

re la dispersione di prodotto, inoltre il prodotto di scarto può venire recuperato per la rilavorazione.

### L'elaborazione

Storicamente la prima elaborazione utilizzata fu la selezione di colore. Questa consentiva anche con elettroniche non troppo sofisticate, di discriminare il prodotto buono dallo scarto, per

esempio un pomodoro rosso da uno verde. Sebbene l'analisi di colore sia concettualmente semplice (tabella 3), richiede talvolta elaborazioni ad alta velocità e telecamere ad alta risoluzione, in particolare quando si tratta di discriminare macchie di piccole dimensioni: si pensi per esempio di rilevare difetti sui legumi o i punti neri su patate dove è richiesta la precisione della frazione di millimetro. Il ri-

conoscimento di forma è richiesto per i prodotti destinati al confezionamento o alla surgelazione. L'analisi è un compito di complessa soluzione in quanto le forme dei prodotti vegetali non sono regolari. Nell'analisi di forma la potenza di calcolo del sistema di elaborazione è fondamentale.

Oggi i costruttori di sistemi di sorting progettano schede elettroniche dedicate all'analisi di immagini dove il PC svolge solo funzioni di supervisione di macchina. La tendenza, vista la disponibilità di macchine sempre più potenti, è di far eseguire l'analisi d'immagine al PC. Avendo a disposizione hardware molto potenti la tecnica si sposta sul software al quale vengono richiesti da una parte algoritmi molto complessi e dall'altra un'elevata velocità di elaborazione per ottenere portate di produzione sempre più elevate.

**Tabella 3**

TIPO DI SELEZIONE	SISTEMA DI VISIONE	TIPO DI ANALISI
Corpo scuro	monocromatico	Intensità riflessa
Corpo estraneo	NIR / colore	Confronto
Residui di buccia/ Marcio	Colore	Confronto
Forma	Monocromatico	Analisi di forme/ pattern matching

# Visione artificiale: la fattibilità delle applicazioni

QUESTO ARTICOLO SI PREFIGGE LO SCOPO DI ILLUSTRARE I PRINCIPI DI BASE DELLA VISIONE ARTIFICIALE E DI FORNIRE UN LESSICO DI BASE, CONTRIBUENDO A FACILITARE LA COMUNICAZIONE IN ALMENO IN UNO DEI DUE SENSI

**N**egli anni '80 avevano assunto una certa notorietà delle vignette ironiche che avevano per soggetto il "ciclo di vita del software" (fig. 1).

Le strisce illustravano le variazioni subite da un semplice progetto (concomitante la costruzione di un'altale-

**di Luigi Capra**

na), nel corso delle varie fasi del suo sviluppo a partire dalle richieste del cliente fino alla realizzazione finale. I disegni diventano, man mano, sempre più assurdi; sino a scoprire, nell'ultima vignetta, che il manufatto

realizzato non solo è completamente inutile ma che già nella fase iniziale era insito il germe del fallimento in quanto le richieste erano ben diverse da ciò che l'utente finale avrebbe effettivamente desiderato (si noti che la mela che il bimbo avrebbe voluto mangiare è la prima cosa che spari-

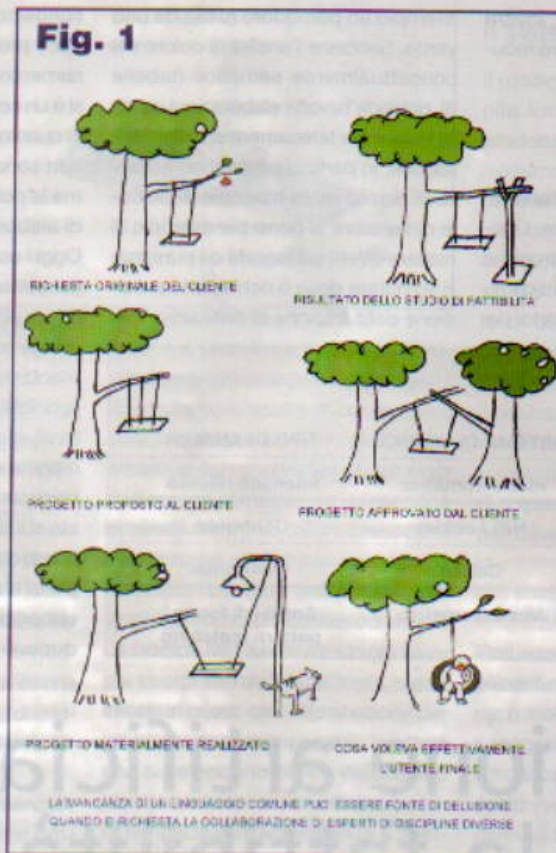
sce). Come si intuisce, la ragione del fallimento risiede nelle "difficoltà di comunicazione" fra padre e figlio, fra cliente e realizzatore. Simili malintesi, sebbene meno clamorosi, affliggono anche lo sviluppo di applicazioni di visione artificiale.

