa (nesting automatico), è possibile aumentare il grado di utilizzo del legname in percentuali anche molto elevate. Anche questa ottimizzazione richiede il trasferimento dei file di progetto dal produttore alla segheria in remoto con tecnologie di tipo EDI (Electronic Data Interchange), oltre a sistemi di taglio non lineari, che sono attualmente in fase di sviluppo da parte di vari centri di ricerca.



Figura 19 - Sistema di rilevazione difetti su tavole

## 2 Produzione di semilavorati

### 2.1 Controlli di qualità nella produzione di pannelli grezzi

Il processo di produzione dei pannelli grezzi può trarre beneficio da numerosi controlli e verifiche durante le successive fasi di produzione. I controlli riguardano essenzialmente:

- la dimensione delle scaglie, sia in linea che fuori linea, misurata sia sulle superfici che internamente
- il controllo dimensionale di spessore: spessori troppo elevati possono inceppare le macchine nelle fasi successive, spessori insufficienti possono essere recuperati in fase di leviga ma danno origine a prodotti di scelta e quindi valore inferiore.
- scelta a fine linea fra due scelte e scarti a seconda della presenza di macchie, fori, solchi, increspature, corrugamenti, presenza di altri materiali come parti metalliche o plastiche.

Durante tutto il processo infine, è essenziale il monitoraggio del grado di umidità del materiale.

### 2.2 Controlli di qualità nella nobilitazione dei pannelli

Nel caso dei pannelli nobilitati possono essere effettuati controlli di qualità addizionali nella fase di nobilitazione.

Le verifiche possono essere condotte in almeno tre punti intermedi del processo:

- a monte del processo produttivo vero e proprio, dove il SdV può verificare l'integrità originale della carta. Tipici controlli sono la rilevazione di macchie, di abrasioni, difetti di stampa, ecc.
- subito dopo l'impregnazione della carta con la resina: presenza di piccole macchie, insetti, incrostazioni di resina, applicazione non uniforme della resina.

- successivamente alla fase di incollaggio e pressatura, dove il sistema può individuare la presenza di bolle d'aria oltre a difetti superficiali come impurità, macchie e rigonfiamenti, mancanza di carta.

Ad oggi la maggior parte di questi controlli viene effettuata visivamente da operatori addetti che, tramite sistemi di illuminazione appropriata, controllano ogni singolo pannello.

Le grandi dimensioni dei pannelli, la velocità di scorrimento relativamente elevata, il fatto che il controllo deve essere effettuato sui due lati, rendono la rilevazione di tutti i difetti molto difficile.

La presenza di bolle d'aria viene invece rilevata con sistemi basati su ultrasuoni, ad intervalli regolari – e quindi a campione - piuttosto che in continuo.

È evidente quindi, come nelle varie fasi del processo e al termine della linea produttiva, dove avviene la scelta (tipicamente due livelli di scelta e lo scarto) il SdV potrebbe assicurare maggiore uniformità e costanza di giudizio, un controllo al 100% della difettosità e permettere di concentrare il personale su altri aspetti di controllo dell'impianto.

Un livello ancora più evoluto di sistema potrebbe, una volta identificati i difetti, mantenere una memoria della posizione stessa del difetto (ad esempio con un tag a radiofrequenza da inserire nel pannello)

Il successivo sistema di taglio ottimizzato, che decide come tagliare il pannello per ottenere le parti voluti con il minimo scarto, potrebbe decidere il percorso di taglio anche in funzione dei difetti.

### 2.3 Ispezione di laminati

I controlli necessari in questa produzione sono essenzialmente di tre tipi:

- controlli superficiali, per verificare che la superficie non sia scheggiata e per rilevarne eventuali irregolarità.
- verifica dei bordi, per controllare spessore e dimensioni planari della tavola, altezza e profondità delle scanalature e delle alette.
- individuazione di bolle allo scopo di determinare se l'incollaggio degli strati è sufficientemente compatto e se materiali estranei sono penetrati fra gli strati durante le fasi di produzione precedenti.

I sistemi di visione, per effettuare queste verifiche, utilizzano tecnologie di misura laser che operano con il principio della triangolazione, accoppiati a telecamere per le verifiche superficiali.

Data la variabilità delle tonalità di colore, sono necessari sistemi di

illuminazione adattativi per permettere al SdV di processare immagini sempre con la giusta luminosità.

#### 2.4 Produzione di antine e altri semilavorati

Nella produzione di antine ed altri semilavorati assimilabili, sono state rilevate quattro tipologie di controllo essenziali effettuabili mediante SdV:

- il controllo delle caratteristiche del legno
- i controlli dimensionali dei componenti e del semilavorato assemblato
- l'accoppiamento di tavole per formare le ante
- il controllo della verniciatura

Nel primo caso, il livello di controllo e selezione sul materiale in ingresso dipende dal livello di qualità atteso del prodotto finito.

Per prodotti di fascia alta la tolleranza alle imperfezioni tipiche del legno - come nodi e venature troppo evidenti - è molto bassa per cui la percentuale di scarti è elevatissima e la selezione avviene lungo tutta la catena produttiva.

La prassi più correntemente rilevata è quella di eseguire controlli in ingresso e successivamente scartare parti non conformi durante tutte le fasi di movimentazione dei pezzi da una lavorazione alla successiva.

Le imperfezioni citate determinano percentuali di scarto diverse in funzione della qualità del materiale in ingresso e della qualità attesa in uscita.

La presenza di fessure e microfessure, spesso invisibili nelle fasi di lavorazione intermedie, che emergono successivamente, comportano difetti strutturali non accettabili neppure nei prodotti di fascia più bassa, almeno per quelli destinati al mercato italiano e ai mercati europei più esigenti.

I controlli dimensionali vengono fatti con ispezione visiva al termine di ciascuna fase di lavorazione e a campione con strumenti meccanici.

Le difettosità principali riguardano la mancanza di materiale e la non perfetta finitura da parte della macchina. I difetti rilevati possono comportare ritocchi, rilavorazioni fuori linea o lo scarto del pezzo.

Una fase piuttosto importante, per quanto riguarda la gradevolezza del prodotto finito, è l'accostamento di tavole con caratteristiche di venature e tonalità compatibili fra loro.

Questo accoppiamento viene in parte già fatto in sede di taglio, dove

le tavole adiacenti (che presentano quindi disegno speculare) vengono mantenute vicine o etichettate in modo opportuno per essere successivamente montate in posizione attigua.

La fase di verniciatura può fare emergere ulteriori difetti non rilevati precedentemente - come le famigerate microfessure - e può dare luogo a difetti addizionali come sgocciolature, macchie, rugosità, ecc. Anche in questo caso il controllo finale, eseguito manualmente, può determinare lo scarto definitivo del pezzo o la sua rilavorazione e riverniciatura.

Non ci risultano applicazioni di SdV in queste fasi di lavorazione.

Le tematiche di controllo qualità in questa tipologia di produzione sono molto simili a quelle della produzione dei mobili finiti, vengono quindi trattate nel capitolo successivo.

### 3 Prodotti finiti

I controlli di qualità nella produzione di prodotti finiti sono numerosi e riguardano sia la finitura dei componenti, che spesso vengono dati esternamente in conto lavorazione, sia l'assemblaggio e l'accoppiamento di parti.

Alcune problematiche sono generalizzate, altre sono legate alla particolare tipologia di prodotto.

#### 3.1 Mobili per ufficio, bagno, cucine

Le principali verifiche e controlli di qualità nel processo produttivo riguardano:

- rilevazione di difetti nel materiale in ingresso
- verifica dell'applicazione bordature ai pannelli
- verifiche dimensionali del taglio pannelli o tavole in legno
- verifica della presenza e corretto posizionamento delle forature
- verifica della presenza di difetti superficiali
- verifiche pre e post verniciatura

I controlli di qualità del materiale in ingresso vengono eseguiti a campione nella maggior parte dei casi rilevati.

Difettosità dei materiali in ingresso - in particolare nei pannelli - creano gravi problemi nelle fasi di lavorazione successive, quindi le problematiche del fornitore dei semilavorati e dell'utilizzatore dei semilavorati sono assolutamente identiche: maggiori controlli a monte possono ridurre i problemi a valle della catena produttiva.

L'applicazione delle bordature sui pannelli viene verificata a bordo macchina con sistemi tradizionali come le fotocellule, che però non sono in grado di rilevare tutte le possibili difettosità.

Taglio dei pannelli e forature vengono eseguiti con macchine automatiche che normalmente operano correttamente e non sono considerate

critiche nella maggior parte dei casi. L'enfasi è piuttosto sulla verifica del set up macchina ad ogni cambio di produzione.

La complessità delle forature è tale da richiedere un tempo non trascurabile se fatto con metodi manuali. In questo caso un SdV dovrebbe eseguire le verifiche dimensionali delle parti tagliate e la verifica di posizionamento, profondità, circolarità dei fori sulla base dei disegni. Gran parte degli utilizzatori intervistati è concorde nel fatto che il controllo della foratura non è necessario in linea, perché l'affidabilità delle macchine è molto elevata e quindi il bassissimo numero di pezzi difettosi non giustificerebbe il costo di un sistema e dell'eventuale sistema di material handling. A questo si aggiunge il fatto che l'assenza di un foro in fase di montaggio può essere rimediata molto facilmente sia in fabbrica sia dagli installatori.

La cosa cambia invece nel caso di mobili destinati al fai da te, dove l'assenza di un foro può essere un ostacolo insormontabile per il consumatore finale e quindi comportare la resa del prodotto. Per quanto riguarda la verifica dei difetti superficiali e dei risultati della verniciatura rimandiamo a quanto riportato nelle sezioni precedenti.

#### 3.2 Sedie, tavoli, lettini ed altri prodotti assimilabili

Le produzioni di questo tipo sono caratterizzate da:

- dimensioni aziendali per lo più medie o piccole
- ciclo produttivo relativamente breve
- livelli di automazione ancora non molto elevati in particolare nel material handling

Queste caratteristiche fanno sì che i controlli di qualità avvengano, dopo l'accettazione dei lotti in ingresso controllati a campione, in concomitanza delle operazioni di carico scarico macchina o di trasferimento dei materiali da una macchina all'altra.

