

# Riconoscimento dell'iride

Annalisa Franco  
annalisa.franco@unibo.it

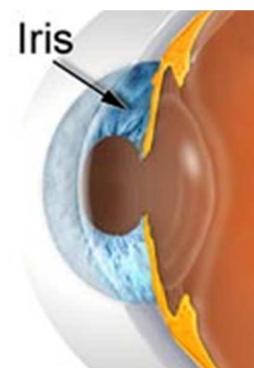
Dario Maio  
dario.maio@unibo.it

2

## L'iride (1)

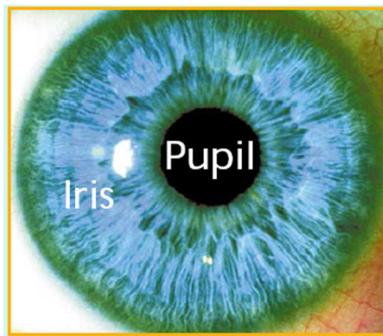
- **L'iride** è una membrana muscolare dell'occhio, di colore variabile, a forma e con funzione di diaframma, pigmentata, situata posteriormente alla cornea e davanti al cristallino, perforata dalla pupilla.
- È costituita da uno strato piatto di fibre muscolari circolari che circondano la pupilla, da un sottile strato di fibre muscolari lisce per mezzo delle quali la pupilla viene dilatata (regolando quindi la quantità di luce che entra nell'occhio) e posteriormente da due strati di cellule epiteliali pigmentate.

([http://it.wikipedia.org/wiki/Iride\\_\(anatomia\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Iride_(anatomia)))

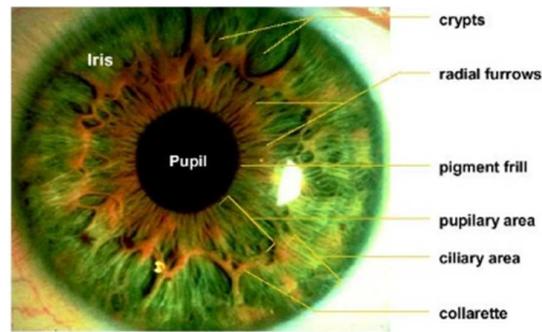


Il colore, la tessitura e i pattern dell'iride hanno un elevato grado di individualità paragonabile con quello delle impronte digitali

## L'iride (2)



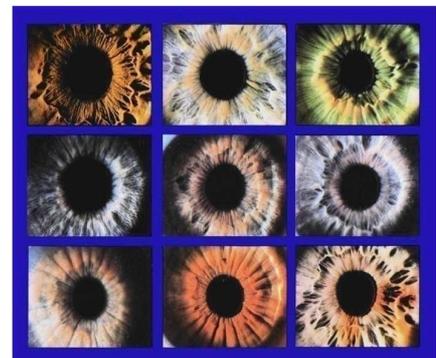
© IEEE Computer 2000



- L'iride è la regione circolare dell'occhio tra la pupilla e la sclera (parte bianca dell'occhio); la sua dimensione è di circa 11 mm.
- La tessitura dell'iride si definisce nel corso dei primi due anni di vita ed è caratterizzata da informazioni molto discriminanti, utili ai fini dell'identificazione.
- Ogni iride è unica; anche gemelli identici hanno iridi diverse.

## Vantaggi del riconoscimento dell'iride

- L'iride è una caratteristica **stabile** per tutta la vita di una persona. Inoltre, trattandosi di un organo interno, è molto protetta e difficilmente può essere danneggiata.
- La procedura di **acquisizione non è in genere invasiva** (tuttavia, alcuni dispositivi richiedono collaborazione da parte del soggetto).
- Permette la creazione di **template di piccole dimensioni**.
- Il pattern dell'iride è caratterizzato da una notevole **casualità**.
- Codifica dell'immagine e confronto sono molto veloci.



## L'iride sotto luci diverse

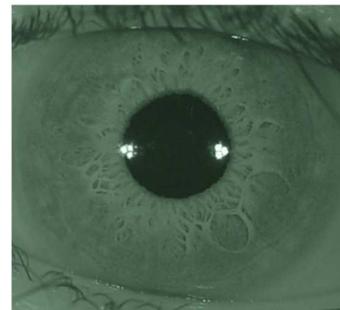
- **Luce visibile**

- La melanina assorbe la luce visibile.
- Gli strati che compongono l'iride sono visibili;
- L'immagine contiene poche informazioni sulla tessitura.



- **Luce infrarossa**

- La melanina riflette la maggior parte della luce infrarossa;
- La tessitura è più visibile;
- Più adatta in sistemi biometrici basati sul riconoscimento dell'iride.



## Dispositivi di acquisizione

- Sono disponibili diversi tipi di dispositivi:

- Montati a muro
- Portatili

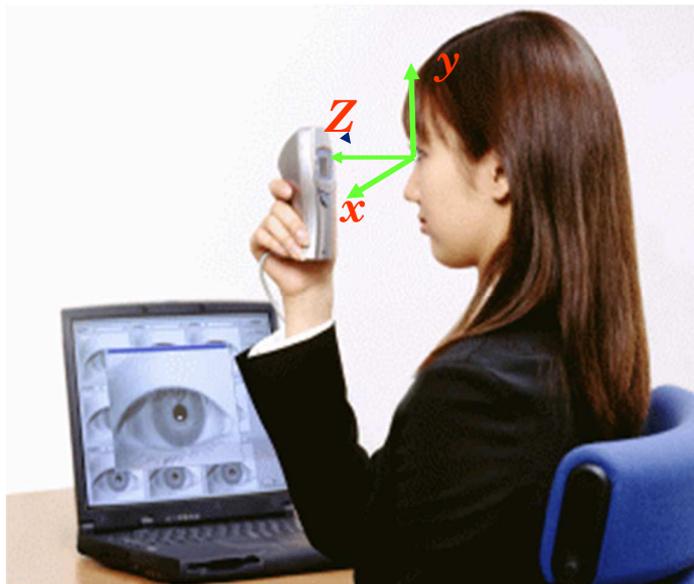


<http://www.panasonic.com/business/visionssystem/biometrics.asp>

[http://www.oki.com/jp/FSC/iris/en/irisgt\\_h.html](http://www.oki.com/jp/FSC/iris/en/irisgt_h.html)

