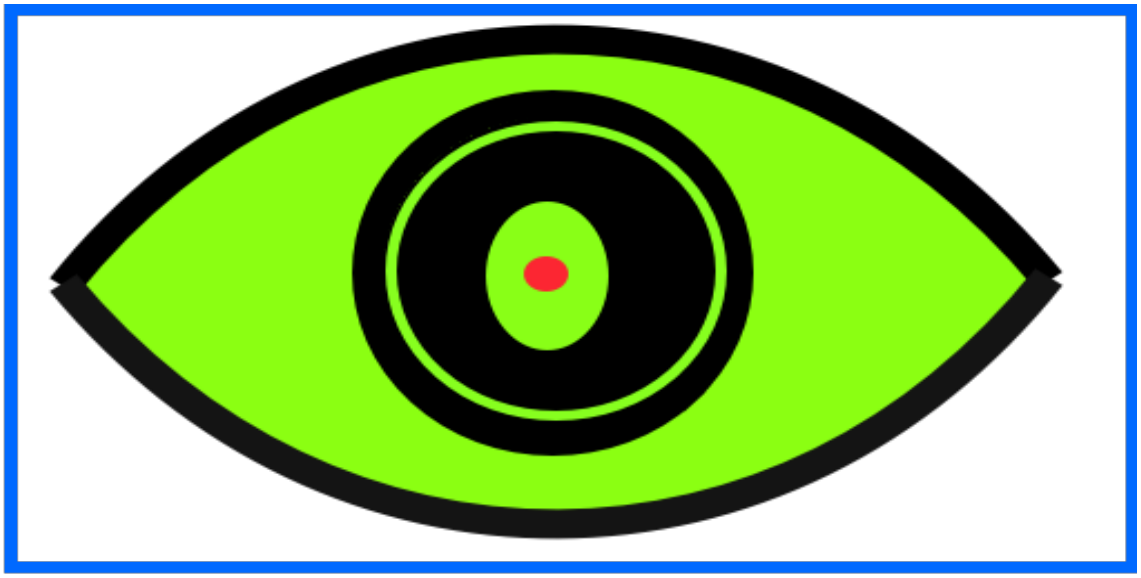


EasYE TRACKING

EasYE TRACKING

Giada Colella Chiara Coletti

15/07/2016

POLITECNICO
MILANO 1863

Indice

Sommario

L' **Eye tracking** è un complesso processo di misurazione del punto di fissazione oculare. Le applicazioni di questa tecnica sono molteplici: a partire da indagini statistiche di mercato fino al miglioramento della comunicazione uomo/macchina.
Quando si guarda qualcosa gli occhi si spostano almeno 3/4 volte al secondo tramite movimenti detti "saccadi" che durano circa un decimo di secondo, mentre le fissazioni durano da 2 a 4 decimi di secondo. Questi movimenti continui sono alla base dei meccanismi del sistema visivo... e dell' Eye tracking.
Sul mercato esistono diverse tipologie di eye tracker come VideoTracker (una telecamera registra i movimenti oculari dell'utente rispetto allo schermo) o InfraredTracker (strumento che studia la riflessione dei raggi infrarossi da parte della pupilla).

1 Introduzione

Il progetto **EasYE Tracking** si pone nella prima fase di realizzazione di un eye tracker. Ha come scopo lo studio del movimento dell'occhio. Partendo da un video, abbiamo cercato di individuare l'occhio e di tracciarne il movimento. Punto focale della ricerca è stato il riconoscimento della posizione del centro dell'iride rispetto alla finestra video.
Durante il nostro lavoro abbiamo affrontato lo studio dell' Eye tracking tramite due approcci differenti: il codice che viene presentato al punto **4 "Codice completo"**, permette di tracciare la posizione dell'occhio nella finestra video. Non da dunque alcuna informazione riguardante il movimento relativo dell'iride rispetto al volto. Nella sezione **5 "Un passo avanti"**, invece, abbiamo presentato un secondo approccio, più specifico per il problema Eye Tracking. Presa l'immagine in ingresso dalla telecamera, abbiamo selezionato le zone più scure, ipotizzando che l'iride e la pupilla siano tra queste, e ne abbiamo studiato il movimento relativo al resto dell'occhio.
Il progetto è stato sviluppato usando **"Python"** come linguaggio di programmazione, in quanto più immediato, intuitivo e flessibile rispetto al C. Il primo passo per la realizzazione del progetto è stato installare la libreria libera ***Opencv***. Opencv permette di manipolare immagini, tracciare oggetti (Object Tracking) o riconoscerli (Pattern Recognition).