Fare della "visione" è un compito complesso, che richiede la disponibilità di competenze alquanto eterogenee: informatica, elettronica, fisica, e non ultima una buona conoscenza del settore applicativo. Poiché è raro ritrovare tutte queste competenze in un'unica persona, la prassi è quella di ricorrere a un pool di esperti. Proponendosi lo sviluppo di un'applicazione di visione artificiale, il primo problema da risolvere sarà quello della comunicazione fra esperti di settori diversi, ognuno dei quali abituato a esprimersi in gergo, mediante il suo linguaggio tecnico specialistico (in genere completamente incomprensibile al di fuori della ristretta cerchia degli addetti ai lavori).

### Il contesto applicativo

Gli uomini di produzione sanno benissimo che una linea è spesso il frutto di anni di lavoro, di prove, di piccole modifiche e aggiustamenti. Quando, dopo lunghe fatiche, si ottiene un processo soddisfacente, occorrono dei validi motivi per mettere in discussione il risultato conseguito. Lo si fa solo se ci si aspetta dei miglioramenti sostanziali in termini di qualità, riduzione dei costi, dei tempi, o di qualche altro parametro su-

Fig. 1



scettibile di tradursi in un vantaggio competitivo per l'azienda.

Le tecniche di visione artificiale possono contribuire in vario modo al miglioramento dell'efficienza produttiva:

- consentendo l'automatizzazione di fasi produttive che richiedono un controllo ottico del processo di lavorazione;
- riducendo i tempi richiesti, ovvero aumentando il flusso produttivo (un sistema di visione può elaborare diverse centinaia o migliaia di immagini al minuto);
- assicurando una qualità più omogenea (un computer non si stanca, quindi la sua capacità di controllo è costante in ogni momento della giornata);
- riducendo i costi di non conformità (estendendo a ogni singola unità

prodotta test che precedentemente venivano effettuati a campione);

- riducendo l'entità del materiale scartato o rilavorato (una singola confezione anziché un intero lotto). Quest'ultimo punto appare particolarmente significativo, poiché prospetta una soluzione al cosiddetto paradosso della qualità nell'industria alimentare:

"per preservare gli alimenti e assicurarne la conservazione occorre proteggerli chiudendoli in contenitori sigillati, ma per valutarne la qualità è necessario aprire la confezione per esaminare il contenuto, conseguentemente viene meno il valore d'uso del prodotto che non è più vendibile."

Storicamente si è tentato di gestire il problema utilizzando la tecnica dei

controlli campione. L'impiego di metodi statistici consente di stimare i valori medi dei parametri che caratterizzano la qualità dei singoli lotti e quindi di rifiutare le partite di merce non conformi, nel senso che la differenza media eccede un dato valore. Nel contempo limitando i controlli a un numero esiguo di campioni si minimizza la quantità di prodotto sacrificato per i test.

