

# PRESENTAZIONE PROGETTO

Sensori, Rivelatori e Dispositivi Elettronici

Docente:  
Prof. Antonio Iula

Studente:  
Michael Pio Stolfi 68787

# Sommario

Introduzione

Il metodo CCM

Dati di partenza

Ridimensionamento

Estrapolazione

Binarizzazione

Isolamento del pattern venoso

Ispessimento del pattern venoso

Filtraggio delle componenti connesse

Affinamento delle vene

Analisi critica del metodo CCM

Conclusioni



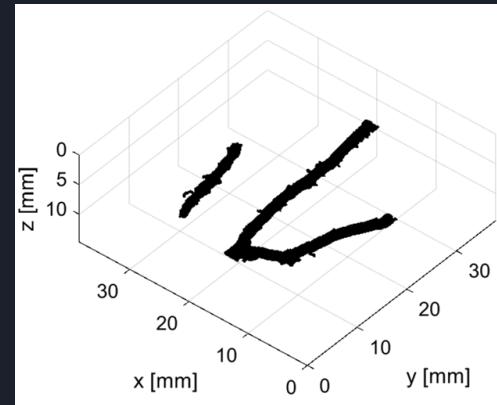
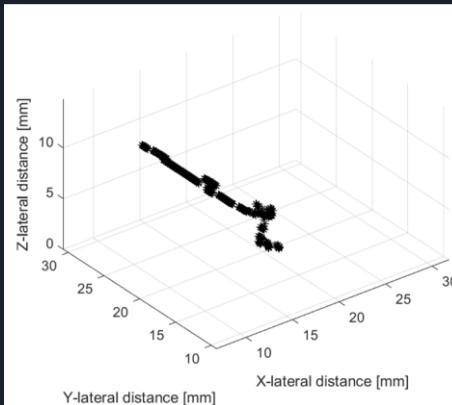
# Introduzione

Scopi del presente lavoro:

- Approfondire e presentare in maniera chiara e ordinata il metodo CCM
- Analizzare criticamente le tecniche implementative del metodo CCM e proporre soluzioni migliorative

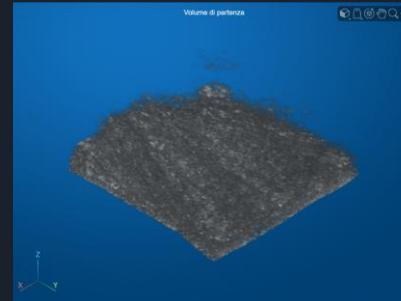
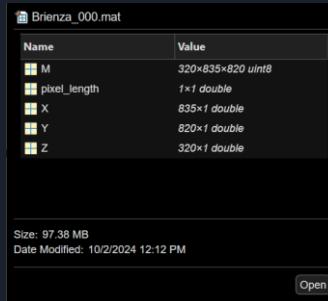
# Il metodo CCM

- Metodo di estrazione del pattern venoso 3D
- Supera le limitazioni dei metodi precedenti
  - Segmenti venosi multipli
  - Cattura orientamento e posizione delle vene
  - Conserva forma delle vene
- Metodo basato su tecniche di analisi dei dati