<http://www.lgiris.com/products/index.html>

## Problematiche d'acquisizione



- Piccola dimensione (11mm)
- Elevata risoluzione (200 pixels)
- Limitata profondità di campo
- Asse ottico
- Sguardo fisso
- Illuminazione infrarossi
- Riflessioni speculari
- Presenza di occhiali

## Applicazioni reali (1)

- Il riconoscimento dell'iride è applicato su larga scala negli Emirati Arabi Uniti;
- Ogni giorno si effettuano più di 3.8 miliardi di confronti; il tempo medio di matching è solo una frazione di secondo.



## Applicazioni reali (2)

- All'aeroporto di Schiphol, le persone che viaggiano frequentemente sono identificate usando l'iride e possono entrare in Olanda senza mostrare il passaporto.
- All'aeroporto di Francoforte, per evitare lunghe file, è possibile usare un sistema di riconoscimento automatico del passaporto basato su iride.
- A Tokyo i residenti di un condominio accedono al palazzo usando l'iride; se la persona è riconosciuta un ascensore la porta direttamente al piano del suo appartamento.
- L'alto commissariato delle Nazioni Unite distribuisce le sovvenzioni ai profughi afgani che rientrano in patria usando l'iride per il riconoscimento. Più di 350.000 persone sono state riconosciute in questo modo.



## Applicazioni reali (3)



Access control



Airport



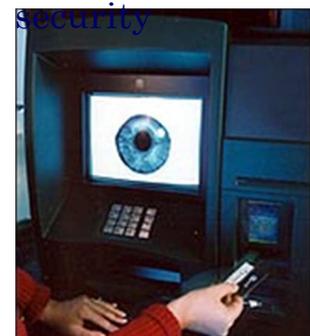
Homeland  
security



Welfare  
distribution



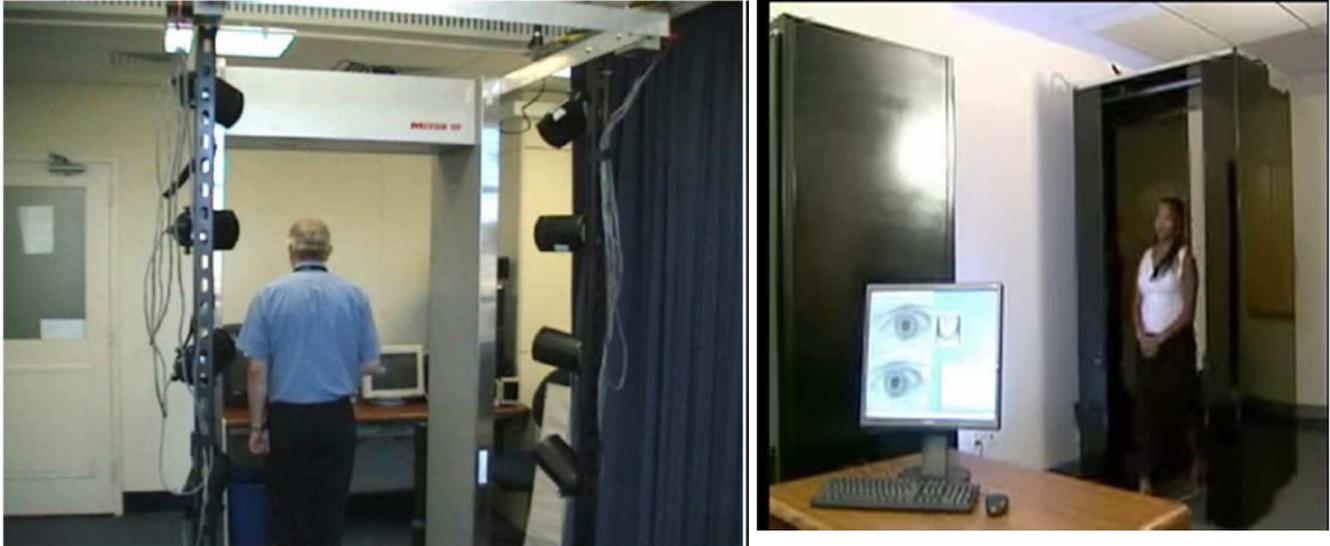
Missing child  
identification



ATM

## Applicazioni reali (4)

### Iris on move



## Tecniche per migliorare l'acquisizione

- CCD con elevata risoluzione
- Sistema ottico ben progettato per migliorare la profondità di campo (DOF : Depth of Field)
- Specchio per consentire all'utente di posizionare l'occhio otticamente in asse
- Sistema di auto-focus adattativo in base alla distanza tra occhio e camera
- Uso di sensore di distanza o stima della distanza sulla base del contenuto dell'immagine catturata
- Feedback visuale o audio per l'utente
- Dual-eye iris camera
- Ottica pan/tilt per gestire altezze e pose differenti
- Rilevamento e inseguimento del volto per guidare l'acquisizione dell'iride

# Futuro dell'iride

## Biometric Technology Today

March 2004

### Iris recognition set for sustained growth

The market for iris recognition technology looks set for period of sustained growth according to predictions from some of the industry's leading market forecasters.

