

Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica  
aa 13-14

# Verifica delle tolleranze attraverso Reverse Engineering: sviluppo di algoritmi per l'analisi di superfici cilindriche



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Candidato: Alessio Trifirò

Relatore: Francesca Campana

# Obiettivi del lavoro

Sviluppo di algoritmi per il riconoscimento di superfici cilindriche in nuvole di punti acquisite con sistemi di **Reverse Engineering**

Il Reverse Engineering digitalizza le forme in nuvole di punti al fine di archiviare, progettare, **misurare**

Alla base del processo di elaborazione vi è il Riconoscimento di Forme (Feature Recognition):

- per allineare l'oggetto acquisito rispetto ai dei vincoli
- **per misure di tolleranza**

Integrazione di nuove funzioni in un progetto avviato.

## **Fasi di lavoro:**

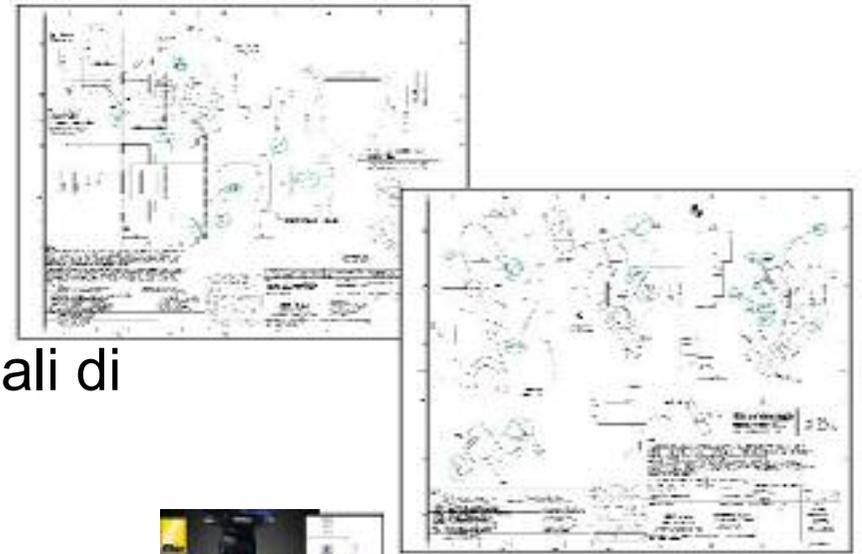
- ✓ Studio introduttivo al programma e alla problematica
- ✓ Creazione algoritmi per superfici curve
- ✓ Verifica dell'attendibilità dei risultati attraverso 3 casi studio

# Progetto Generale

Problematica:

Verifica del rispetto delle specifiche dimensionali di progetto per componenti stampati in plastica

Reverse Engineering adeguato perchè fatto con laser scanner su portale (precisione del macchinario: 0.0025 mm)



Soluzione:

Logica di elaborazione delle nuvole di punti dei pezzi che riconosca le caratteristiche geometriche (piani, cilindri, cavità sferiche, ...) del pezzo per misurarle

Contesto Aziendale:

Reparto Controllo Qualità in  
accettazione di ABB Sace s.p.a.

# Logica di elaborazione sviluppata

Discretizzazione in volumi cubici (voxel)

**Intervento 1**

**Analisi curvatura dei voxel**

Analisi superfici piane

Analisi superfici cilindriche

Ricerca di tutte le giaciture riconducibili ai piani del pezzo

**Intervento 2**

Ricerca di assi e raggi osculatori

Clusterizzazione delle facce in base alle giaciture trovate

Clusterizzazione dei raggi uguali

*Region growing / hierarchical clustering*

Ricerca della terna intrinseca (O123) del pezzo attraverso la popolosità dei voxel

Ricerca delle coppie di facce in base a O123:  
1. ricerca facce simmetriche (misure in //)  
2. ricerca facce consecutive (misure in --)

Misura in base alle direzioni della terna intrinseca

## Intervento 1

# Irrobustimento riconoscimento piani

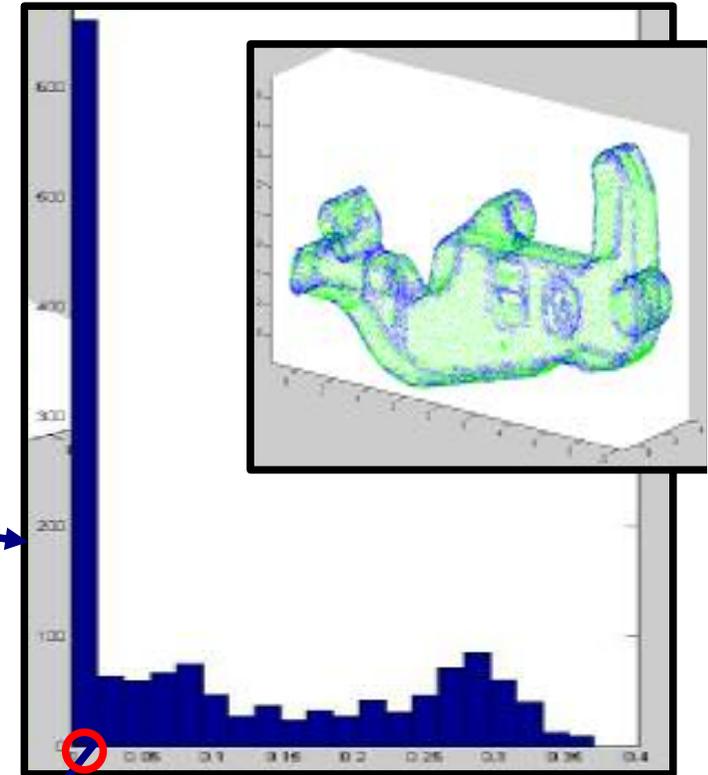
### "partizione\_piani.m":