Sfortunatamente, non sempre i parametri che influenzano la commerciabilità di un lotto di merce sono "ben rappresentati" dalla media campionaria; al contrario in molti casi di interesse pratico ciò non si verifica. Un caso tipico è quando in seguito a un incidente la lama di un utensile, dopo essersi spezzata, finisce nell'impasto e quindi in un barattolo poi sigillato.

prece-  
vano ef-  
ne);  
rità del  
o rilia-  
ola con-  
an intero  
io punto  
armente  
ché pro-  
zione al  
esso del-  
ustria ali-  
  
alimenti  
conser-  
proteg-  
in con-  
ma per  
tà è ne-  
a confe-  
re il con-  
temente  
lore d'u-  
he non è  
  
tentato  
ema uti-  
nica dei  
o di me-  
stimare i  
e carat-  
oli lotti e  
di merce  
la diffor-  
valore.  
ontrolli a  
oni si mi-  
lotta sa-  
  
pre i pa-  
ommer-  
ce sono  
dia cam-  
ti casi di  
verifica.  
seguito a  
nsile, do-  
l'impasto  
sigillato.

È evidente che un tale evento (singolo) difficilmente inciderà sui parametri statistici rilevabili operando dei controlli campione, tuttavia pregiudica la qualità dell'intero lotto rendendolo invendibile (almeno fino a quando la confezione contaminata non sia stata individuata).

Quando la presenza di casi limite (che si discostano pesantemente dalla media), incide in maniera significativa sulla qualità di interi lotti non ci si può basare su controlli a campione bisogna monitorare i parametri confezione per confezione, impiegando delle tecniche di controllo non distruttivo.

### Controlli non distruttivi

Vengono detti Controlli Non Distruttivi (CND) tutti quei test qualitativi che possono essere effettuati senza compromettere l'integrità del prodotto esaminato.

Conseguentemente, prescindendo da considerazioni inerenti il costo e il tempo richiesto per l'esame di ogni confezione, i CND prospettano la possibilità di monitorare la totalità (100%) della produzione.

Sono l'unica soluzione possibile quando la presenza anche di un solo prodotto difettoso pregiudica la conformità e la vendibilità dell'intero lotto. Nel caso di prodotti alimentari rientrano nell'ambito dei controlli non distruttivi tutti quegli esami che possono essere compiuti senza aprire la confezione, come gli esami "a vista" effettuati da un operatore, il controllo di un metal detector, o i test ottici e/o radioscopici compiuti in automatico da sistemi di "visione artificiale".

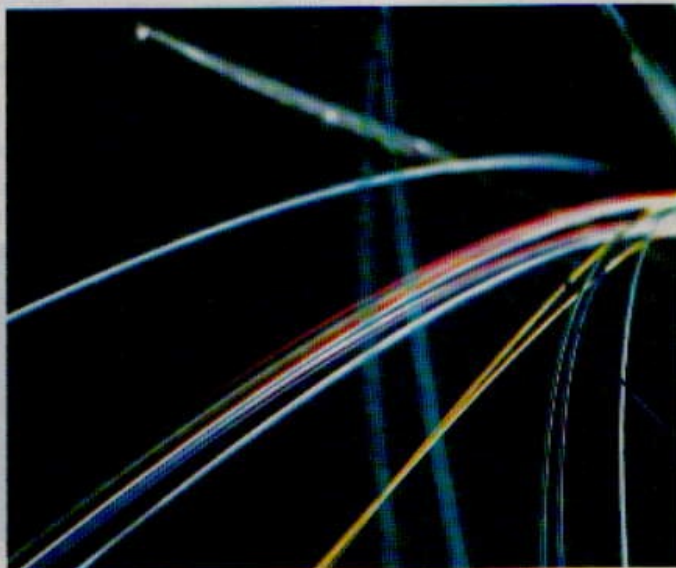
### Visione artificiale

Parlando di visione artificiale si intende l'insieme dei metodi e delle

tecniche di controllo ottico basate sull'utilizzo di un elaboratore elettronico abbinato a una telecamera (o a un altro tipo di sensore), che in qualche modo simulano dei controlli che potrebbero essere effettuati "a vista" da una persona. Occorre dire che in realtà le capacità di visione della macchina sono alquanto diverse da quelle degli esseri umani, così come l'efficienza degli esami nei vari casi.

