

# Computer vision systems (CVS)

# Sistemi di visione computerizzata



# Limiti dello spettrofotocolorimetro

- Corpi non uniformi per colore

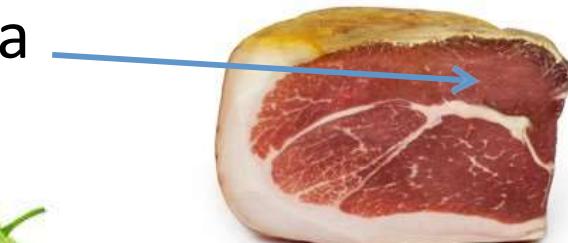


- Corpi non uniformi per morfologia (non piani)



Soluzioni:

- Triturazione o omogeneizzazione prodotto
- Misurazione del colore nella zona più ampia
- Misurazione del colore in più zone



# Limiti dello spettrofotocolorimetro

Nessuna informazione su caratteri morfologici

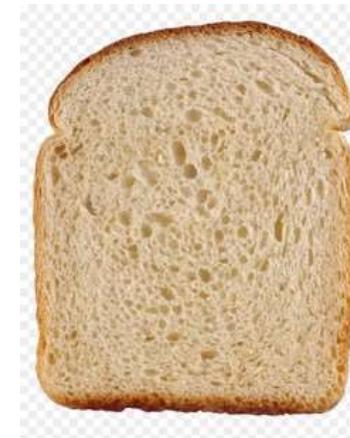


Forma

- Geometria

Disuniformità (es. fori, inclusioni)

- Numero
- Forma
- Area
- Colore

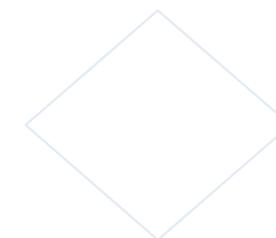
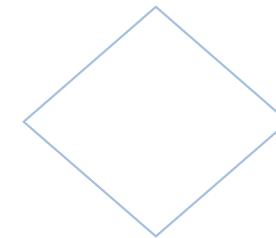
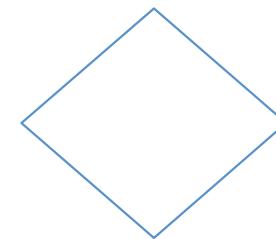


# Caratteri morfologici

L'occhio umano percepisce le forme esclusivamente come contrasto tra colori

Analisi della forma:

- Selezionare prodotto
- Standardizzare prodotto

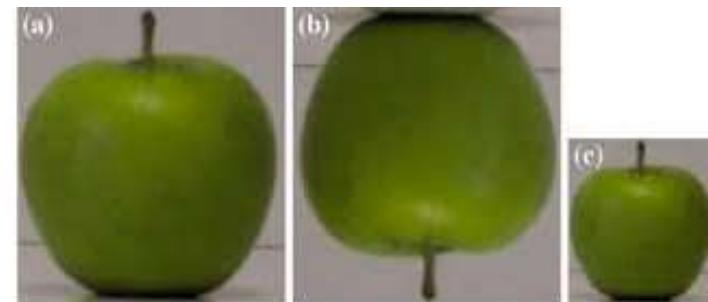


# Selezione prodotto

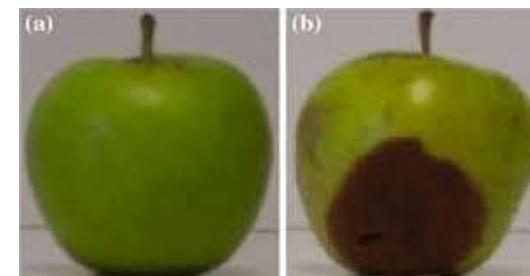
- In base a geometria



- In base a grandezza



- In base a disuniformità



# Selezione manuale

- Lenta
- Poco precisa
- Costosa

Poco  
efficiente



# Standardizzazione prodotto

Descrizione caratteristiche geometriche



- Definizione caratteristiche di diverse tipologie
- Standardizzazione di prodotto

# Individuazione di dimensioni e forma

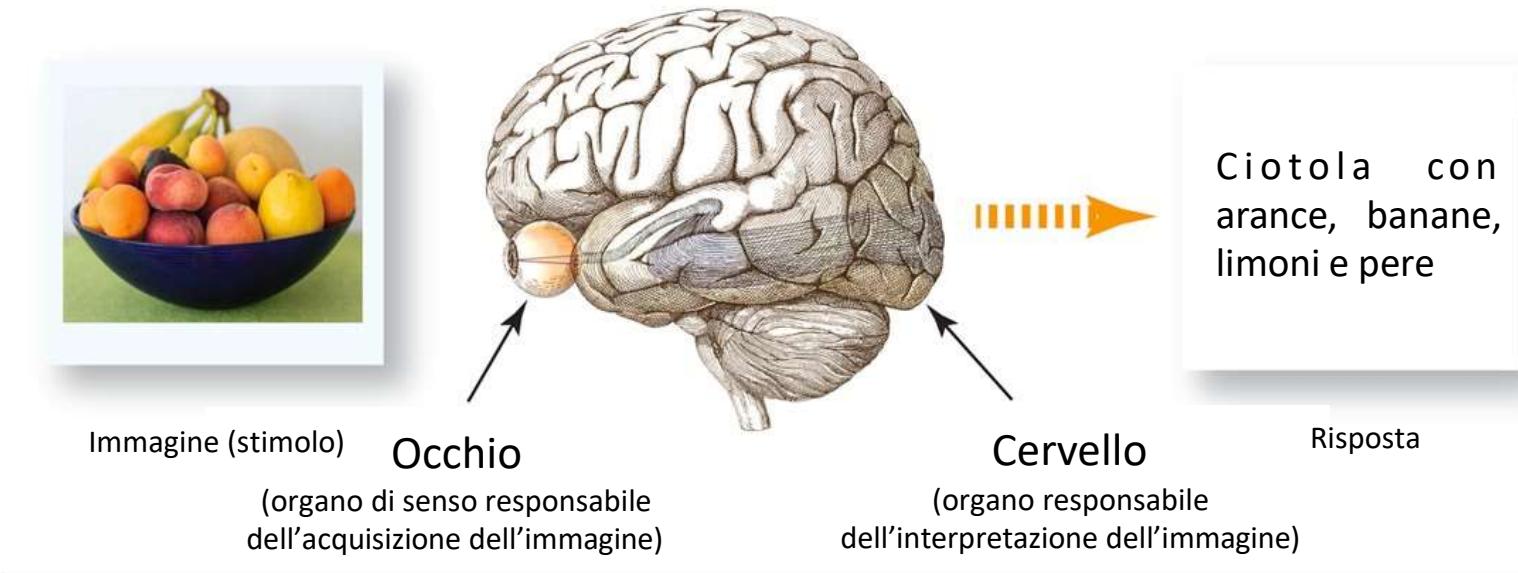
L'individuazione automatica di forma e dimensioni di un'**immagine digitalizzata**:

- tecnica non intrusiva
- applicabile on-line
- replicabile ad elevata velocità

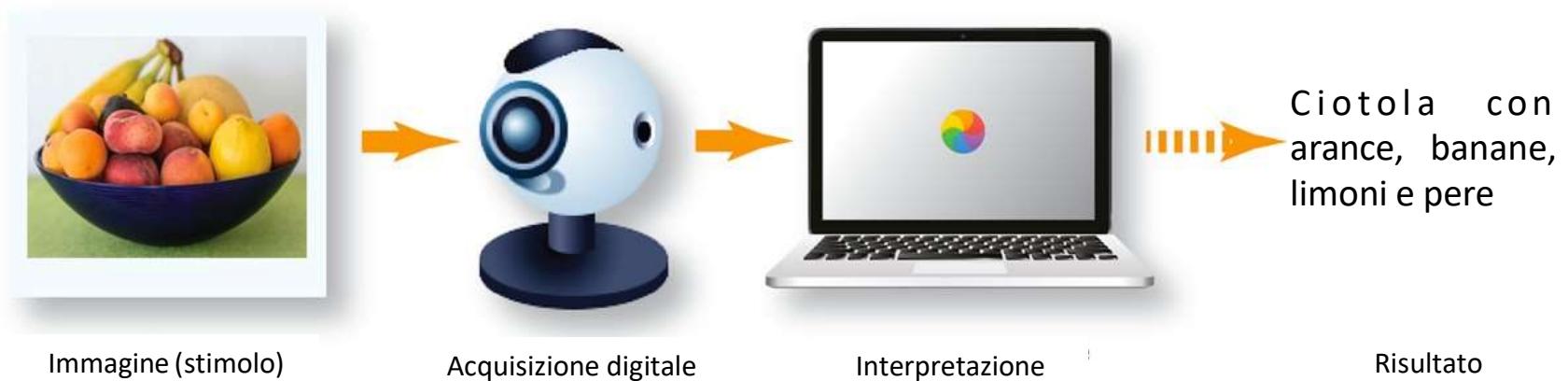
consente la diretta archiviazione dei dati ed un controllo a feed-back.

# Sistema di visione computerizzata

Sistema di visione umano



Sistema di visione computerizzato (CVS)



# Computer vision system

In linea di principio, il CVS e' costituito essenzialmente da due parti:

- hardware, composto dal sistema di illuminazione, dal sistema di acquisizione dell'immagine e dal computer
- software, per l'elaborazione e l'analisi dell'immagine.

# Sistema di illuminazione

- Lampade (caratteristiche)
  - Tipologia (incandescenza, fluorescenza, led ...)
  - Spettro di emissione o temperatura di colore (illuminante)
  - Potenza
- Lampade (posizione)
  - Distanza da campione
  - Orientamento (per evitare ombre)
- Isolamento ambientale (camera scura)
- Sfondo (nero o bianco)

# Sistema di acquisizione

- Scanner (per superfici piane)
- Fotocamera digitale
- Videocamera digitale
- Camera digitale montata su sistema ottico
  - Microscopio (microstruttura)

Gli scanner sono dispositivi che incorporano alla sorgente luminosa (lampada) i sensori per la creazione dell'immagine, permettendo di operare in condizioni di misura costanti e riproducibili.

Numerose ricerche nel campo alimentare sono state effettuate utilizzando scanner da scrivania, posizionando i campioni (tagli di carne, fette di pane, frutta tagliata ecc.) sul piano di vetro del dispositivo.