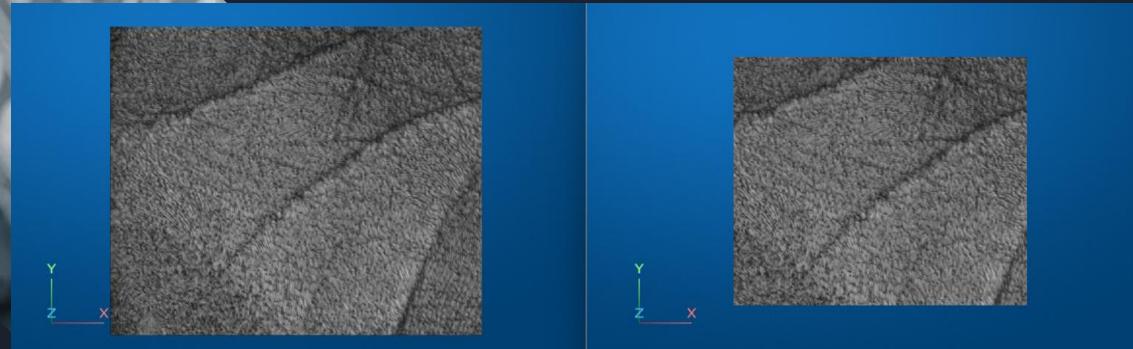
# Il metodo CCM: Dati di partenza

- Prende come input iniziale i file mat contenenti i dati relativi alle varie acquisizioni dei vari utenti.
- Delle matrici contenute nei file quella di interesse è la matrice M, che è una matrice 3D  $835 \times 820 \times 320$  voxel.
- La matrice di partenza è nella forma  $zxy$ , però molte funzioni di elaborazione e stampa delle immagini 3D in MATLAB usano la forma  $yxz$



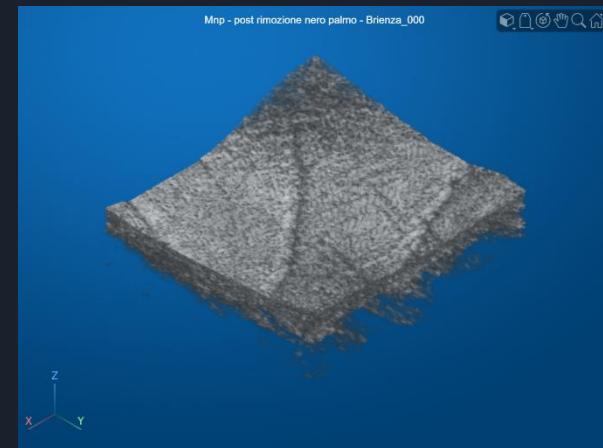
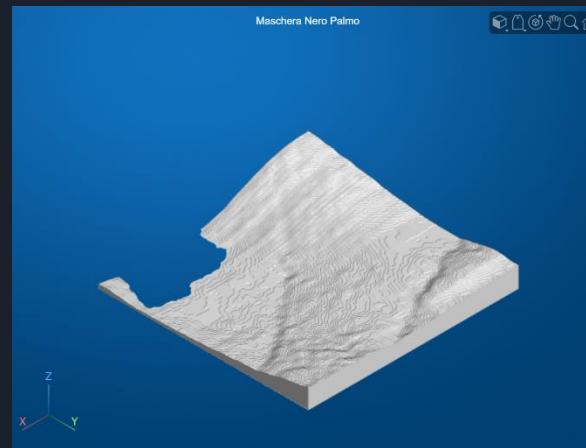
# Il metodo CCM: Ridimensionamento

- Dimensioni originali
    - $X = 820$
    - $Y = 835$
    - $Z = 320$
  - Motivi
    - Esclusione rumore dei bordi
    - Risparmio tempo di calcolo
- 



# Il metodo CCM: Estrapolazione

- Creazione del volume utile all'estrazione delle strutture venose
- Creazione di *mascheraAcqua*, *mascheraNero* e *volumePalmo*



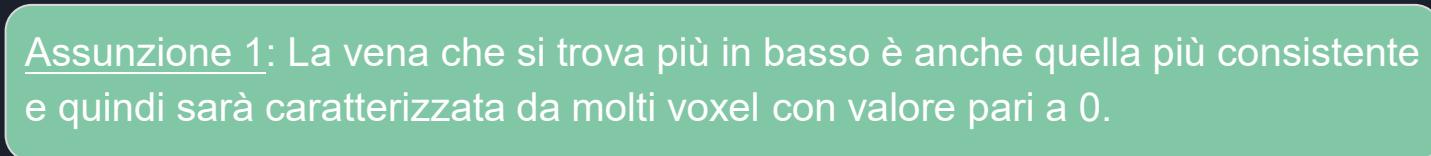
# Il metodo CCM: Binarizzazione

`uint8 [0,255] -> logical [0,1]`

- Utile a mantenere la maggior quantità di informazioni utili
- Una soglia fissa non è sufficiente
- Binarizzazione adattiva, basata su:
  - Coordinata Z di inizio binarizzazione
  - Coordinata Z di fine binarizzazione
  - Soglia iniziale di binarizzazione
  - Soglia finale di binarizzazione



## Il metodo CCM: Binarizzazione: Calcolo del vettore fine binarizzazione



Assunzione 1: La vena che si trova più in basso è anche quella più consistente e quindi sarà caratterizzata da molti voxel con valore pari a 0.