Il sistemi automatici hanno una capacità molto limitata di interpretare ciò

naturale e artificiale sono spesso causa di frustrazione per i neofiti convinti che ciò che è facilmente individuabile da un occhio umano lo sia altrettanto da parte di un computer equipaggiato di telecamera, che immaginato ingenuamente come un occhio umano, solo molto più veloce. Tale malinteso si deve al fatto che la vista è il senso prevalente per gli esseri umani. Ciò fa sì che, essendo facile riconoscere visivamente le figure, ci si soffermi assai poco su ciò che si fa e che quindi manchi la consape-



che vedono, al contrario delle persone sono invece bravissime a riconoscere i particolari e cogliere il significato complessivo delle immagini. In compenso i computer, una volta "istruiti" a dovere, sono molto più veloci delle persone; possono esaminare centinaia o migliaia di immagini al secondo senza stancarsi, non si distraggono, ma soprattutto hanno la possibilità di "vedere" cose che l'occhio umano non percepisce, osservando gli oggetti a lunghezze d'onda a noi invisibili come l'infrarosso, l'ultravioletto o i raggi-X. Le differenze intercorrenti fra visione

volezza della complessità del compito svolto dai nostri organi di senso. Siamo talmente bravi a vedere che nessuno pensa mai a "come ci riusciamo". Quest'ultimo è il quesito fondamentale cui sono chiamati a rispondere gli esperti di visione artificiale. Solo rispondendo a tale domanda è possibile formulare un piano per porre le macchine in condizioni di "vedere" ed effettuare il loro lavoro. Poiché non siamo, a tutt'oggi, in grado di spiegare, se non in maniera molto approssimativa, come funzionano l'occhio e il cervello, si sono cercate e trovate strade alternative; per-

tanto anziché tentare di simulare i processi visivi del cervello è stata adottata la strategia di "matematizzare" le immagini e di affrontare la loro interpretazione in chiave algoritmica. L'entità delle differenze intercorrenti fra visione naturale e artificiale emerge già, perentoria, dalla definizione di "immagine".

In linea di principio, l'uomo della strada non ha nessun bisogno di una definizione di "immagine" trat-

manda a sua volta alla domanda: "cos'è un'immagine per una telecamera?"

### Immagine fisica

Un'immagine, in senso fisico, è una qualunque distribuzione bidimensionale di energia radiante. L'immagine "percepita" dalla telecamera sarà quindi costituita dall'insieme dei quanti incidenti in un dato lasso di tempo sui diversi elementi foto-

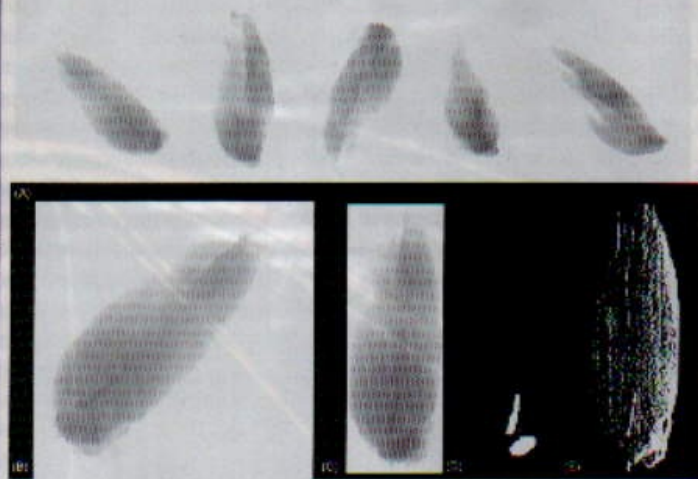
Il fatto che i pixel rappresentino o meno i valori di luminosità misurati localmente dagli elementi del sensore o siano i valori ottenuti mediante una funzione matematica, è del tutto irrilevante per il computer, così come la considerazione che l'immagine ritragga un tulipano.

L'elaboratore in ultima analisi non manipola "immagini" ma sequenze ordinate di numeri, di cui non comprende il significato.

La semantica, cioè l'interpretazione di ciò che quella matrice di numeri rappresentano, è un valore aggiunto di noi esseri umani.

Per il computer elaborare un'immagine vuol dire sostanzialmente effettuare una serie di operazioni aritmetiche: somme, sottrazioni, moltiplicazioni, ecc., o dei confronti, sui valori numerici che definiscono l'immagine visualizzabile sullo schermo.