- calcola un **piano di best fitting** per ogni voxel sulla base dei punti che contiene
- trova poi la **varianza** delle distanze tra il piano di BF e i punti approssimati
- questi valori sono poi visualizzati in un **istogramma**; si può diminuire la base dei rettangoli graficati in base ai bin richiesti
- si prende come **valore di soglia** per riconoscere i voxel come piani il numero corrispondente alla mezzieria della base del primo rettangolo (sempre il valore più frequente)

Piano di Best fitting

Varianza

Istogramma



Valore di soglia

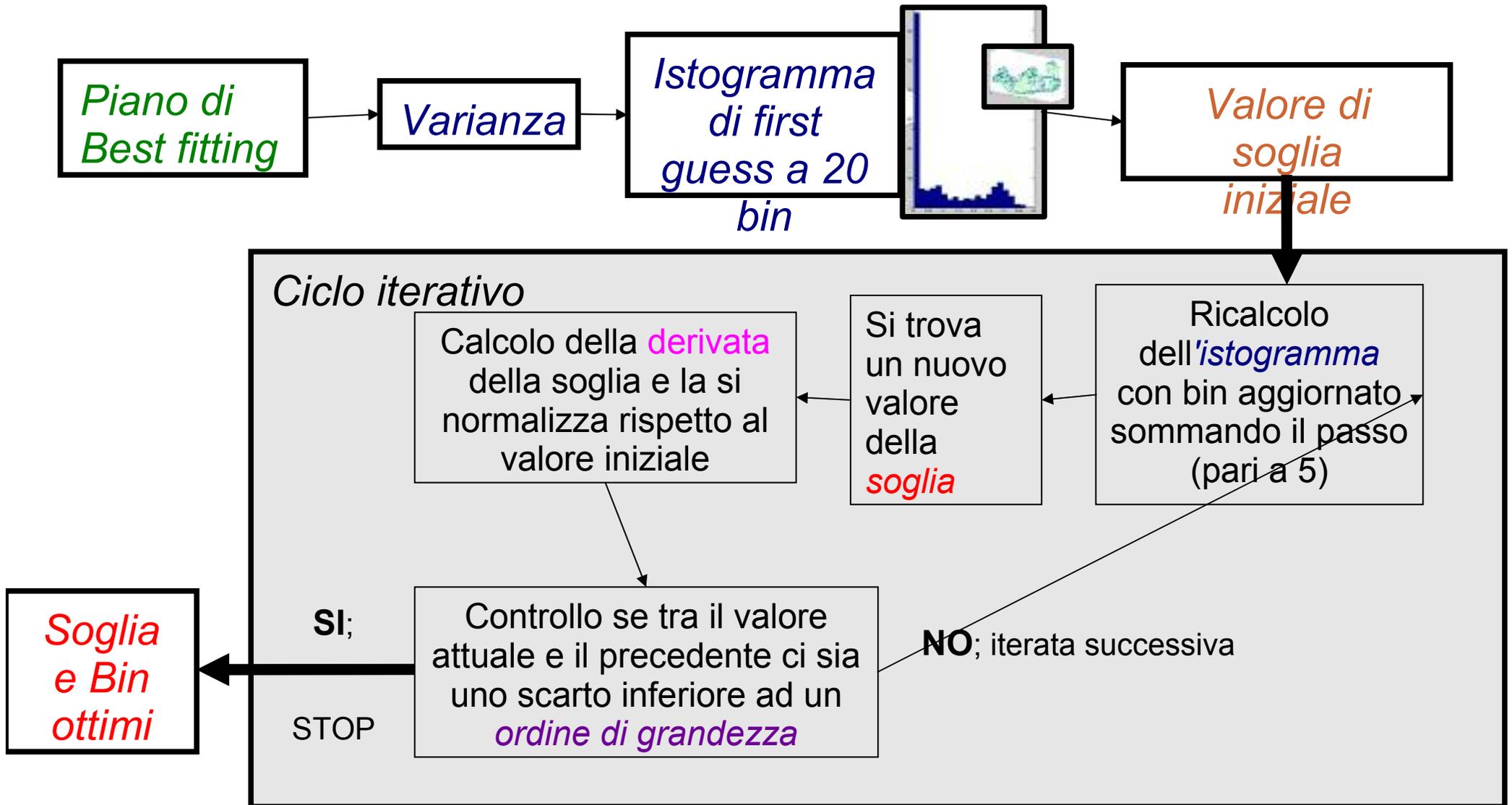
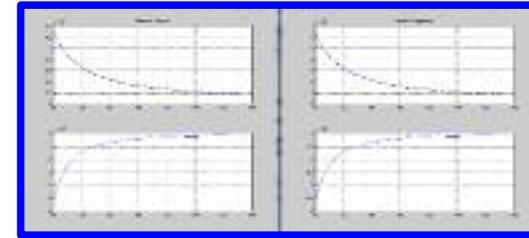
La soglia sulla varianza deve essere più stringente

Funzione che cerca la soglia in modo automatico:  
"logica\_scelta\_bin.m"