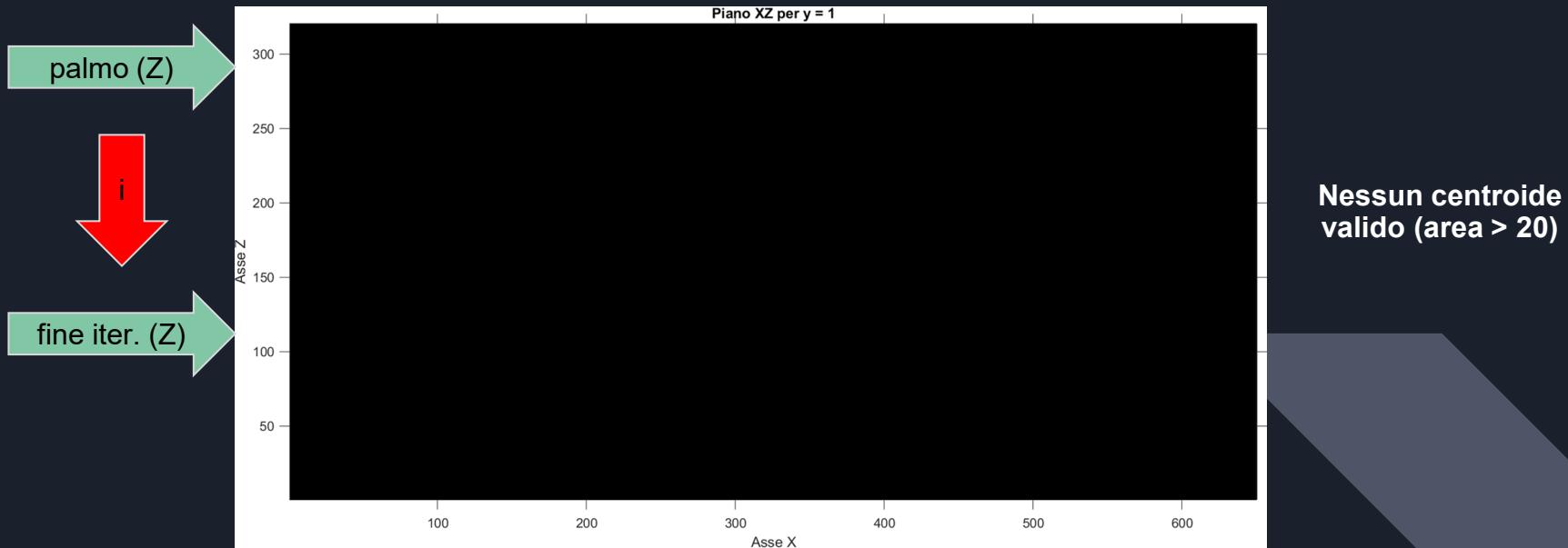
## Il metodo CCM: Binarizzazione: Calcolo del vettore fine binarizzazione

- Binarizzazione del volume invertito con una soglia elevata
  - Valore di fine necessario per ogni BSCAN
  - Procedimento iterativo
- 

## Il metodo CCM: Binarizzazione: Calcolo del vettore fine binarizzazione

- Si calcola la coordinata (Z) di fine binarizzazione per ogni BSCAN
- Procedimento iterativo
  - Viene calcolato il numero dei centroidi \* per ogni iterazione