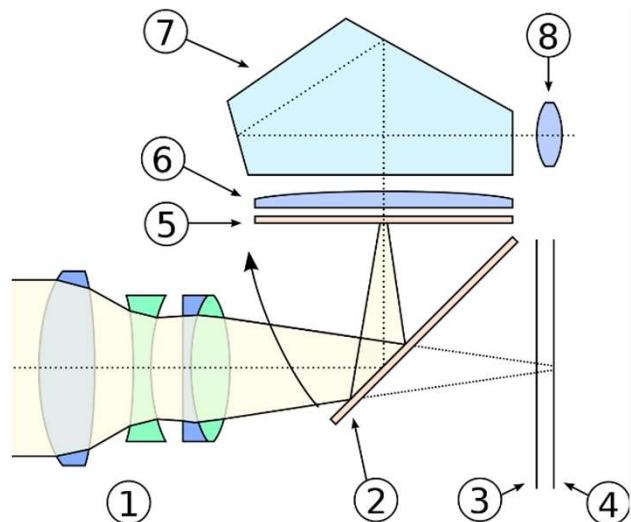
Per ottenere un'immagine di buona qualità, il campione deve presentare una superficie piana ed uno spessore non troppo elevato, non deve essere caldo ed umido in superficie per evitare la comparsa di condensa che falserebbe le caratteristiche cromatiche del campione.



La fotocamera digitale è il sistema più utilizzato per l'acquisizione macroscopica delle immagini nel settore alimentare, sia per quel che riguarda la sperimentazione che l'applicazione on-line sui processi di trasformazione.

Per l'acquisizione dell'immagine di un prodotto alimentare tramite fotocamera, il fattore critico è la sua illuminazione in maniera omogenea (tipo di illuminante e posizionamento).

La risoluzione della fotocamera (il numero di *pixel* per unità di superficie) è sicuramente un fattore fondamentale per l'ottenimento di un'immagine che fornisca un elevato numero di informazioni cromatiche dell'oggetto in esame.



Cross-section view of an SLR system, one of several systems by which reflex cameras are able to operate: 1: Front-mount lens (four-element Tessar design) 2: Reflex mirror at 45-degree angle 3: Focal plane shutter 4: Film or sensor 5: Focusing screen 6: Condenser lens 7: Optical glass pentaprism (or pentamirror) 8: Eyepiece (can have diopter correction ability)



# Digitalizzazione immagine

Immagine suddivisa in una griglia bidimensionale di elementi monocromatici chiamati pixels.

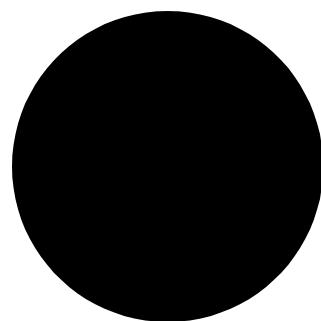
All'interno del sistema, l'immagine è rappresentata tramite questa griglia bidimensionale, o bitmap.

La posizione di ogni pixel all'interno della bitmap è identificata da due coordinate di posizione (x,y) per pixel e due di colore per immagini in bianco e nero (es 0, 1) o tre coordinate di colore per immagini a colori (fotocamere e scanner utilizzano lo spazio RGB).

La qualità di un'immagine dipende da:

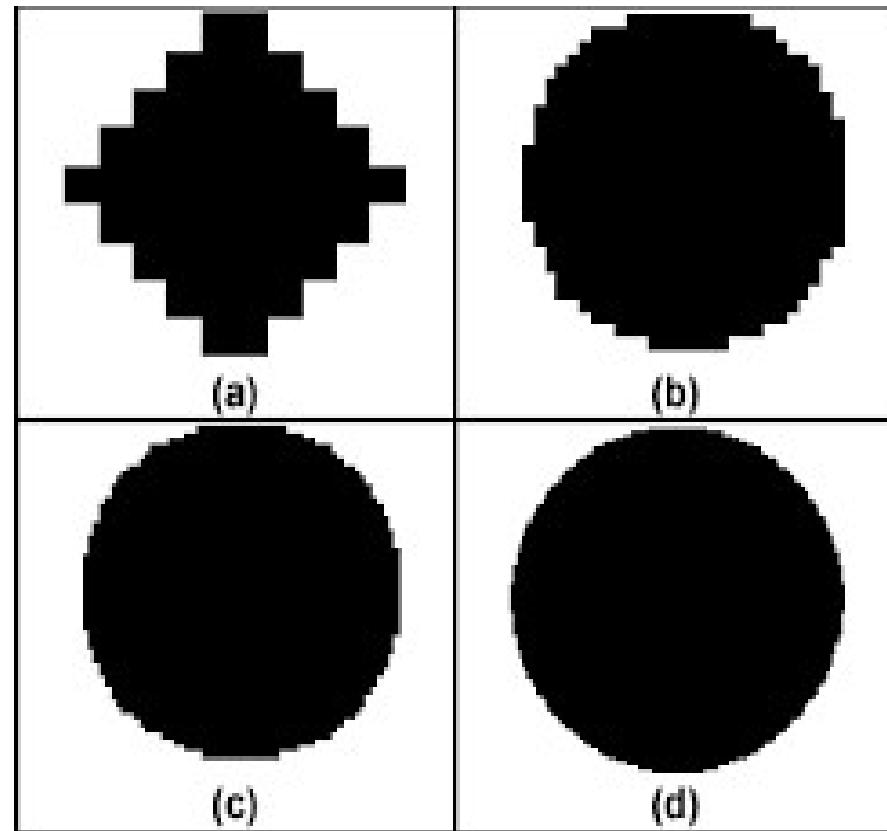
- Risoluzione (densità, espressa in pixel per unità di superficie)
- Tipo (bianco-nero, scala di 16 o 256 grigi o a colori)
- Quantità di informazioni associata ad ogni pixel (8 bit per pixel a colori).

# Digitalizzazione immagine b/n



Immagine

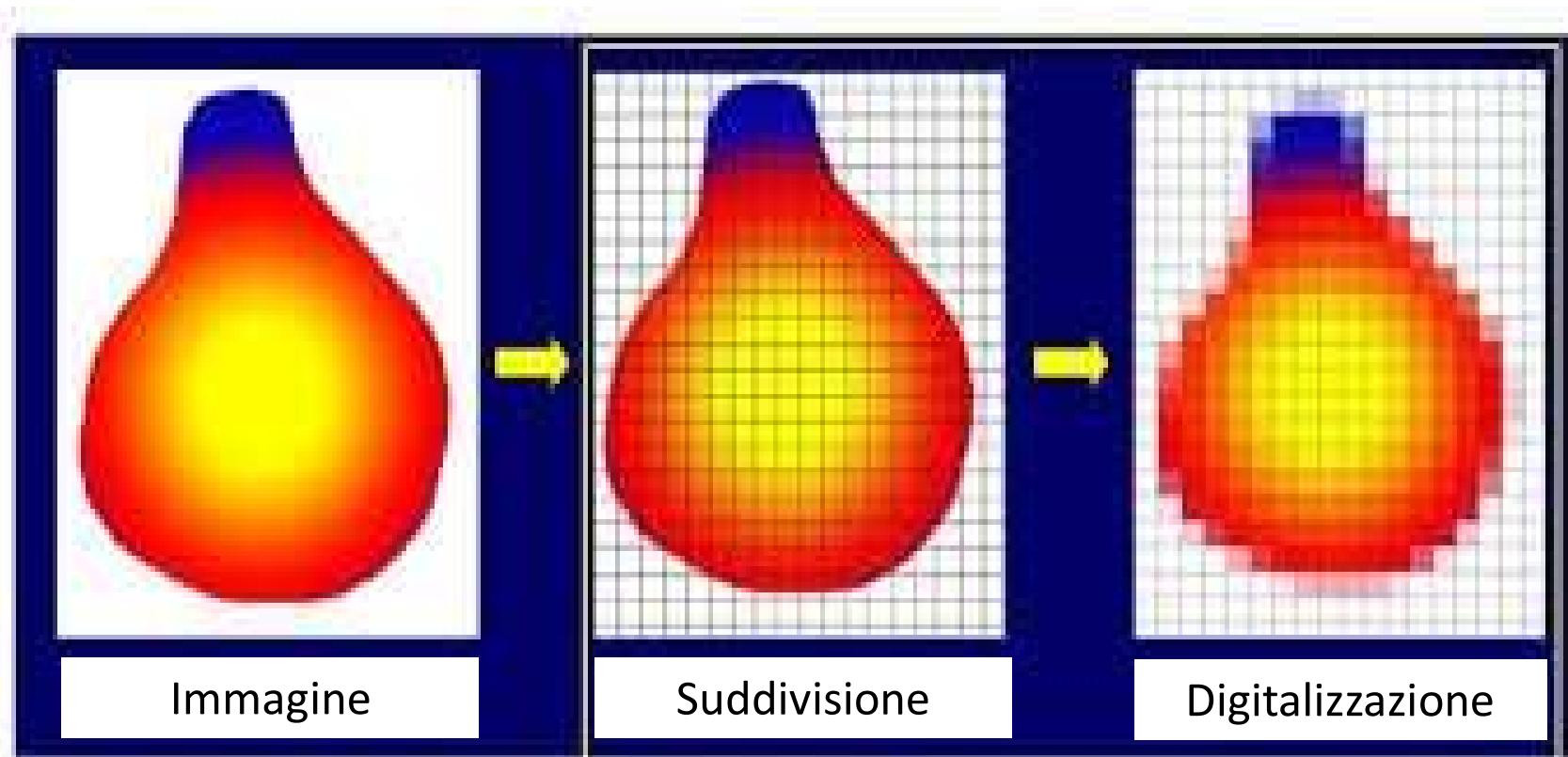
Pochi pixel: bassa risoluzione



Molti pixel: alta risoluzione

Ogni pixel è caratterizzato da due coordinate x,y

# Digitalizzazione immagine a colori



Ogni pixel è caratterizzato da due coordinate x,y

Ogni pixel è caratterizzato da un colore omogeneo definito nello spazio RGB

# Software

Elaborazione ed analisi dell'immagine sono il cuore della tecnica di visione computerizzata

- **Elaborazione** svolta allo scopo di aumentarne la qualità dell'immagine, rimuovendo le distorsioni geometriche ed il rumore del dispositivo di acquisizione, migliorandone la messa a fuoco ed uniformandone l'illuminazione (es. applicazione filtri).
- **Analisi dell'immagine** è il processo mediante il quale vengono estrapolate le informazioni dall'immagine del campione in esame, allo scopo di ottenerne una quantificazione.