Le sequenze tipiche rilevate sono:

- scarico macchina
- analisi visiva dei pezzi prodotti (su più lati)
- scarto delle parti non utilizzabili
- invio in rilavorazione delle parti recuperabili
- decisione del verso corretto di utilizzo quando possibile (ad esempio inserire un nodo in una parte non visibile del prodotto finito)
- trasferimento alla fase successiva (attraverso sistemi manuali o nastri trasportatori)

Questa sequenza si ripete in ciascuna fase di lavorazione sino a che le parti non sono pronte per l'assemblaggio finale.

Man mano che si procede nelle fasi di lavorazione vengono scartate parti non conformi.

Prima dell'assemblaggio finale si pone il problema dell'accoppiamento fra le parti in modo che venature, tonalità e colore dei vari componenti siano omogenei fra loro.

Spesso vengono costituiti gruppi di componenti con caratteristiche simili in modo da facilitare la scelta da parte degli operatori che assemblano il pezzo finito.

L'utilizzo di un SdV nelle fasi descritte appare tutt'altro che banale se non altro per le problematiche di manipolazione (le parti vanno analizzate su tutti i lati) e di stoccaggio intermedio.

L'introduzione di un SdV andrebbe accompagnato da un generale ripensamento dei processi produttivi, che preveda almeno:

- carico/scarico macchine e movimentazione automatica dei pezzi
- un sistema di tracciamento della produzione per seguire le indicazioni di lavorazioni fornite dal SdV

Non ci risultano ad oggi implementati sistemi di visione per queste applicazioni.

### 3.3 Assemblaggio di mobili e cucine

L'assemblaggio dei mobili avviene utilizzando sia componenti prodotti all'interno dell'azienda, sia componenti prodotti esternamente da aziende specializzate (il caso tipico è quello delle già citate antine).

Le problematiche più comunemente riscontrate sono nelle fasi di:

- controllo qualità dei semilavorati in ingresso
- verifica delle operazioni effettuate sui semilavorati
- accoppiamento della parti e assemblaggio finale

Il controllo di qualità in ingresso comprende tipicamente il confronto con le referenze date al subfornitore in sede d'ordine.

Trattandosi di materiale dalle caratteristiche variabili come il legno, a parte le verifiche dimensionali, il confronto fra fornitura e specifiche risulta tutt'altro che ovvio. I controlli vertono come per altri settori del legno sulle tipiche imperfezioni: nodi, fessure, pori aperti, grumi, gocce, e su difetti di lavorazione come la levigatura, ecc.

Nel caso di antine pantografate viene verificata la corrispondenza

delle forme, anche se la precisione delle macchine è tale da generare una scarsa difettosità.

Un altro controllo tipico è quello delle bordature, per verificare sia la corretta applicazione dei bordi che l'assenza di scheggiature.

Successivamente i controlli riguardano la corretta lavorazione dei semilavorati: presenza di fori, corretta forma delle asole per applicare le cerniere e la ferramenta.

Come per altre lavorazioni già viste in precedenza si tratta di verificare la lavorazione delle macchine automatiche in termini di:

- presenza
- forma
- dimensioni
- profondità

di fori ed asole.

Il controllo più critico è quello all'inizio del lotto produttivo, quando occorre essere certi che il set up delle macchine sia avvenuto correttamente.

Va detto che la progressiva riduzione dei lotti di produzione, legata all'aumento delle varietà di prodotto e al ricorso al Just in Time, rende molto frequenti i cambi di produzione.

I costruttori di macchine hanno lavorato per anni alla riduzione dei tempi di set-up portandoli, con i lotti attuali a valori intorno al 4-6% del tempo di lavoro. Si tratta di tempi brevi, ma non trascurabili.

L'automazione dei processi di verifica attraverso un SdV sarebbe accolta con estremo interesse dai principali costruttori di mobili, se semplice da eseguire e proposta ad un costo ragionevole.

Per finire un'esigenza molto sentita è quella di un sistema che automatizzi o almeno assista gli operatori nell'accoppiamento delle parti in legno per l'assemblaggio finale.

Nei sistemi attuali di produzione le varie parti vengono confrontate e un operatore decide quali parti montare vicino in base alle caratteristiche di colore, tonalità, aspetto delle venature ed altre considerazioni di carattere estetico.

Non abbiamo notizia di alcuna applicazione automatica già realizzata e riteniamo che sia di soluzione non facile per un sistema automatico.

### 3.4 Parquet

La produzione di tavole in legno massiccio per la pavimentazione presenta varie fasi in cui un sistema di visione può essere applicato.

#### 3.4.1 Verifiche dimensionali

Le verifiche dimensionali che precedono e seguono le varie fasi di taglio, squadratura, levigatura sono del tutto simili a quelle adottate per i prodotti laminati.

I sistemi di visione per effettuare queste verifiche utilizzano tecnologie di misura laser che operano con il principio della triangolazione, accoppiati a telecamere per le verifiche superficiali.

In queste fasi i vantaggi sono costituiti dal fatto che pezzi con dimensioni eccedenti la tolleranza massima possono determinare l'inceppamento delle linee, pezzi che non raggiungono le dimensioni minime verranno lavorati male e saranno comunque inutilizzabili, inoltre aumenteranno inutilmente il lavoro della linea.

#### 3.4.2 Selezione, scelta e accoppiamento delle tavole

La fase finale della lavorazione che precede l'impacchettamento è quella della selezione e scelta delle tavole unite all'accoppiamento delle stesse per formare lotti omogenei.

Si tratta certamente della fase più critica e ad alta intensità di lavoro.

La selezione avviene tipicamente su 3-4 tonalità di colore, 2 tipi di venature, 3-4 scelte.

La criticità è costituita dalla costante attenzione richiesta agli operatori e dalla difficoltà di avere giudizi uniformi da parte di operatori diversi, con tutte le problematiche che ne conseguono, come ad esempio l'addestramento.

L'impiego di un SdV, oltre alle verifiche dimensionali sul prodotto finito del tipo di quelle descritte precedentemente, è in grado di rilevare difetti come nodi, fessure, macchie, e misurare le tonalità di colore, così come determinare il tipo di venature. Sulla base di questi parametri avviene la scelta e l'accoppiamento in lotti omogenei.

Le statistiche generate automaticamente dal SdV possono costituire un utile controllo della qualità dei prodotti in ingresso per tracciare – fra l'altro – le prestazioni dei fornitori.

Si tratta di un vantaggio non trascurabile sia economico che strategico, in quanto permette un maggior controllo sulla catena di fornitura.

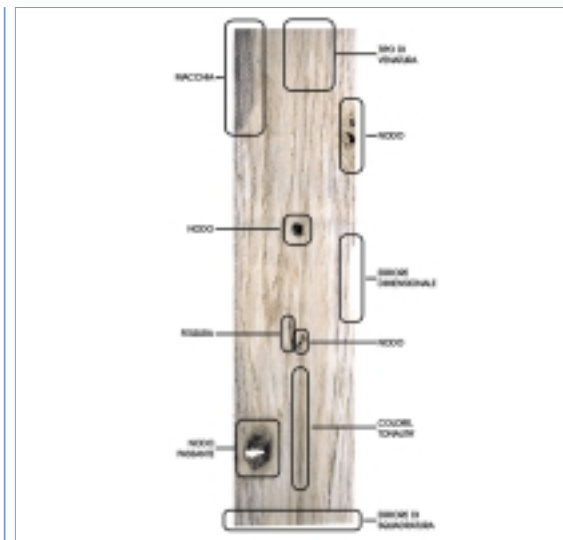


Figura 20 - Difettosità di una tavola parquet

#### 3.4.3 Evoluzioni attese

I SdV hanno già trovato applicazione, anche se non ancora estensivamente, nella misura e nella scelta delle tavole.

Dal punto di vista tecnologico sono attese varie innovazioni destinate ad allargare la diffusione di sistemi automatizzati. Esse riguardano in particolare:

- le interfacce uomo-macchina, che diventeranno più facili da gestire anche da parte di operatori non particolarmente specializzati
- la maggiore configurabilità dei sistemi sulla base dei criteri di selezione dell'utilizzatore.
- opzioni per ispezionare i pezzi su tutte le facce, identificando la faccia di maggiore qualità.

- algoritmi più sofisticati per analizzare la struttura di crescita del legno e predire la presenza di difetti locali

### 3.5 Infissi a misura

La produzione di infissi a misura avviene soprattutto su base artigianale, per cui i controlli in questo tipo di produzione appaiono meno strutturati che in altre.

Esiste una esigenza di controllo dei semilavorati in ingresso, con riferimento alle classiche problematiche dei nodi, delle spaccature e delle fessurazioni, eventuali macchie, deformazioni evidenti, ecc.

I controlli avvengono lungo tutte le fasi di lavorazione fino ai controlli finali, fatti visivamente e, a campione, con sistemi di misurazione manuali come calibri.

L'introduzione di un sistema automatico, sia per la rilevazione dei difetti del legno che per la misurazione dei profili, avrebbe il vantaggio di impedire la lavorazione (e quindi di aggiungere valore inutilmente) su parti difettose, oltre a permettere maggiori standard qualitativi sul prodotto finito.

Resta da verificare, il ritorno dell'investimento legato a produzioni di medio/bassa serie come quelle artigianali o semi industriali che sono prevalenti in questo settore.

