

RELAZIONE TECNICA

CALIBRAZIONE CAMERE - SISTEMA STEREOSCOPICO

Giovanni Martucci

SOMMARIO

I. CENNI SULLA TEORIA	3
I.1 Calibrazione.....	3
I.2 Sistema Stereo	3
II. OBIETTIVO.....	4
III. MODALITÀ D'OPERAZIONE	4
III.1 Calibrazione delle due camere	4
III.2 Sistema stereo	10
III.3 Misurazione reale di un oggetto.....	13

I. CENNI SULLA TEORIA

I.1 Calibrazione

La calibrazione è la determinazione dei parametri estrinseci ed intrinseci di una camera, basandosi in genere sulla conoscenza delle coordinate di alcuni punti della scena prima e dopo la proiezione sul piano di immagine. Per calibrare la camera possiamo utilizzare una di queste due soluzioni:

- essere in possesso di un numero sufficiente di corrispondenze tra punti della scena e punti dell'immagine;
- tramite l'utilizzo di un pattern, di cui è noto l'aspetto.

Vi sono due tipi di calibrazione: Diretta o Indiretta.

I.2 Sistema Stereo

La stereovisione è la capacità di inferire informazioni su una scena tridimensionale (struttura e posizione assoluta e/o reciproca di oggetti nella scena) a partire da una o più immagini bidimensionali della stessa scena.

Un sistema stereoscopico consiste in almeno due camere che osservano la medesima scena, nello stesso istante.

I due problemi che deve affrontare la stereovisione riguardano il “depth estimation” e il “matching”.

Anche in un sistema stereo troviamo i parametri intrinseci ed estrinseci che sono leggermente diversi. I parametri intrinseci che servono per la ricostruzione sono l'unione dei parametri delle camere, mentre i parametri estrinseci invece possono essere considerati una trasformazione rigida tra il sistema di riferimento di una camera nel sistema dell'altra, ovvero una rototraslazione tra i due sistemi ($P_r = R(P_l - T)$).

II. OBIETTIVO

L'obiettivo di questo report è quello di descrivere i risultati dei calcoli delle varie richieste:

- 1) Calibrazione di due camere differenti;
- 2) Creazione un sistema stereoscopico;
- 3) Misurazione di situazioni reali.

III. MODALITÀ D'OPERAZIONE

III.1 Calibrazione delle due camere

Per le calibrazioni delle camere si è utilizzato il pattern di riferimento in cui vi sono 54 angoli (9,6):

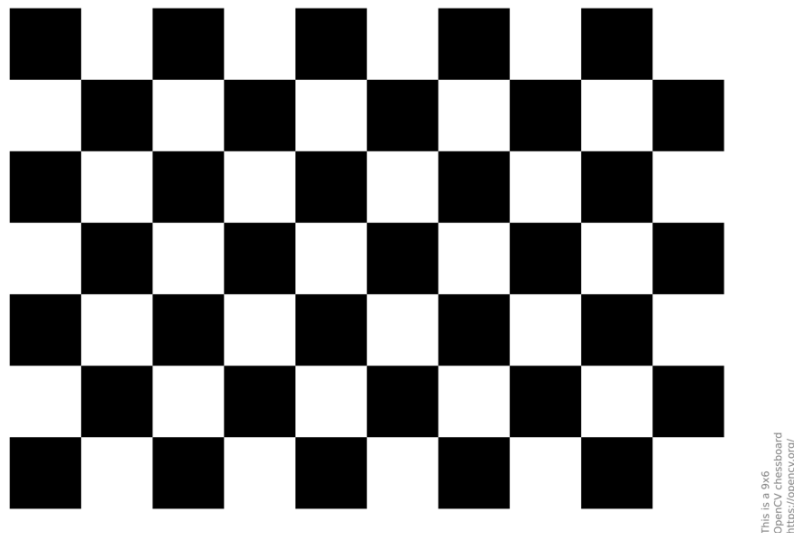


Fig. 1. Pattern di riferimento.