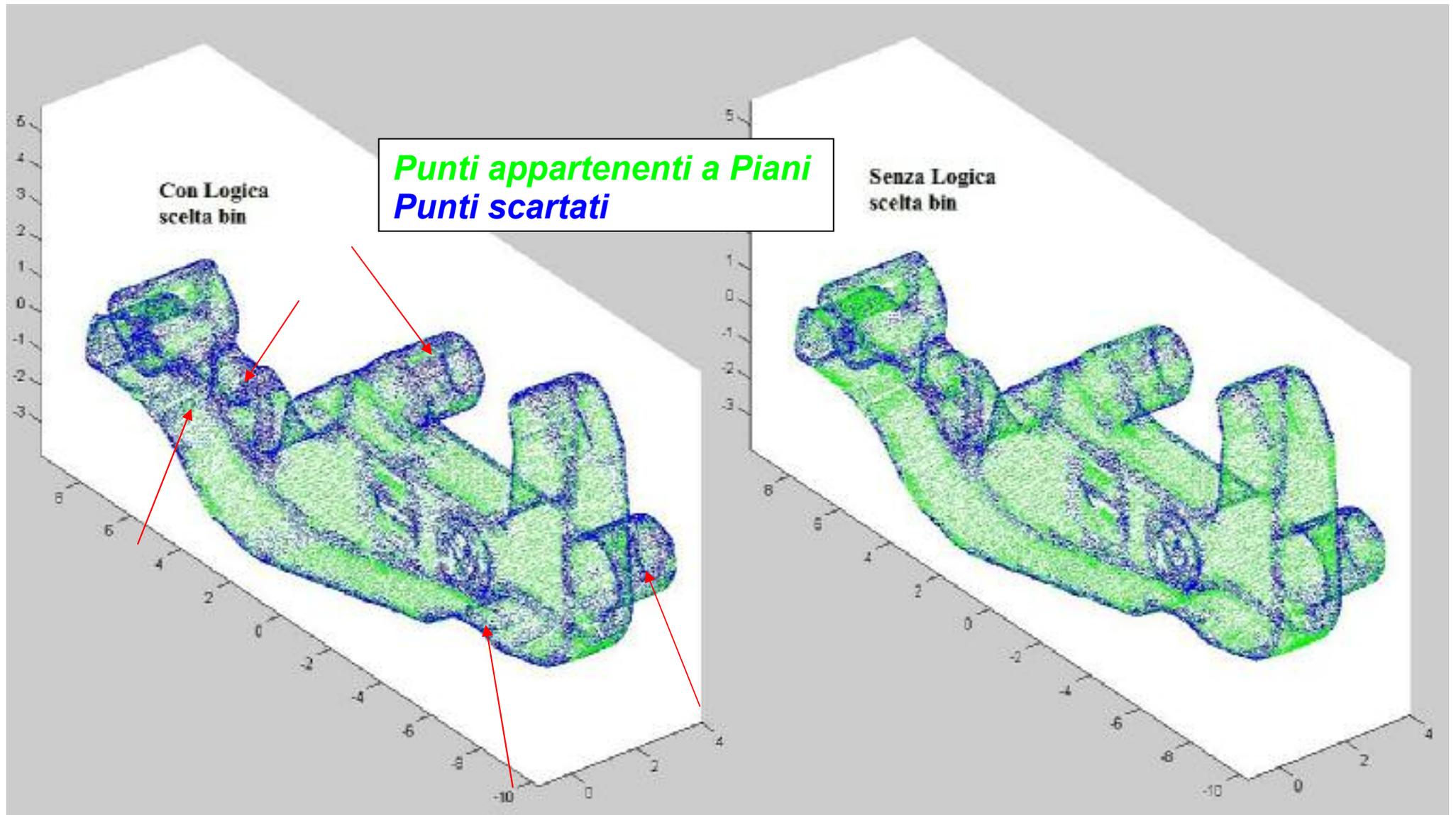
# Intervento 1

# Scelta della soglia ottima

Poiché esiste una *soglia asintotica* per la varianza del piano di best fitting si è creata una funzione di ricerca di tale soglia



# Risultati ottenuti con la soglia ottima



Il miglioramento nel riconoscimento dei **piani** risulta evidente; si hanno dunque più *punti scartati* che saranno analizzati per la ricerca delle zone cilindriche