## 4 Sintesi delle applicazioni

### 4.1 Livelli di sviluppo delle applicazioni

Nei quadri sinottici seguenti proponiamo una lista delle principali applicazioni per i SdV identificate nel settore legno, con associato un giudizio sintetico relativo ai seguenti aspetti :

- Stato di sviluppo e maturità tecnologica della soluzione:
  - potenziale: l'applicazione è potenzialmente sviluppabile anche sulla base di applicazioni tecnicamente simili in altri settori
  - sviluppo: sono in corso studi e ricerche ed esistono alcuni prodotti industriali
  - maturo: sono presenti diversi prodotti industriali in Italia o all'estero
- Stima del grado di sofisticazione e delle difficoltà tecnologico-applicative, sulla base del confronto con applicazioni assimilabili già realizzate in altri settori:
  - media
  - alta
- Vantaggi: principali benefici che derivano/deriverebbero dall'utilizzo della tecnologia dei SdV nella specifica applicazione e valutazione globale del livello di vantaggio:
  - basso
  - medio
  - alto

Tabella 5 - Tavola riassuntiva delle applicazioni rilevate

Fase	Applicazione	Stato tecnologico applicativo	Difficoltà tecnologica applicative (stima)	Vantaggi	Vantaggio globale
Prima lavorazione del legno	Ottimizzazione taglio tronchi	Maturo	Media	Aumento delle velocità di lavorazione. Massimizzazione dell'utilizzo del materiale.	Alto
Prima lavorazione del legno	Ottimizzazione taglio tavole	Maturo	Media	Aumento delle velocità. Massimizzazione dell'utilizzo del materiale.	Alto
Prima lavorazione del legno	Caratteristiche di resistenza travi	Maturo	Media	Controlli non distruttivi. Aumento delle velocità di lavorazione.	Alto
Prima lavorazione del legno	Integrazione delle fasi di lavorazione tronco e generazione tavole	Sviluppo	Media	Massimizzazione dell'utilizzo del materiale in funzione dell'utilizzo finale.	Alto
Produzione di pannelli grezzi	Controlli della densità scaglie	Potenziale	Media	Controllo delle caratteristiche fisiche del prodotto finito.	Alto
Produzione di pannelli grezzi	Controlli dimensionali (spessore) prima della levigatura	Potenziale	Media	Controllo delle caratteristiche fisiche del prodotto finito. Aumenta l'affidabilità della linea.	Alto
Produzione di pannelli grezzi	Scelta a fine linea	Potenziale	Media	Controllo delle caratteristiche del prodotto finito. Costanza dei criteri di classificazione. Omogeneità di classificazione rispetto a diversi operatori. Riduzione dei costi di manodopera.	Alto
Produzione di pannelli nobilitati	Verifica della qualità della carta prima dell'impregnazione	Potenziale	Alta	Riduzione della difettosità.	Alto
Produzione di pannelli nobilitati	Verifica dell'impregnazione della carta appena applicata la resina	Potenziale	Alta	Tracciatura dei difetti ed eliminazione al termine del processo.	Alto

Tabella 5 - Tavola riassuntiva delle applicazioni rilevate (continua)

Fase	Applicazione	Stato tecnologico applicativo	Difficoltà tecnologica applicative (stima)	Vantaggi	Vantaggio globale
Produzione di pannelli nobilitati	Controlli presenza di bolle d'aria dopo la fase di pressatura	Potenziale	Alta	Tracciatura dei difetti ed eliminazione delle sezioni non conformi al termine del processo.	Alto
Produzione di semilavorati	Controlli dimensionali delle antine	Potenziale	Media	Miglioramento della qualità del prodotto finito.	Medio
Produzione di semilavorati	Controllo qualità in ingresso: scostamenti rispetto alla referenza	Potenziale	Alta	Qualificazione dei fornitori. Miglioramento della qualità del prodotto finito.	Medio
Produzione di semilavorati	Controllo forature e asole pressesaggio	Potenziale	Media	Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo.	Medio
Produzione di semilavorati	Accoppiamento di tavole secondo disegno e tonalità	Potenziale	Media	Miglioramento della qualità del prodotto finito. Riduzione dei costi di manodopera.	Medio
Produzione di semilavorati	Controllo difetti sulle antine come: nodini, pori aperti, grumi, gocce, difetti di levigatura	Potenziale	Alta	Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo.	Medio
Produzione di semilavorati	Antine pantografate: verifica delle forme	Potenziale	Media	Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo.	Basso
Produzione di mobili	Verifica dell'applicazione bordature	Potenziale	Media	Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo.	Medio
Produzione di mobili	Taglio e verifiche dimensionali	Potenziale	Media	Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo.	Medio
Produzione di mobili	Verifica forature e setup macchinari di lavorazione	Sviluppo	Media	Riduzione dei costi di manodopera. Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo.	Medio
Produzione di mobili	Presenza di difetti superficiali	Potenziale	Media	Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo.	Medio

Tabella 5 - Tavola riassuntiva delle applicazioni rilevate (continua)

Fase	Applicazione	Stato tecnologico applicativo	Difficoltà tecnologica applicativa (stima)	Vantaggi	Vantaggio globale
Produzione di mobili	Verifica della fase di verniciatura e laccatura: difetti sul grezzo e difetti sul prodotto finale	Potenziale	Alta	Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo.	Alto
Produzione di mobili	Accoppiamento antine per la cucina finita	Potenziale	Alta	Migliore qualità prodotto finito. Riduzione costi manodopera. Riduzione del layout produttivo.	Alto
Produzione di mobili	Controllo forature e asole preassemblaggio	Sviluppo	Media	Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo.	Medio
Produzione di sedie, tavoli, lettini, ecc.	Accoppiamenti tonalità di colore, venature, ecc.	Potenziale	Alta	Migliore qualità prodotto finito. Riduzione costi della manodopera.	Alto
Produzione di infissi	Verifica integrità componenti	Potenziale	Media	Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo.	Medio
Produzione di infissi	Verifiche dimensionali	Maturo	Media	Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo.	Medio
Produzione di parquet	Verifiche dimensionali	Maturo	Media	Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo. Riduzione costi della manodopera.	Alto
Produzione di parquet	Verifica dei profili	Maturo	Media	Diminuzione delle non conformità al termine del ciclo produttivo. Riduzione costi della manodopera.	Alto
Produzione di parquet	Selezione e accoppiamento	Sviluppo	Alta	Costanza dei criteri di classificazione. Omogeneità di classificazione rispetto a diversi operatori. Riduzione della "sottoclassificazione di parti" (ad esempio assegnare alla seconda scelta pezzi di prima). Riduzione dei costi di manodopera.	Alto

Con riferimento alle principali applicazioni potenziali per l'industria del legno, riportiamo applicazioni con caratteristiche analoghe già in uso in altri settori.

Tabella 6 - Applicazioni potenziali nel settore legno ed analoghe con applicazioni sviluppate in altri settori

Fase	Applicazione potenziale	Settori con applicazioni analoghe	Note
Lavorazione pannelli	Controlli della densità massima delle scaglie	Elettronica Microelettronica	
Lavorazione pannelli	Scelta a fine linea	Ceramica	
Lavorazione pannelli	Verifica della qualità della carta prima dell'impressione. Verifica dell'impressione della carta appena applicata la resina	Industria della carta Cartotecnica Verifiche di stampa su tirature a grandi volumi Industria chimica Metallurgia In generale le industrie a processo continuo	Tipiche applicazioni di "Web Inspection" cioè analisi e verifica di difetti e impurità su nastri continui.
Lavorazione pannelli	Controlli presenza di bolle d'aria dopo la fase di pressatura	Auto Meccanica Elettronica	Applicazioni di verifica superficiale
Lavorazione pannelli	Controllo forature e asole preassemblaggio	Auto Meccanica Elettronica	Applicazioni di verifica presenza pezzi o lavorazioni
Produzione di semilavorati per mobili	Controllo difetti del legno su parti prima dell'assemblaggio	Prima lavorazione del legno	Applicazioni già realizzate nella lavorazione del legno grezzo e delle tavole
Produzione di semilavorati per mobili	Verifica dell'applicazione bordature	Auto Meccanica Linee di confezionamento	Applicazioni risolvibili con semplici sistemi integrati o Smart camera
Produzione di semilavorati per mobili	Taglio e verifiche dimensionali	Auto Meccanica Biomedicale Elettronica	
Produzione di semilavorati per mobili	Accoppiamento di tavole secondo disegno e tonalità	Ceramica	Applicazione complessa sia per le difficoltà di stabilire le regole di funzionamento, sia per la movimentazione
Produzione di semilavorati per mobili	Presenza di difetti superficiali	Auto Meccanica Biomedicale Elettronica	
Produzione mobili	Verifica della fase di verniciatura e laccatura: difetti sul grezzo e difetti sul prodotto finale	Auto Meccanica	
Produzione mobili	Accoppiamenti tonalità di colore, venature, ecc.	Ceramica	Applicazione complessa sia per le difficoltà di stabilire le regole di funzionamento, sia per la movimentazione
Produzione mobili	Verifica integrità componenti	Auto Meccanica Farmaceutica Vari	
Produzione parquet	Selezione e accoppiamento	Ceramica	Applicazione complessa ma in fase di definitiva soluzione

#### 4.2 Confronto fra vantaggi e difficoltà realizzative

Sulla base delle valutazioni riportate nei paragrafi precedenti, possiamo raggruppare le applicazioni in tre gruppi principali legati alle difficoltà tecniche di realizzazione e ai vantaggi che derivano dall'impiego.



Figura 21 - Raggruppamenti di applicazioni in base a vantaggi e difficoltà tecniche di realizzazione

Il primo gruppo presenta elevati vantaggi a fronte di difficoltà tecniche di livello medio, è quindi quello che presenta le opportunità di sviluppo più promettenti, seguito dai gruppi 2 e 3.

Da rilevare che alcune delle applicazioni indicate come "difficili" sono tali non tanto per la parte di sviluppo della visione in senso stretto, quanto per le problematiche meccaniche di movimentazione che dovrebbero presentare l'oggetto da ispezionare da tutte le angolazioni.