Trasformazione matematica dei dati di posizione (x,y):  
per esempio attraverso la calibrazione spaziale

Altri calcoli matematici: area, media, rapporto (es. percentuale), densità (quantità per unità di superficie), rotondità.

# Analisi immagine

- Colore

Valori RGB medi dell'intera immagine

- Struttura morfologica

Elementi di forma (macchie, fori, sovracolori)

Numero, densità, dimensione, forma

- Struttura morfologica del colore

Valori RGB degli elementi di forma o dell'intera immagine escludendo gli elementi di forma

# Studio della struttura morfologica

Un approccio generale nello studio morfologico è quello di trasformare un'immagine primitiva (ad esempio a colori) in un'altra (ad esempio in bianco e nero o con un numero di colori limitato), nella quale le informazioni rappresentate sono più facilmente comprensibili ed interpretabili.

# Software per analisi morfologica

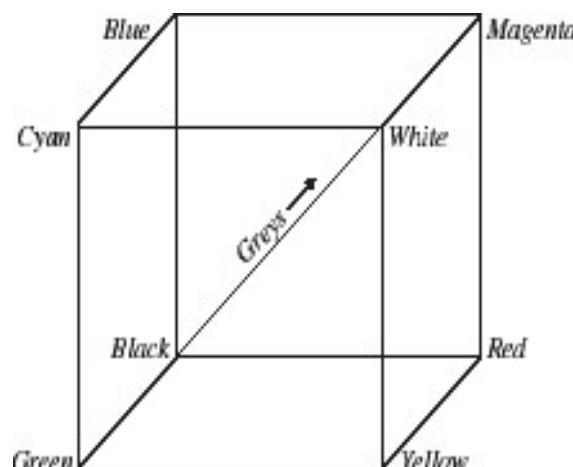
Possono essere utilizzati software di elaborazione fotografica (es. Photoshop), software professionali dedicati (es. ImageJ o Image Pro-Plus) ma è anche possibile creare macro o algoritmi specifici (ad es. tramite macro Excel o Matlab), in funzione della tipologia del tipo di misurazione.

# Studio del colore

Per la determinazione del colore di un prodotto alimentare nella scala riferita all'osservatore standard CIELab, è necessario calibrare il sistema di acquisizione dell'immagine utilizzato, allo scopo di creare una relazione matematica tra i valori RGB dei *pixel* delle immagini dei campioni e i corrispondenti valori espressi nella scala CIELab.

# Spazi colorimetrici

I dispositivi di acquisizione dell'immagine (fotocamera digitale e scanner) utilizzano filtri colorati per selezionare le differenti lunghezze d'onda percepibili dai sensori RGB dei dispositivi. Lo spazio di colore **RGB**, legato alle caratteristiche del sistema di acquisizione, è matematicamente molto conveniente ma non corrisponde allo spazio di colore relativo alla percezione dell'uomo (o del consumatore nell'ottica delle tecnologie alimentari).



La percezione del colore dell'occhio umano è dovuta alla presenza di 3 coni recettori dei colori fondamentali (RGB), ma con sensibilità differente verso le differenti lunghezze d'onda. La sensibilità dei tre coni alle diverse lunghezze d'onda è descritta dalle funzioni dell'**osservatore standard**

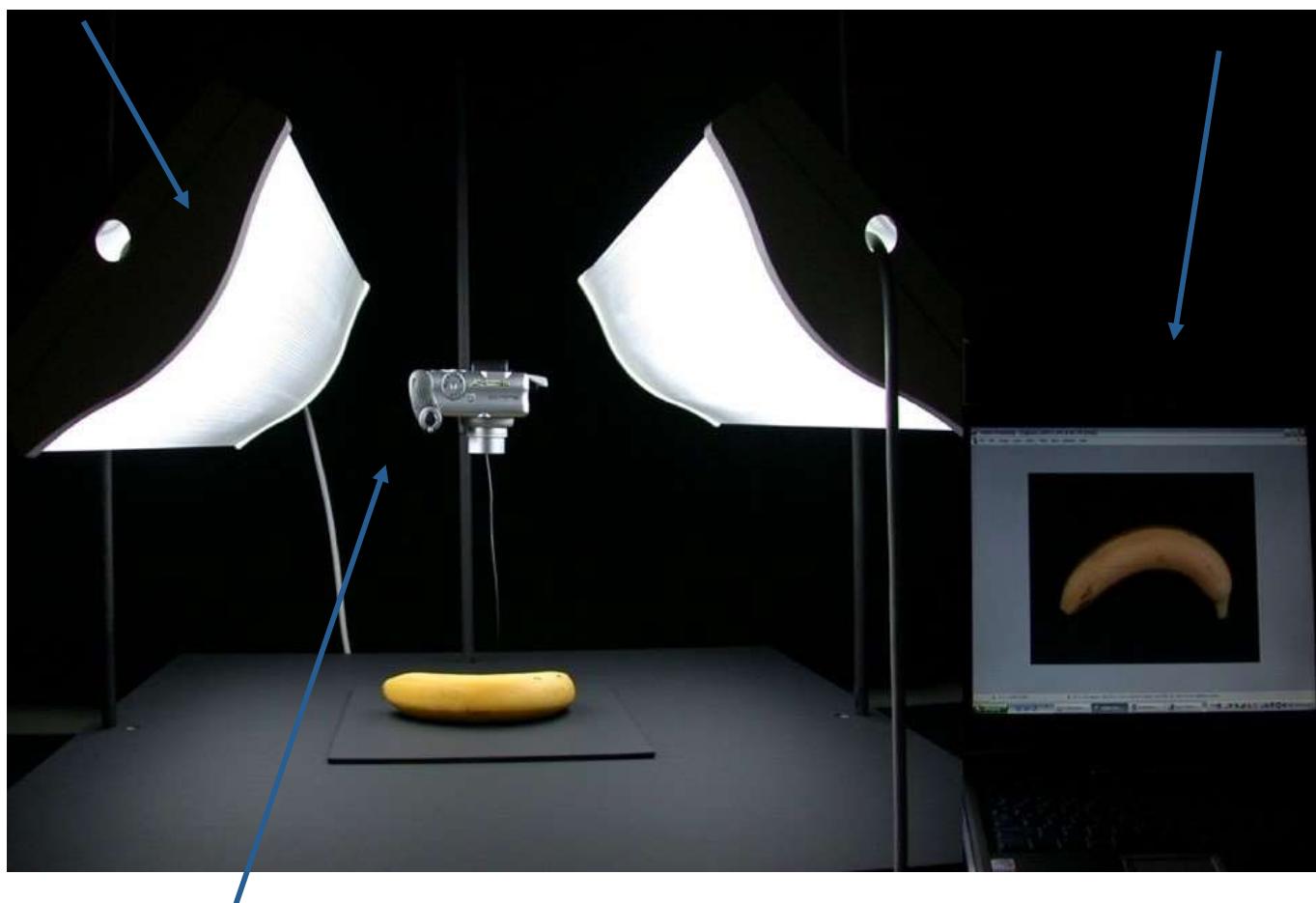
# Calibrazione del colore

- Per misurare il colore reale di un prodotto alimentare è necessario utilizzare sistemi “standard” quali spettrofotocolorimetri e colorimetri tristimolo oppure calibrare la risposta del CVS con quelle ottenute con tali strumentazioni.
- Di seguito sono riportati i risultati di un esempio di procedure di calibrazione o “taratura” di un CVS, utilizzando **tessere di colori standard** ed un **colorimetro** impostato nella scala CIERGB (ottenuta tramite calcoli matematici da quella CIELab o CIEXYZ) ed un **CVS** dotato di fotocamera, sistema di illuminazione con lampade D<sub>65</sub>, e di PC dotato di software per convertire i valori RGB dell’immagine delle tessere di colori standard (chiamati in seguito R’G’B’) nei valori CIERGB.

# Sistema di visione computerizzato

Sorgente luminosa ( $D_{65}$ )

Software



Dispositivo di  
acquisizione

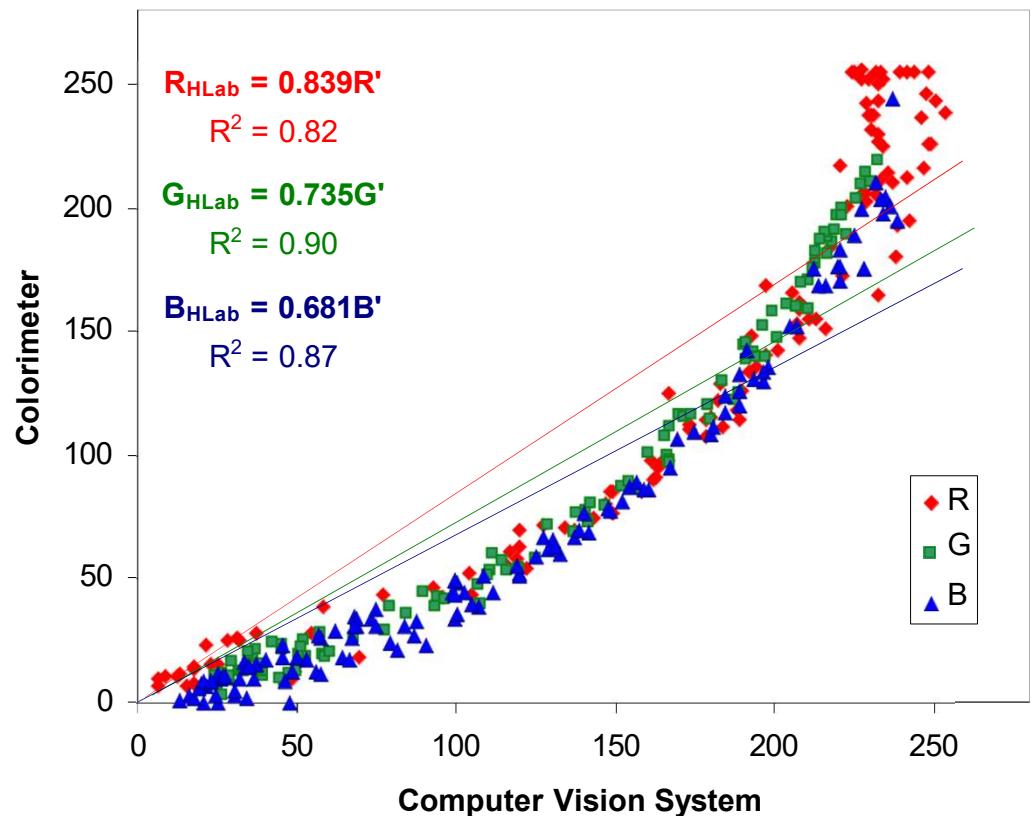
# Esempio di calibrazione di un CVS con tessere colorate da RGB fotocamera ( $R'G'B'$ ) a CIE RGB

- I segnali  $R'G'B'$  ottenuti dalle tessere utilizzando il CVS sono dipendenti dal sistema utilizzato.
- Tali coordinate  $R'G'B'$  non sono le medesime di quelle misurate sulle tessere con colorimetro e calcolate utilizzando il sistema CIE (XYZ, RGB, Lab).