**Fig. 2 - Sequenza di elaborazioni illustranti la catena di visione**



(a) Immagine acquisita impiegando un sensore lineare. Si noti la presenza di diversi soggetti. (b) Segmentazione di un singolo soggetto. (c) Pre-elaborazione consistente nella standardizzazione dell'orientamento del soggetto. (d,e) Analisi effettuate utilizzando algoritmi diversi.

tandosi di un concetto immediatamente ricavabile dalla realtà percepita attraverso i sensi.

Un'immagine, potrebbe rispondere, è ciò che vedono in un dato istante i miei occhi.

Volendo tentare un'analogia si potrebbe quindi ipotizzare che per un sistema di visione artificiale un'immagine sia ciò che è stato colto da una telecamera in un dato momento.

Quest'ultima considerazione ci ri-

sensibili del sensore.

Tuttavia ciò non è sufficiente, perché un computer non è in grado di concepire il chiaro e lo scuro o il valore della carica elettrica accumulata in un condensatore; affinché un elaboratore possa operare su di una immagine, questa deve essere convertita in formato numerico digitale.

Un'immagine informatica sarà quindi una matrice bidimensionale di valori numerici, detti pixel (*picture elements*).

### Fasi del processo di visione

Tradizionalmente il processo di visione viene scomposto nelle seguenti fasi: ripresa, acquisizione, pre-elaborazione, segmentazione, analisi, decisione e attuazione; tale sequenza prende anche il nome di catena di visione (fig. 2).

### Ripresa

Con questo termine intendiamo l'insieme delle attività e delle condizioni propedeutiche alla cattura di un'immagine.

Per fare della "visione" non basta disporre di un computer e di una telecamera, ma si devono verificare le condizioni richieste per effettuare una ripresa; bisogna cioè:

- disporre fisicamente del soggetto da riprendere per un tempo sufficiente;

• lo stato di moto e l'orientamento del soggetto deve essere compatibile con la ripresa;

• l'illuminazione del soggetto deve essere adeguata.

Supponiamo di voler impiegare un sistema di visione per controllare la corretta stampigliatura della data di scadenza apposta su delle scatole di biscotti. Ciò implica che le confezioni dovranno essere riprese una per una, facendole transitare su di un nastro trasportatore sotto una telecamera. Lo stato di moto della scatola sotto il traguardo dovrà essere tale da consentire la ripresa, la velocità di transito non deve essere eccessivamente elevata (non più di quanto consentito dalle caratteristiche della telecamera impiegata). Ci potrebbe poi essere il vincolo aggiuntivo di evitare brusche accelerazioni e decelerazioni del nastro trasportatore. Si dovrà poi fare in modo che le scatole siano orientate in maniera tale da consentire la lettura, in caso contrario potrebbe essere necessario orientarle meccanicamente.

Infine occorre garantire un'illuminazione adeguata: cioè sufficiente e costante nel tempo (si osservi che da questo punto di vista la luce solare non è una buona illuminazione poiché la sua intensità varia nel tempo, nel corso della giornata e con il mutare delle stagioni, nonché in funzione delle condizioni atmosferiche). Naturalmente nessuno dei problemi suddetti è insormontabile: se la telecamera è lenta la si può cambiare, se la linea impone delle pendolazioni si può ricorrere a riprese stroboscopiche o all'utilizzo di encoder, se non si possono orientare meccanicamente le scatole si può gestire il problema a livello software ruotando opportunamente l'immagine

nella memoria del computer, ecc. Ognuna delle suddette soluzioni, però, impone uno scotto da pagare e non soltanto in termini monetari, quanto di

maggior complicazione del sistema di visione e quindi a rischio di comprometterne l'affidabilità e l'efficienza. Non è una esagerazione affermare che il successo di un sistema di visione dipende prima di tutto da un accurato studio delle condizioni e dell'ambiente di ripresa.

### Acquisizione

Considerato il fascio di luce emesso o riflesso da un oggetto e una superficie arbitraria, l'immagine fisica dell'oggetto proiettata sulla superficie sarà costituita dalle differenze di luminosità del fascio incidente sulla superficie stessa. Nel caso in cui il flusso di fotoni fosse omogeneo, uguale in ogni punto, l'immagine ottenuta risulterebbe priva di dettagli e il suo contenuto informativo si limiterebbe a un unico parametro: il livello di luminosità, dato solitamente di scarso interesse.