Tabella 7 - Applicazioni di tipo 1 - Vantaggi alti /difficoltà media

Tipo di produzione	Applicazione
Prima lavorazione del legno	Ottimizzazione taglio tronchi
Prima lavorazione del legno	Ottimizzazione taglio tavole
Prima lavorazione del legno	Caratteristiche di resistenza travi
Prima lavorazione del legno	Integrazione delle fasi di lavorazione tronco e generazione tavole
Produzione di pannelli grezzi	Controlli della densità scaglie
Produzione di pannelli grezzi	Controlli dimensionali (spessore) prima della levigatura
Produzione di pannelli grezzi	Scelta a fine linea
Produzione di parquet	Verifica dei profili
Produzione di parquet	Verifiche dimensionali

Tabella 8 - Applicazioni di tipo 2 - Vantaggi alti /difficoltà alta

Tipo di produzione	Applicazione
Pannelli nobilitati	Controlli presenza di bolle d'aria dopo la fase di pressatura
Pannelli nobilitati	Verifica dell'impregnazione della carta appena applicata la resina
Pannelli nobilitati	Verifica della qualità della carta prima dell'impregnazione
Produzione di semilavorati	Accoppiamento di tavole secondo disegno e tonalità
Produzione di parquet	Selezione e accoppiamento
Produzione di sedie, tavoli, lettini, ecc.	Accoppiamenti tonalità di colore, venature, ecc.
Produzione di sedie, tavoli, lettini, ecc.	Accoppiamento antine per la cucina finita
Produzione di mobili	Verifica della fase di verniciatura e laccatura: difetti sul grezzo e difetti sul prodotto finale

Tabella 9 - Applicazioni di tipo 3 - Vantaggi medi /difficoltà media

Tipo di produzione	Applicazione
Produzione di infissi	Verifiche dimensionali
Produzione di infissi	Verifica integrità componenti
Produzione di sedie, tavoli, lettini, ecc.	Controllo forature e asole preassemblaggio
Produzione di mobili	Presenza di difetti superficiali
Produzione di mobili	Verifica forature e setup macchinari di lavorazione
Produzione di mobili	Taglio e verifiche dimensionali
Produzione di mobili	Verifica dell'applicazione bordature
Produzione di semilavorati	Controllo forature e asole preassemblaggio
Produzione di semilavorati	Controlli dimensionali delle antine

# Conclusioni

## 1 Opportunità e vincoli alla diffusione della tecnologia nel settore legno

Al termine di questa trattazione sulla visione artificiale applicata all'industria del legno, possiamo trarre alcune conclusioni in merito alle opportunità di diffusione della tecnologia nel settore ed ai vincoli che viceversa ne ostacolano lo sviluppo. Le tabelle seguenti riassumono le opportunità ed i vincoli dal punto di vista dei principali operatori interessati e cioè degli utilizzatori potenziali e degli integratori di sistema.

Dalla rilettura in chiave critica dei vincoli che ciascuna delle due parti - utilizzatori e fornitori - si trova a dover affrontare, è evidente che domanda ed offerta stentano ad incontrarsi per alcune limitazioni intrinseche di ciascuna di esse.

Tabella 10 - Opportunità ed ostacoli per un utilizzatore potenziale di SdV nel settore legno

Opportunità	Ostacoli
<b>Vantaggi strategici:</b> - Eliminazione di grandi problemi produttivi - Controllo di qualità al 100%.	Le ridotte dimensioni e la fragile struttura degli integratori di sistema locali che comporta elevati costi dei sistemi e un ritorno degli investimenti a rischio
<b>Vantaggi tattici:</b> - Aumento della produttività - Riduzione dei costi del personale - Riduzione dei costi della materia prima - Riduzione degli scarti - Riduzione dei costi di rilavorazione - Riduzione di lavorazioni pericolose - Riduzione dei costi per lo smaltimento degli scarti - Riduzione dei ritorni per non conformità/garanzia - Ottimizzazione del tempo utile di lavorazione - Ottimizzazione del layout produttivo	La relativa inerzia dei costruttori di macchinari che spesso considerano il SdV come una potenziale fonte di problemi aggiuntivi non corrisposti da un ritorno economico adeguato, piuttosto che un elemento distintivo e caratterizzante della loro offerta.
	Problematiche tecnico organizzative legate allo sviluppo e gestione del sistema, non facilmente superabili da aziende di dimensioni piccole e medie
	La scarsa conoscenza della tecnologia e dei vantaggi che può portare
	La difficoltà tecnica di molte applicazioni e i conseguenti costi elevati.

Tabella 11 - Opportunità ed ostacoli per un integratore di sistema nello sviluppo di applicazioni nel settore legno

Opportunità	Ostacoli
Potenziale di mercato molto ampio costituito virtualmente da ogni comparto nei vari livelli della filiera	La difficoltà tecnica di molte delle applicazioni, difficilmente superabili senza consistenti investimenti in ricerca e sviluppo
Relativa assenza di concorrenti italiani	La dimensione ridotta di gran parte dei clienti potenziali che ne limita: - La propensione all'innovazione - Le capacità di investimento - Le capacità organizzative di installazione e gestione di un SdV
Assenza di concorrenti esteri per l'elevato contenuto di servizi pre e post vendita che fa lievitare i costi di sviluppo con l'aumentare della distanza geografica	La relativa diversità dei processi produttivi e del grado di integrazione della filiera che rende più difficile una generalizzazione delle problematiche
	La struttura degli integratori di sistema italiani che di fatto limita lo sviluppo del mercato: - La ridotta capacità finanziaria che limita gli investimenti in ricerca e sviluppo con ritorni sul medio lungo periodo - La struttura marketing e commerciale carente che limita lo sviluppo di nuovi business e la ricerca di nuove opportunità

Da un lato i fornitori potenziali non dispongono di:

- capacità finanziarie sufficienti a sostenere gli investimenti necessari a sviluppare applicazioni complesse
- capacità di marketing e commerciali per acquisire ordini in numero tale da innescare economie di scala e ripartire i costi di sviluppo su più clienti

Per contro i clienti potenziali, per lo più di dimensione media o piccola, mancano di:

- capacità e volontà di investimento in innovazione, soprattutto se questa non è supportata dalla certezza del ritorno degli investimenti
- capacità organizzative per installare e gestire i sistemi
- conoscenza dei vantaggi offerti dalla tecnologia

L'uscita da questa situazione di stallo non è favorita dai produttori italiani di macchine per la lavorazione del legno, che non sembrano stimolati più di tanto a prendere iniziative per sviluppare un settore che non fa parte del loro core business.

Mentre nel nostro paese integratori e clienti potenziali stentano ad incontrarsi, nella semi-indifferenza dei produttori di macchine, all'estero il quadro è ben diverso: varie Università e centri studi hanno già lanciato numerosi progetti di ricerca finalizzati all'introduzione della visione artificiale, sia in luce visibile e a raggi X, che basata su altre tecnologie di rilevazione, ed i primi sistemi commerciali risultanti da questi progetti contano già numerose installazioni.

## 2 Azioni di sviluppo del mercato e della tecnologia applicata all'industria del legno

La situazione di mercato della visione artificiale applicata all'industria del legno in Italia presenta attualmente almeno tre ordini di rischi:

1. gli integratori di sistema italiani stanno perdendo una importante opportunità di sviluppo in un settore molto vasto e ad alto potenziale
2. le aziende della filiera del legno perdono parte della loro competitività (almeno nell'immediato) nei confronti delle aziende estere che già possono accedere a questa tecnologia
3. i costruttori di macchine corrono il rischio di restare spiazzati rispetto ai concorrenti esteri che iniziano ad usare la tecnologia dei sistemi di visione come elemento di differenziazione.

Per superare questa situazione di stallo e vitalizzare questo mercato sarebbe auspicabile:

- 1) Favorire lo sviluppo di progetti di ricerca applicata finalizzati alla messa a punto di prodotti e soluzioni commerciali mirate a risolvere alcune delle problematiche più importanti per l'industria.

Le modalità di sviluppo di tali progetti potrebbero essere del tipo:

- sviluppo e promozione di uno o più pool di aziende clienti con problematiche simili, che funga da cliente pilota e da campo di sperimentazione
- individuazione di competenze all'interno del mondo della ricerca in grado di collaborare e supportare gli integratori con tecnologie di base software ed hardware, con particolare riferimento alla sensoristica, ai sistemi ottici e di illuminazione, agli algoritmi di riconoscimento
- selezione di alcuni fornitori di tecnologia ed integratori che abbia-

no sviluppato applicazioni nel settore o in settori simili per sviluppare progetti di SdV in collaborazione con il pool di utilizzatori

- 2) Identificare e agevolare l'accesso alle fonti di finanziamento di investimenti in innovazione dei processi produttivi, disponibili sia a livello nazionale che regionale.
- 3) Costituire un sito ed in prospettiva un portale verticale specializzato in cui aggregare la comunità virtuale degli utilizzatori e fornitori di SdV per l'industria del legno, in modo da favorire e velocizzare lo scambio di esperienze e competenze applicative.

Considerate infine la diffusione relativamente bassa presso le piccole e medie aziende di metodologie e sistemi di produzione flessibili, sistemi di movimentazione automatica, sistemi di pianificazione e gestione dei materiali e della produzione, sistemi di magazzino automatizzati, codice a barre, ecc., riteniamo fondamentale una campagna mirata di sensibilizzazione e di diffusione delle conoscenze ed esperienze accumulate nei SdV, in modo da favorire lo sviluppo e la diffusione di queste tecnologie produttive pur nel rispetto delle peculiarità produttive di ciascuna azienda.



Figura 22 - Domanda ed offerta di tecnologia, ricerca applicata: innescare il circolo virtuoso per lo sviluppo del mercato

### 3 Ringraziamenti

Per raccogliere i dati necessari alla stesura di questo rapporto ho visitato molte aziende di vari comparti dell'industria del legno, ho parlato con imprenditori indaffarati e sommersi dall'operatività quotidiana, con responsabili della produzione e assicurazione qualità di grandi aziende, con responsabili della ricerca e sviluppo, con "factotum" di piccole aziende semi artigianali.

Qualcuno conosceva già l'argomento di cui avremmo discusso, altri non ne avevano mai sentito parlare; ho trovato persone entusiaste delle prospettive, altri molto scettici e critici; una cosa però accomuna tutte le persone incontrate: l'interesse per la novità e il costante desiderio di migliorare.

Un ringraziamento a tutti.

# Appendici

## 1 Glossario

### **Acquisizione**

L'operazione con la quale l'immagine viene trasferita all'interno del sistema per essere elaborata in modo digitale.

### **Algoritmo**

Un insieme di regole ben definite che permette di risolvere un problema in un numero finito di operazioni.

### **CCD - Charged Coupled Device**

Dispositivi allo stato solido ad accoppiamento di carica che trasformano l'energia luminosa ricevuta in energia elettrica. Sono il tipo di componenti più usati per i sensori di visione.

### **CID - Charge Injection Device**

Un'altra tecnologia di semiconduttori per trasformare l'energia luminosa in corrente elettrica, che consiste nell'iniettare una carica generata dalla radiazione luminosa nel substrato semiconduttore.