Caratterizzazione del sistema di acquisizione



Pantone® Colour  
Formula Guide  
125 colori dal bianco al nero



- Relazione non lineare tra  $R'G'B'$  e RGB CIE

# Trasformazione lineare dei valori R' G' B' ottenuti tramite CVS in quelli CIERGB

Algoritmo in Matlab:

If  $R', G', B' < -0.03928$

$$R_{(\text{gamma})}, G_{(\text{gamma})}, B_{(\text{gamma})} = \left\lceil \frac{(-R', -G', -B' + 0.055) \#}{1.055} \right\rceil^{2.5}$$

If  $-0.03928 \leq R', G', B' \leq 0.03928$

$$R_{(\text{gamma})}, G_{(\text{gamma})}, B_{(\text{gamma})} = \frac{R', G', B'}{12.92}$$

If  $R', G', B' > 0.03928$

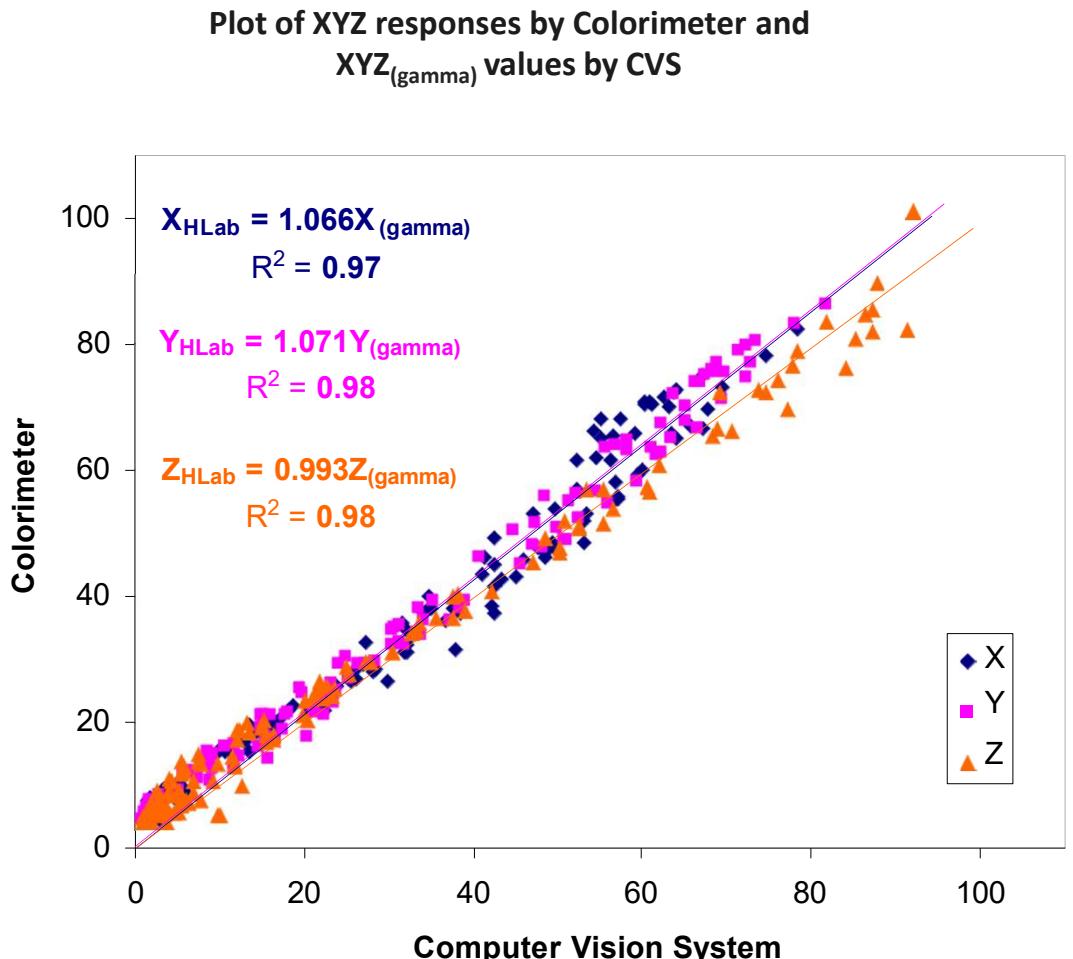
$$R_{(\text{gamma})}, G_{(\text{gamma})}, B_{(\text{gamma})} = \left\lceil \frac{(R', G', B' + 0.055) \#}{1.055} \right\rceil^{2.5}$$

$RGB_{(\text{gamma})} \rightarrow XYZ_{(\text{gamma})}$  (ITU-Rec. 709)

$$\begin{bmatrix} X_{(\text{gamma})} \\ Y_{(\text{gamma})} \\ Z_{(\text{gamma})} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7192 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{(\text{gamma})} \\ G_{(\text{gamma})} \\ B_{(\text{gamma})} \end{bmatrix}$$

Finally,

$XYZ_{(\text{gamma})}$ ,  $L^*a^*b^*$  and HSV  
color spaces



# Applicazioni del CVS

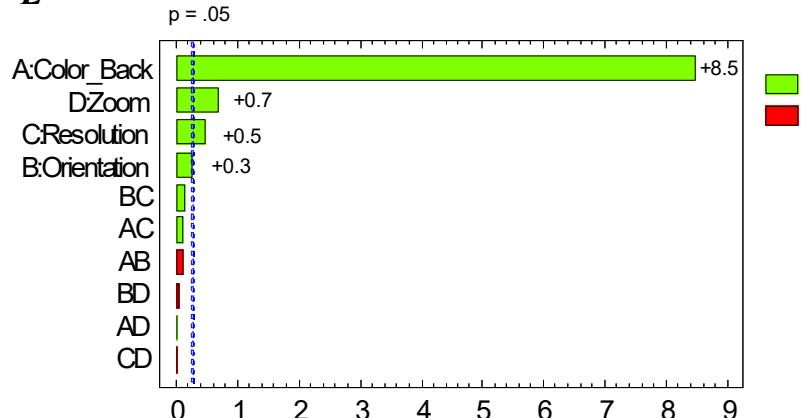
- Frutta e verdura (forma, colore e difetti)
- Prodotti vegetali IV gamma
- Carni (% grasso; difetti del colore)
- Pesce (sorgente a raggi X per residui lische)
- Prodotti da forno (colore crosta e alveolatura mollica)

# Sensibilità nella misura del colore (CIELab) del CVS in relazione del cambiamento di alcune condizioni di acquisizione

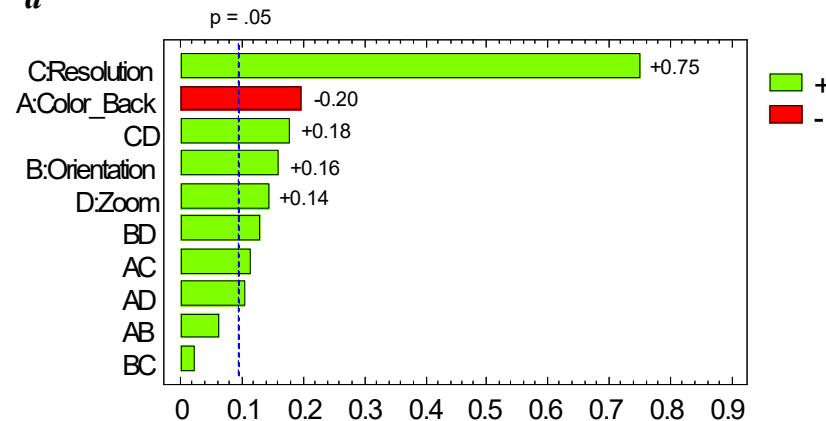
Variabile		
Colore dello sfondo	Black	White
Posizione del campione	0° (horizontal)	90° (vertical)
Risoluzione dell'immagine	640x480	2048x1536
Zoom	5.4 mm	11.3 mm



