



Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione
Consiglio Nazionale delle Ricerche



MM&A

Micro Manipulation and Assembly

D2.4 SISTEMA DI VISIONE E CALIBRAZIONE CELLA

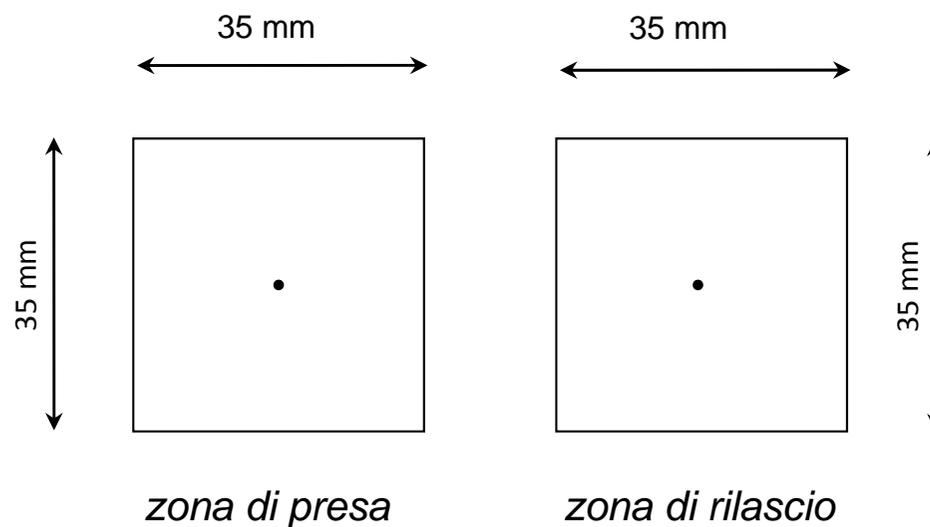
Documento interno	MM&A-PRIN2009-0003		
Progetto	PRIN2009	Coordinatore scientifico	Prof. Giovanni Legnani
Data	04/07/2012	N° pagine	15

Autore: ITIA-CNR

SPECIFICHE SISTEMA DI VISIONE

2 ZONE DA MONITORARE PER LA PRESA E IL RILASCIO DEGLI OGGETTI:

- $FOV = 35 \times 35 \text{ mm}^2$
- $R_s = 20 \text{ pix}/\mu\text{m}$



SdV 2D vs SdV 3D

SdV 2D → 1 Telecamera:

permette di monitorare un piano (XY) → nel caso di guida robot:

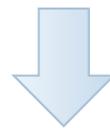
- la posa dell'oggetto nel piano (X, Y, Orient_z) viene calcolata dal SdV
- la quota dell'oggetto (Z) viene comandata in posizione (a priori)

SdV 3D → Visione Stereoscopica (2 o più Telecamere) oppure Triangolazione con luce strutturata (Telecamera + Luce strutturata):

permette di monitorare uno spazio (XYZ) → nel caso di guida robot:

la posa dell'oggetto nello spazio ($X, Y, Z, \text{Orient}_x, \text{Orient}_y, \text{Orient}_z$) viene calcolata dal SdV

N.B. Solitamente, dato che gli oggetti giacciono nel piano, gli orientamenti degli oggetti lungo l'asse X e lungo l'asse Y (Orient_x e Orient_y) non vengono mai calcolati.

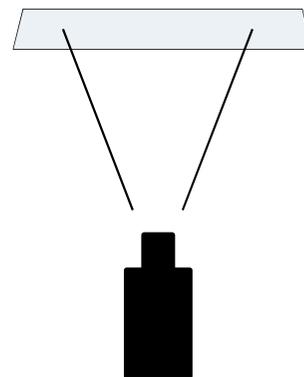


Dato che gli oggetti da manipolare nel progetto hanno caratteristiche 2D
LA VISIONE 2D RISULTA ADEGUATA E SUFFICIENTE