Frost & Sullivan and the International Biometric Group (IBG) have both made buoyant predictions in recently released

reports. Frost & Sullivan believes that global revenues for the technology could reach just over half a billion dollars by 2009 (see Figure 1). Meanwhile IBG predicts revenues to hit US\$366 million by 2008 (see Figure 2).

Year	Market Revenues (US\$ million)
2002	23
2006	263
2009	519

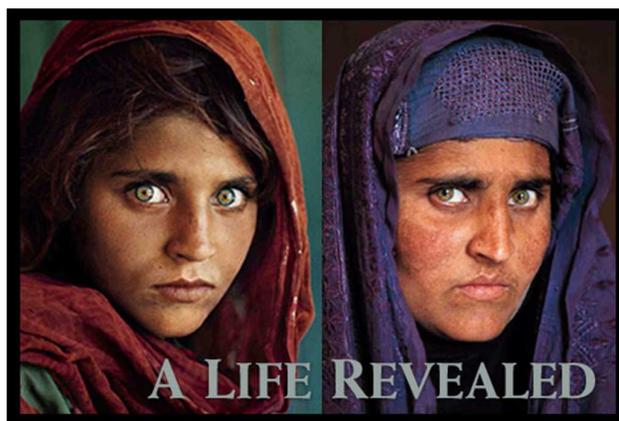
Figure 1. Iris Recognition Market Revenue Forecasts (World), 2002-2009  
Source: Frost & Sullivan

Year	Market Revenues (US\$ million)
2003	36
2004	72
2005	112
2006	190
2007	283
2008	366

Figure 2. Global Iris Recognition Revenues, 2003-2008  
Source: IBG

## Sharbat Gula

- È una donna afghana resa famosa in tutto il mondo da una fotografia scattata dal fotografo americano **Steve McCurry** durante il conflitto sovietico-afghano. Sharbat Gula in quel tempo si trovava in un campo rifugiati in Afghanistan. Aveva 13 anni e la sua immagine apparse sulla copertina del National Geographic nel giugno del 1985.

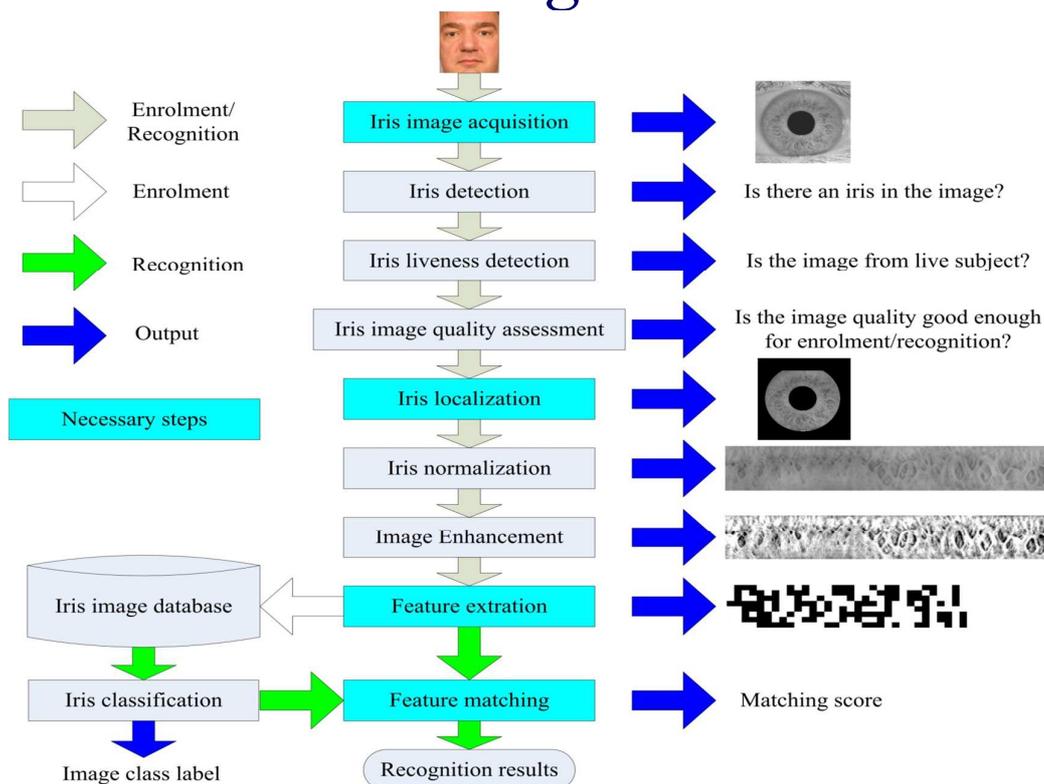


- Nel 2002, Steve McCurry e un team di National Geographic, sono tornati a cercare la ragazza nel campo profughi di Nasir Bagh in Pakistan, dove era stata originariamente scattata la foto. Tramite una serie di contatti, una donna è stata identificata come Sharbat Gula, ma per avere la certezza dell'identità di Sharbat, il National Geographic si è avvalso del riconoscimento dell'iride.