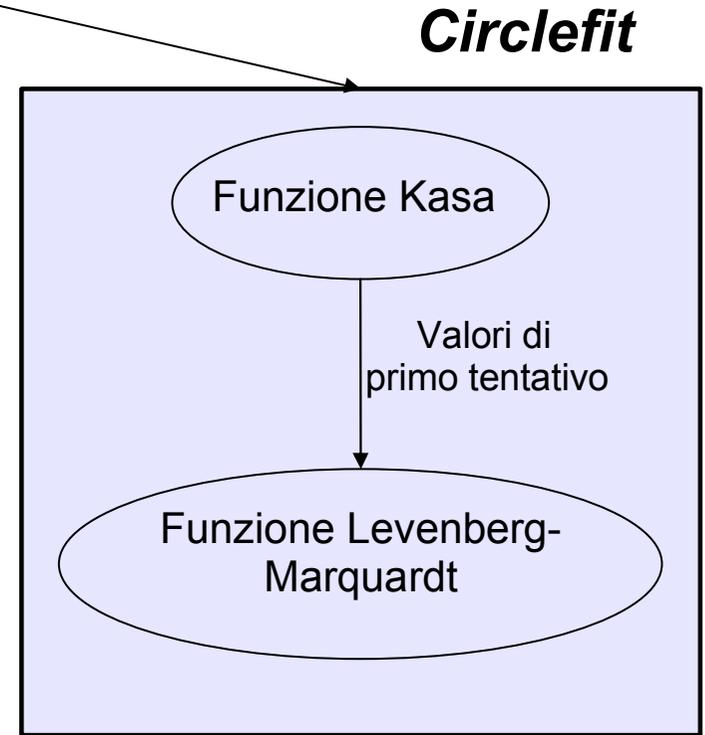
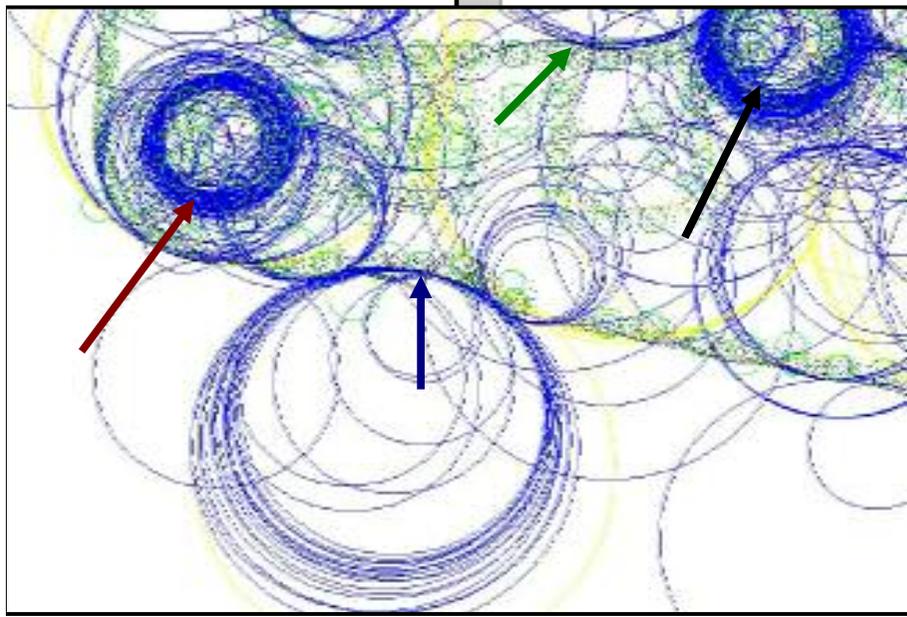
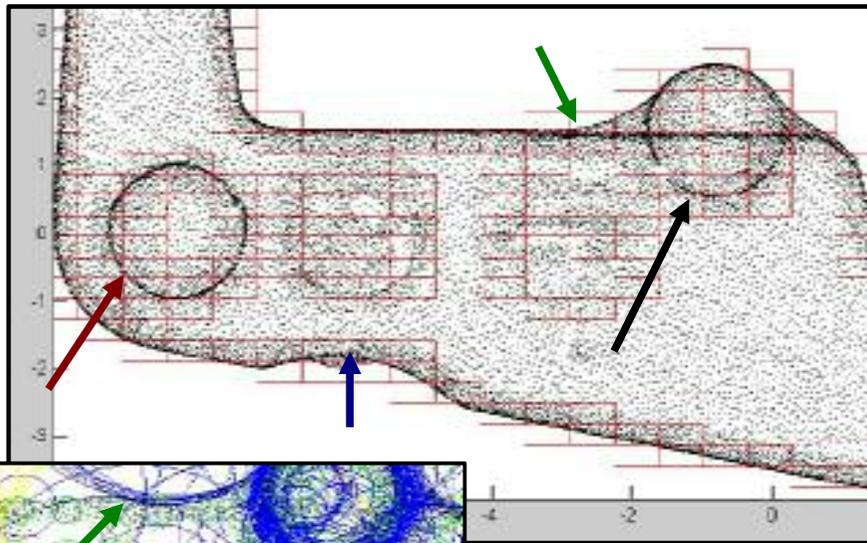
## Intervento 2

# Ricerca dei cilindri

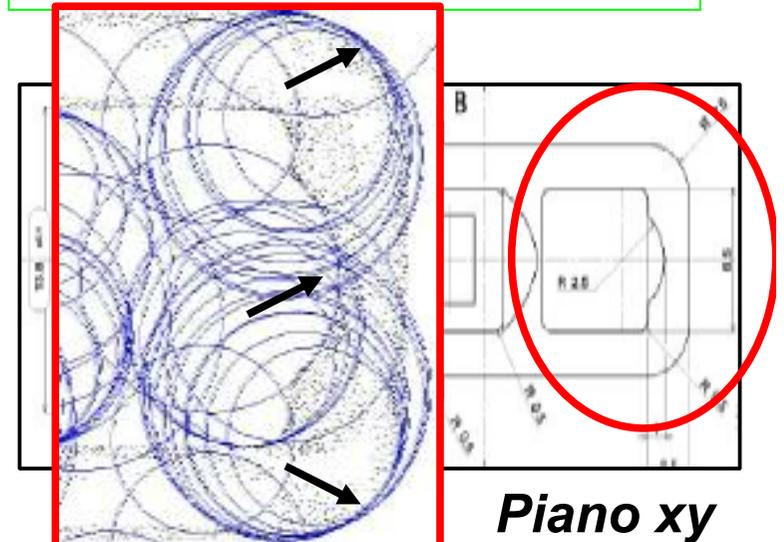


A ogni voxel che contiene superfici curve applico le 2 funzioni di best fitting in cascata ottenendo tre cerchi interpolanti: uno per ogni piano coordinato  $xy$ ,  $xz$  e  $yz$