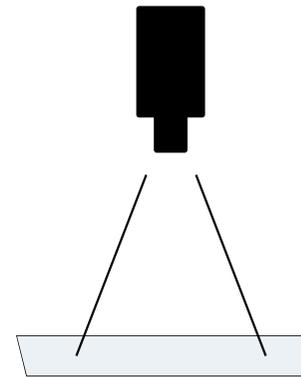
SOLUZIONI PROGETTUALI SdV 2D

Soluzione 1:

- zona di presa monitorata da una telecamera fissa montata in modo tale da poter inquadrare, sia l'oggetto da dover afferrare giacenti nella zona di presa, sia gli oggetti in presa al robot (*VISIONE dal BASSO*)
- zona di rilascio monitorata da una telecamera fissa montata in modo tale da poter inquadrare i fori del carter dove inserire gli oggetti (*VISIONE dall' ALTO*)



zona di presa

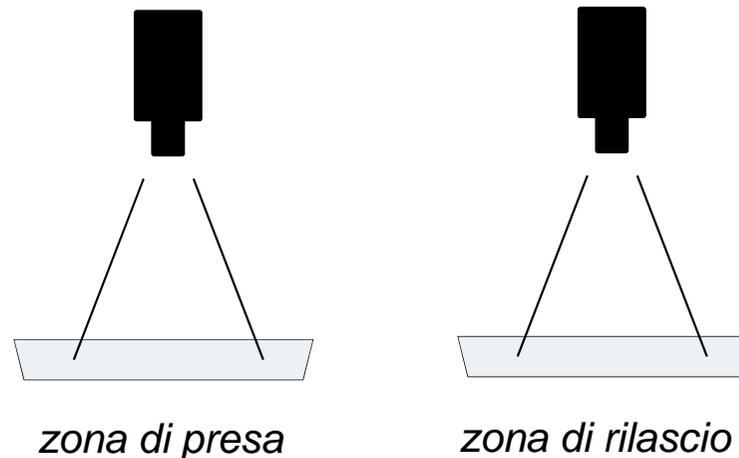


zona di rilascio

SOLUZIONI PROGETTUALI SdV 2D

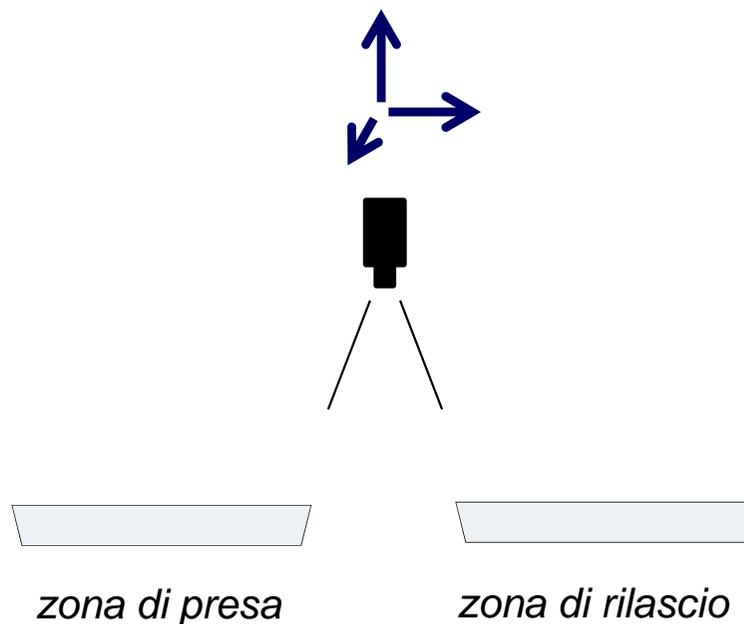
Soluzione 2:

- zona di presa monitorata da una telecamera fissa montata in modo tale da poter inquadrare gli oggetti da dover afferrare giacenti sulla zona di presa (*VISIONE dall'ALTO*)
- zona di rilascio monitorata da una telecamera fissa montata in modo tale da poter inquadrare i fori del carter dove inserire gli oggetti (*VISIONE dall'ALTO*)



Soluzione 3:

TELECAMERA a BORDO ROBOT (VISIONE dall' ALTO), in grado di monitorare sia la zona di presa sia la zona di rilascio grazie al movimento del robot



Considerazioni:

- La soluzione 1 rispetto alla soluzione 2 presenta il vantaggio di poter monitorare l'oggetto direttamente in presa al robot. In questo modo è possibile calcolare la posa dell'oggetto in presa al robot rispetto al gripper (UTILE per verificare la presenza di errori di presa da parte del gripper, per esempio offset di presa e di posa);
- la soluzione 1 è realizzabile solo se nella zona di presa non è presente una tavola vibrante (presente per dividere gli oggetti sovrapposti) o un sistema d'illuminazione backlight che ostacolerebbero la visione dal basso;
- la soluzione 3 è in corso di valutazione, sulla base del tradeoff tra payload del robot e prestazioni del sistema camera-ottiche (studio delle microcamere in corso.....);

SCELTA COMPONENTI SdV 2D: TELECAMERE

scelta TELECAMERA		FOV _{teorico} = 35 x 35 [mm ²]			
		rapp lung/larg sensore	FOV _{reale} [mm ²]	R _s [μm/pixel]	FEATURE _{min} [μm]
Sensore [Mpixel]	1.4 (1360x1024)	1.3281 (2/3)	46.4843 x 35	34.17963235	136.7185294
	5 (2448x2050)	1.1941 (2/3)	41.7951 x 35	17.07316176	68.29264706
	8 (3272 x 2469)	1.3252 (4/3)	46.3831 x 35	14.17576406	56.70305623
	11 (4008 x 2672)	1.5000 (35mm)	52.5000 x 35	13.0988024	52.39520958

Camere Allied Vision (dall'alto al basso): PROSILICA GC-1380H; GC-2450; GX-3300; GE-4000

SCELTA COMPONENTI SdV 2D: OBIETTIVI

SPECIFICA PER LA SCELTA DEGLI OBIETTIVI:

scegliere l'obiettivo che a parità di FOV lavora a una WD più ridotta
(per MINIMIZZARE gli INGOMBRI della cella)

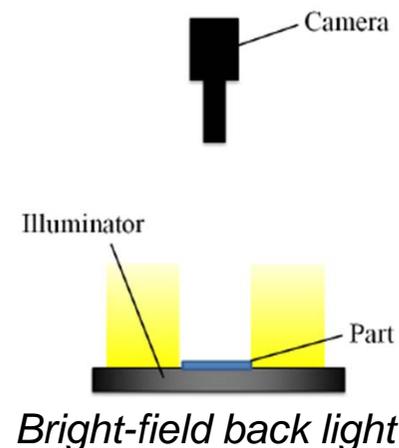
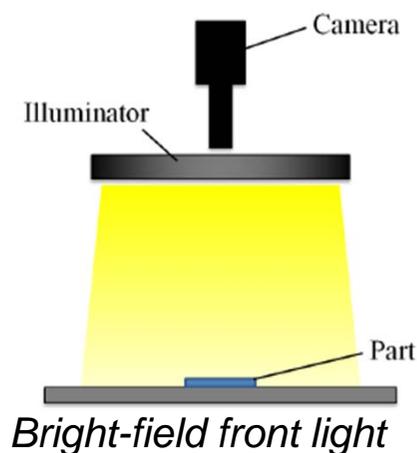
- Per quanto riguarda la *VISIONE dall' ALTO*:
Una volta nota l'altezza del manipolatore, sarà possibile determinare la WD minima e quindi scegliere gli obiettivi adatti.
- Per quanto riguarda la *VISIONE dal BASSO*:
 - lente VS-LD50 (macro zero distortion): focale fissa 50 mm con $f\#=2.94$ e $WD = 261.5$ mm
→ $FOV = 44 \times 33$ mm² e $dof = 6$ mm
 - lente VS-LD75 (macro zero distortion): focale fissa 75 mm con $f\#=4.57$ e $WD = 404.4$ mm
→ $FOV = 44 \times 33$ mm² e $dof = 9.1$ mm
 - lente SERIE MC3-03X OptoEngineering (macro zero distortion) focale variabile:
con 0 distanziali, $WD = 136$ mm e $f\#=6$
→ $FOV = 44 \times 33$ mm² e $dof = 5$ mm

SCELTA COMPONENTI SdV 2D: ILLUMINATORI

L'applicazione necessita di un'illuminazione **diffusa**, **uniforme** e inoltre che **minimizzi i riflessi** sia per la zona di presa, sia per la zona di rilascio.