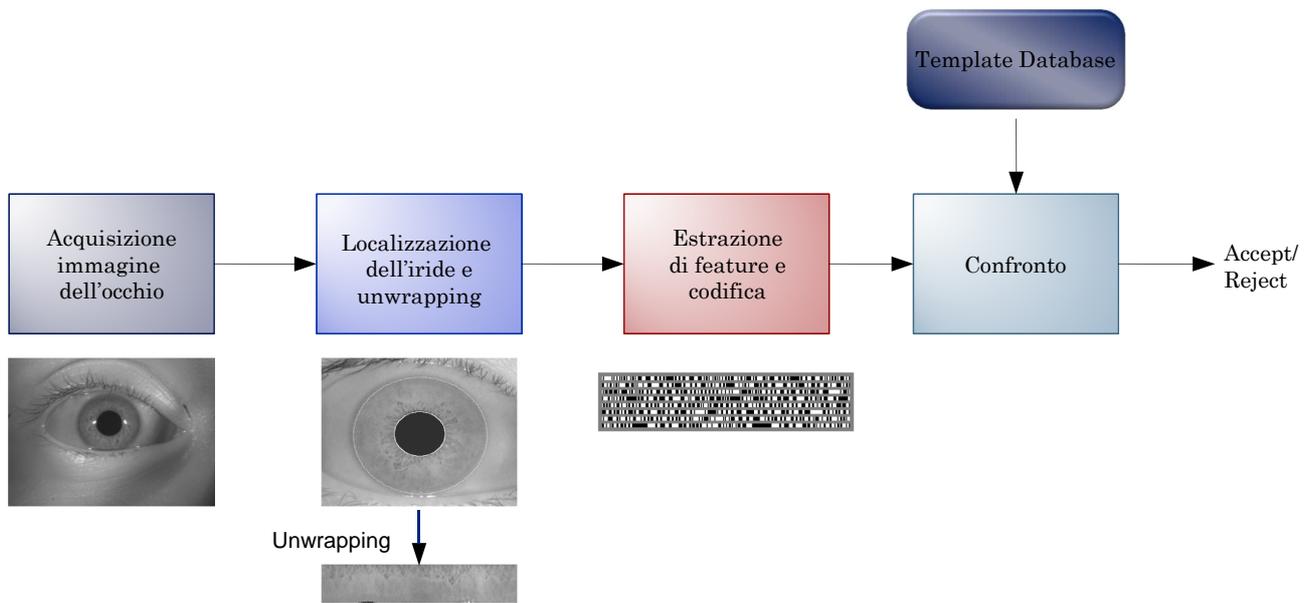
# Principali approcci al riconoscimento

- Gabor demodulation
  - Daugman (PAMI 1993)
- Wavelet features
  - Lim, Lee, Byeon, Kim (ETRIJ 2001)
- Independent Component Analysis
  - Bae, Noh, Kim (AVBPA 2003)
- Key local variations
  - Ma, Tan, Wang, Zhang (IEEE TIP 2004)

## Schema generale



# Il metodo di Daugman



- [1] J. Daugman, "Statistical Richness of Visual Phase Information: Update on Recognizing Persons by Iris Patterns", *International Journal of Computer Vision*, vol. 45, no. 1, pp. 25-38, 2001.
- [2] J. Daugman, "Biometric Personal Identification System Based On Iris Analysis", US Patent 5291560, 1994.
- [3] J. Daugman, "High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 15, no. 11, pp. 1148-1161, 1993.

## Localizzazione dell'iride

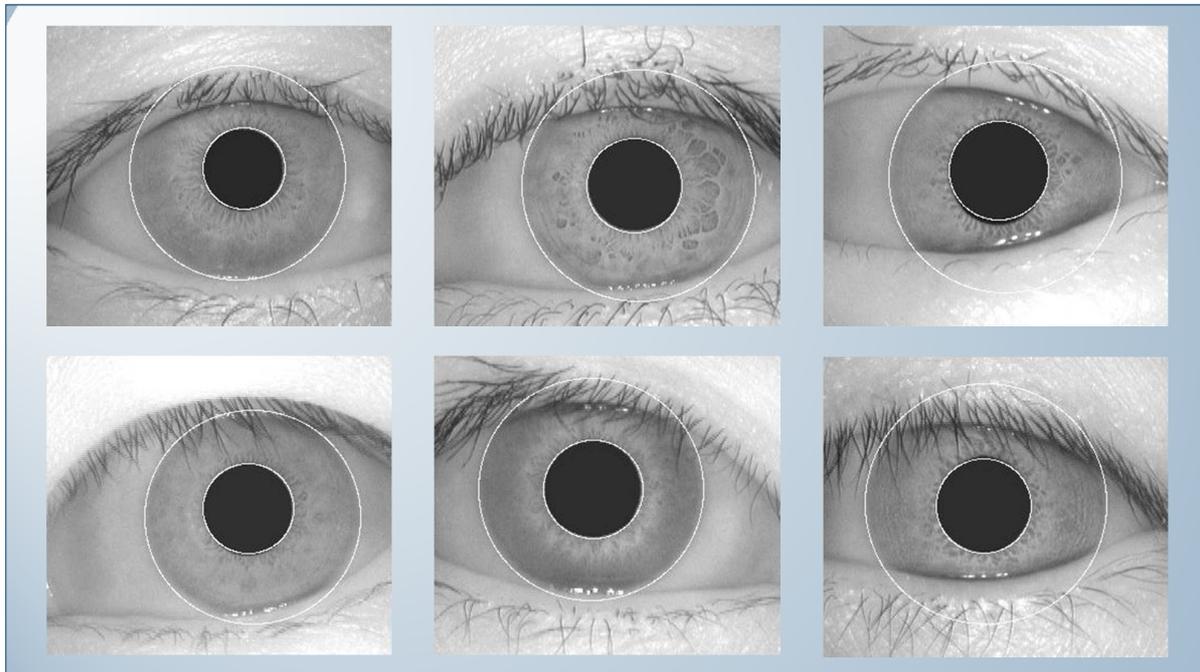
- L'iride è localizzata usando il seguente operatore:

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|$$

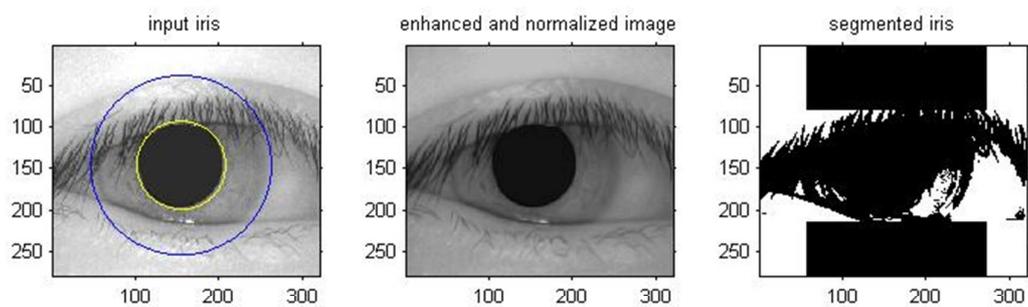
dove  $I(x, y)$  è l'immagine dell'occhio,  $G_\sigma(r) = (1/\sqrt{2\pi}\sigma) \exp[-(r - r_0)^2 / 2\sigma^2]$  è una **funzione di smoothing gaussiana** con centro  $r_0$  e deviazione standard  $\sigma$ , il simbolo  $*$  indica la convoluzione,  $ds$  è un elemento di arco circolare e la divisione per  $2\pi r$  serve per normalizzare l'integrale.

- L'operatore cerca un **percorso circolare** in cui sia massimizzata la **variazione del valore dei pixel**, variando il raggio  $r$  e il centro  $(x_0, y_0)$  del contorno circolare.
- L'operatore è essenzialmente un **edge detector circolare** che presenta un picco quando un cerchio candidato ha lo stesso centro e raggio dell'iride. L'operatore è usato sia per trovare il contorno della pupilla sia per rilevare il bordo esterno dell'iride.

## Risultato della localizzazione (1)



## Risultato della localizzazione (2)

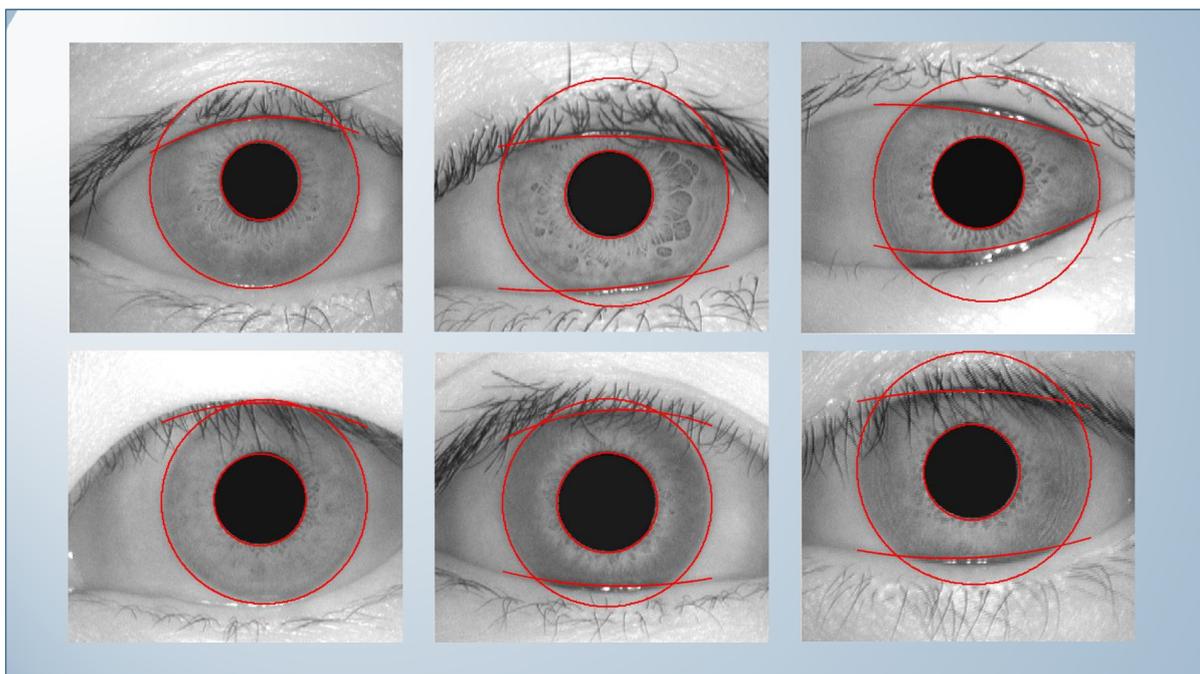


Un esempio da un prototipo in Matlab

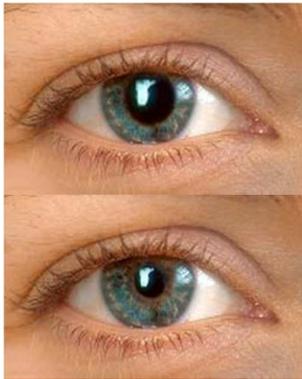
## Localizzazione delle palpebre

- Per la localizzazione della linea superiore e inferiore delle palpebre viene adottato un procedimento simile a quello usato per l'iride.
- Il percorso di integrazione usato nella definizione dell'operatore è in questo caso **ad arco** e non circolare, e può essere descritto da una **spline** i cui parametri vengono stimati usando comuni approcci statistici.