*Leva di Aggancio  
Piano yz*



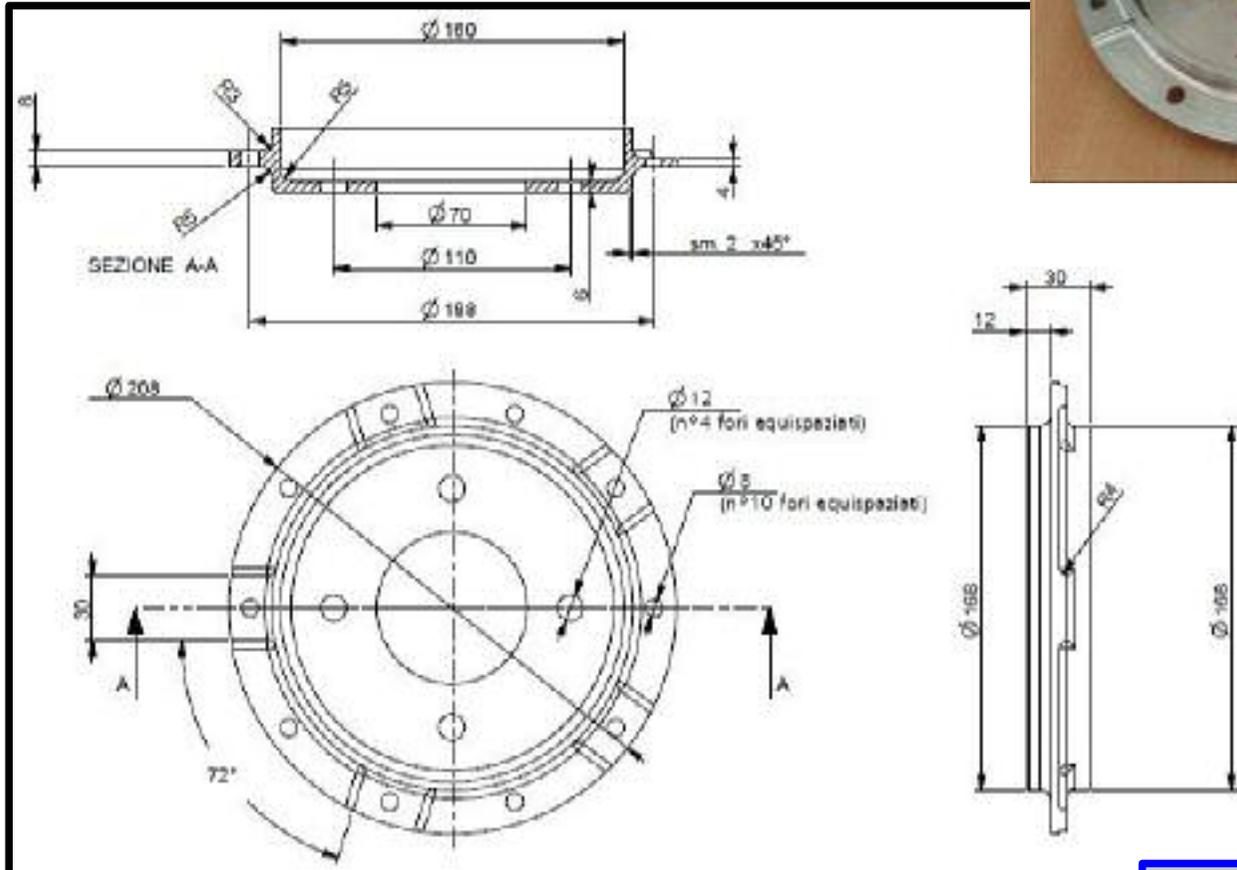
*Cerchi Osculatori medi*



*Piano xy*

# Test case di convalida: Flangia

La flangia fornita dal CSM s.p.a. risulta perfetta per la convalida degli algoritmi presentati in quanto assialsimmetrica

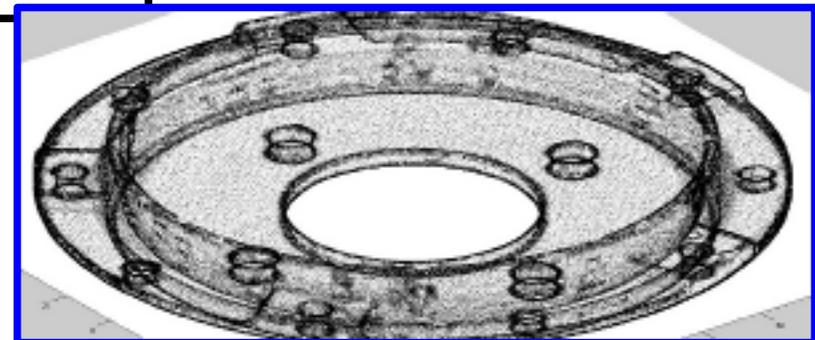


Fasi di lavoro preliminari:

- Modellazione al CAD
- Acquisizione mediante laser scanner in ABB
  - scansione superiore, inferiore e laterale
  - assembly match con l'aiuto del CAD
- filtraggio della nuvola



Si ha la **nuvola di punti** della flangia pronta per l'applicazione degli algoritmi



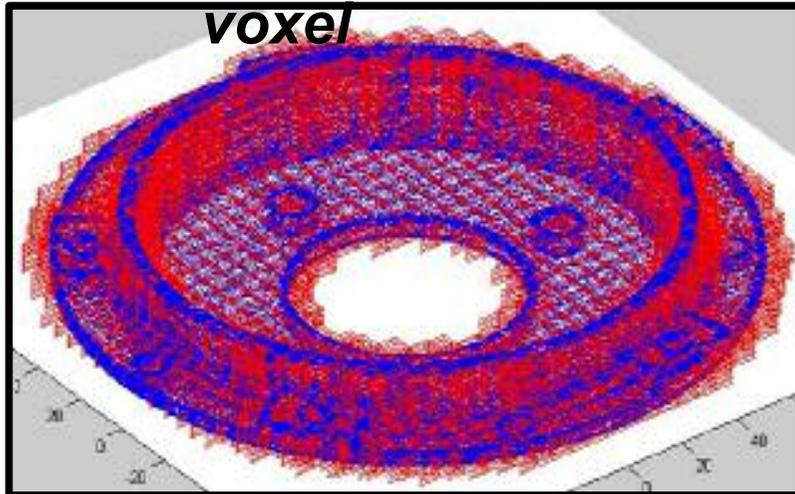
# Fase iniziale del programma applicata alla Flangia

Riconoscimento delle zone piane con  
"partizione\_piani.m":  
si presentano i risultati con e senza