In seguito, sono state raccolte 17 foto rinquadranti il pattern in tutte le posizioni:

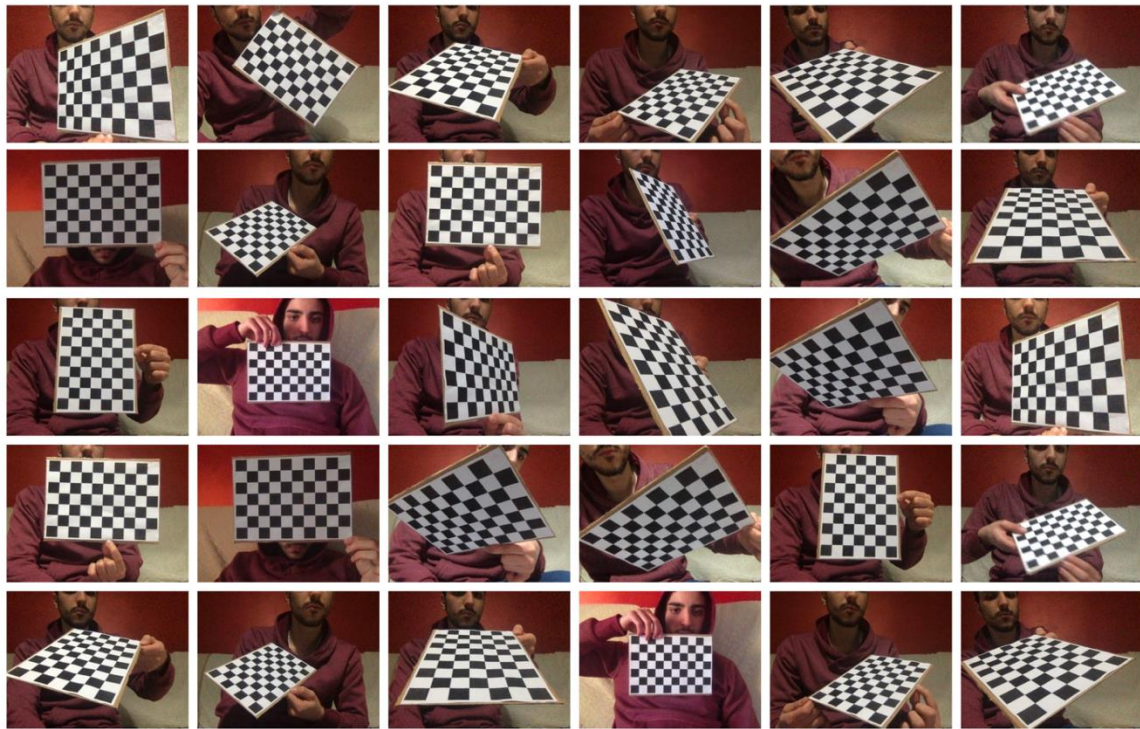


Fig. 2. Pattern in tutte le posizioni, calibrazione prima camera Macbook Pro 15.

Si procede individuando gli angoli di riferimento del pattern con la funzione `cv2.findChessBoardCorners()`, per ciascuna immagine:

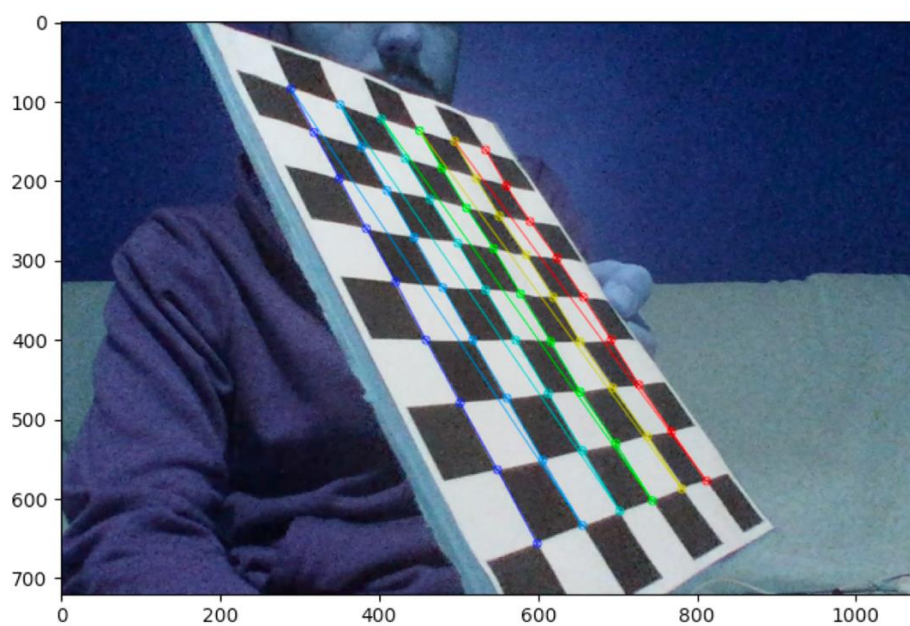


Fig. 3. Verifica dell'individuazione degli angoli.

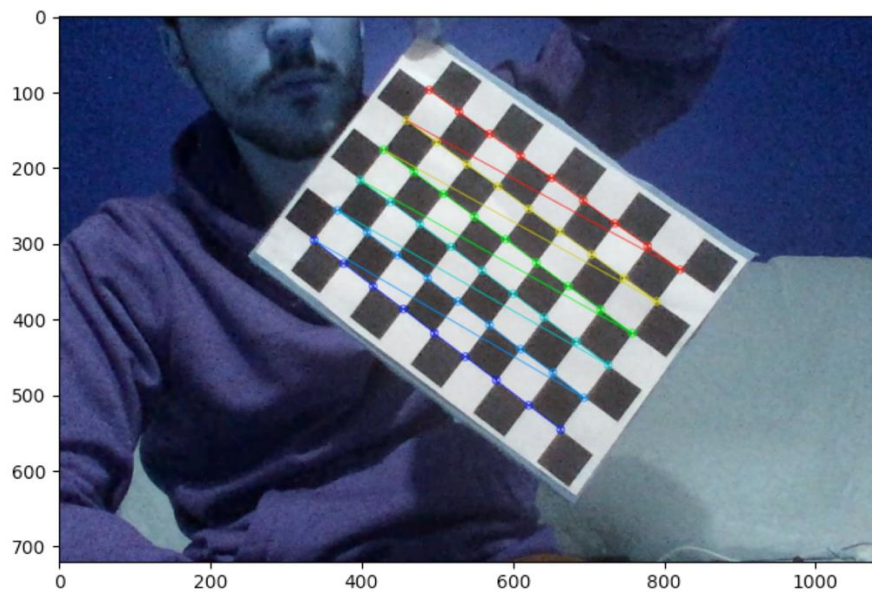


Fig. 4. Verifica dell'individuazione degli angoli.

Tramite la funzione `np.stack` si è proceduto al calcolo dei punti reali della scena inserendoli in un array di punti 3D.

Gli angoli di ciascuna immagine sono poi stati inseriti anch'essi in un array di punti 2D.

Una volta calcolati i corrispettivi punti, dunque, è stato effettuato un calcolo effettivo dei parametri con la funzione `"cv2.calibrateCamera"` di Python.