## Risultato della localizzazione (3)



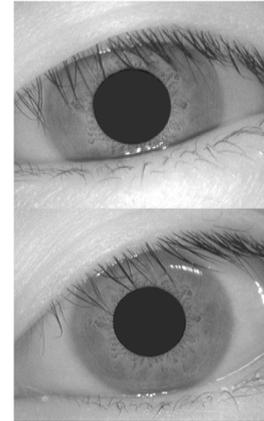
## Variabilità intra-classe



Dilatazione della pupilla  
(cambiamenti di luce)



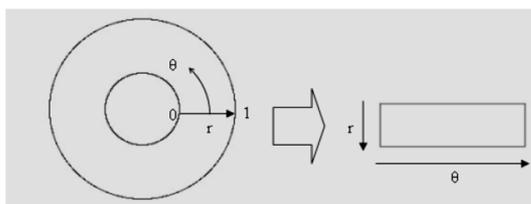
Dimensione dell'iride variabile  
(distanza dal dispositivo  
di acquisizione)



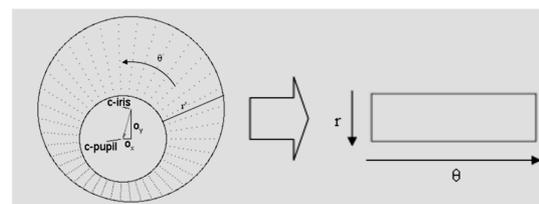
Rotazione dell'occhio  
(movimento della testa)

- A causa dell'elevata variabilità dell'immagine dell'iride, è necessario un modello per la sua rappresentazione che sia robusto rispetto a:
  - risoluzione dell'immagine;
  - dimensione della pupilla;
  - posizione dell'iride nell'immagine;
  - orientazione dell'iride.

## Rappresentazione dell'iride (1)



I centri dell'iride e della pupilla coincidono



I centri dell'iride e della pupilla non coincidono

- Il modello mappa ogni punto dell'iride in un punto di **coordinate polari**  $(r, \theta)$ , dove  $r \in [0, 1]$  e  $\theta \in [0, 2\pi]$ .
- Il modello compensa la dilatazione della pupilla e la variabilità nella dimensione producendo una rappresentazione invariante rispetto a dimensione e traslazione nel sistema di coordinate polari.
- Il modello non gestisce la rotazione che è invece considerata in fase di matching traslando il template dell'iride nella direzione  $\theta$  fino a ottenere l'allineamento delle due iridi da confrontare.

## Rappresentazione dell'iride (2)

- La trasformazione delle coordinate cartesiane  $(x,y)$  in coordinate polari  $(r,\theta)$  avviene come segue:

$$I(x(r,\theta), y(r,\theta)) \rightarrow I(r,\theta)$$

$$x(r,\theta) = (1-r) \cdot x_p(\theta) + r \cdot x_s(\theta)$$

$$y(r,\theta) = (1-r) \cdot y_p(\theta) + r \cdot y_s(\theta)$$

ovvero  $(x(r,\theta), y(r,\theta))$  sono definite come combinazione lineare di un insieme di punti  $(x_p(\theta), y_p(\theta))$  e di un insieme di punti  $(x_l(\theta), y_l(\theta))$ , rispettivamente le coordinate del **contorno della pupilla** e le coordinate del **contorno esterno dell'iride che delimita la sclera**. Poiché la coordinata radiale varia dal contorno interno dell'iride a quello esterno in un intervallo unitario, ciò comporta di fatto una correzione intrinseca della deformazione elastica dell'iride per dilatazioni/contrazioni della pupilla.

## Estrazione delle feature (1)

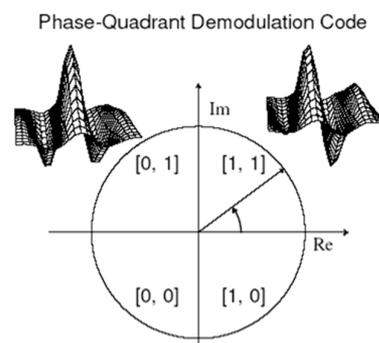
- Le feature si estraggono applicando i **filtri di Gabor** all'immagine  $I(\rho,\theta)$  nel sistema di coordinate polari.

$$G(r,\theta) = e^{-i\omega(\theta-\theta_0)} e^{-(r-r_0)^2/\alpha^2} e^{-i(\theta-\theta_0)^2/\beta^2}$$

$(r,\theta)$  indica la posizione,  $\alpha$  e  $\beta$  rappresentano le dimensioni del filtro, e  $\omega$  la sua frequenza.

$$h_{\{Re,Im\}} = \underset{\{Re,Im\}}{\text{sgn}} \iint I(\rho,\phi) e^{-i\omega(\theta_0-\phi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-(\theta_0-\phi)^2/\beta^2} \rho \, d\rho \, d\phi$$

$h_{\{Re,Im\}}$  è un bit a valori complessi in cui la parte reale e quella immaginaria assumono valore 0 o 1 a seconda del segno (sgn) dell'integrale 2D.