Intervento 1

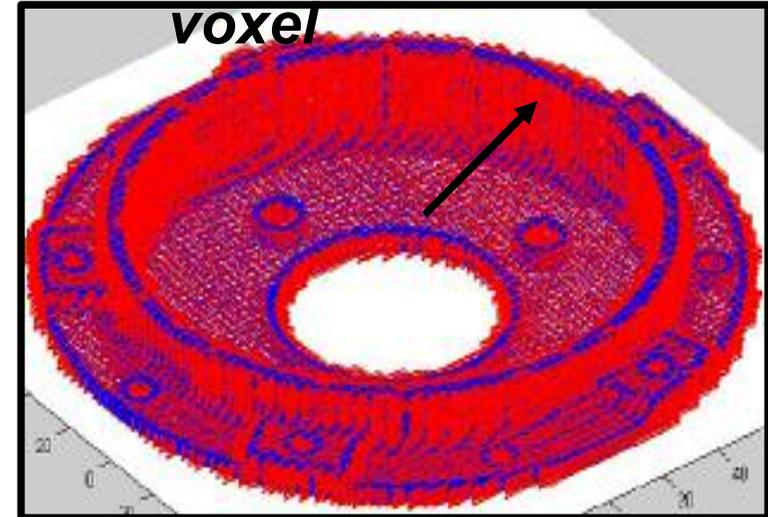
32x32x32

voxel



64x64x64

voxel

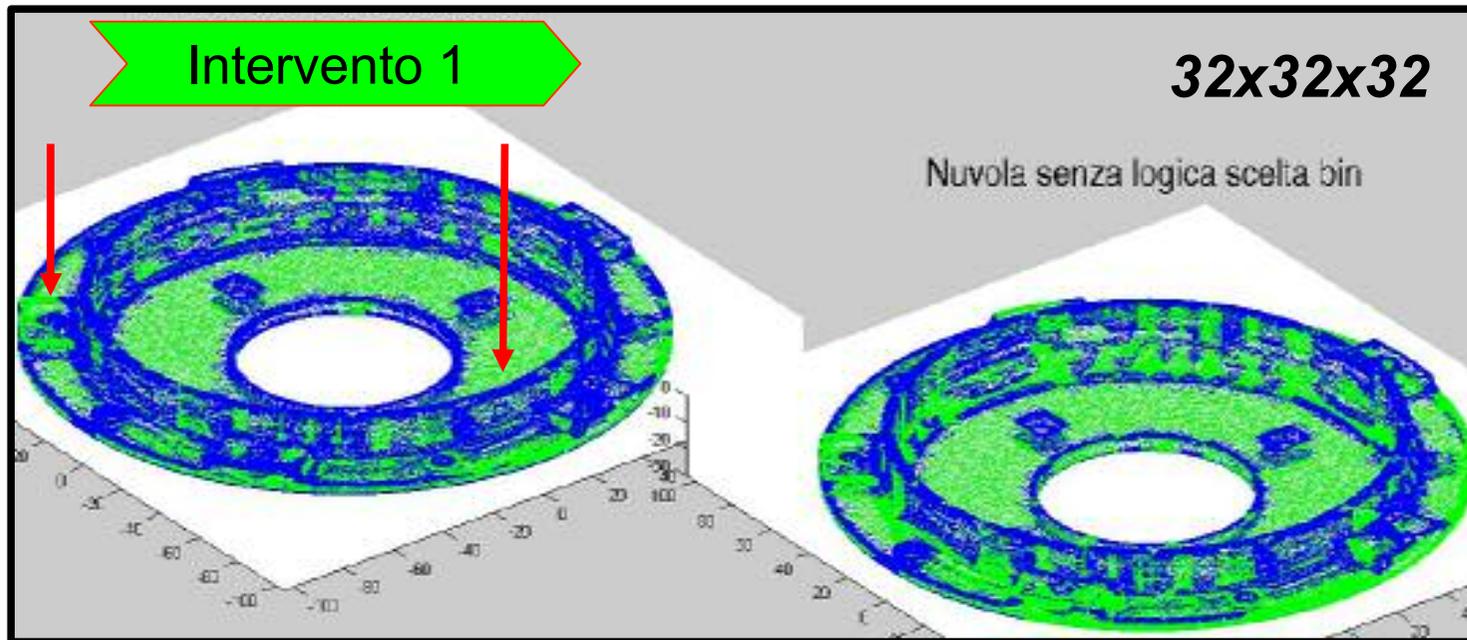


Si presentano i seguenti casi di compromesso perchè risultano essere i più significativi per due motivi:

- 1) n° voxel elevato fa risultare le parti curve come piane
- 2) n° voxel basso da una cattiva percezione dei particolari

Il caso 64x64x64 sembra migliore per la descrizione della **parte cilindrica a spessore sottile evidenziata** perchè ci sono più voxel

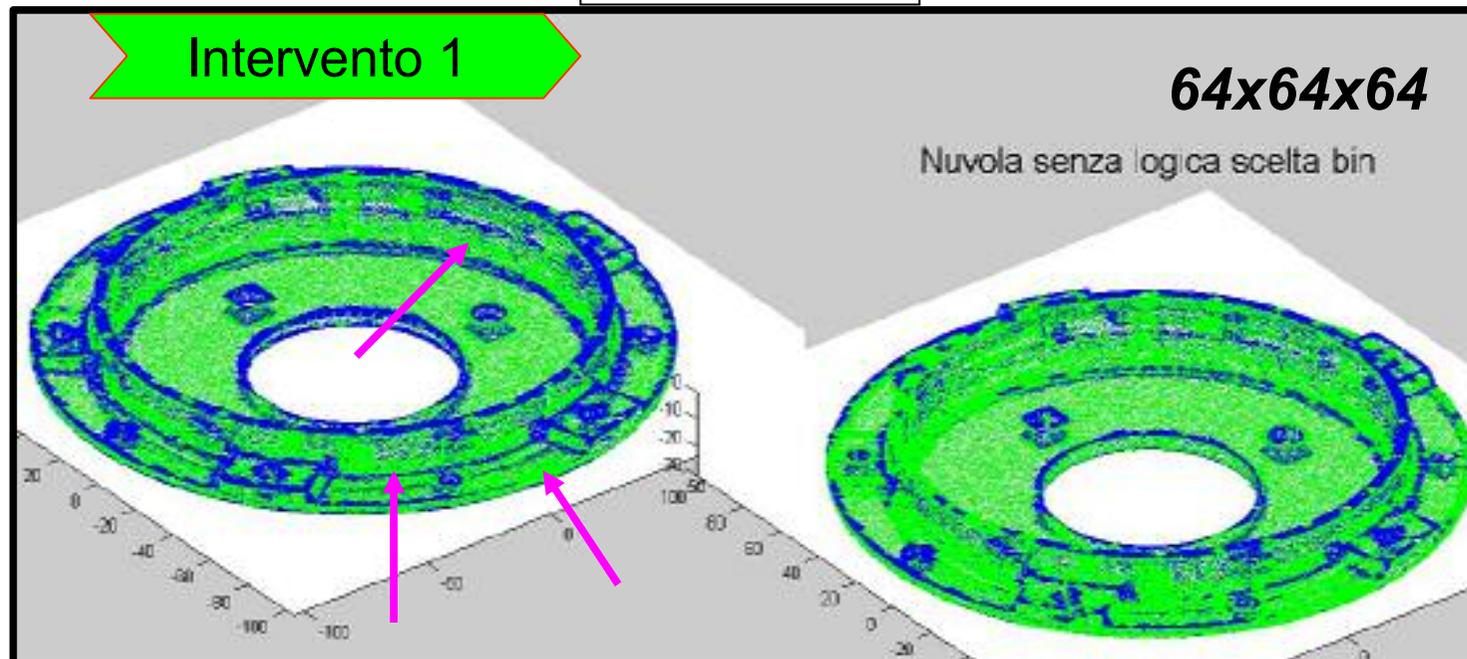
# Risultato del riconoscimento piani sulla flangia (1)