Sono stati ottenuti i seguenti risultati:

```
Ret: 1.2089750246561035
```

```
Mtx_int:
```

```
[961.13858427    0.          550.93840174]
[  0.          961.13547854  351.37532536]
[  0.           0.           1.          ]
```

```
Dist:
```

```
[-1.65237991  2.05906039 -1.06534420  5.01576946 -6.90171224]
```

rvecs:

```
[ 0.25826843], [-1.2846474 ], [-1.57799723]  
[-1.13373546], [-0.4668516 ], [-0.89010369]  
[-0.13930251], [-0.195542  ], [-1.53801288]  
[ 0.75506962], [ 0.43880122], [0.47341669 ]  
[-0.80534713], [-0.60428589], [-0.73603638]  
[ 0.01509205], [ 0.02949708], [-0.01252226]  
[-0.25475621], [-0.94656279], [ 0.04004017]  
[-0.16943731], [ 0.72437092], [-0.08383999]  
[-0.8110155 ], [-0.90899856], [-1.41703374]  
[ 0.01169564], [ 0.11400614], [ 0.01318429]  
[-0.90898526], [-0.7157938 ], [-1.05550496]  
[-0.77582977], [-1.18755226], [-2.02521797]  
[-0.06433946], [ 0.00010982], [ 0.03418743]  
[-0.97751868], [-0.05016564], [-0.42102323]  
[ 0.8263767 ], [ 0.16639791], [-0.63260661]  
[-0.12617612], [-0.13186025], [-2.49027594]  
[ 0.19914187], [-1.24392186], [-1.6583827 ]
```

tvecs:

```
[ 0.66212947], [ 2.73081153], [15.28444495]  
[-3.04893547], [ 3.17402459], [16.10059345]  
[-2.77563882], [ 3.04177766], [16.78264442]  
[-5.78342097], [-0.02873366], [13.9476846 ]  
[-6.97974135], [ 1.64722682], [18.9480936 ]  
[-3.7906042 ], [-3.60007039], [16.30309123]  
[-1.84520828], [-2.49674621], [12.78104017]  
[-2.8770121 ], [-1.11384086], [16.63148137]  
[-2.56041054], [ 1.50830923], [ 9.27697398]  
[-3.87486058], [-1.71355291], [22.31582059]  
[-4.62905724], [ 0.79946082], [12.32129156]  
[-0.82990075], [ 2.09078378], [ 8.51353026]  
[-3.55545058], [-3.69490637], [16.90848865]  
[-3.44987876], [ 1.94764329], [21.11381888]  
[-4.8886298 ], [ 1.88951911], [12.80379319]  
[ 2.11575385], [ 3.65491501], [17.97482777]  
[ 0.45526502], [ 2.860126  ], [ 8.96871895]
```

L'individuazione di tali misure non è mai esatta; essa consiste, infatti, in una stima da effettuare con la massima precisione possibile.

Abbiamo un tasso d'errore che corrisponde al valore “Ret” nei calcoli.

Successivamente abbiamo:

- `mtx_int` : la matrice dei parametri intrinseci;
- `dist` : la distorsione dei parametri;
- `rvecs` : i vettori di rotazione;
- `tvecs` : i vettori di traslazione.

È stato svolto lo stesso procedimento per la calibrazione di una seconda camera (LG G6) ottenendo dei risultati diversi.