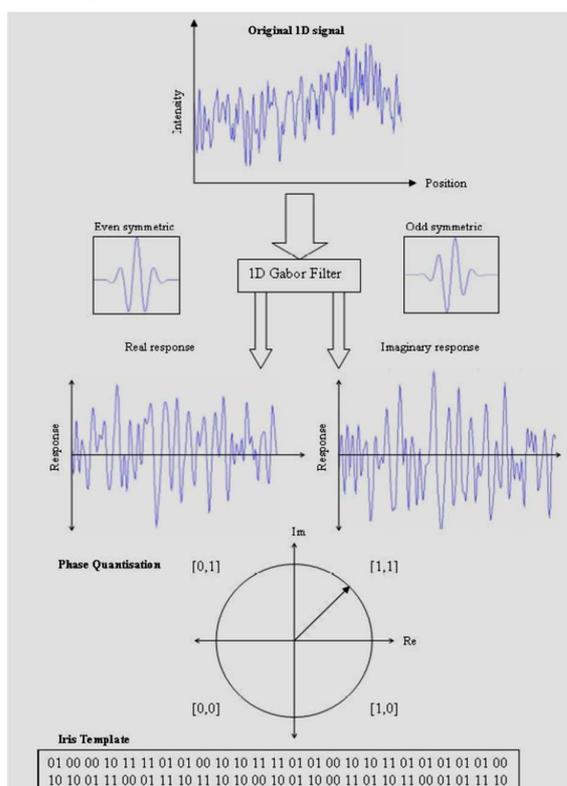
## Estrazione delle feature (2)

- Per ogni elemento di coordinate  $(r_0, \theta_0)$  è calcolata una coppia di bit  $(h_{Re}, h_{Im})$  come segue:

$$\begin{aligned}
 h_{Re} &= 1 \text{ se } \operatorname{Re} \left\{ \iint_{\rho\phi} I(\rho, \phi) e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} e^{-(r_0 - \rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} \rho \, d\rho \, d\phi \right\} \geq 0 \\
 h_{Re} &= 0 \text{ se } \operatorname{Re} \left\{ \iint_{\rho\phi} I(\rho, \phi) e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} e^{-(r_0 - \rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} \rho \, d\rho \, d\phi \right\} < 0 \\
 h_{Im} &= 1 \text{ se } \operatorname{Im} \left\{ \iint_{\rho\phi} I(\rho, \phi) e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} e^{-(r_0 - \rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} \rho \, d\rho \, d\phi \right\} \geq 0 \\
 h_{Im} &= 0 \text{ se } \operatorname{Im} \left\{ \iint_{\rho\phi} I(\rho, \phi) e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} e^{-(r_0 - \rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} \rho \, d\rho \, d\phi \right\} < 0
 \end{aligned}$$

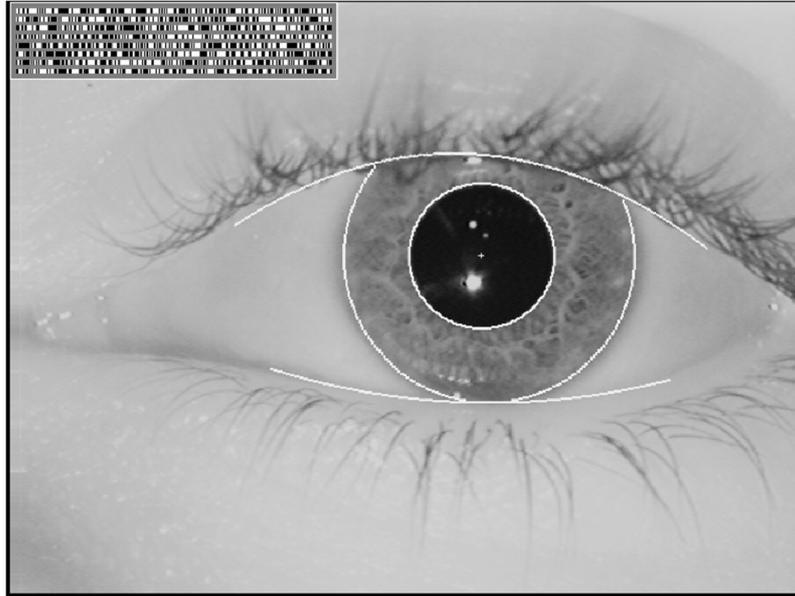
- Nell'implementazione originale i valori dei parametri  $r_0, \theta_0, \alpha, \beta$  e  $\omega$  sono **discretizzati** in modo da ottenere un codice di 256 byte.
- In implementazioni successive sono stati aggiunti altrettanti byte di mascheratura che identificano le aree "valide" dell'iride.

## Il processo di codifica



Dall'intera immagine dell'iride vengono estratti un totale di 2048 bit, ovvero **256 byte** di informazione

## Esempio di Iris code



## Iris code matching (1)

- Il confronto tra due iris code si basa sulla **distanza di Hamming** tra i due codici di 256 byte.
- La distanza di Hamming tra due iris code è:

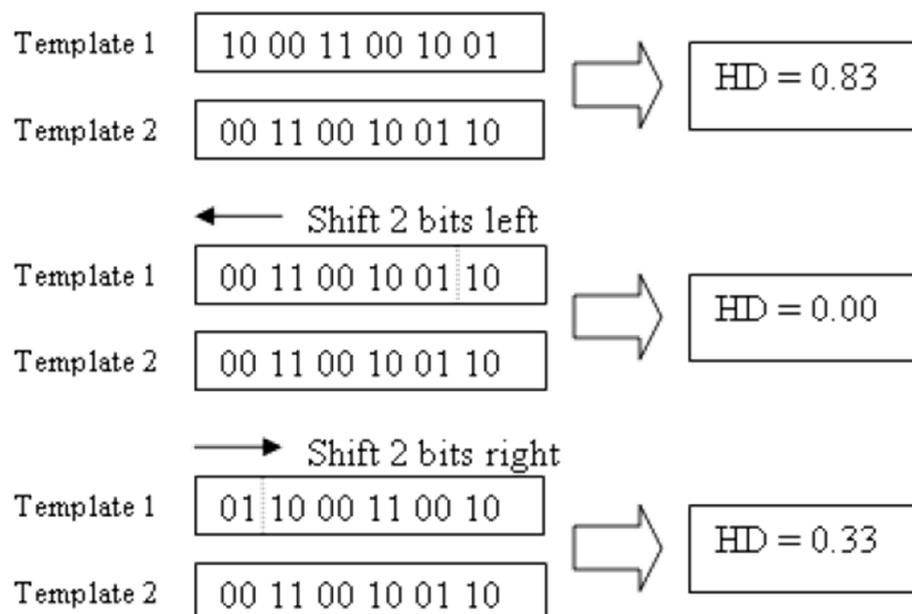
$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_j \otimes B_j$$

dove  $N=2048$  ( $256 \times 8$ ) se non ci sono occlusioni dell'iride. In caso contrario nel calcolo si considerano solo le regioni valide dell'iride.