Per avere un'immagine fruibile, non banale, occorre illuminare l'oggetto cui si è interessati in modo da creare un contrasto, cioè un'alternanza di luce e d'ombra che evidenzii i dettagli della struttura. Il passo successivo consiste nell'acquisizione vera e propria dell'immagine, che può essere ottenuta convertendo l'immagine fisica, intesa come distribuzione di energia radiante incidente sulla superficie del sensore della telecamera, nella corrispondente rappresentazione informatica. Ricordiamo brevemente i parametri caratteristici dei sensori, che sono:

• l'organizzazione che può essere lineare o matriciale a seconda che gli elementi

fotosensibili siano disposti su di un'unica fila oppure su più righe a formare una scacchiera;

- le dimensioni: il numero di elementi (pixel);
- la velocità: il numero di immagini che possono essere acquisite nell'unità di tempo;
- la sensibilità: il livello di energia radiante richiesto per la formazione dell'immagine;
- la gamma di funzionamento: cioè le lunghezze d'onda della dei quanti rilevabili mediante il sensore.

I sensori matriciali, il tipo più comune, possono essere immaginati come delle scacchiere in cui ogni casella è associata a un contatore di fotoni.

Durante la prima fase dell'acquisizione, che prende il nome di campionamento, le celle del sensore accumulano i fotoni incidenti su di esse. In un secondo momento, la quantizzazione, l'energia accumulata da ciascuna cella viene misurata e convertita in un valore numerico rappresentato da un pixel. L'insieme dei suddetti valori numerici formerà l'immagine informatica che verrà immagazzinata e poi elaborata dal computer.

### Pre-elaborazione

Le immagini acquisite spesso non sono utilizzabili direttamente perché inquinate da rumore (in senso informatico viene detto rumore qualsiasi dato indesiderato che si sovrappone all'informazione desiderata, il segnale, confondendola). La preelaborazione consiste in una serie di trasformazioni tendenti a "migliorare" la qualità dell'immagine, eliminando il rumore in modo da far risaltare il segnale aumentando l'intelligibilità.

### Segmentazione

Come si è fatto rilevare precedentemente ogni immagine non banale

o me-  
ti local-  
sore o  
nte una  
to irile-  
come la  
e ritrag-  
non ma-  
ze ordi-  
prende  
zione di  
eri rap-  
unto di  
un'im-  
lmente  
oni arit-  
ti, mol-  
nti, sui  
iscono  
e sullo  
scade  
forma  
scato  
scato  
scato  
visione  
enti fa-  
elabor-  
lisi, de-  
quenza  
a di vi-  
scion  
scion  
scion  
l'in-  
ndizio-  
un'im-  
asta di-  
sa tele-  
le con-  
una ri-  
ogget-  
tempo

presenta almeno un contrasto che consente di articolarla in due zone distinte: figura e sfondo. La figura, detta anche soggetto o regione di interesse, è la parte di immagine sulla quale si concentra la nostra attenzione poiché contiene le informazioni alle quali siamo interessati. Lo sfondo è tutto il resto. Pertanto, onde evitare distrazioni, sarebbe conveniente che lo sfondo fosse il più possibile neutro, di tinta uniforme, e preferibilmente di un colore che non dia fastidio. La segmentazione si propone di estrarre a partire dall'immagine acquisita uno e un solo soggetto collocandolo su uno sfondo neutro. Si noti che nell'immagine acquisita potrebbero essere presenti più regioni di interesse; tornando ad esempio al problema della lettura della data di scadenza sull'etichetta, ciascun carattere della stampigliatura costituisce una regione di interesse, quindi dovrà essere segmentato isolatamente per essere riconosciuto.

### Analisi

La difficoltà di una decisione è tanto maggiore quanto è grande il numero dei dettagli di cui si deve tenere conto.