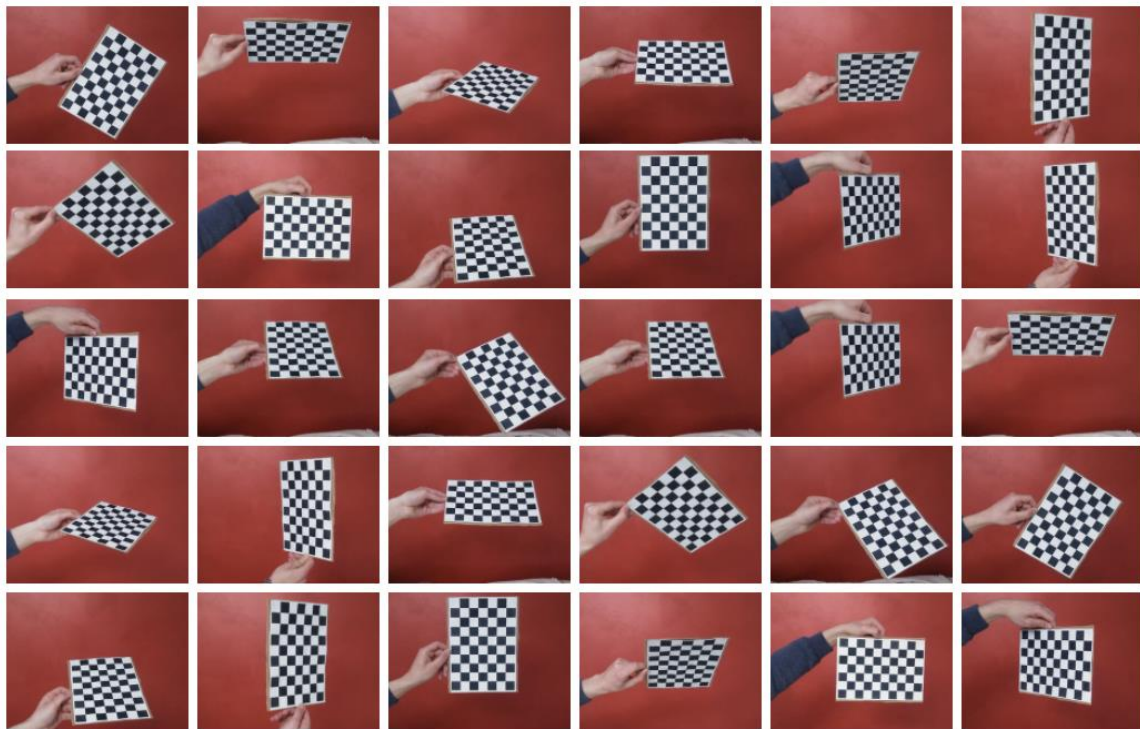


Fig. 5. Immagini in input per la calibrazione seconda camera.

Ret: 1.101896818203231

Mtx:

```
[1.54162835e+03    0    3.71626375]
[    0    1.54264613    4.25820566]
[    0    0    1.    ]
```


Dist:

```
[-4.44536902  2.06188912 -2.7512686 -1.38504441 -2.14478311]
```

rvecs:

```
[ 0.13606546], [-0.85021884], [-0.10746338]  
[-0.56622155], [-0.68858997], [-1.51705097]  
[-0.27096479], [-0.53935451], [-2.03987947]  
[ 0.11743963], [ 0.74761085], [ 0.08165519]  
[ 0.93746845], [ 0.820105  ], [-1.36366602]  
[ 0.02568368], [-1.14079373], [-2.91197497]  
[ 0.02468858], [ 1.66972939], [-2.62124093]  
[ 0.62911712], [-0.40318718], [-1.53565123]  
[ 0.52850136], [ 0.874339  ], [-2.16271638]  
[-0.48038063], [ 0.81836475], [-1.40498997]  
[ 0.24840388], [ 0.03634077], [-1.00185418]  
[ 0.11184031], [ 0.10993159], [-1.57043867]  
[-0.65025796], [-0.70662431], [-1.55338817]  
[-0.89795722], [-0.66668473], [-0.93407146]  
[ 0.06463815], [-0.09164135], [ 0.0332672 ]
```

tvecs:

```
[-0.69372098], [-6.14073792], [35.70186883]  
[-0.21819929], [-2.53989894], [36.10787635]  
[ 3.57646119], [ 2.2697199 ], [35.48991175]  
[-2.06772253], [-5.65492245], [40.0906131 ]  
[-0.79042349], [-0.65221879], [39.97744824]  
[ 6.03292256], [-2.82735839], [38.34272086]  
[ 5.23266136], [-5.13671313], [39.67944948]  
[-0.32788583], [ 0.83141567], [33.8589474 ]  
[ 3.06115035], [ 0.10687158], [38.14127749]  
[ 0.95285371], [-0.04189792], [40.32135193]  
[-1.87472930], [ 2.16099125], [ 3.85830248]  
[-1.39966641], [-0.77125565], [38.91310122]  
[-0.5083355 ], [ 2.6115422 ], [34.37049501]  
[-1.70017684], [-1.21527748], [36.74938325]  
[-0.84170284], [-4.82500442], [40.75266402]
```

Si ottiene un risultato leggermente migliore perché, come possiamo vedere dal tasso d'errore, esso è più piccolo di quello della calibrazione per la camera del Macbook Pro. Questa differenza è data da una maggiore risoluzione e sensibilità della seconda camera rispetto alla prima.