1.1 Cosa sono le Haarcascades

Il riconoscimento di oggetti in un'immagine o in un video è il punto focale del nostro progetto.
Il metodo di riconoscimento che abbiamo scelto è l' **Haarcascades classification**. È un algoritmo basato sull'applicazione a cascata di funzioni classificatrici, introdotto per la prima volta nel 2001. Il processo di creazione di un Cascade Classifier è piuttosto lungo e macchinoso. Dapprima un classificatore è addestrato con qualche centinaia di immagini campione di un particolare oggetto (immagini positive) e altri immagini campione di sfondo (immagini negative) tutte dellla stessa dimensione.
Successivamente il classificatore viene applicato alla regione di interesse (ROI, region of interest) dell'immagine input. La funzione ritorna "1" in caso di matching avvenuto tra oggetti, "0" altrimenti.
La parola "cascade" nel nome dell'algoritmo significa che il classificatore finale è il risultato di varie applicazioni seriali di classificatori più semplici che si interrompono quando tutte hanno dato esito positivo o quando in un solo passaggio la ROI è stata rigettata, rendendo così più preciso il riconoscimento.

2 Dallo Pseudocodice...

È stato naturale suddividere il nostro progetto in vari step, affrontando lo sviluppo passo dopo passo:

1. Acquisizione video e analisi frame by frame
2. Conversione dei frame acquisiti in scala di grigi
3. Riconoscimento del volto
4. Riconoscimento degli occhi
5. Riconoscimento cerchi nell'area occhi
6. Rappresentazione del movimento oculare
7. Visualizzazione video e fine programma

3 ...Al codice

Importiamo le librerie opportune, impostiamo i parametri che ci torneranno utili nella stesura del codice ed importiamo le Haarcascades che useremo per il riconoscimento di volto e occhi. I parametri sono fondamentali per il funzionamento del codice, la scelta del valore da usare è stato uno dei passaggi più delicati nella stesura del codice. Spesso imporre parametri troppo precisi impediva il funzionamento del programma, mentre parametri meno precisi comportano errori non trascurabili.

```
%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
import cv2
import numpy as np

sc_fct = 1.1
min_neigh = 5
min_size_f = (30,30)
min_size_e = (10,10)
mindist_c=30
dp_c=1
param1_c=60
param2_c=20
minr_c=5
maxr_c=15


faceCascade=cv2.CascadeClassifier("haarcascade_frontalface_default.
    xml")
eyeCascade=cv2.CascadeClassifier("haarcascade_eye.xml")
```

1 Acquisizione video e analisi frame by frame

Abbiamo importato il video dalla webcam, rinominato la finestra video e salvato in "frame" gli elementi su cui poi andremo a lavorare. L'ultima operazione vine inserita all'interno di un ciclo while infinito che viene interrotto dall'utente premendo 'esc'.

```
video_capture = cv2.VideoCapture(0)
cv2.namedWindow("Face␣and␣eyes")

while True:
    ret, frame = video_capture.read()
```

Definisco x_dim e y_dim come le dimensioni del video in entrata. Saranno utili in seguito, per definire le dimensioni dello scatterplot su cui mostreremo le posizioni degli occhi.

```
x_dim=video_capture.get(3)
y_dim=video_capture.get(4)
```

2 Conversione dei frame acquisiti in scala di grigi

Applichiamo la funzione 'cvtColor' specificando il tipo di conversione da eseguire (in questo caso convertiamo da una figura a colori ad una a scala di grigi mediante il comando cv2.COLOR_BGR2GRAY). La funzione viene applicata a 'frame' ovvero la zona di memoria in cui vengono salvati i singoli frame del video. Convertire le immagini in scala di grigi è molto utile perchè rende l'elaborazione molto più semplice.

```
        gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
```

3 Riconoscimento del volto

Applichiamo la funzione 'detectMultiscale' e utilizziamo le cascade passandogli in ingresso l'immagine già in scala di grigi. Salviamo l'output della funzione (una lista di liste di quattro elementi: coordinata x e coordinata y del vertice superiore sinistro del rettangolo, base e altezza) in "faces".

```
faces = faceCascade.detectMultiScale(
    gray,
    scaleFactor=sc_fct,
    minNeighbors=min_neigh,
    minSize=min_size_f
    )
```