### **Correlazione**

Un processo in cui immagini vengono comparate per determinarne elementi comuni (ad esempio forme, posizioni, orientamento, ecc.) o la posizione in cui la similitudine è massima.

### **DSP - Digital Signal Processor**

Microprocessori con elevatissima velocità di calcolo aventi un set di istruzioni dedicate in particolare all'elaborazione di segnali digitali. Sono quindi molto adatti alle elaborazioni di segnali video.

### **Edge Enhancement (Intensificazione dei contorni)**

Un metodo di elaborazione dell'immagine per evidenziare i contorni di oggetti nel campo visivo

### **Frame Grabber**

Un dispositivo elettronico in grado di memorizzare immagini in formato digitale, anche ad altissima velocità. Esistono Frame grabber in grado di eseguire, oltre alla memorizzazione delle immagini, anche elaborazioni delle stesse.

### **Gauging (misura)**

Misura non a contatto di oggetti tramite sistema di visione.

### **GPMV (General Purpose Vision System)**

Un sistema di visione che può essere configurato o adattato a varie applicazioni. Si differenzia da sistemi specializzati per compiere soltanto una o poche attività.

### **Identificazione**

Il processo di riconoscimento di un oggetto predeterminato in mezzo ad altri.

### **IEEE1394**

Standard di interfaccia digitale che integrerà gli ambienti dei PC con i prodotti dell'elettronica di consumo definendo sia il supporto fisico di connessione che il bus virtuale.

### **Image analysis**

Il processo di generazione di una serie di descrittori o caratteristiche di oggetti su cui basare decisioni in merito all'immagine.

### **Image processing**

Elaborazione di un'immagine acquisita in un'immagine di uscita con determinate caratteristiche e proprietà. (Ad esempio l'evidenziazione di certi particolari di un'immagine radiografica).

### **Immagine digitale**

Conversione di un'immagine video per mezzo di un convertitore A/D (analogico digitale) in cui ogni punto dell'immagine, detto pixel, viene memorizzato in forma numerica.

### **Ispezione**

Esame non distruttivo di parti per verificarne la conformità a determinati criteri.

### **Luce strutturata**

Tecnica di illuminazione basata sulla proiezione di un fascio luminoso di forma opportuna e secondo un certo angolo, allo scopo di evidenziare determinate caratteristiche dell'oggetto illuminato.

### **Misura**

Verifica che una parte sia conforme a determinate tolleranze dimensionali ma anche di struttura, colore, ecc.

### **OCR/OCV**

Acronimo per Optical Character Recognition/Optical Character Verification.

Letture o verifiche di caratteri sia stampati secondo formati predisposti per la lettura ottica (ad esempio OCR A e OCR B) sia stampati nei normali formati per la lettura umana.

### **OEM - Original Equipment Manufacturer**

Produttori di apparati/sistemi di produzione di cui il SdV entra a far parte, incidendo sulle prestazioni finali in modo più o meno determinante. Questi operatori possono sviluppare direttamente il SdV da applicare a bordo delle loro macchine/sistemi, oppure acquistarlo da vendor o integratori.

### **Pattern recognition**

Classificazione di immagini secondo determinate categorie, utilizzando normalmente metodi statistici.

### **Pixel**

Acronimo di "Picture Element". L'unità più piccola di una immagine digitalizzata.

### **Profondità di campo**

L'intervallo in cui un'immagine rilevata da un sistema ottico risulta a fuoco. È misurata dalla distanza dietro al soggetto fino alla distanza davanti al soggetto in cui tutti gli oggetti presenti risultano nitidi.

### **RAM - Random Access Memory**

Memoria ad accesso casuale di un computer. A differenza delle memorie ad accesso sequenziale (come ad esempio i nastri) permette al computer di accedere immediatamente all'informazione necessaria. Nei normali sistemi contiene i programmi e i dati utilizzati al momento.

### **Scala di grigi**

Le variazioni dal bianco al nero attraverso una gradazione di grigi. Al nero viene tipicamente assegnato il valore 0 e al bianco il valore 1.

### **Sistemi di visione compatti/configurabili**

Sono sistemi di visione di basso costo adatti ad applicazioni di fascia

bassa, spesso in sostituzione di uno o più sensori di cui costituiscono una evoluzione ed integrazione.

Il termine configurabili deriva dal fatto che l'utilizzatore può configurare i parametri di funzionamento del sistema per adattarlo alle proprie esigenze specifiche.

Non è possibile invece programmare questi sistemi per operazioni diverse o aggiuntive rispetto a quelle per cui sono stati espressamente progettati.

Sono programmabili tramite interfacce interne oppure da PC.

### Smart Camera

Una telecamera che contiene integrate, in un unico involucro, tutta l'elettronica necessaria ad acquisire ed elaborare le immagini e a prendere le decisioni in merito.

Costituisce un'evoluzione/integrazione dei sistemi compatti.

Sono normalmente programmabili da PC.

### System Integrator - Integratori di sistema

Società in grado di fornire un sistema di visione completo e funzionante sulla base delle specifiche esigenze applicative del cliente.

La soluzione include generalmente telecamere, sensori, sistemi di illuminazione, hardware di elaborazione, software, servizi pre e post vendita, le interfacce con le linee di produzione e lo sviluppo e/o personalizzazione del software.

Frequentemente sono specializzati in aree applicative per le quali dispongono già di tools software preconfigurati.

## 2 Organizzazioni e Siti Internet di interesse

### 2.1 Associazioni ed enti internazionali impegnati nella visione artificiale

Associazione o ente	Descrizione	Sito Web
Automated Imaging Association (AIA)	Associazione dei costruttori ed integratori di sistemi di visione	www.automated-imaging.org
UK Industrial Vision Association	Associazione inglese dei produttori di SdV	www.ukiva.org
German Association of Pattern Recognition	Associazione tedesca dei produttori di SdV	www.dagm.de
The Vislist Digest Philip Kahn (moderator) Email: moderator@vislist.com	Gruppo di discussione sulle tecniche di visione artificiale, intelligenza artificiale e loro applicazioni industriali	www.vislist.com
Robotic Industries Association (RIA)	Associazione dei fornitori, integratori, utenti e ricercatori nella robotica	www.robotics.org
Reuter Exposition Services	Ente organizzatore di fiere internazionali sulla Visione Artificiale	www.reuterexpo.com
Society of Manufacturing Engineers/Machine Vision Association (MVA)	Associazione dei professionisti ed ingegneri nel campo della visione artificiale	www.sme.org/mav/
SPIE	The international society for optical engineering	www.spie.org
CTBA - Centre Technique du Bois et de l'Armeublement	Centro tecnico francese per lo sviluppo del legno e del mobile	www.ctba.fr

### 2.2 Principali Istituti ed Università stranieri impegnati in ricerche e studi sulla visione artificiale

Istituti e Università	Sito Web
Caltech Machine Vision	www.vision.caltech.edu
Carnegie Mellon University Robotics Institute	www.ri.cmu.edu
Georgia Institute of Technology Machine Vision Research Laboratory	www.me.gatech.edu/aimr/vision
Massachusetts Institute of Technology	www.ai.mit.edu/projects/vision-machine/vm.html
North Carolina State University, Center for Advanced Computing and Communication	www.ece.ncsu.edu/cacc/machinevision
Rose Hulman Institute of Technology	www.reese-hulman.edu
Stanford Vision Laboratory	www.vision.stanford.edu
Trinity College Dublin, Computer and Vision Group	www.cs.tcd.ie
University of California at San Diego Computer Vision and Robotics Research Laboratory	www.swiftlet.ecsd.edu
University of Cardiff Department of Computer Science	www.cs.cf.ac.uk
University of Heidelberg	www.klimt.inr.uni-heidelberg.de
University of Maryland Computer Vision Laboratory	www.cforumd.edu
University of Massachusetts Laboratory for Perceptual Robotics	www.vis-uni.cd.umass.edu
University of Rochester Computer Science	www.cs.rochester.edu
University of Wisconsin Vision Group	www.cd.wisc.edu

2.3 Integratori di sistema e vendor internazionali impegnati nei sistemi di visione per l'industria del legno (continua)

✓ **Tantus Electronics Corp.**

Riferimento: Alan Maloney  
1520 Cliveden Avenue, Unit 2 New Westminster BC, V3M 6J8 Canada  
tel +1 604 522-9713 fax +1 604 522-9716  
e-mail: amaloney@tantus.com; web: www.tantus.com

✓ **The Imaging Source**

Riferimento: Catherine Whitten  
900 Baxter Street, Suite 103-A Charlotte NC, 28204  
tel +1 704 370-0110 fax +1 704 370-0906  
e-mail: catherine@leadtools.com; web: www.theimagingsource.com

✓ **Visics Corporation**

Riferimento: Eric Hopkins  
70 Hastings Street Wellesley MA, 02481  
tel +1 781 235-8926 fax +1 781 235-6216  
e-mail: eric.hopkins@visicsind.com; web: www.visicsind.com

✓ **Vision Systems International**

Riferimento: Nello Zuech  
74 Sutphin Pines Yardley PA, 19067-3460  
tel +1 215 736-0994 fax +1 215 295-4718  
e-mail: vsii@aol.com; web: www.vision1.com/vsi

✓ **Vitana Corporation**

Riferimento: Joel Bisson  
26-5470 Canotek Road Gloucester ON, K1J 9H3 Canada  
tel +1 613 247-1211 fax +1 613 247-2001  
e-mail: joel.bisson@vitana.com; web: www.shapegrabber.com

✓ **Wintriss Engineering Corporation**

Riferimento: Vic Wintriss  
6344 Ferris Square San Diego CA, 92121  
tel +1 858 550-7300 fax +1 858 550-0373  
e-mail: vic@weco.com; web: www.weco.com

✓ **Wizcam America**

Riferimento: Inc. Henri Johnson  
1 Harbour Place, Suite 400 Portsmouth NH, 03801  
tel +1 603 430-8592 fax +1 603 457-2413  
e-mail: wizcam@usa.net; web: www.wizcam.com

## 3 Approfondimenti tecnologici

A cura di Pierantonio Salvador e  
Gianluigi Bortolussi

### 3.1 L'ottica

La funzione del sistema ottico è quella di focalizzare l'immagine dell'oggetto da esaminare sul sensore della telecamera.