Per ottenere questo tipo di illuminazione è opportuno utilizzare illuminatori *Bright field a luce diffusa*. Questi illuminatori possono essere illuminatori frontali (A) o retro illuminatori (B)



Per quanto riguarda il colore dei sistemi d'illuminazione, una buona soluzione che permette di illuminare oggetti di colori diversi, è il BIANCO.

SCELTA COMPONENTI SdV 2D: ILLUMINATORI

- Per quanto riguarda la *ZONA DI PRESA*:
 - per la *SOLUZIONE 1*: Bright-field front light
 - per la *SOLUZIONE 2*: Bright-field back light

- Per quanto riguarda la *ZONA DI RILASCIO*:
 - per le *SOLUZIONE 1 e 2*: Bright-field front light

Una buona soluzione commerciali per Bright-field front light è rappresentata dagli illuminatori a led HPR della CCS



Una buona soluzione commerciali per Bright-field back light è rappresentata dagli illuminatori back light a led della BMT



CALIBRAZIONE TELECAMERE E GEOREFERENZIAZIONE CON IL ROBOT

Il gruppo ha analizzato e sperimentato varie tecniche di calibrazione e georeferenziazione alla micro-scala:

- **TECNICA STANDARD** (griglia di calibrazione fisica e georef. con pin)
 - necessita di device costosi e molto precisi (griglia di calib. e pin)
 - operazione manuale
- **TECNICHE NON STANDARD:**
 - **IBRIDA** (griglia di calibrazione fisica e georef. con griglia virtuale)
 - necessita solo della griglia di calibrazione
 - operazione automatica
 - **GRIGLIA VIRTUALE**
 - non necessita di device esterni (ma solo del robot)
 - operazione automatica

Queste tecniche sono state sperimentate sia nel caso della visione dall'alto sia nel caso della visione dal basso.

E' stato utilizzato come end-effector un gripper a vuoto, ma queste tecniche di calib/georef possono essere utilizzate anche con gripper diversi (ex. meccanici, a capillarità,....)

METODO GRIGLIA VIRTUALE

RISULTATI CALIBRAZIONE E GEOREFERENZIAZIONE:

- *VISIONE dal BASSO (FOV 16.3 x 13.5 mm² e camera da 5 Mpix)*

Error in calibration points		Error in non-calibration points	
Mean error	Max error	Mean error	Max error
5.3 μm	14.6 μm	8.4 μm	22.5 μm

- *VISIONE dall' ALTO (FOV 32.70 x 24.59 mm² e camera da 1.4 Mpix)*

Error in calibration points		Error in non-calibration points	
Mean error	Max error	Mean error	Max error
15.2 μm	34.4 μm	28.1 μm	93.9 μm

CALIBRAZIONE END-EFFECTOR

E' stata implementata una tecnica di calibrazione dell'end-effector, per ovviare al disassamento dell'asse dell'end-effector rispetto all'asse dell'ultimo link del robot. Questa tecnica è stata utilizzata con gripper a vuoto, ma è estendibile anche a gripper di tipo diverso (ex. meccanici, a capillarità, ...)

RISULTATI CALIBRAZIONE END-EFFECTOR:

Error before calibration		Error after calibration	
Mean error	Max error	Mean error	Max error
188.8 μm	309.3 μm	11.8 μm	30.0 μm

Con disassamento:

Δx [μm]	Δy [μm]
68.7	137.2

PROSSIMI PASSI

- Analizzare, studiare ed implementare metodologie per la calibrazione della tavola d'orientamento
- Proseguire con lo studio della soluzione progettuale con telecamera a bordo robot (fattibilità, interfaccia meccanica, metodologie di calibrazione, ...)
- Scegliere il layout e l'HW definitivi del SdV
- Creare algoritmi di machine vision per il riconoscimento automatico e la misura degli oggetti da manipolare (Pattern Matching, Geometric Matching edge based and feature based, Blob analysis, ...)