Scorriamo tutti i volti riconosciuti con un ciclo for e tracciamo un rettangolo intorno mediante la funzione 'rectangle'. Opencv ci è stata molto utile anche perchè ci ha permesso di disegnare oggetti sulla finestra del video.

```
for (x, y, w, h) in faces:
        cv2.rectangle(frame,(x, y), (x+w, y+h), (0, 255, 0), 2)
```

4 Riconoscimento degli occhi

Definiamo ora una nuova area di interesse, ovvero la metà superiore del volto, ipotizzando che gli occhi si trovino al suo interno. In questo modo rendiamo più veloce il riconoscimento degli occhi.

```
        roi_gray=gray[y:y+h/2,x:x+w]
        roi_color=frame[y:y+h/2,x:x+w]
```

Applichiamo nuovamente la funzione 'detectMultiscale'. Questa volta la funzione viene applicata a 'roi_gray'.Salviamo l'output della funzione, che come prima è una lista di rettangoli, in "eyes". Ovviamente, essendo gli occhi molto diversi da un volto, i parametri che abbiamo usato per la funzione 'detectMultiscale' non sono gli stessi.

```
            eyes= eyeCascade.detectMultiScale(
                roi_gray,
                scaleFactor=sc_fct,
                minNeighbors=min_neigh,
                minSize=min_size_e
                )
```

Tracciamo i rettangoli attorno agli occhi riconosciuti mediante la funzione 'rectangle'.

```
            for (ex, ey, ew, eh) in eyes:
                cv2.rectangle(roi_color, (ex, ey), (ex+ew, ey+eh),
                    (255, 191, 0), 2)
```

5 Riconoscimento cerchi nell'area occhi

Definisco nuove aree di lavoro: rappresentano la stessa area (limitata ai rettangoli degli occhi riconosciuti), la prima è in scala di grigi, la seconda a colori. Questa è un'altra ottimizzazione del programma.

```
                roi_gray2=roi_gray[ey:ey+eh,ex:ex+ew]
                roi_color2=roi_color[ey:ey+eh,ex:ex+ew]
```

Applichiamo la funzione 'HoughCircles' per il riconoscimento degli occhi nell'area inserita come input (roi_gray2). Salviamo l'output della funzione (una lista di liste di tre elementi: coordinata x, coordinata e raggio del cerchio riconosciuto) in "circles".

```
circles = cv2.HoughCircles(roi_gray2,cv2.
    HOUGH_GRADIENT,dp=dp_c,minDist=mindist_c,
        param1=param1_c,param2=param2_c,minRadius=
            minr_c,maxRadius=maxr_c)
```

Introduciamo la condizione che ci permette di ignorare i frame in cui non viene riconosciuto alcun cerchio. Nel caso in cui, invece, il cerchio venga riconosciuto, 'circles' viene arrotondato e trasformato in un intero. Per queste operazioni abbiamo usato delle funzioni della libreria **Numpy**, che comprende le funzioni fondamentali del calcolo scientifico.

```
if(circles==None):
    continue
else:
    circles = np.uint16(np.around(circles[0,:]))
```

Tracciamo i cerchi e il loro centro.

```
for (x_c,y_c,r) in circles:
    cv2.circle(roi_color2,(x_c,y_c),r,(0,255,0),2)
    cv2.circle(roi_color2,(x_c,y_c),2,(0,0,255),3)
```

6 Rappresentazione del movimento oculare

Abbiamo tracciato uno scatterplot di dimensioni (x_dim e y_dim), ovvero le dimensioni del video, in cui ogni punto corrisponde al centro di cerchio trovato. I punti hanno una trasparenza tale da permettere di osservare le zone dello scatterplot più dense di punti: ovvero quelle zone in cui lo il centro dell'iride ̀96 stato più presente, quasi come in una mappa termica.
La libreria che abbiamo usato per disegnare i grafici è **Matplotlib**, in particolare l'estensione *pyplot*.

```
                    plt.scatter(x+ex+x_c,y+ey+y_c, s=100, c='r',alpha
                        =0.3)
                    plt.axis([0,x_dim,0,y_dim])
                    plt.draw()
```

Si ottiene un output di questo tipo:

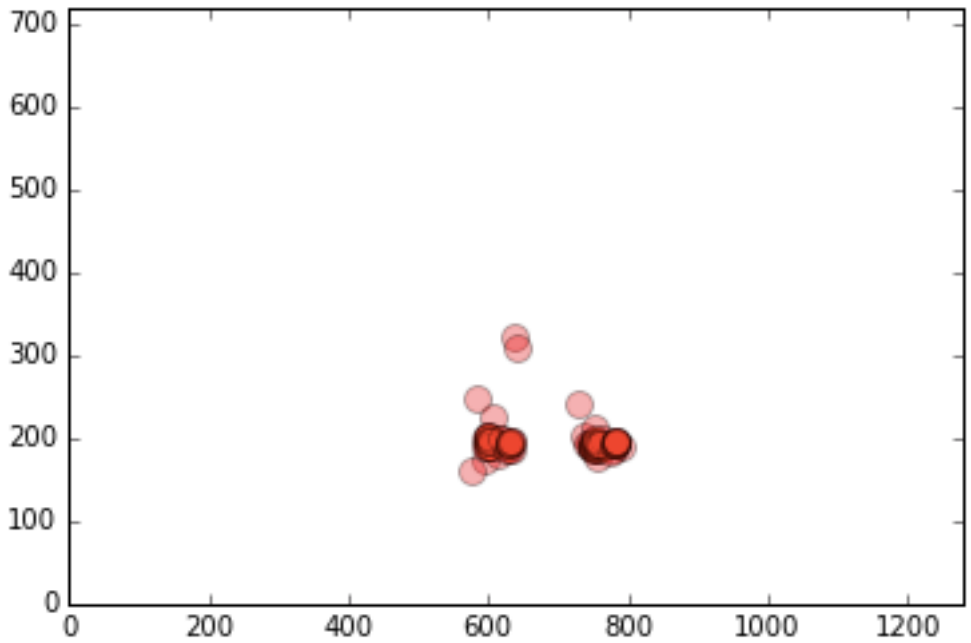


Figura 1: Esempio scatterplot

7 Visualizzazione video e fine programma

Mostriamo il video. In 'frame' saranno state apportate le modifiche delle varie aree di interesse. Nel video saranno dunque mostrati i rettangoli dei volti e degli occhi riconosciuti e i cerchi trovati all'interno dei rettangoli degli occhi.

```
    cv2.imshow('Face␣and␣eyes', frame)
```

Impostiamo una condizione che permetta di interrompere il ciclo while altrimenti infinito quando l'utente preme 'Esc'.

```
    if cv2.waitKey(1)==27:
        break
```

Chiudiamo di tutte le finestre.

```
video_capture.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

4 Codice completo

```
1
%matplotlib inline
3 import matplotlib.pyplot as plt

5 import cv2
import numpy as np
7
#Parameters setting:
9 sc_fct = 1.1 #scaling factor
min_neigh = 5 #minimum number of neighbours to identify an area as
    the specific object
11 min_size_f = (30,30) #smallest face dimensions accepted
min_size_e = (10,10) #smallest eye dimension accepted
13 mindist_c=30 #minimum distance between circles' centers
dp_c=1 #accumulator resolution factor
15 param1_c=60 #specific parameter of the Hough Gradient detection
    method
param2_c=20 #specific parameter of the Hough Gradient detection
    method
17 minr_c=5 #minimum circle radius accepted
maxr_c=15 #maximum circle radius accepted
19



21


23 #Loading the cascade classifier files
faceCascade = cv2.CascadeClassifier("
    haarcascade_frontalface_default.xml")
25 eyeCascade=cv2.CascadeClassifier("haarcascade_eye.xml")

27 #Capturing the video from the webcam and opening a window to
    display it
video_capture = cv2.VideoCapture(0)
29 cv2.namedWindow("Face␣and␣eyes")

31 #Saving the window dimensions
x_dim=video_capture.get(3)
33 y_dim=video_capture.get(4)
```

```
35 while True:
       #Capturing frames from the video
37     ret, frame = video_capture.read()

39     #Converting the image from colour to grayscale
       gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
41
       #Using the cascade classifier to identify faces in the video
43     faces = faceCascade.detectMultiScale(
           gray,
45         scaleFactor=sc_fct,
           minNeighbors=min_neigh,
47         minSize=min_size_f
           )
49     #detectMultiscale function returns a list of rectangles
          described by the upper left vertex and the two dimensions

51     #Drawing rectangles recognised by the detectMultiscale function
       for (x, y, w, h) in faces:
53             cv2.rectangle(frame,(x, y), (x+w, y+h), (0, 255, 0), 2)