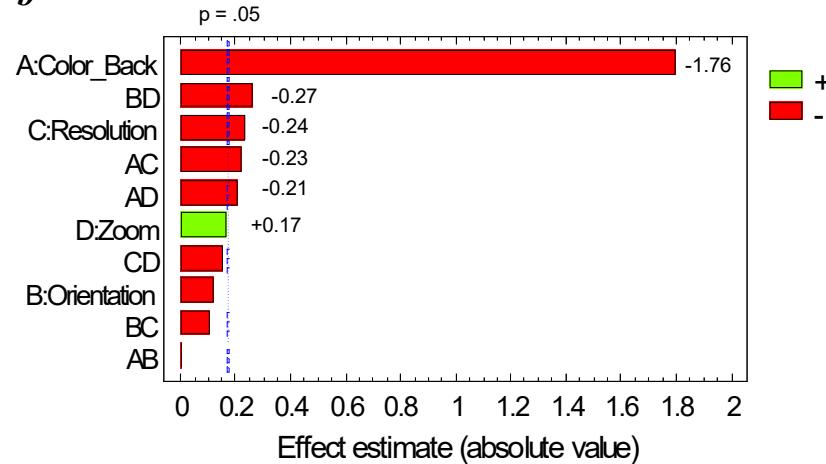
$L^*$



$a^*$



$b^*$

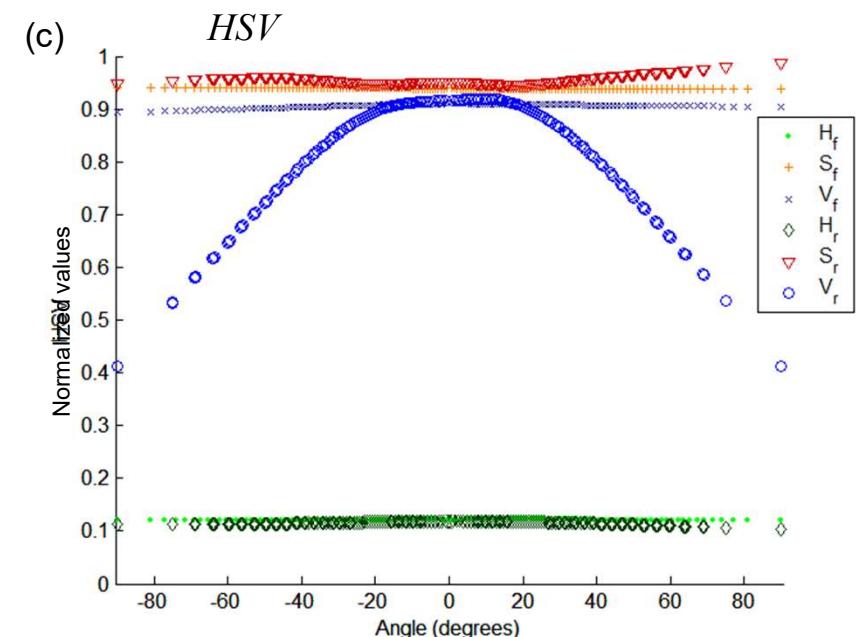
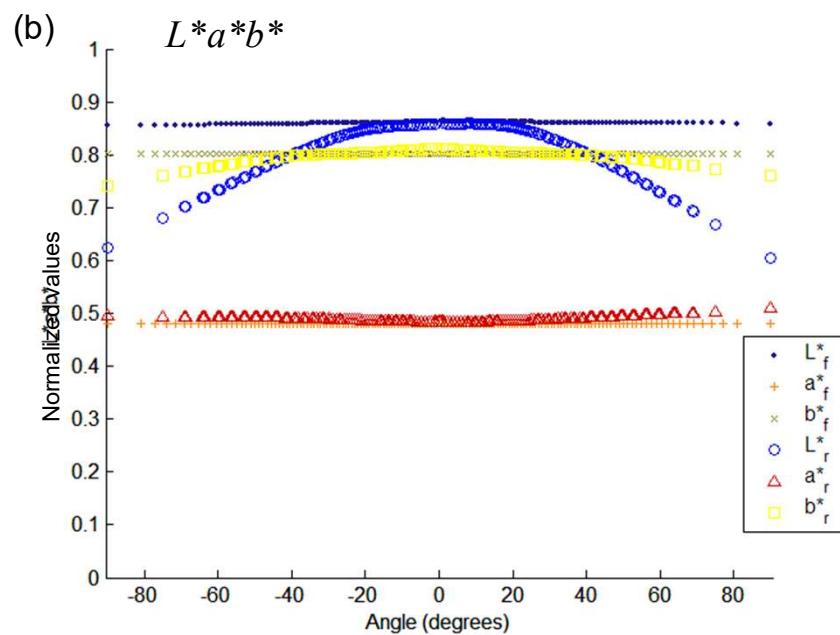
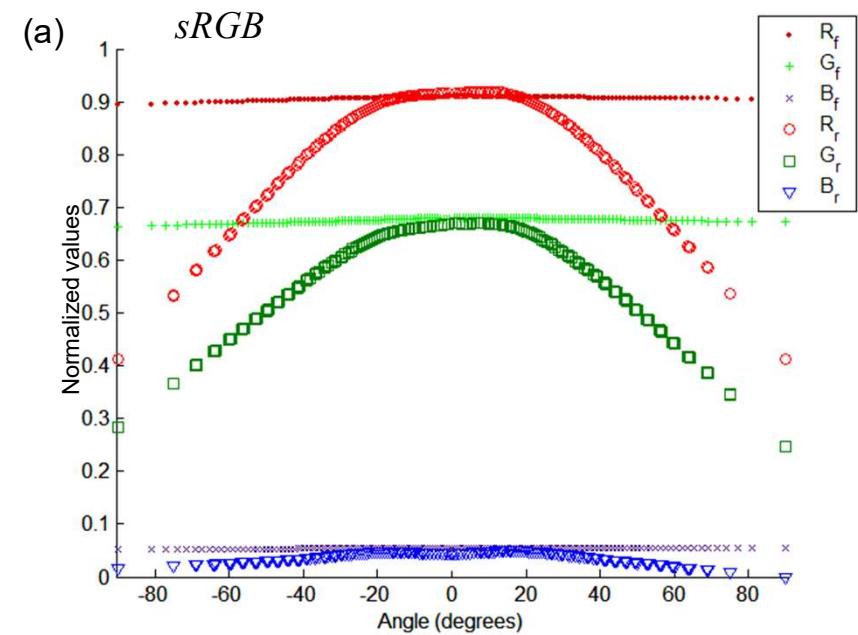
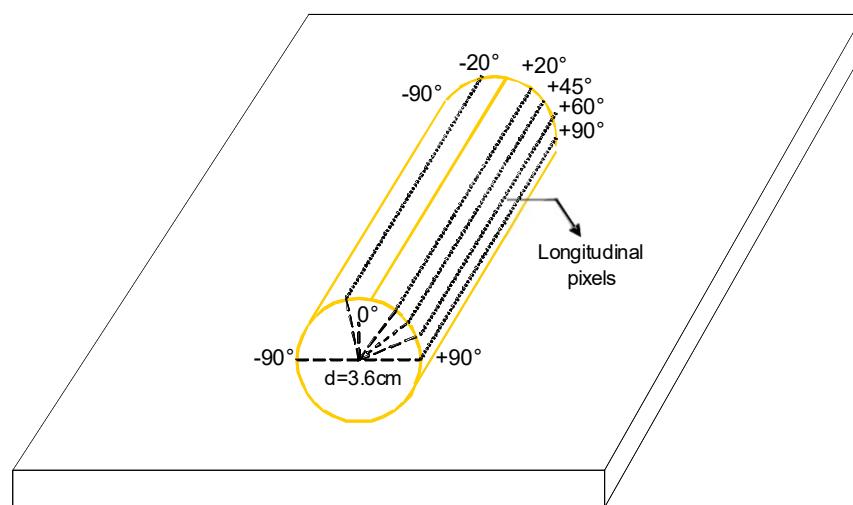


# Effetto della curvatura della superficie

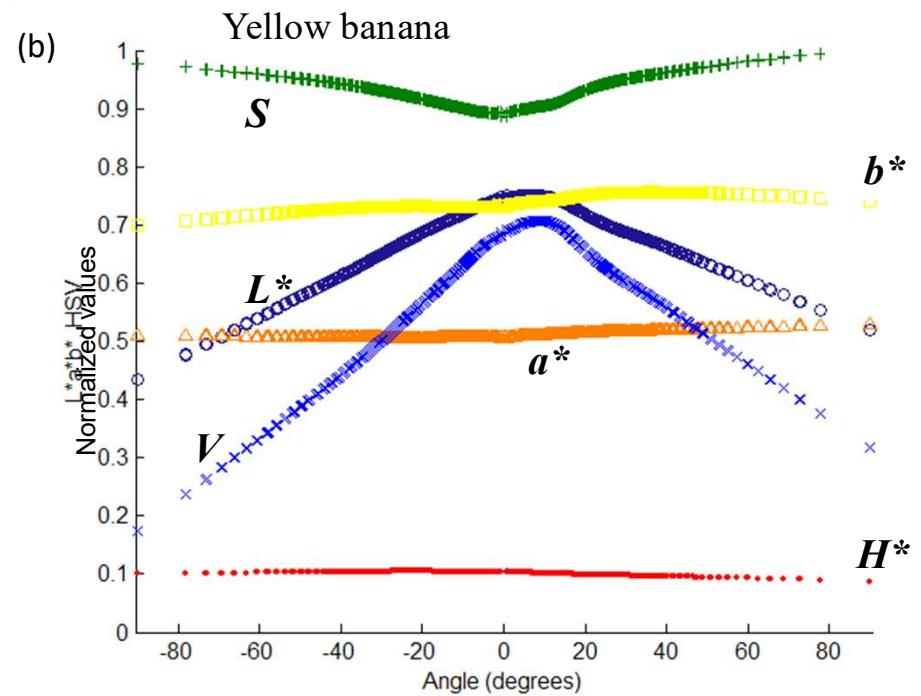
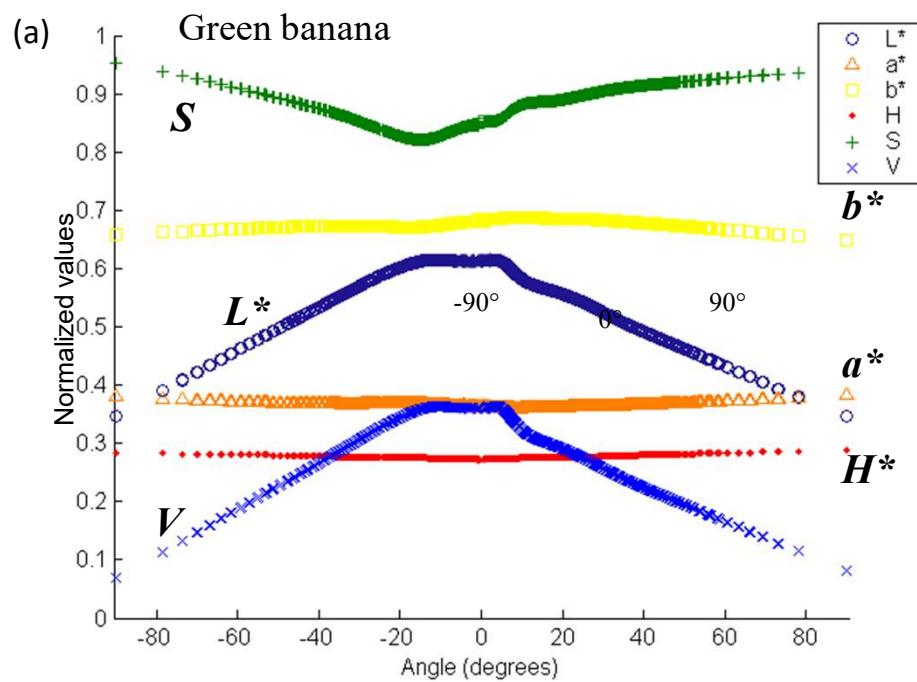
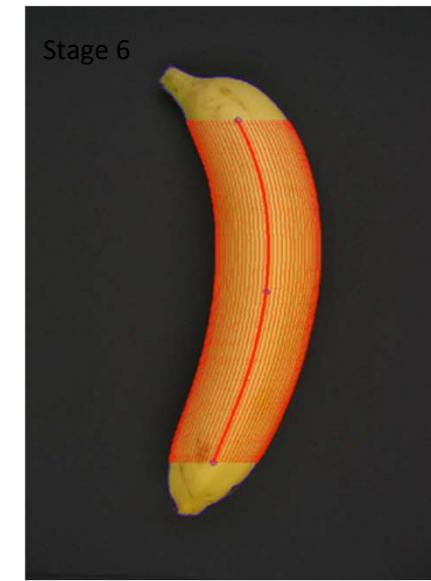
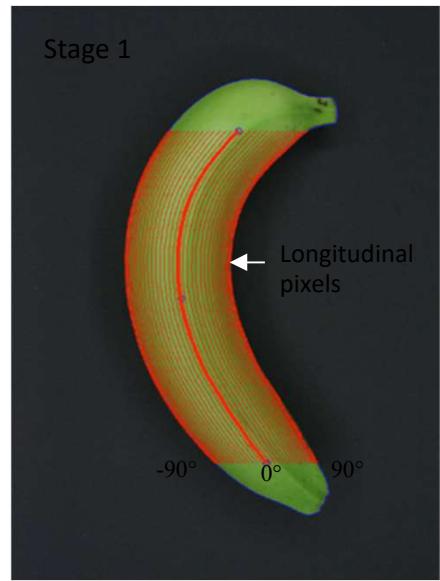