Nel caso dei sistemi di visione artificiale la quantità di particolari può essere davvero molto grande se si pensa che una singola immagine di 1024 x 1024 pixel consiste di oltre un milione di valori numerici (esattamente 1.048.576), e che ci sono sensori che permettono una risoluzione molto maggiore.

Lo scopo del processo di visione e in particolare dell'analisi è quello di semplificare, ridurre il contenuto informativo originariamente presente nell'immagine acquisita, sintetizzando un riassunto costituito dai soli dati essenziali, in funzione dei qua-

li verrà presa la decisione finale.

Nel corso dell'analisi l'immagine di partenza viene "smontata" eliminando passo, passo, tutte le caratteristiche ritenute non significative (l'orientamento, la grandezza, lo sfondo, ecc.), riconducendosi a rappresentazioni equivalenti semplificate e standardizzate che conservano però il contenuto informativo dell'originale (fig. 3).

### Decisione

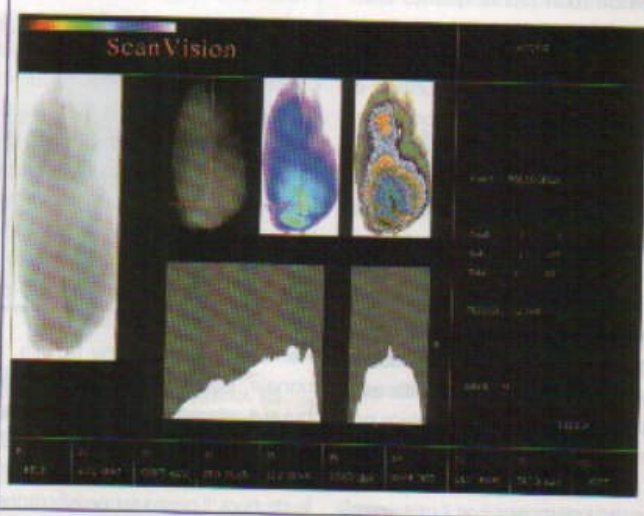
Le decisioni che i sistemi di visione artificiale sono chiamati a prendere so-

rappresentazioni dei prototipi (campioni rappresentativi) delle varie classi, al fine di stabilire quale presenti il massimo grado di somiglianza, ovvero a quale classe appartenga l'immagine considerata.

### Attuazione

Nelle applicazioni industriali, il risultato della decisione si traduce il più delle volte in un segnale e quindi in un impulso elettrico inviato a un attuatore, del tipo: se X è vero lascia passare la scatola dei biscotti, se X è falso scartaia perché è stata su-

**Fig. 3 - Risultato finale dell'analisi mostrato così come appare all'operatore**



no riconducibili generalmente a due tipologie: test di conformità di tipo passa-non passa o classificazioni.

Nel primo caso, la decisione consisterà della sintesi finale di un valore booleano vero o falso rappresentativo di tutto il contenuto informativo originariamente presente nell'immagine acquisita. Nel secondo, si considera la descrizione astratta risultante dall'analisi e la si confronta con le analoghe

perata la data di scadenza.

L'attuazione pone quindi a sua volta una serie di problemi elettrici e meccanici la cui illustrazione trascende il soggetto di questo articolo.

### La fattibilità dell'applicazione

Al termine della digressione riassumiamo i principali aspetti che condi-

pi (cam-  
arie clas-  
esenti il  
a, ovvero  
immagi-  
il risul-  
ce il più  
quindi in  
a un at-  
o lascia  
sotti, se  
tata su-

zionano il potenziale successo dell'applicazione.

*L'applicazione deve avere senso da un punto di vista economico.*

Deve, cioè, innanzi tutto prospettare dei vantaggi di qualche tipo rispetto ai metodi tradizionali o presentarsi come possibile soluzione di problemi aperti.

*La realizzazione della catena di visione deve essere tecnicamente possibile.*  
Dovendo affrontare dei problemi complessi una delle strategie più classiche è la riduzione a sottoproblemi, si rimpiazza a un grosso blocco funzionale, di difficile comprensione, un insieme di blocchi più semplici che collettivamente costituiscono un sistema equivalente. Nel caso delle applicazioni precedentemente considerate ciò che si sostituisce al problema originale è la catena di visione.