55             #Defining new regions of interest
               roi_gray=gray[y:y+h/2,x:x+w]
57             roi_color=frame[y:y+h/2,x:x+w]

59         #Using the cascade classifier to identify eyes within the
              new ROI just defined
               eyes= eyeCascade.detectMultiScale(
61                  roi_gray,
                    scaleFactor=sc_fct,
63                  minNeighbors=min_neigh,
                    minSize=min_size_e
65                  )


67
               #Drawing rectangles returned by the detectMultiscale
                  function
69             for (ex, ey, ew, eh) in eyes:
```

```
                cv2.rectangle(roi_color, (ex, ey), (ex+ew, ey+eh),
                    (255, 191, 0), 2)
71
                #Defining new regions of interest
73              roi_gray2=roi_gray[ey:ey+eh,ex:ex+ew]
                roi_color2=roi_color[ey:ey+eh,ex:ex+ew]
75
                #Applying HoughCircles function to identify iris and
                    pupil in the filtered image (HOUGH_GRADIENT is the
                     method used)
77              circles = cv2.HoughCircles(roi_gray2,cv2.
                    HOUGH_GRADIENT,dp=dp_c,minDist=mindist_c,
                            param1=param1_c,param2=param2_c,minRadius=
                               minr_c,maxRadius=maxr_c)
79              #The function returns a list of circles described by
                    the centre coordinates and the radius

81              #Checking validity of the detected objects
                if(circles==None):
83                  continue
                else:
85              #Coverting floats to integers to make values usable
                    by the circle function
                  circles = np.uint16(np.around(circles[0,:]))
87
                  #Drawing identified circles in the video
89                for (x_c,y_c,r) in circles:
                    cv2.circle(roi_color2,(x_c,y_c),r,(0,255,0),2)
91                  cv2.circle(roi_color2,(x_c,y_c),2,(0,0,255),3)

93                  #Plotting a scatterplot with the eyes pupils'
                        position through time
                    plt.scatter(x+ex+x_c,y+ey+y_c, s=100, c='r',alpha
                        =0.3)
95                  plt.axis([0,x_dim,0,y_dim])
                    plt.draw()
97
#Showing the filtered image and the webcam video
99  cv2.imshow('Face␣and␣eyes', frame)
```

```
101
    #Breaking the while cicle when 'return' is pressed
103     if cv2.waitKey(1)==27:
            break
105
#Closing al windows and turning webcams off
107 video_capture.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

5 Un passo avanti...

Il codice così proposto permette di tracciare in maniera consistente i movimenti degli occhi rispetto alla totalità dello schermo. Ma l'eyetracking non si ferma qui. Il vero punto d'arrivo è osservare i movimenti oculari rispetto al capo. A questo proposito abbiamo migliorato il codice proposto nella sezione precedente mediante un algoritmo che permetta di studiare il movimento dell'iride analizzando le variazioni di colore nella zona oculare.
Lo pseudocodice e il codice qui proposti hanno i primi quattro punti in comune con il codice precedente.

5.1 Dallo pseudocodice...

1. Studio del movimento oculare
   (a) Rappresentazione dell'immagine in bianco e nero
   (b) Studio del movimento delle zone di colore
2. Rappresentazione del movimento oculare

5.2 ...Al codice

Prima di procedere è necessario introdurre tre funzioni che ci torneranno utili nel corso della stesura del programma.

La funzione ***'calc_min_max'*** permette di trovare il valore massimo e minimo valore di grigio dell'immagine inviata in ingresso. Ha come parametri d'ingresso un'immagine e le sue due dimensioni. La funzione ritorna due valori: min_gray e max_gray. L'analisi dell'immagine avviene pixel per pixel, scorrendo sull'immagine come per una matrice bidimensionale.

```
    def calc_min_max(matr,ew,eh):
2   min_gray=255
    max_gray=0
4   a=0
    b=0
```

```
        for i in range(0,eh):
           for j in range(0,ew):
              if (matr[i][j]>max_gray):
                 max_gray=matr[i][j]
              if (matr[i][j]<min_gray):
                 min_gray=matr[i][j]
        return min_gray,max_gray
```