III.2 Sistema stereo

Il procedimento ha inizio con l'inserimento delle immagini che consistono nella stessa scena vista da due punti differenti (destra e sinistra), nello stesso istante. Dunque, da due telecamere uguali. In questo caso sono le camere di due Macbook Pro 15 (stesso modello) che inquadrano la stessa scena.

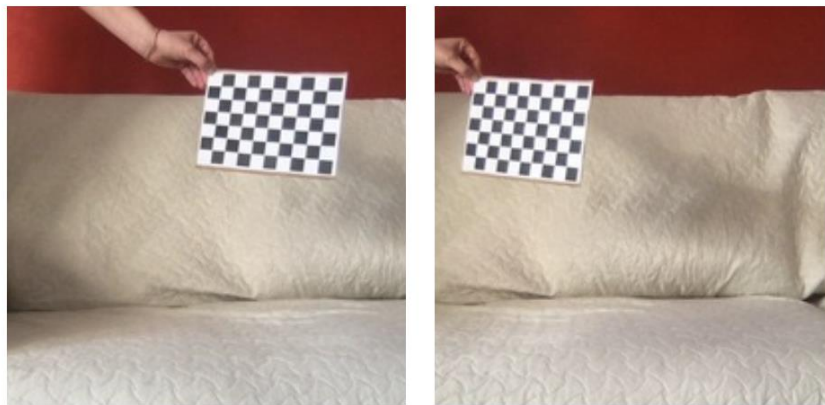


Fig. 6. Acquisizione scena da due punti differenti

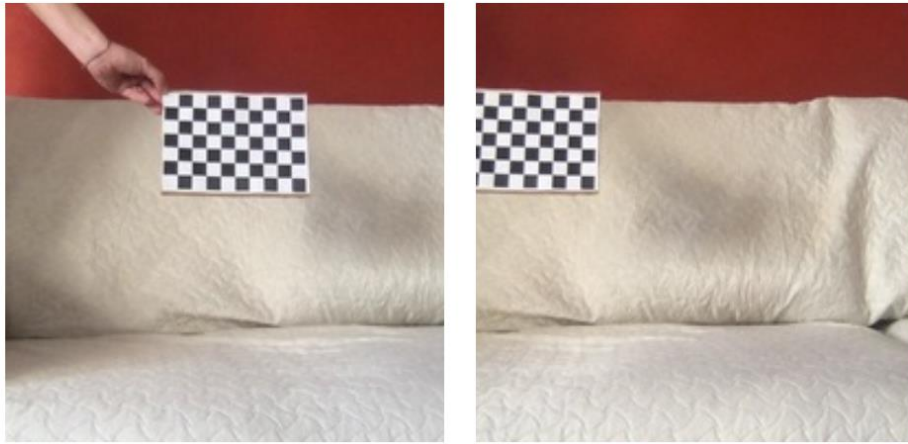


Fig. 7. Acquisizione scena da due punti differenti

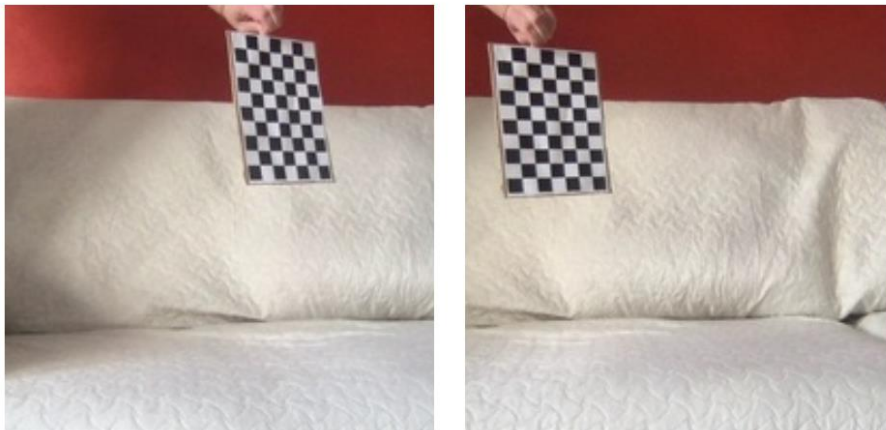


Fig. 8. Acquisizione scena da due punti differenti



Fig. 9. Immagini totali acquisite dalle due camere

Si procede con la ricerca degli angoli in entrambe le immagini per ogni coppia d'immagine e si salvano le coordinate trovate in due array separati di corners delle immagini di sinistra e delle immagini di destra, dove ogni i -esima posizione dell'array corrisponde alle rispettive coordinate di destra e di sinistra della stessa immagine.

Successivamente, si prendono in considerazione nuovamente le coordinate dei punti reali.

Si utilizza la funzione "cv2.stereoCalibrate" per determinare la nostra matrice fondamentale: essa utilizza i punti calcolati precedentemente (3D e 2D), i parametri intrinseci e di distorsione delle camere ed un particolare flag con cui indichiamo che gli si stanno passando dei parametri intrinseci già calcolati.

Questa funzione ci fornisce l'errore di proiezione e la matrice Fondamentale F .