Punti di Piani  
Punti scartati

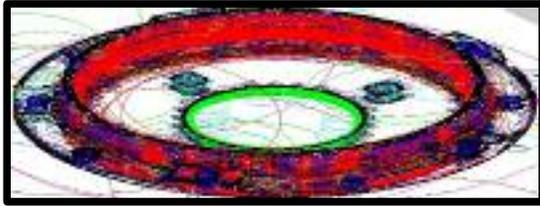
L'ottimizzazione della soglia risulta essere fondamentale.

Il caso 32x32x32 sembra riconoscere meglio i *piani evidenziati*.

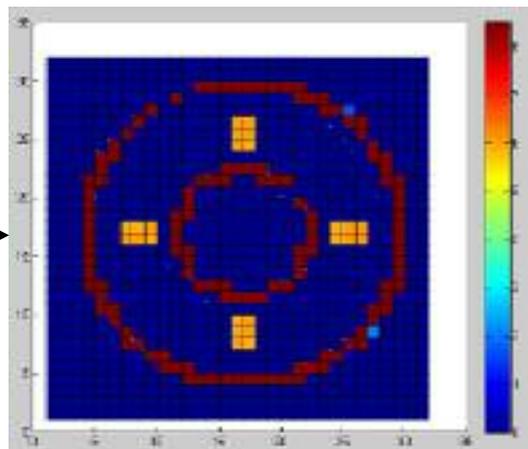
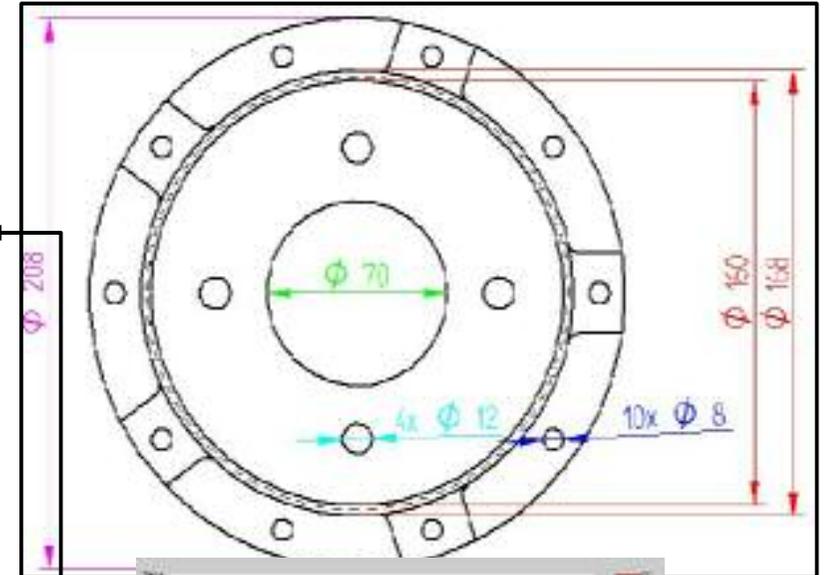


Nel caso 64x64x64 non si ha una giusta individuazione delle *parti curve* che vengono scambiate per piano a causa delle dimensioni ridotte dei voxel creati per la suddivisione della nuvola (problema 1).

# Risultato del Circlefit sulla flangia (1)

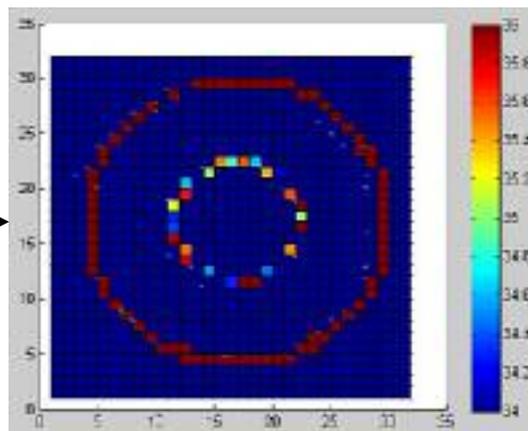


Si presentano i risultati filtrati del Circlefit per la flangia analizzata con  $32 \times 32 \times 32$  voxel.