La funzione ***'calc_mean'*** permette di trovare le coordinate x e y del punto che rappresenta la media del bianco nell'immagine. Per ottimizzare l'utilizzo di questa funzione è necessario che l'immagine in ingresso sia binaria, ovvero solo in bianco e nero. I parametri in ingresso della funzione sono: l'immagine input e le sue dimensioni. L'output della funzione è costituito dalle coordinate del punto di media, se ci sono.

```
def calc_mean(matr,ew,eh):
cont=0
a=0
b=0
for i in range(0,eh):
   for j in range(0,ew):
      if (matr[i][j]==255):
         a=a+i;
         b=b+j;
         cont=cont+1;
      if cont>0:
         c=float(a/cont)
         d=float(b/cont)
        return c,d
      else:
        return 0,0
```

La funzione ***'leds_on'*** permette di accendere due dei quattro led che verranno tracciati nel corso dell'esecuzione del programma a seconda della posizione del punto di media del bianco rispetto all'immagine. Ha come parametri in ingresso le coordinate del punto media del bianco e le dimensioni dell'immagine sulla quale

era stata precedentemente applicata 'calc_mean'.

```
        col_up=(0,0,0)
        col_down=(0,0,0)
        col_left=(0,0,0)
        col_right=(0,0,0)

def leds_on(x_m,y_m,ew,eh):
global col_up
global col_down
global col_left
global col_right
if (x_m>ew/2):
    col_down=(0,255,0)
        col_up=(0,0,0)
else:
        col_up=(0,255,0)
        col_down=(0,0,0)
if (y_m>eh/2):
        col_right=(0,255,0)
        col_left=(0,0,0)
else:
        col_left=(0,255,0)
        col_right=(0,0,0)
```

1 Studio del movimento oculare

1a Rappresentazione dell'immagine in bianco e nero

Dopo aver applicato la funzione 'calc_min_max', utilizzo il valore massimo di grigio trovato (che equivale al pixel più chiaro dell'immagine) per definire una delle due soglie di grigio. Le due soglie vengono poi inserite come input nella funzione 'inRange' utile per evidenziare (bianco) tutti i pixel dell'immagine input i cui colori sono al'interno della soglia impostata. Attraverso l'uso della funzione 'calc_min_max' è possibile effettuare uno studio adattativo dei valori di grigio sui

vari frame, rendendo dunque più consistente il prodotto.

```
        #Calling function to calculate the minimum and maximum value
            of gray in the image
2       min_gray,max_gray=calc_min_max(roi_gray2,ew,eh)

4       #Defining threshold values for image filtering (the value
           corresponds to a grey level)
         upper=(max_gray-min_gray)*15/100 + min_gray
6        lower=0


8

        #Applying inRange function to pull out from the input image
           only the pixels that are included in this specific gray
           range
10      mask = cv2.inRange(roi_gray2, lower, upper)
        #The output is an image where the elements, which are in the
            range, are shown in white, while everything else il
           black.
```

1b Studio del movimento delle zone di colore

Viene applicata la funzione 'calc_mean' che studia i cambiamenti di colore nella zona occhio. Nell'applicazione di questa funzione si presuppone che alcune delle zone riconosciute come "positive" rimangano ferme durante l'acquisizione dei frame (ad esempio ciglia e sopracciglia), mentre invece la zona in movimento che viene captata dalla funzione sia effettivamente solo quella dell'iride.

```
1       #Calling functions to calculate middle point of the mask and
            to change leds color
        x_m,y_m=calc_mean(mask,ew,eh)
```

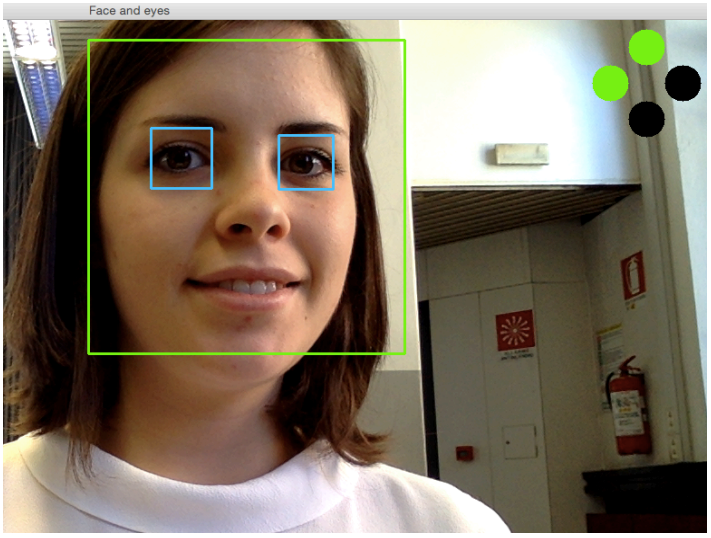
2 Rappresentazione del movimento oculare