Color scales	Average values / St. Dev.	
	Flat surface	Curved surface
<b>sR</b>	<b>232.3 ± 3.8</b>	<b>206.8 ± 33.9</b>
<b>sG</b>	<b>176.1 ± 3.3</b>	<b>146.2 ± 26.8</b>
<b>sB</b>	<b>16.3 ± 1.6</b>	<b>10.7 ± 4.0</b>
<b>L*</b>	<b>86.6 ± 0.6</b>	<b>80.6 ± 6.6</b>
<b>a*</b>	<b>-5.4 ± 0.8</b>	<b>-5.3 ± 1.1</b>
<b>b*</b>	<b>71.2 ± 1.0</b>	<b>70.4 ± 3.8</b>
<b>H</b>	<b>0.12 ± 0.00</b>	<b>0.11 ± 0.01</b>
<b>S</b>	<b>0.93 ± 0.01</b>	<b>0.95 ± 0.01</b>
<b>V</b>	<b>0.91 ± 0.02</b>	<b>0.81 ± 0.13</b>

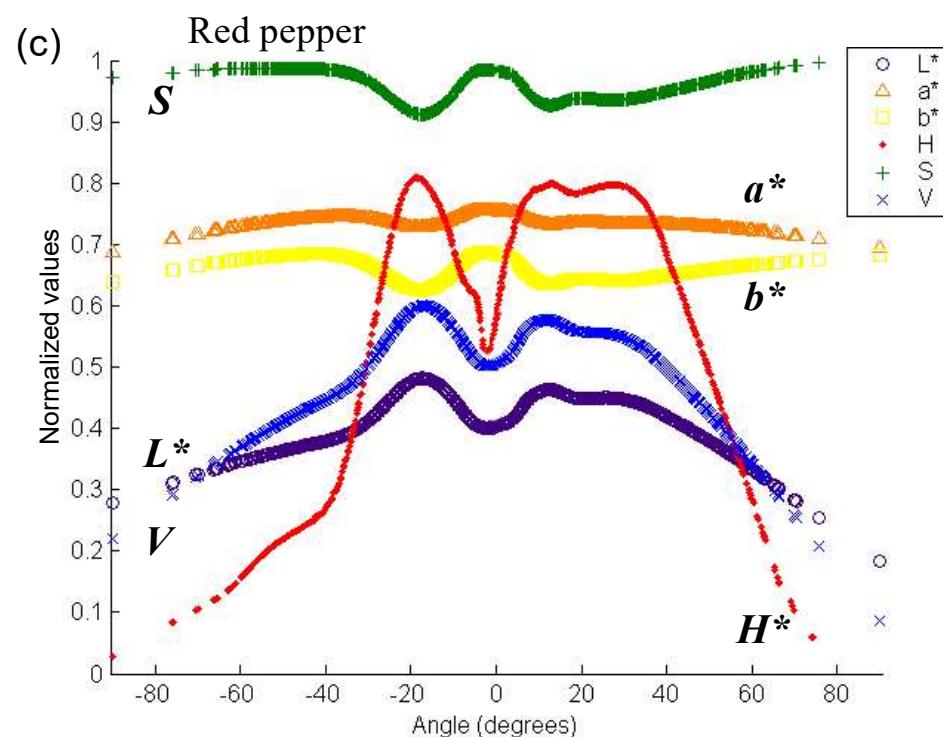
# Analisi del profilo di colore in funzione della curvatura della superficie



# Applicazione ad un prodotto reale



# Applicazione ad un prodotto reale

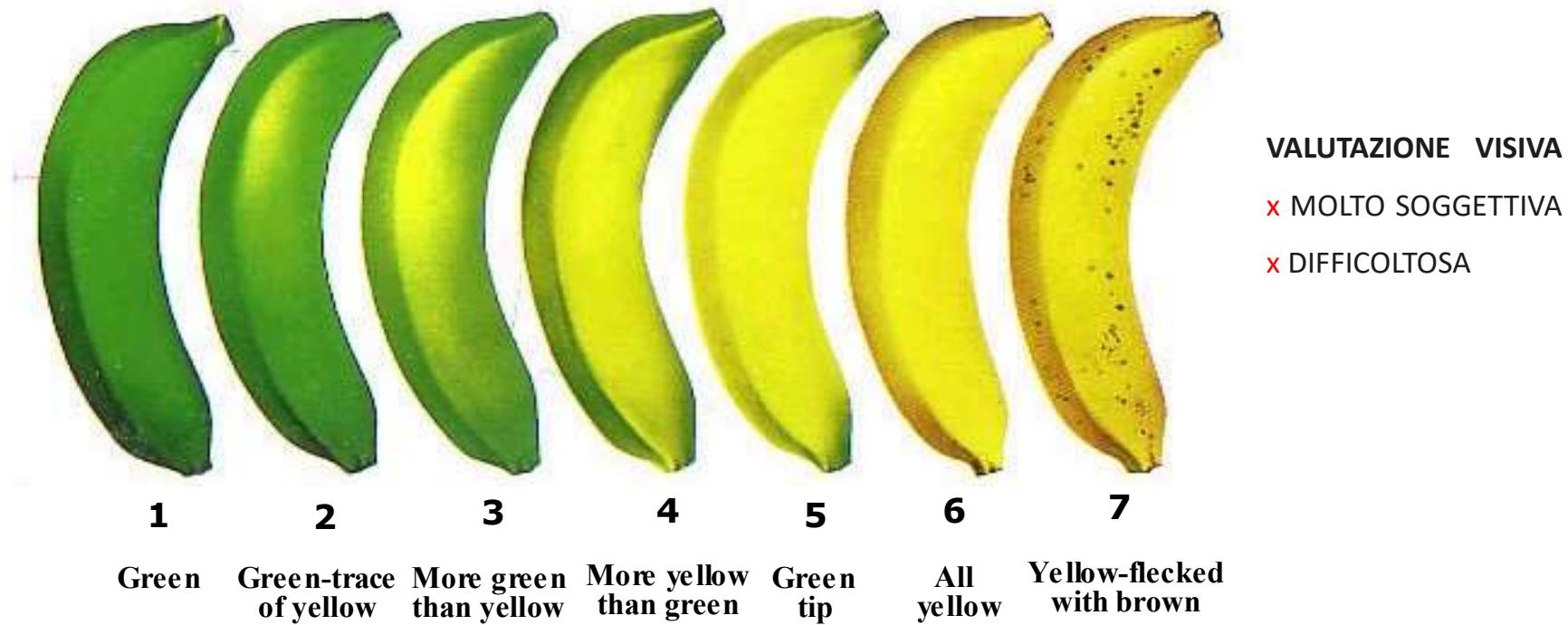


## Applicazione ad un sistema di cernita

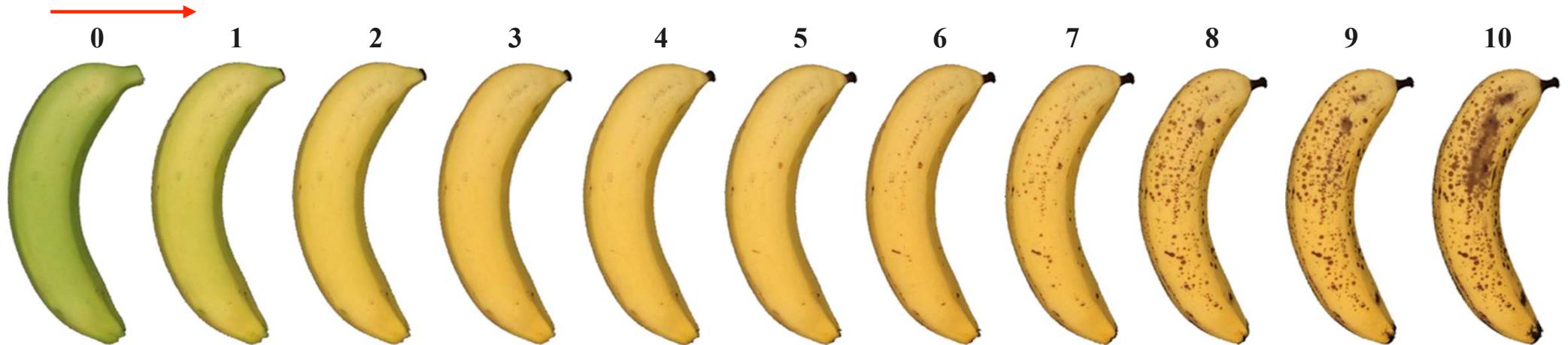
L'utilizzo del CVS ha reso possibile la discriminazione di 9 classi di maturazione di banane intere, in funzione del colore della buccia e della presenza di macchie brune, mostrando un'elevata correlazione con la cernita visiva operata da esperti del settore.

# VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI MATURAZIONE DI BANANE

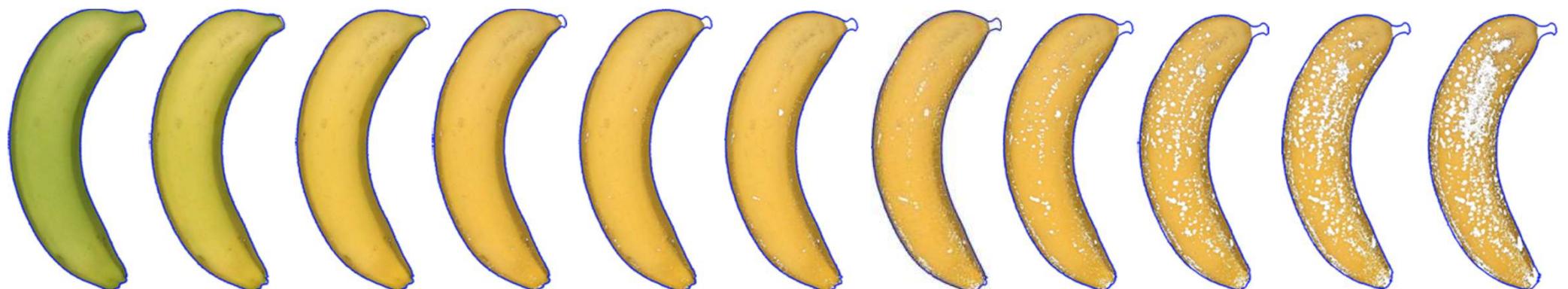
## SCHEDA PER LA VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI MATURAZIONE



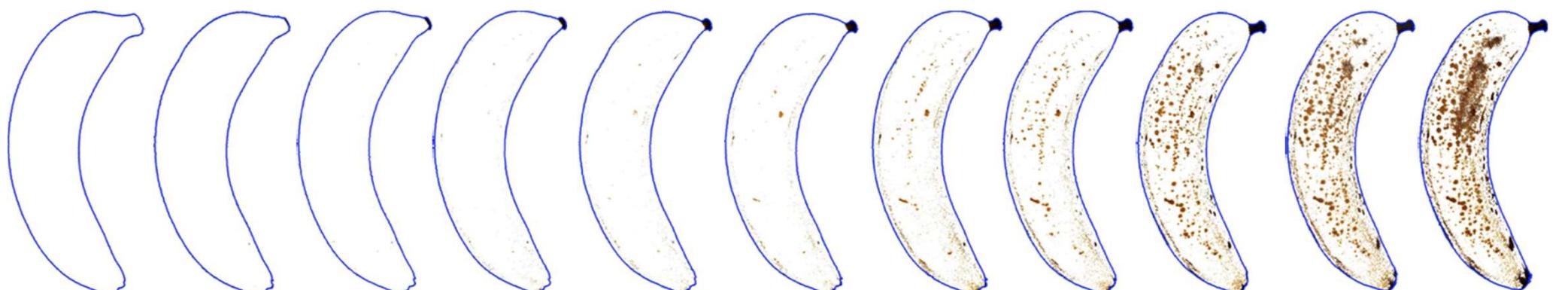
# Immagini di un medesimo frutto di banana acquisite durante la maturazione e segmentate



Segmented background free of spots



Segmented brown spots



## Modificazioni cromatiche e geometriche di un frutto durante la maturazione

Stage 1



Stage 2



Stage 3



Stage 4



Stage 5



Stage 6



Stage 7



$\mu L^*$

50.3 55.8 57.7

$\mu a^*$

-29.1 -24.2 -15.9

$\mu b^*$

41.3 45.3 48.1

$\sigma L^*$

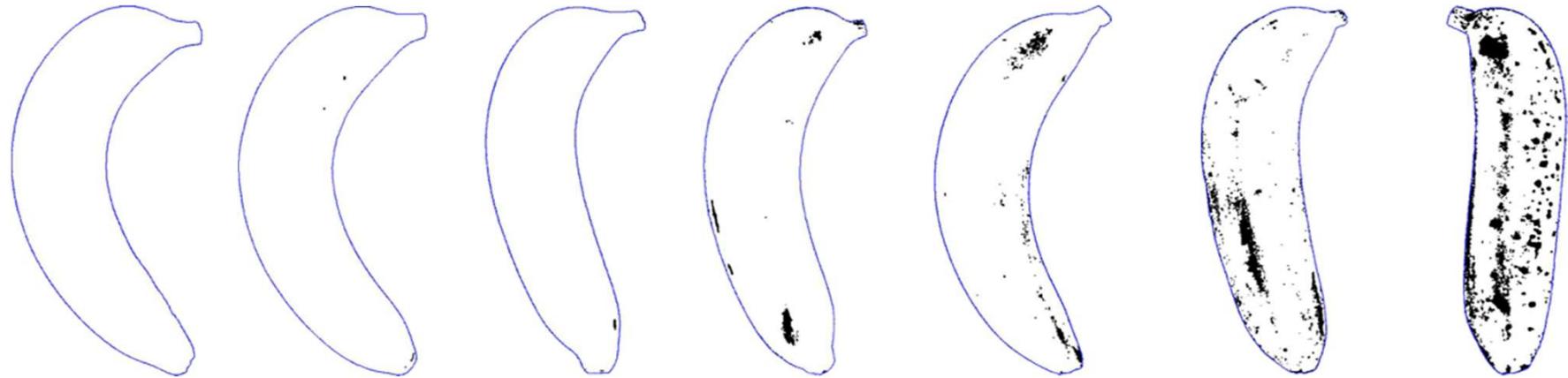
90.5 116.1 142.0

$\sigma a^*$

18.1 17.0 16.8

$\sigma b^*$

42.1 44.2 58.7



% BSA

0.1

0.2

0

2.5

2

3.8

4

13.3

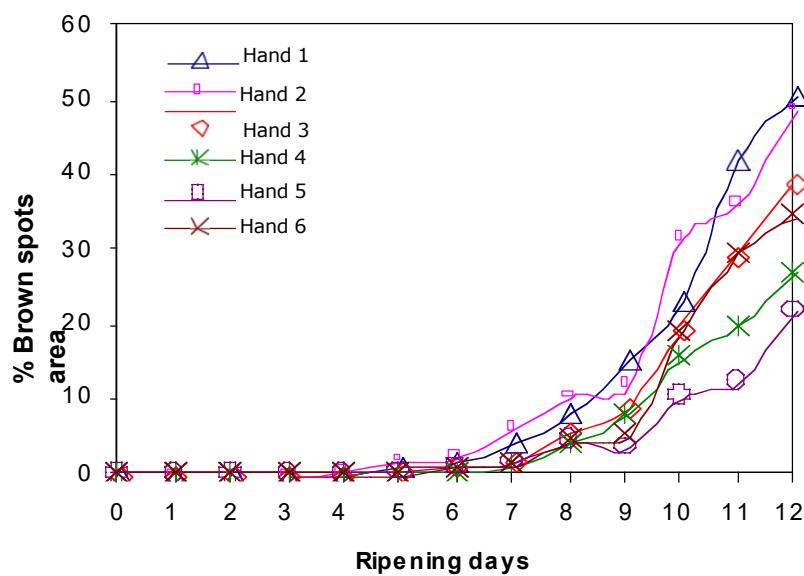
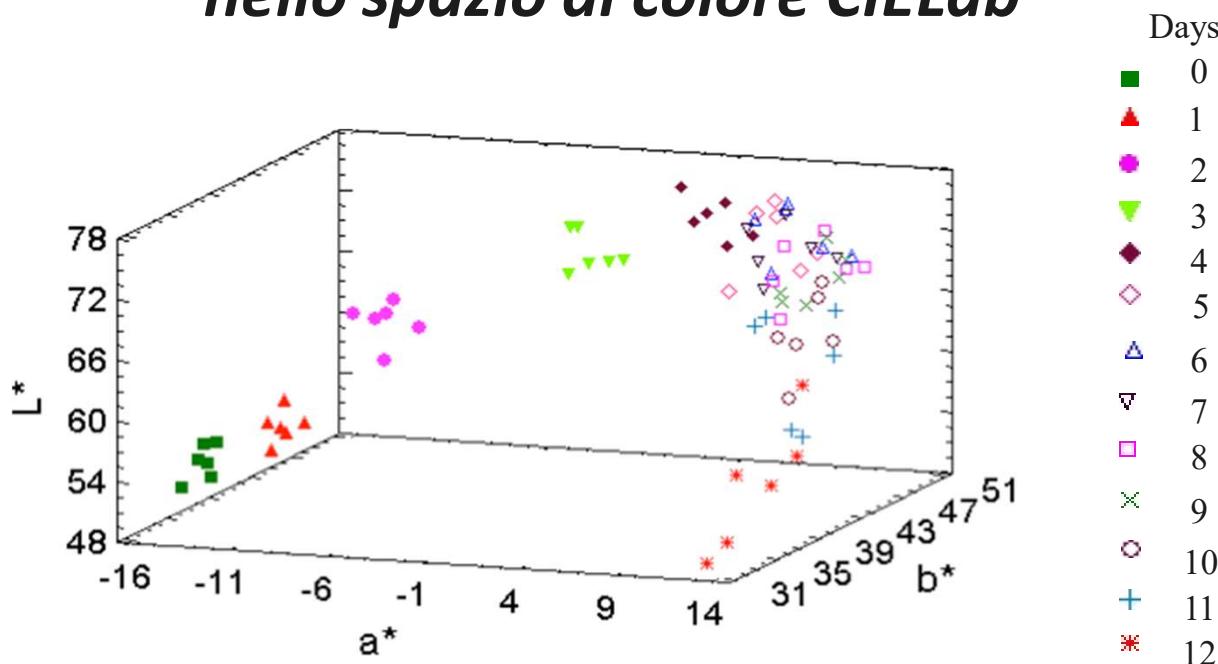
8