Si è cercato di utilizzare anche un secondo metodo per il calcolo della matrice fondamentale, ovvero tramite la funzione “cv2.findFundamentalMat” che vuole come parametri i punti dell’immagine di destra e quelli di sinistra. Bisogna preferire questa funzione quando si hanno a disposizione molti punti di cui non si ha la sicurezza della loro precisione.

Errore: 3.638260927151934

```
F = [-1.86723040 -3.44600746e  4.72264339]
     [ 2.53774868  1.33928427e  2.14246182]
     [-4.22292352 -2.17061686e  1.00000000]
```

```
F2 = [-9.86556825 -1.00214013  1.92716304]
      [ 1.20889754 -3.35546710 -6.98886997]
      [-2.57039991  2.60614317  1.00000000]
```

III.3 Misurazione reale di un oggetto

Il passo successivo consiste nella misurazione reale dell’oggetto nella scena.

Come prima passo, quindi, è stata creata un’immagine distorta tramite la funzione “cv2.undistort” che necessita in input un’immagine, i parametri intrinseci e i parametri di distorsione.

Successivamente, conoscendo le misure reali di un oggetto di riferimento (pattern), è stato misurato l’oggetto sconosciuto tramite la seguente relazione:

$$pixel_r : dim_r = pixel_ca : dim_ca, \quad \text{dove}$$

- pixel_r è la dimensione in pixel relativa ad un lato di un quadrato del pattern;
- dim_r è la dimensione reale di un lato di un quadrato (12 mm e 33 mm);
- pixel_ca è la dimensione in pixel dell’oggetto da misurare;
- dim_ca è la dimensione reale dell’oggetto da misurare.

Dunque, si procede con il calcolo della misurazione reale dell'oggetto tramite una precisa relazione ricavata dalla precedente:

$$dim_{ca} = (dim_r * pixel_{ca}) / pixel_r.$$

Infine, è stato inserito del testo, tramite la funzione “cv2.putText” ed è stata effettuata una colorazione dei bordi di ciascun oggetto tramite la funzione “cv2.drawContours”.