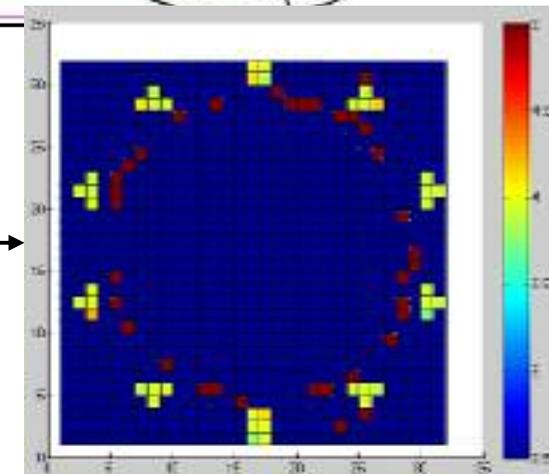
## ***Fori Interni***

Raggio nom.: 6 mm  
Risultato Circlefit:  
 $5.9 \leq r \leq 6.1$



## ***Foro Centrale***

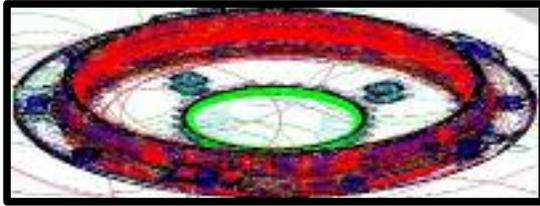
Raggio nom.: 35 mm  
Risultato Circlefit:  
 $34.4 \leq r \leq 35.1$



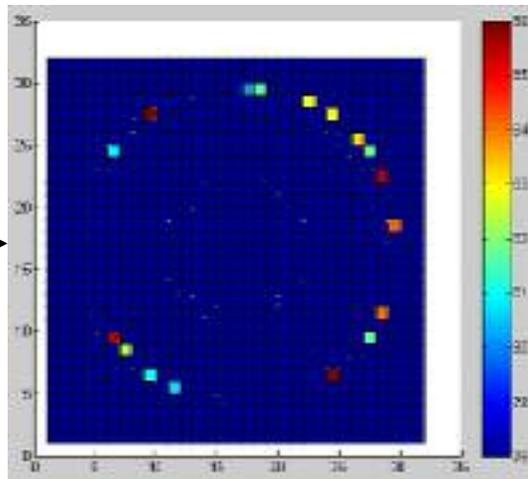
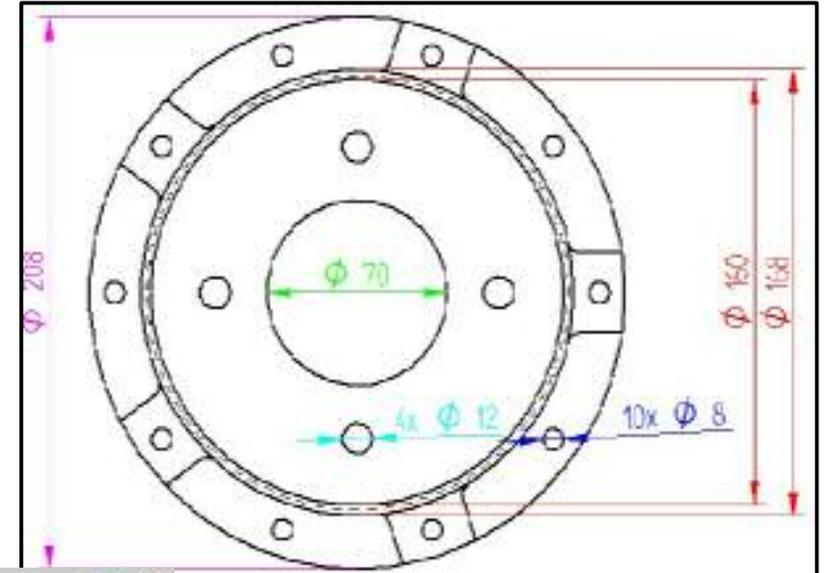
## ***Fori Esterni***

Raggio nom.: 4 mm  
Risultato Circlefit:  
 $3.9 \leq r \leq 4.1$

# Risultato del Circlefit sulla flangia (2)

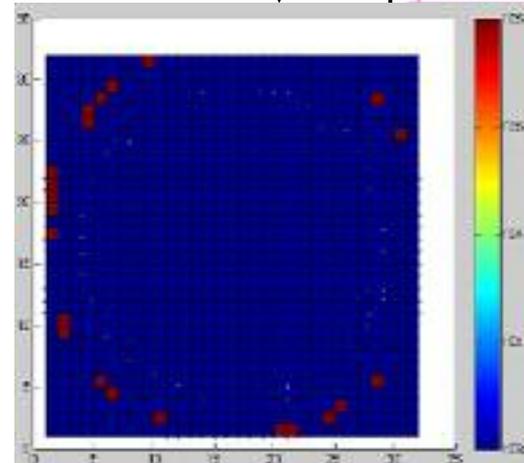


Si presentano i risultati filtrati del Circlefit per la flangia analizzata con 32x32x32 voxel.



## **Superfici cilindriche centrali**

Raggio nom. Int.: 80 mm  
Raggio nom. Est.: 84 mm  
Risultato Circlefit:  
 $79 \leq r \leq 85$



## **Problema:**

Riconoscimento parte curva

## **Soluzione:**

Migliorare l'ordine di grandezza della scelta automatica delle soglie

## **Superficie cilindrica esterna**

Raggio nom.: 104 mm  
Risultato Circlefit:  
*fuori range*

# Conclusioni

I metodi e le funzioni esposte si sono adattate bene nel programma.

- ◆ L'integrazione della funzione di scelta automatica delle soglie è stata eseguita e approvata dagli ingegneri di ABB Sace s.p.a.
- ◆ Il Circlefit è stato esposto in azienda e sarà integrato nel software a breve dopo ulteriori test.

Il lavoro ha migliorato ed ampliato dunque la logica sviluppata ottenendo risultati concreti accettabili e soddisfacenti.

## ***Sviluppi futuri:***

- dal problema riscontrato con la flangia della **scelta del n° dei voxel**: scelta automatica in base alla geometria della nuvola;
- **consolidamento del Circlefit** e integrazione nel programma finale;
- **Region Growing** che accorpi i voxel di ogni superficie cilindrica;
- **Misura e verifica** delle tolleranze

***Grazie dell'attenzione***