19.8

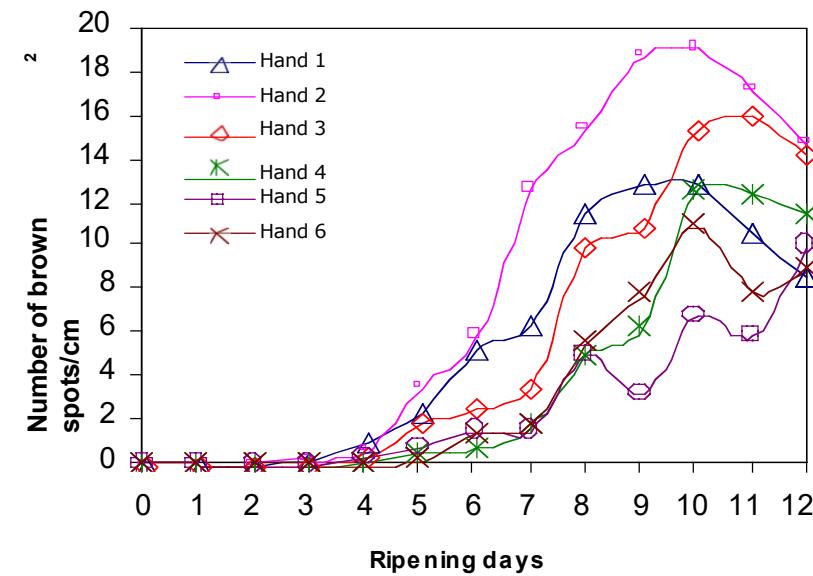
11

NBS/cm<sup>2</sup>

# *Classificazione di banane a diversi livelli di maturazione nello spazio di colore CIELab*



(a) Area imbrunita percentuale



(b) Numero di spot per  $\text{cm}^2$

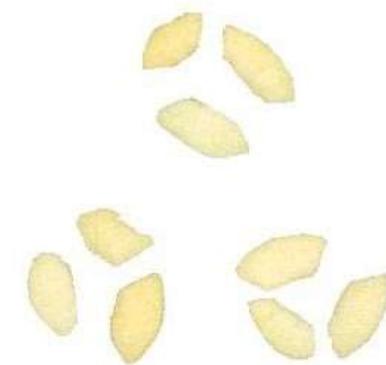
# Valutazione delle modificazioni cromatiche di frutta di IV gamma



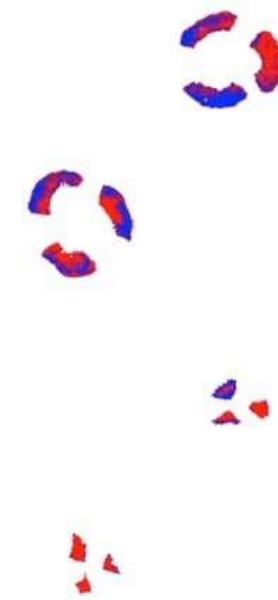
Digitalizzazione



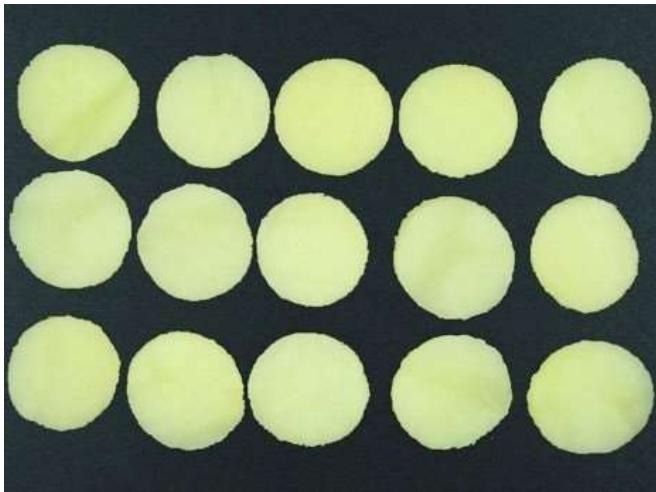
Segmentazione



Valutazione delle  
aree imbrunite (%)



# Effetto di differenti interventi anti-imbrunimento su patate in fette valutato tramite CVS

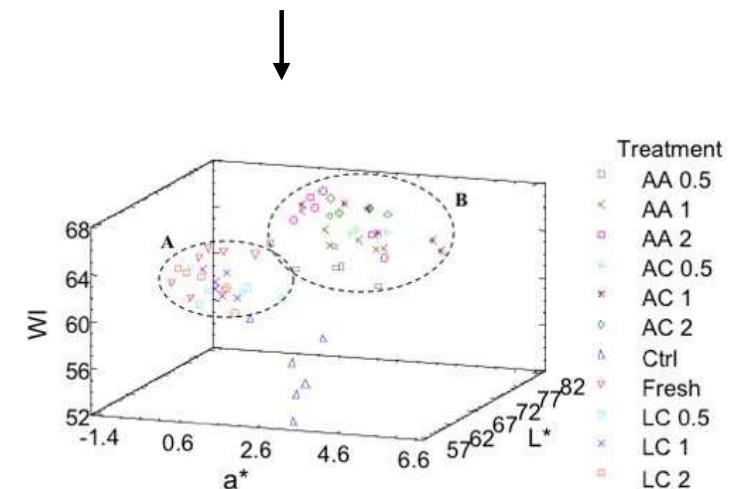


Digitalizzazione con fotocam

```
while (ok)
k = 1;
while(k<9)
if (E(i1+di(k),j1+dj(k))==1)
i1 = i1+di(k);
j1 = j1+dj(k);
E(i1,j1) = 0;
i = [i;i1];
j = [j;j1];
k = 10;
else
k = k + 1;
end
end
if (k==9)
ok = 0;
end
end
i = [i;i0]; j = [j;j0];
%Nb = length(i)-1;
```

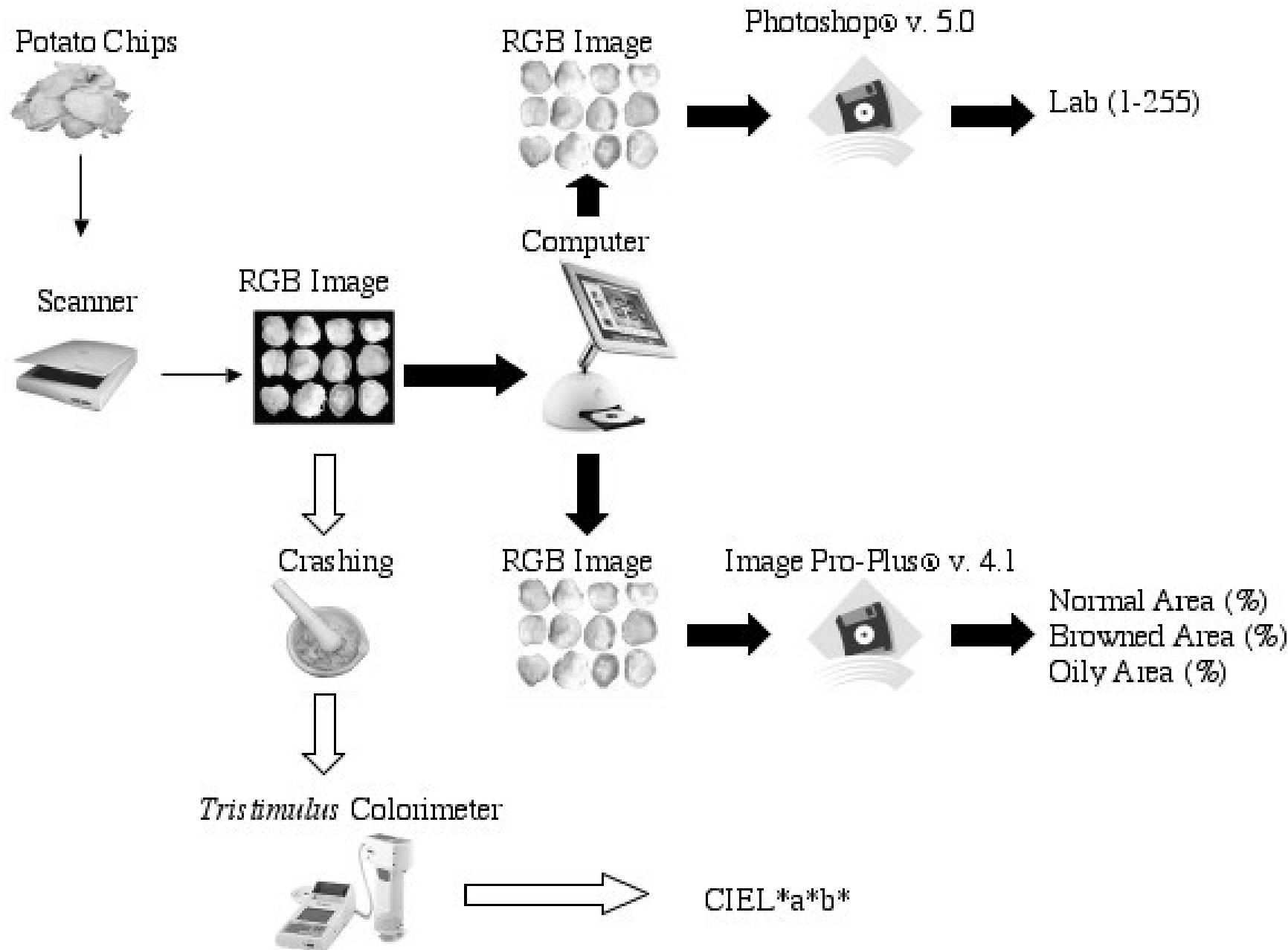


Segmentazione



Valutazione del colore  
(CIELab, ®Photoshop )

# Procedura per valutazione del colore e qualità visiva di chips di patata



# Fine corso