## Iris code matching (2)

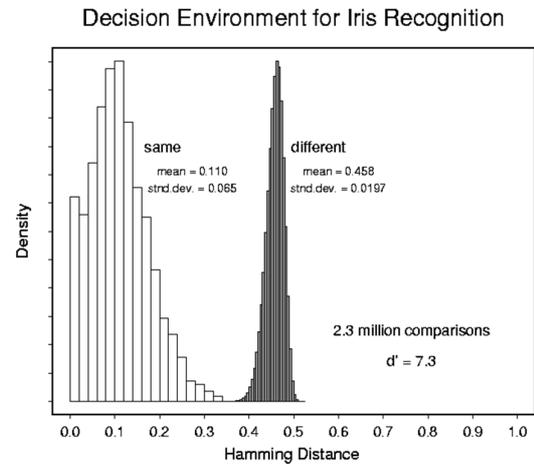
- Dati due pattern X e Y, la loro distanza di Hamming è data dalla somma dei bit discordanti (**somma degli exclusive OR**) divisa per il numero totale  $N$  di bit nel pattern.
- Se i due pattern sono generati dalla stessa iride, la distanza di Hamming sarà prossima allo 0, a causa dell'elevata correlazione.
- Per gestire possibili rotazioni, uno dei due template viene traslato a sinistra e a destra (bit a bit) e sono calcolate di conseguenza più distanze di Hamming. Per il riconoscimento è poi selezionata la distanza di Hamming minore poiché corrisponde al migliore match tra i due template.

## Esempio di iris code matching



# Matching: distribuzione degli score

- Distribuzione delle distanze di Hamming per matching genuine e impostor per circa 2.3M di confronti.
- Non c'è sovrapposizione ed è quindi possibile fissare una soglia in modo che la probabilità di errore sia molto bassa.
- Questo esperimento mostra che l'iride è una buona caratteristica biometrica e può raggiungere prestazioni molto soddisfacenti.



Matching Distance Distributions

J. Daugman, "High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence." *IEEE Trans. PAMI*, vol. 15(11), pp. 1148-1161, 1993.

# Risultati riportati in letteratura

## Tests of the Daugman Iris Recognition Algorithms

<i>Testing Organisation</i>	<i>Number of Cross-Comparisons</i>	<i>False Matches</i>
Sandia Labs <sup>1</sup> , USA (1996)	19,701	0
British Telecom Labs <sup>2</sup> , UK (1997)	222,743	0
Sensar Corp. <sup>3</sup> , USA (2000)	499,500	0
Joh.Enschedé <sup>4</sup> , NL (2000)	19,900	0
EyeTicket <sup>5</sup> , USA (2001)	300,000	0
National Physical Lab <sup>6</sup> , UK (2001)	2.73 million	0
J. Daugman <sup>7</sup> , UK (2003)	9.1 million	0
Iridian Technologies <sup>8</sup> , USA (2003)	984 million	0

## Alcuni metodi a confronto

	<i>Lim et al.</i>	<i>Daugman</i>	<i>Tisse et al.</i>	<i>Wildes</i>	<i>Sanchez-Avila et al.</i>
<b>Coordinate</b>	Polari	Polari	Polari	Polari	Cartesiane
<b>Pre-processing</b>	Rilevazione dei contorni; metodo di bisezione	Operatore integro-differenziale	Rilevazione dei contorni; operatori integro-differenziali	Rilevazione dei contorni; trasformata di Hough	Operatori di massimo
<b>Trasformata</b>	Wavelet di Haar	Filtri bidimensionali di Gabor	Fase istantanea, fase emergente e trasformata di Hilbert	Decomposizione isotropica passa banda; filtri laplaciani della Gaussiana	Wavelet discreta diadica
<b>Dim. Vettore</b>	87 bit	2048 bit	6144 bit	2048 bit	256 bit
<b>Distanza</b>	Euclidea	Hamming	Hamming	Correlazione normalizzata	Hamming, Euclidea, funzione di diversità
<b>Brevetto</b>	SI (Senex, Evermedia)	SI (Iritech, Iridian)	NO	NO	NO

## Limitazioni dell'iride (1)

- L'acquisizione dell'iride richiede la **cooperazione dell'utente** che deve posizionarsi di fronte al sistema di acquisizione.
- I dispositivi di acquisizione a risoluzione elevata sono **relativamente costosi**.



<http://news.bbc.co.uk/1/hi/uk/1816221.stm>



<http://www.oki.com/en/press/2002/z02011e.html>

## Limitazioni dell'iride (2)

- L'immagine dell'iride può risultare di bassa qualità, portando quindi all'impossibilità di creare il template (*failure to enroll*).
- Alcuni test recenti hanno mostrato che fino al 7% delle acquisizioni falliscono a causa di anomalie (occhi lacrimanti, ciglia troppo lunghe, lenti a contatto troppo spesse).
- L'iride può cambiare nel tempo (ad esempio a causa di malattie agli occhi) determinando così delle *false rejection*.