Le caratteristiche della lente (obbiettivo della telecamera) influiscono profondamente sull'immagine che verrà acquisita dalla telecamera.

Alcune caratteristiche fondamentali delle lenti sono:

- **lunghezza focale.**

È la distanza tra la lente e il piano su cui si forma il punto focale di un fascio di raggi paralleli all'asse ottico. Da essa dipendono parametri quali le dimensioni dell'immagine (ingrandimento) e la distanza tra telecamera e oggetto da esaminare.

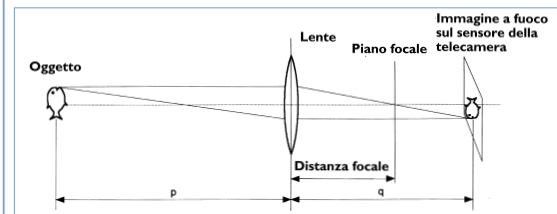


Figura 23 - Focalizzazione di un'immagine da parte dell'obiettivo.

- **rapporto focale o apertura.**

È il rapporto tra la lunghezza focale e il diametro utile della lente. Tanto più è piccolo tanto maggiore sarà la luminosità e la risoluzione dell'immagine ottenuta.

- **profondità di campo.**

È l'intervallo spaziale entro il quale l'immagine dell'oggetto inquadrato sarà a fuoco.

Sarà opportuno avere una sistema con elevata profondità di campo quando:

- l'oggetto può presentarsi a distanze diverse rispetto alla telecamera
- l'oggetto è molto profondo

Al contrario può essere utile avere un sistema con bassa profondità di campo in modo che le aree inquadrare al di fuori dell'oggetto risultino sfuocate: in questo modo l'elaborazione dell'immagine dell'oggetto verrà semplificata poiché l'oggetto da analizzare sarà l'unico nitido all'interno dell'immagine.

- Rapporto focale o apertura.

È il rapporto tra la lunghezza focale e il diametro utile della lente. Tanto più piccolo tanto maggiore sarà la luminosità e la risoluzione dell'immagine ottenuta.

### 3.2 Il sistema di illuminazione

Il sistema di illuminazione è una costituente essenziale e spesso critica del sistema totale, infatti determina il modo con cui l'immagine verrà acquisita e successivamente elaborata. Se l'illuminazione non è adeguata al tipo di analisi che si intende fare, le successive operazioni di acquisizione ed elaborazione sono destinate a fallire.

Le principali tecniche di illuminazione sono:

- illuminazione direzionale
- illuminazione diffusa
- illuminazione coassiale (o omnidirezionale)
- diascopea
- illuminazione strutturata

Queste modalità sono indipendenti dalle proprietà fisiche della luce impiegata come ad esempio monocromaticità, colore, polarizzazione di cui parleremo più avanti.

#### 3.2.1 Illuminazione direzionale.

È la più facile da realizzare: una qualunque sorgente abbastanza compatta rispetto alla distanza dalla quale è posta dall'oggetto fornisce una illuminazione direzionale. Tanto più piccola è la sorgente e tanto maggiore è la sua distanza dall'oggetto, tanto più il campo luminoso che investe l'oggetto sarà piano ed uniforme. Questo tipo di illumina-

zione è adatto a mettere in evidenza, con un elevato grado di contrasto, la superficie (texture) di superfici opache. Un caso particolare di illuminazione direzionale è quello della luce radente che permette di evidenziare al massimo particolari superficiali come fratture o protuberanze. In generale la luce direzionale è adatta alla illuminazione di superfici piane, poiché su superfici curve darebbe luogo a intensità di illuminazione non uniformi che possono tradursi in immagini difficili da analizzare. Nel caso di oggetti riflettenti può dare luogo a riflessi che a seconda dell'applicazione possono essere desiderati o da evitare (tipicamente con l'uso di polarizzatori). Fra le sorgenti più utilizzate per una buona illuminazione direzionale figurano le lampade alogene con o senza riflettore. Una sorgente direzionale per eccellenza è il Laser.

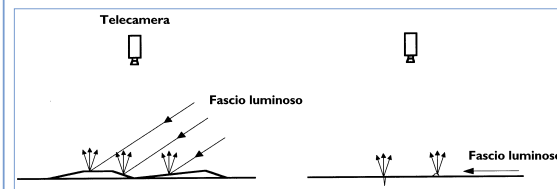


Figura 24 - Illuminazione direzionale e illuminazione radente

#### 3.2.2 Illuminazione diffusa.

È la più adatta per gli oggetti riflettenti. La migliore sorgente diffusa - anche se poco pratica per un SdV - è il cielo nuvoloso. Un qualunque sistema di illuminazione per luce diffusa deve cercare di riprodurre tale condizione. Una buona approssimazione può essere ottenuta da una emisfera traslucida uniformemente illuminata dall'esterno. Si tratta di una soluzione particolarmente complessa anche perché occorre forare la calotta per riprendere l'oggetto.

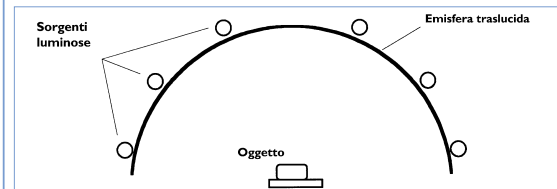


Figura 25 - Illuminazione diffusa

### 3.2.3 Illuminazione coassiale o omnidirezionale.

È una soluzione diffusa nell'ambito dei SdV. In questa tecnica la sorgente - tipicamente una lampada circolare a fluorescenza - è posta intorno all'obiettivo della telecamera.

Facendo un paragone con le tecniche fotografiche, questa illuminazione è equiparabile all'uso del flash. Le immagini ottenute sono prive di ombre e appaiono quindi poco contrastate. Questa tecnica è adatta ad oggetti sfaccettati e riflettenti.

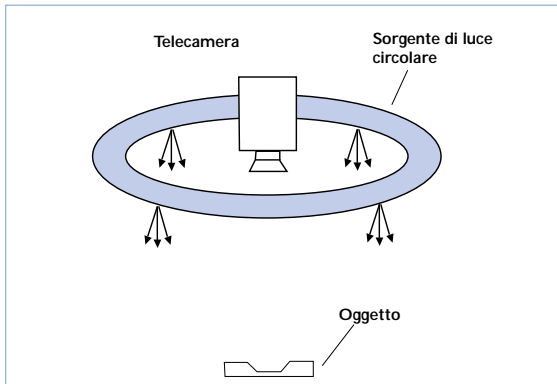


Figura 26 - Illuminazione coassiale

### 3.2.4 Diascopia

L'oggetto viene posto fra la telecamera ed uno sfondo luminoso che costituisce la sorgente. Questo sistema è particolarmente adatto per misurazioni sui profili di pezzi metallici e per individuare difetti in oggetti trasparenti. Gli oggetti metallici appaiono neri su di uno sfondo chiaro. Ciò permette di eseguire misurazioni 2D con la massima affidabilità.

Gli oggetti trasparenti mostrano dei contorni scuri mentre le parti comprese tra i bordi appaiono illuminate abbastanza uniformemente; i difetti risultano visibili sia sulla faccia dell'oggetto rivolta verso la telecamera, sia su quella rivolta verso il pannello luminoso. La sola zona che resta esclusa dal controllo è quella vicina ai bordi.

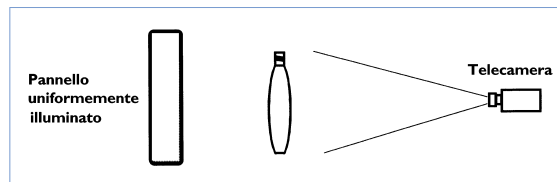


Figura 27 - Illuminazione per diascope

### 3.2.5 Illuminazione strutturata.

Per illuminazione strutturata si intende l'utilizzo di un campo luminoso con caratteristiche geometriche ben definite.

Una tipica applicazione che fa uso di luce strutturata è il rilievo tridimensionale di una superficie. Per questo problema si utilizzano le cosiddette "lame di luce": l'oggetto passa attraverso la lama di luce e integrando la forma della curva luminosa che si forma sulla superficie dell'oggetto se ne ricava la forma della superficie. Una lama di luce è costituita da un fascio laser espanso con una lente cilindrica o con altri sistemi. Per le sue caratteristiche di brillantezza e coerenza, il laser è la sorgente luminosa più impiegata per generare luce strutturata.

Sono disponibili in commercio sistemi laser per generare questo tipo di sorgenti. I più comuni sono i generatori di linea, di linee parallele, di matrici di punti ecc.

## 3.3 Le sorgenti luminose

La costanza della luce è fondamentale per garantire condizioni di ripetibilità nell'acquisizione dell'immagine. La sorgente deve quindi essere stabile sia su intervalli brevi che nel tempo.

Ad esempio sorgenti alimentate direttamente dalla rete elettrica come le normali lampadine ad incandescenza non possono essere utilizzate perché la loro intensità varia con la frequenza di rete (50 Hz): a seconda dell'istante in cui si effettua l'acquisizione si otterrebbe un'immagine con luminosità diversa.

Le principali sorgenti di luce che possono essere impiegate vantaggiosamente nei sistemi di visione sono descritte nei paragrafi seguenti.

### 3.3.1 Lampade alogene

Sono spesso accoppiate a un riflettore che convoglia il fascio rendendo la luce direzionale (lampade dicriche). Possono essere impiegate

per ottenere luce strutturata o, nel caso di lampade senza riflettore, come sorgenti puntiformi. Sono facilmente reperibili in commercio, sono economiche e facilmente alimentabili (a 12V) ma non sempre hanno durata elevata (poche migliaia di ore).

### 3.3.2 Tubi fluorescenti

Sono sorgenti utili nella realizzazione di sorgenti di luce diffusa. È indispensabile che siano alimentati con un reattore elettronico ad alta frequenza per ottenere una luminosità costante dell'immagine. Non sono adatte a produrre luce strutturata. Sono facilmente reperibili in commercio, hanno lunga durata e si alimentano alla tensione di rete.