Ecco alcuni esempi della misurazione:



Fig. 10. Primo esempio - Calcolo misure reali

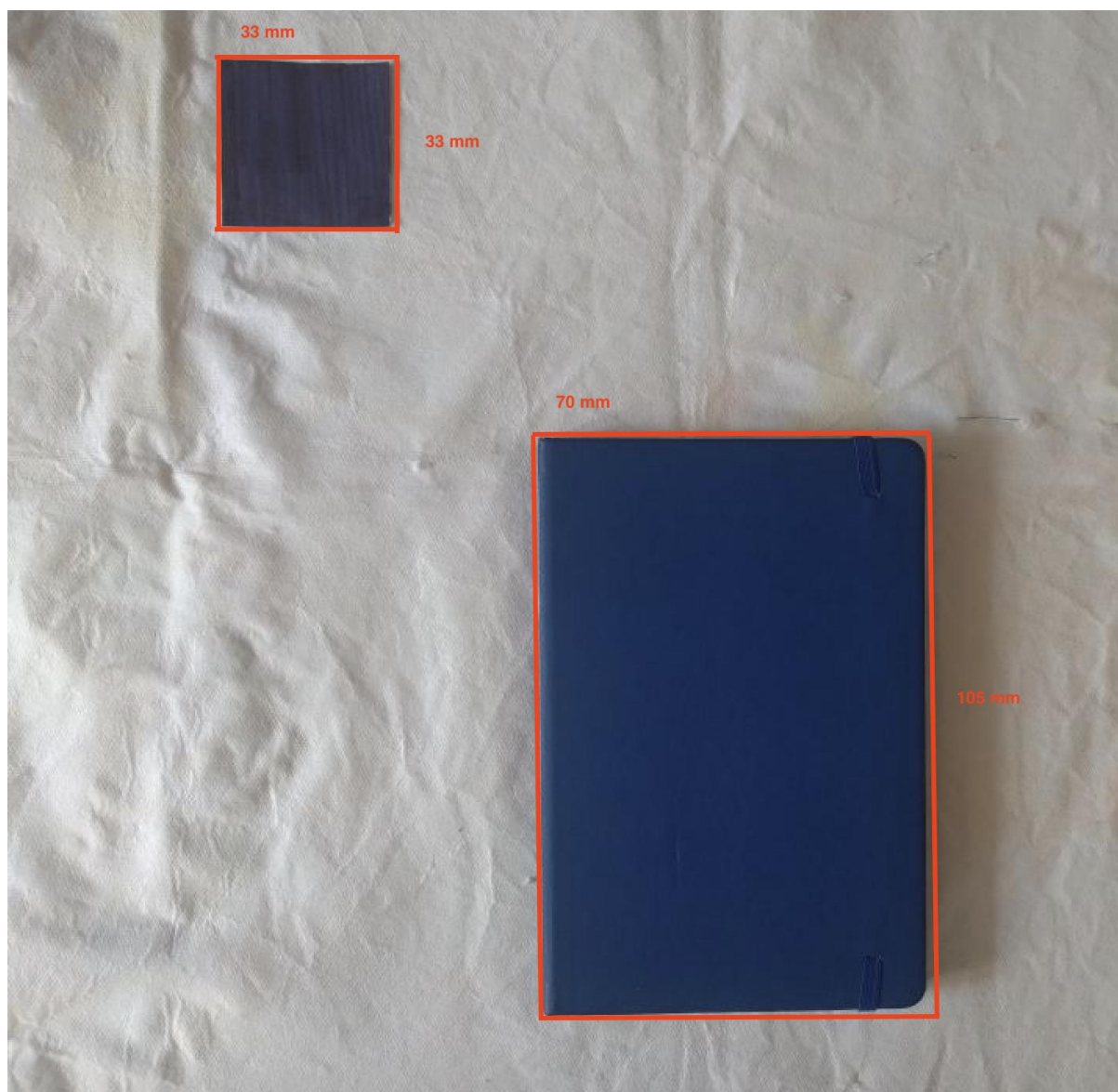


Fig. 11. Secondo esempio - Calcolo misure reali

Effettuando, infine, un calcolo manuale per verificare la correttezza dell'algoritmo, si evince che i risultati non sempre sono precisi, ma accettabili in quanto l'errore varia da un 1 a 3 mm.