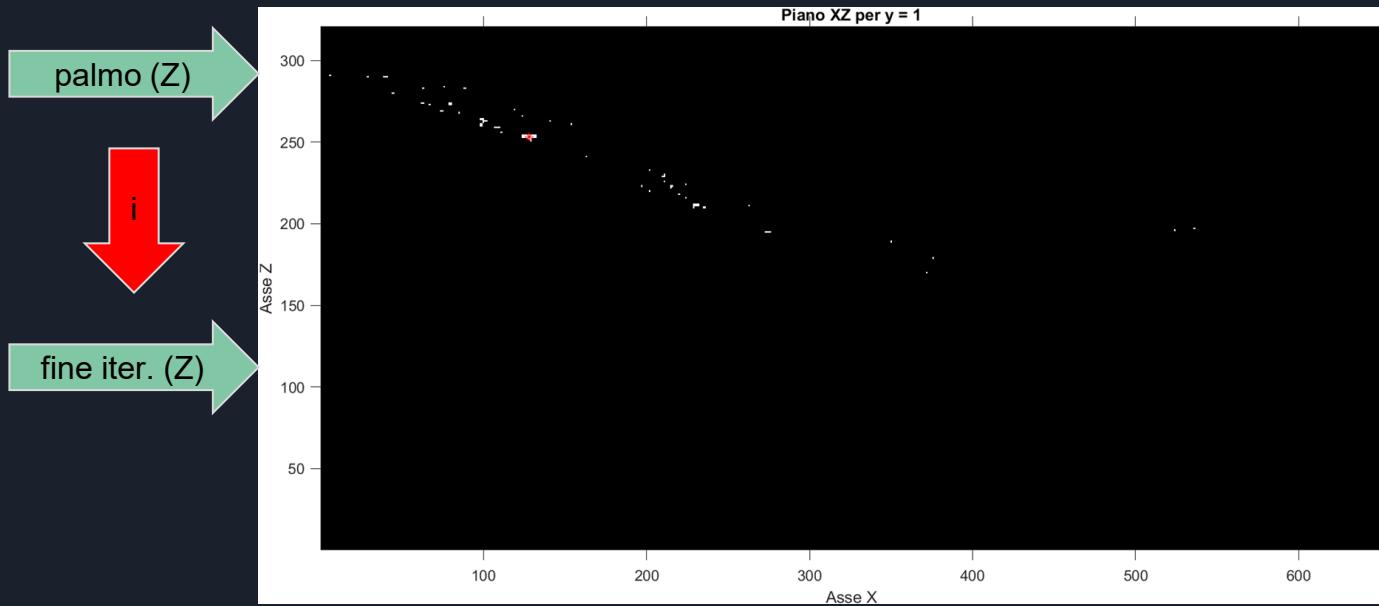
### Iterazione 1



## Il metodo CCM: Binarizzazione: Calcolo del vettore fine binarizzazione

- Si calcola la coordinata (Z) di fine binarizzazione per ogni BSCAN
- Procedimento iterativo
  - Viene calcolato il numero dei centroidi \* per ogni iterazione