La soluzione del problema applicativo considerato comporterà quindi la previa soluzione di ciascuno dei sottoproblemi posti dalle varie fasi della catena di visione: ripresa, acquisizione, pre-elaborazione, segmentazione, analisi, decisione, attuazione. Se anche uno solo di questi sottoproblemi rimane aperto, l'applicazione non funzionerà. Vi è inoltre un secondo aspetto: la realizzazione della catena di visione deve essere possibile con i materiali hardware e software disponibili.

*Si debbono possedere le competenze richieste.*

Come è stato già osservato lo sviluppo di un sistema di visione richiede delle competenze alquanto eterogenee, pertanto, solitamente, questi problemi non possono essere affrontati da una singola persona ma si richiede un pool di esperti di discipline differenti: fisica, elettronica, informatica.

Fare della visione è una professione che implica un impegno a tempo pieno non ci si può improvvisare esperti da un giorno all'altro. L'analisi dell'applicazione deve essere fatta dispo-

nendo di un numero di campioni adeguato. Sebbene sia poco evidente i problemi riscontrati impiegando in linea applicazioni di visione artificiale sono spesso la conseguenza di un'insufficiente disponibilità di campioni da utilizzare per le prove durante le fasi dello sviluppo. Questo fatto si deve ad almeno tre fattori:

- l'elevata variabilità intrinseca delle immagini che preclude un test esaustivo del sistema;
- la constatazione che le caratteristiche del prototipo sintetizzato a partire da un numero insufficiente di campioni possono non essere rappresentative della classe;
- l'esperto del settore applicativo e l'esperto di visione hanno spesso una percezione molto diversa di ciò che può essere significativo ai fini della classificazione delle immagini.

I programmatori che operano in altri settori dell'informatica possono anche pensare di effettuare un test esaustivo dei loro programmi o almeno di verificare le combinazioni dei possibili casi limite. Le immagini sono un tipo di informazione estremamente ricco di variabilità.

Una singola immagine di piccole dimensioni 256x256 con 256 livelli di grigio occupa 64KByte, pari a 524.288 bit, che consentono la rappresentazione di 2.524.288 pattern differenti; conseguentemente non è possibile esplorare che una piccolissima frazione dei casi possibili. In generale, non sarà evidente quali dettagli siano effettivamente significativi al fine della classificazione delle immagini, pertanto difficilmente si perverrà alla sintesi di una condizione necessaria e sufficiente per l'appartenenza di un'immagine a una data classe, resterà sempre un certo margine di incertezza che darà adito a classificazioni erronee. In altri termini, lavorando con un numero di campioni insufficienti è possibile pervenire a delle combi-

nazioni di parametri che classificano correttamente le immagini dei campioni per i motivi sbagliati. Occorre un linguaggio comune che consenta all'applicativo e all'esperto di visione di comunicare.

Quando i risultati sono deludenti spesso ciò si verifica perché si ricade nella situazione messa in burletta dalla vignetta dell'altalena.

Le parti in causa non si capiscono perché usano linguaggi diversi, concentrano la loro attenzione su aspetti differenti e alla fine quando i primi segni di cedimento si manifestano ci si rifugia nell'aderenza alle specifiche lacunose e incomplete.

## Conclusioni

L'adozione delle tecniche della visione artificiale nell'ambito dell'industria alimentare è molto attraente poiché queste sono la base per lo sviluppo di più sofisticate metodologie di controllo di qualità.

L'impiego di strumenti di controllo non distruttivo prospetta la possibilità di pervenire a una più attenta e puntuale gestione del prodotto. Prendendo una capillare rete di sensori lungo la catena di produzione è possibile seguire la singola confezione in tutte le fasi della lavorazione: dalla materia prima, al confezionamento, sino alla spedizione; ciò si traduce in una riduzione della difettosità percepibile all'esterno e quindi in un migliore soddisfacimento delle esigenze del consumatore.

I controlli di qualità, lungi da essere un costo, contribuiscono sempre più al valore aggiunto e alla competitività delle aziende.

*Workshop organizzato dall'AITA su "Tecniche di visione: applicazioni di selezione e non distruzione e stato dell'arte nell'industria alimentare", Parma 2001*