### 3.3.3 Lampade elettroniche a fluorescenza compatte

Tali sorgenti non sono altro che delle lampade fluorescenti ad alta frequenza. Hanno dimensioni più ridotte rispetto ai tradizionali tubi fluorescenti. Sono di facile impiego e utili per sistemi a luce diffusa.

### 3.3.4 Sorgenti ultraviolette

Anche queste rientrano nella categoria dei tubi fluorescenti e sono molto utili per rendere visibili particolari invisibili alla luce solare. Esempi di utilizzo sono il controllo di fessurazioni con liquidi fluorescenti penetranti, la marcatura di oggetti con inchiostri visibili all'ultravioletto.

### 3.3.5 Laser

Sono sorgenti di luce altamente monocromatiche, adatte a realizzare campi di luce strutturata. I tipici utilizzi dei Laser sono la verifica di allineamento, il controllo di planarità e più in generale l'analisi di forme tridimensionali. Una interessante proprietà dei laser è la monocromaticità della luce. Tale caratteristica può essere sfruttata per ottenere un sistema di illuminazione insensibile agli effetti della luminosità ambientale. Infatti, un oggetto illuminato con un Laser e osservato attraverso un filtro a banda stretta centrato sulla frequenza del Laser, darà un'immagine formata dal solo contributo della sorgente Laser, essendo la componente di luce ambientale quasi totalmente assorbita dal filtro. Questo utilizzo del laser (ed eventualmente di altre sorgenti monocromatiche) può essere utile quando sia difficile schermare dalla luce ambientale la zona di controllo.

### 3.3.6 Diodi Led

Solo recentemente sono stati introdotti nel mercato dei diodi emettitori di luce con intensità luminose tali da poter essere impiegati vantaggiosamente nei sistemi di illuminazione. Si tratta di diodi Alingap e Alingap a luce rossa e gialla.

Sono disponibili angoli di emissione variabili da alcuni gradi ( $3^\circ$ ,  $4^\circ$ ) fino ad angoli molto ampi.

La loro banda di emissione è generalmente stretta (1/20 della banda visibile); l'impiego di filtri può dare un buon isolamento del sistema di illuminazione dalla luce ambientale. I possibili impieghi sono legati alla dimensione estremamente ridotta di tali sorgenti che permette di ottenere dei sistemi di illuminazione cablati molto vicini al pezzo da esaminare.

Ad esempio possono sostituire vantaggiosamente i sistemi di illuminazione a fibre ottiche con vantaggi in termini di costo. Altri impieghi sono la realizzazione di pannelli uniformemente illuminati di piccole dimensioni, economici generatori di luce strutturata ed altro ancora. I vantaggi di queste sorgenti sono la lunghissima durata (anche > 30.000 ore), la facilità di impiego, le dimensioni ridottissime, la bassa temperatura. Tra gli svantaggi ci sono l'intensità luminosa per ora non all'altezza delle sorgenti tradizionali e la scarsa disponibilità sul mercato.

## 3.4 L'acquisizione dell'immagine

La trasformazione dell'immagine ottica in un segnale elettrico è effettuata tramite l'utilizzo di appositi sensori.

I sensori CCD (Charge Coupled Device - Dispositivi ad accoppiamento di carica) sono quelli più comunemente utilizzati nelle telecamere.

Il sensore può essere immaginato come una matrice di celle ciascuna delle quali misura la quantità di luce che la colpisce durante il "tempo di esposizione" e traduce tale quantità in un segnale elettrico.

Nei sensori in bianco e nero l'intensità del segnale elettrico in una cella costituisce il "livello di grigio" dell'immagine in quel punto.

Un punto molto scuro avrà un basso livello di grigio, viceversa per i punti molto chiari.

Il sensore per l'acquisizione del colore funziona in base allo stesso principio, ma ogni elemento della griglia è diviso in tre celle: una sensibile ai toni rossi, una sensibile ai toni verdi e una sensibile ai toni blu. In pratica si misura l'intensità delle componenti di colore in ciascun punto dell'immagine.

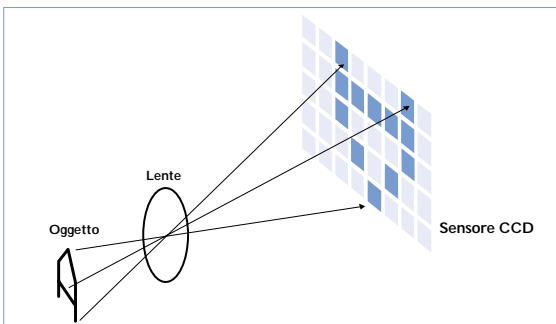


Figura 28 - L'immagine si forma sulla griglia del CCD

L'immagine proiettata dall'ottica sul sensore viene tradotta in una serie discreta di valori elettrici. Questa serie si presta ad una descrizione matematica dell'immagine come funzione a due valori  $f(x, y)$ .

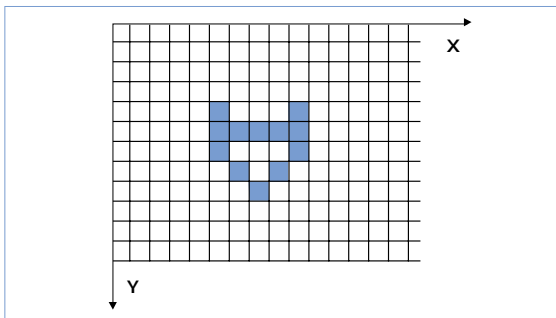


Figura 29 - Descrizione dell'immagine come griglia  $f(x, y)$

La successione dei valori elettrici deve essere "estratta" dal sensore, convertita, memorizzata ed elaborata.

### 3.5 Telecamere

La telecamera è il dispositivo optoelettronico che comprende ottica, sensore ed elettronica per tradurre l'immagine dell'oggetto in un segnale video con certe caratteristiche.

Le varie tipologie di telecamera disponibili oggi sul mercato si distinguono per:

- forma del sensore: lineare o matriciale
- risoluzione
- sensibilità del sensore: colore, B/N, infrarosso, UV, raggi X
- tipo di segnale in uscita: analogiche o digitali
- velocità: normale, alta
- tipo di scansione: lineare, progressiva
- regolazioni

Ciascuna di queste caratteristiche risponde ad esigenze applicative ben precise.

Una prima classificazione riguarda la disposizione dei pixel del sensore: nel caso essi siano disposti su una sola riga la telecamera è detta lineare, mentre nel caso di una disposizione a griglia si ha una telecamera matriciale.

Nelle telecamere lineari l'immagine viene costruita come risultante del movimento dell'oggetto da riprendere nel campo visivo, occorre quindi che l'oggetto si muova linearmente nel campo di ripresa della telecamera.

Le telecamere lineari sono molto utilizzate nelle applicazioni di "web inspection" come ad esempio analisi di difettosità di oggetti in movimento su nastri (vedi oltre).

Il numero e la dimensione fisica dei pixel determina la risoluzione effettiva della telecamera, cioè la dimensione del più piccolo particolare distinguibile.

Per avere un'elevata risoluzione sono necessari dunque molti pixel, ma ridurre la dimensione dei pixel ne riduce anche la capacità di raccogliere la luce e quindi la sensibilità: risoluzione e sensibilità sono caratteristiche correlate ed in opposizione fra loro, il compromesso migliore dipenderà dalle condizioni applicative.

I pixel possono essere sensibili a tutta la luce nella banda visibile e in questo caso la telecamera sarà monocromatica.

Nel caso delle telecamere a colori poi, ogni singolo pixel è costituito da 3 elementi, ciascuno sensibile ad una banda dello spettro visibile.

In questo modo è possibile raccogliere l'informazione legata al colore dell'oggetto.

Per applicazioni al di fuori della banda del visibile esistono sensori, e quindi telecamere, sensibili alla radiazione ultravioletta, a quella infrarossa o ai raggi X. In questi casi saranno necessarie ottiche adatte alla lunghezza d'onda impiegata.

Nei SdV, l'immagine da elaborare deve essere in formato digitale.

A seconda del tipo di segnale prodotto, le telecamere si distinguono in analogiche o digitali. Nelle prime i valori raccolti dai singoli pixel del sensore sono convertiti immediatamente in formato numerico e sono trasferiti all'esterno della telecamera in base ad un protocollo standard. Oggi sono disponibili protocolli che permettono di ottenere il trasferimento di immagini con risoluzione 1024x1024 alla velocità di 30 frame/secondo.

Il vantaggio di questo sistema è che si evitano due conversioni: una digitale/analogica nella telecamera e l'altra analogico/digitale nel frame grabber (scheda di acquisizione dati). Ciò comporta una qualità di gran lunga superiore nell'immagine da elaborare, soprattutto in termini di rapporto segnale rumore.

La soluzione digitale costituisce una realizzazione più logica, ma comporta ad oggi costi dell'hardware più elevati.

Le telecamere dispongono di una serie di regolazioni per ottenere immagini adatte allo scopo che ci si prefigge anche in caso di variazioni delle condizioni di ripresa.

Le regolazioni più comuni sono il tempo di esposizione, la regolazione della messa a fuoco, il controllo automatico del guadagno che permette di ottenere immagini con una distribuzione ottimale dei livelli di luminosità.

Un altro importante controllo è il segnale di sincronismo, che viene utilizzato per comandare l'acquisizione dell'immagine in un istante preciso, utile sia nel caso di oggetto in movimento che per sincronizzare due o più telecamere ed ottenere immagini riprese nello stesso istante (ad esempio per controlli di qualità su più lati o quando l'oggetto da riprendere sia troppo esteso per una sola telecamera).

Alcuni modelli infine, sono dotati di un'uscita standard per la regolazione automatica degli obiettivi motorizzati, sia per la messa a fuoco che per l'apertura del diaframma.

### 3.6 Frame grabbers

Il segnale video in uscita dalle telecamere è un segnale analogico o digitale che contiene il segnale elettrico corrispondente all'informazione dei singoli punti dell'immagine.

Per venire "compreso" da un sistema di elaborazione, il segnale deve essere convertito in forma numerica ed essere memorizzato.

In pratica il frame grabber acquisisce e trasforma l'immagine in una matrice di valori numerici che vengono collocati in un'area di memoria per la successiva elaborazione. A questo punto si parla ancora di immagine, non più in senso ottico ma in senso digitale.