Dapprima viene applicata la funzione 'leds_on' che permette di modificare, frame dopo frame, i colori dei led. Successivamente i led vengono disegnati sulla finestra video (frame) ultilizzando la funzione 'circle' che prende come parametri in ingresso: l'immagine input, le cordinate del centro del cerchio, il raggio, il colore del cerchio (che deriva da 'leds_on) e il paramaetro negativo finale che indica che verrà colorato l'interno del cerchio.

```
leds_on(x_m,y_m,ew,eh)

if ((x_m!=0)and(y_m!=0)):
        cv2.circle(frame,(x_dim-70,30),20,col_up,-10)
        cv2.circle(frame,(x_dim-30,70),20,col_right,-10)
        cv2.circle(frame,(x_dim-70,110),20,col_down,-10)
        cv2.circle(frame,(x_dim-110,70),20,col_left,-10)
```

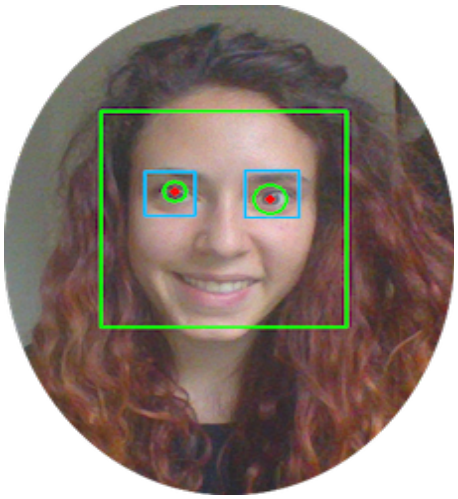
La parte conclusiva del programma è in comune con il codice presentato precedentemente.
Questo è un esempio dell'output che abbiamo ottenuto con questo programma.

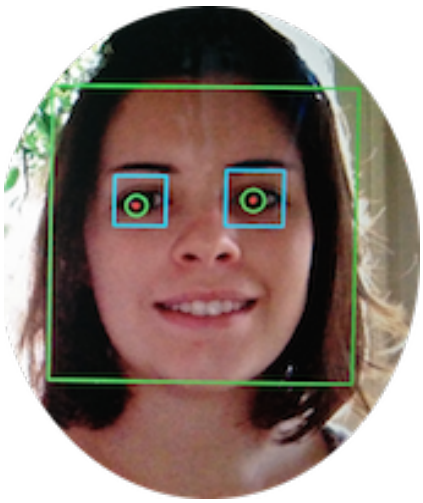


6 Conclusioni

Il nostro progetto ha come unica pretesa quella di mettere alla prova due studentesse del secondo anno di Ingegneria biomedica al Politecnico di Milano. Abbiamo voluto confrontarci con i problemi che si presentano quando si lavora a progetti pratici. Siamo consapevoli del fatto che ciò che abbiamo realizzato non è lo strumento molto preciso che si può trovare in commercio, ma considerando che abbiamo realizzato un prodotto senza l'impiego di strumentazione specifica (e costosa), partendo da zero, possiamo ritenerci soddisfatte .Al termine di questa esperienza possiamo concludere che nonostante le numerose difficoltà incontrate passo dopo passo, con una solida base teorica, un po' di pazienza e tanta voglia di mettersi in gioco si può comunque arrivare ad ottenere qualcosa di completo e, a nostro parere, anche consistente.
Maggiori informazioni riguardanti il progetto **EasYe Tracking** e la completa documentazione sono disponibili al sito :

`https://github.com/chiaracoletti/EasYE-tracking.git`





7 Ringraziamenti

Vorremmo ringraziare in primo luogo il nostro professore di Informatica Marco Santambrogio che ci ha messo a disposizione il suo tempo, le sue conoscenze e i suoi spazi, permettendoci di fare un'esperienza formativa unica. Uno speciale ringraziamento va anche agli ingegneri del **Necst** che ci hanno seguito, guidato e sostenuto durante tutto lo svolgimento di questo progetto. La loro competenza e disponibilità sono state indispensabili per arrivare alla fine di questo percorso.