La ragione per impiegare schede dedicate a questa funzione sta nella grande velocità con cui questa funzione deve essere espletata.

Se la frequenza tipica di scansioni di telecamera è di 25-50Hz, esistono telecamere per riprese di fenomeni veloci con frequenze di acquisizione di migliaia di Hz. Si capisce quindi come l'acquisizione di queste immagini richieda hardware di notevole potenza.

### 3.7 Tipologie di SdV

L'immagine acquisita e digitalizzata attraverso i dispositivi descritti precedentemente deve essere elaborata dal sistema hardware e software che costituisce la parte "intelligente" del sistema di visione.

Le architetture per eseguire queste elaborazioni sono diverse, ancora una volta a seconda delle esigenze applicative e delle potenze di calcolo richieste.

#### 3.7.1 Scheda frame grabber con DSP per elaborazione.

È una delle soluzioni più comuni nel settore della visione. Tale soluzione prevede l'impiego di una scheda che costituisce integralmente il sistema di visione. Essa infatti implementa sia la parte di cattura delle immagini (frame grabber) che la parte di elaborazione. Tale scheda è inserita all'interno di un PC, il cui ruolo è limitato allo sviluppo del software applicativo, alla visualizzazione dei dati del processo, all'interfaccia con il sistema esterno.

Il processore DSP (Digital Signal Processor) è un microprocessore particolarmente veloce in grado di eseguire istruzioni specifiche per l'elaborazione di immagini. Le prestazioni degli attuali DSP vanno da 40 milioni a 1,6 miliardi di operazioni aritmetiche (in virgola mobile) al secondo. Nello schema di successivo è riportato lo schema a blocchi per l'architettura appena descritta.

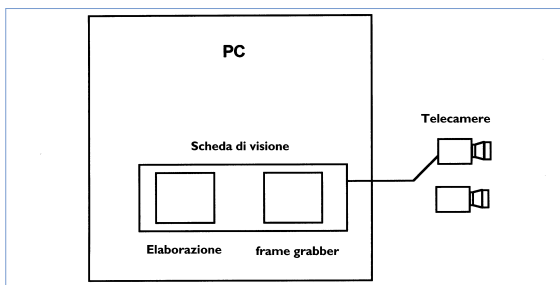


Figura 30 - Architettura scheda frame grabber con DSP.

### 3.7.2 - Scheda frame grabber con elaborazione parallela.

Tale architettura è praticamente identica alla precedente con la sola differenza che l'elaborazione avviene su più microprocessori contemporaneamente. Questo consente di adattare la potenza di calcolo alla complessità richiesta dal problema.

Un aspetto delicato di questa architettura è che il software deve essere sviluppato in funzione dell'elaborazione parallela e questo comporta un maggiore grado di complessità del sistema.

### 3.7.3 - Scheda frame grabber con elaborazione su PC.

Questa soluzione costituisce una semplificazione rispetto alle due architetture descritte in precedenza, infatti l'elaborazione avviene sul processore del PC che unito con il frame grabber forma un sistema di visione completo (almeno per quanto riguarda la parte elettronica). Un frame grabber costa meno di una scheda di visione (fino 4 volte in meno); inoltre il fatto che le immagini siano riversate nella memoria del PC rende possibile visualizzarle sul video del PC come su un televisore. Questo permette un ulteriore risparmio, rendendo inutile un monitor tradizionale. Questa architettura è favorita dalla crescente capacità di calcolo dei normali PC.

La figura successiva descrive tale architettura.

### 3.7.4 Sistemi compatti

I sistemi di visione compatti (o anche dedicati) sono realizzati da una piattaforma di acquisizione immagini ed elaborazione contenuta in

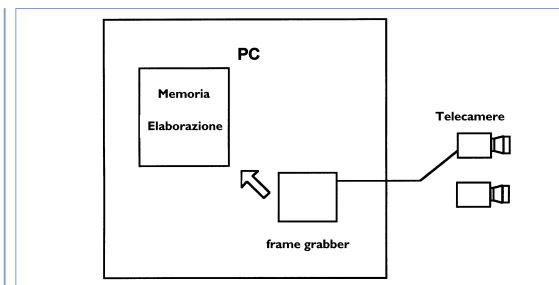


Figura 31 - Architettura del sistema di visione basata su PC.

un box a norma industriale di piccole dimensioni. La scheda elettronica all'interno è provvista di uno o più frame grabber e di un DSP per l'elaborazione delle immagini. L'elaborazione delle immagini è programmata dall'utente attraverso una semplice interfaccia utente di tipo grafico. In questo modo elaborazioni, anche complesse, possono essere gestite da utenti che non conoscono alcun linguaggio di programmazione. Il limite di questa architettura è oggi costituito dal numero relativamente basso di funzionalità a disposizione dell'utente. Si prevede tuttavia che un numero sempre maggiore di strumenti sarà sviluppato e quindi che la flessibilità di utilizzo di questi sistemi sia destinata ad aumentare.

### 3.7.5 Smart Camera

Hanno fatto la loro prima apparizione alcuni anni fa per risolvere applicazioni di fascia bassa.

Le smart camera (o telecamere intelligenti) costituiscono una ingegnerizzazione spinta dei sistemi compatti descritti al paragrafo precedente e hanno DSP e memoria integrati.

Non è necessario un frame grabber in quanto l'immagine viene acquisita direttamente all'interno della memoria di elaborazione.

I vantaggi principali di questa architettura sono:

- rapporto prezzo/prestazioni molto vantaggioso (sono eliminati costi di attrezzature esterne)
- ingombro limitato
- installazione semplificata

La programmazione delle smart camera è fatta mediante un sistema di sviluppo esterno basato su PC. Una volta realizzato e collaudato, il software viene caricato in una memoria permanente all'interno della telecamera. Le principali limitazioni delle Smart Camera sono legate al loro limitato campo di applicazione.

### 3.7.6 Sistemi per lo sviluppo delle applicazioni

Il fatto che un SdV svolga le proprie funzionalità dipende dalla programmazione che è stata fatta per la particolare applicazione, ad esempio riconoscere i nodi e le imperfezioni di una tavola, piuttosto che riconoscere parti di un sistema meccanico. I SdV sono caratterizzati anche da diversi approcci per lo sviluppo delle applicazioni. Si possono così distinguere:

- **Sistemi ad autoapprendimento:**  
Sono tipicamente le Smart camera che non hanno bisogno di essere programmati nel senso classico del termine. Impiegati nei controlli di qualità di produzioni industriali in serie, tali sistemi "apprendono" la distinzione tra pezzi buoni e pezzi di scarto in seguito a una taratura iniziale: davanti alla telecamera viene fatta passare una sequenza predefinita di pezzi buoni e una sequenza di pezzi da scartare. Le caratteristiche che individuano la bontà o meno dei pezzi sono "fissate" da un software molto evoluto, tipicamente una rete neurale. Allo stato attuale questi sistemi sono applicabili per controlli piuttosto semplici e in condizioni di estrema ripetibilità.
- **Sistemi con programmazione ad alto livello**  
Per programmazione ad alto livello si intende una modalità di programmazione del sistema basata su strumenti software (tools) predefiniti. Le sequenze di controllo sono facilmente programmabili scegliendo una opportuna sequenza di strumenti mediante un'interfaccia molto semplice. Tali sistemi sono più flessibili dei precedenti, non richiedono particolari conoscenze informatiche ma la loro programmazione richiede comunque una preparazione specifica nel settore della visione (conoscenza delle tecniche di illuminazione, inquadrature, ecc.).
- **Sistemi con programmazione a basso livello**  
La programmazione di basso livello è maggiormente utilizzata nei sistemi basati su PC e frame grabber. Offre la massima flessibilità, ma richiede una grande esperienza da parte del sistemista. Anche se è la più vecchia modalità di sviluppo per i sistemi di visione, resta ancora oggi insostituibile nelle applicazioni più complesse.

In futuro si prevede che le tre modalità di sviluppo continueranno a coesistere, con un utilizzo della programmazione a basso livello (la più costosa) relegata nelle applicazioni più complesse.

### 3.7.7 Interfaccia uomo-macchina

I SdV comunicano con gli operatori umani attraverso una parte di software denominata comunemente "interfaccia uomo-macchina". Alcuni sistemi, una volta posti in opera, sono completamente privi di interfaccia utente in quanto eseguono un singolo controllo ripetuto senza alcuna variazione, si comportano cioè come dei semplici sensori. La maggior parte delle installazioni invece, prevede almeno uno schermo video per visualizzare le attività del sistema. In caso di avaria infatti, rilevare il guasto senza poter visualizzare le immagini sarebbe impossibile. La maggior parte dei sistemi dispone di interfacce più evolute. Esse permettono di impostare i parametri di funzionamento quali soglie di tolleranza, codice dell'articolo che si sta esaminando, ecc. Elemento critico del sistema è "l'ergonomia" dell'interfaccia, cioè un utilizzo semplice e a prova di errore anche per gli operatori meno esperti.

### 3.8 Evoluzioni future

La tecnologia dei sistemi di visione ha subito una evoluzione piuttosto rapida. Oggi esistono varie linee di sviluppo, che porteranno a confinare alcune delle tecnologie attualmente in uso a livello di nicchie di mercato. È questo il caso, ad esempio, dell'elaborazione parallela, complessa e costosa, che la crescente potenza dei microprocessori rende via via meno necessaria, almeno nelle applicazioni in campo industriale. Le soluzioni basate su PC sono destinate ad allargare la loro diffusione e vedranno le seguenti evoluzioni:

- crescente impiego di telecamere digitali in sostituzione di quelle analogiche
- sostituzione del frame grabber con bus seriali ad accesso veloce (porte USB)

Le smart camera vedranno un allargamento delle loro applicazioni in virtù delle maggiori potenze di calcolo e della maggiore sofisticazione dei sistemi di autoapprendimento ma non arriveranno a sostituire completamente i sistemi basati su PC soprattutto nelle applicazioni in cui è necessario gestire funzioni complementari al SdV, come ad esempio l'accesso e lo scambio di dati con i sistemi gestionali e di supervisione di processo.

Finito di stampare nel mese di Giugno 2000