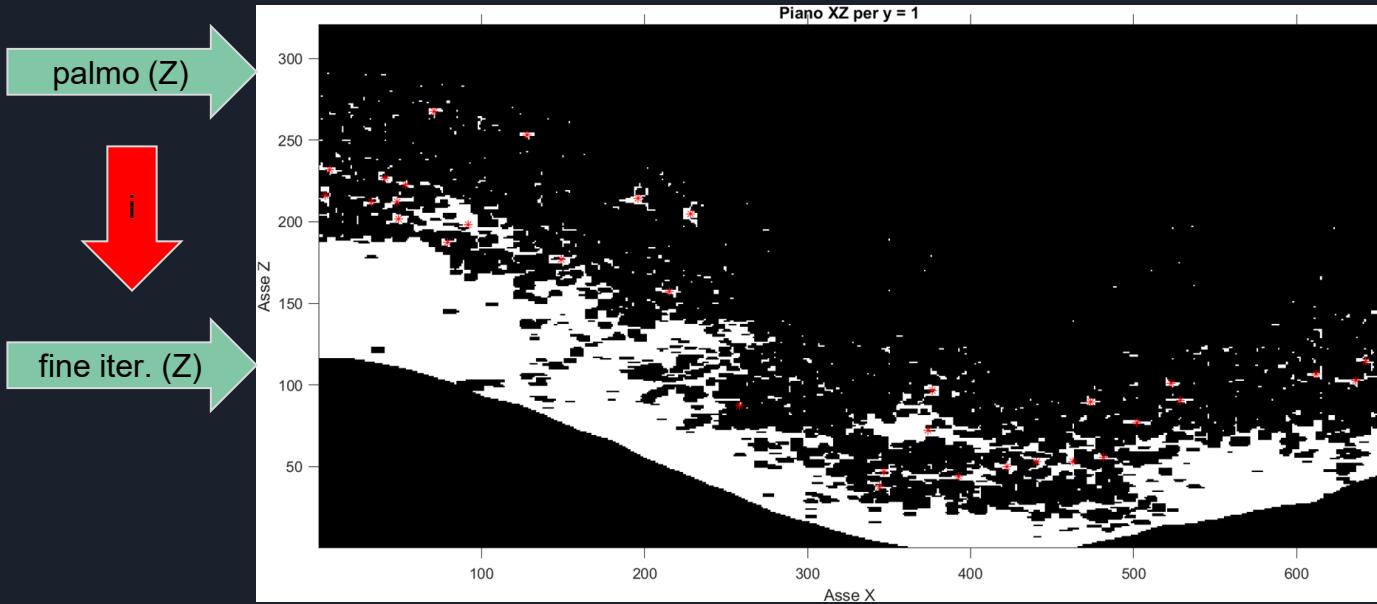
### Iterazione 23



## Il metodo CCM: Binarizzazione: Calcolo del vettore fine binarizzazione

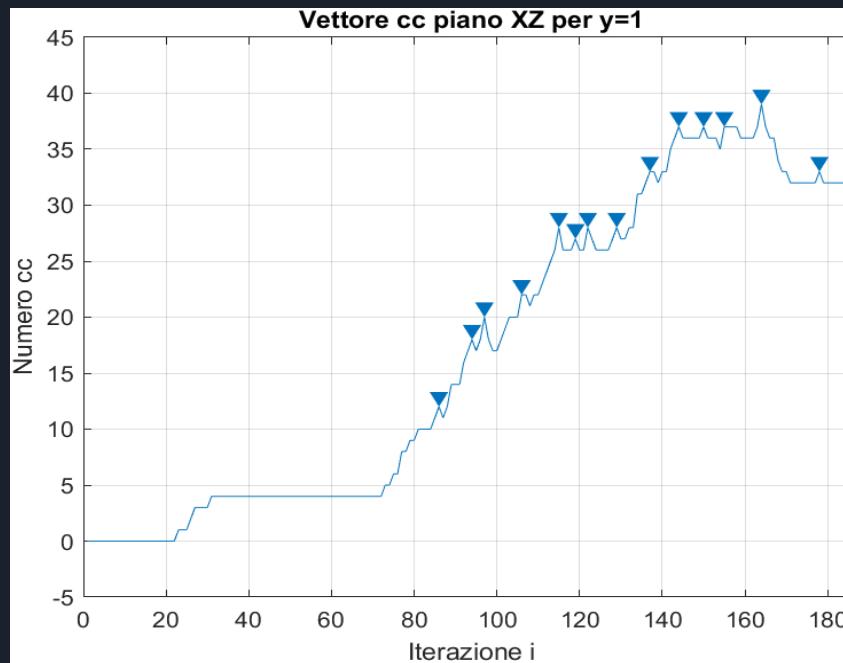
- Si calcola la coordinata (Z) di fine binarizzazione per ogni BSCAN
- Procedimento iterativo
  - Viene calcolato il numero dei centroidi \* per ogni iterazione

### Iterazione finale



## Il metodo CCM: Binarizzazione: Calcolo del vettore fine binarizzazione

- Procedendo per tutte le iterazioni, e salvando i risultati ottenuti in termini di numero delle CC in un vettore, risulta poi possibile stampare il seguente grafico.

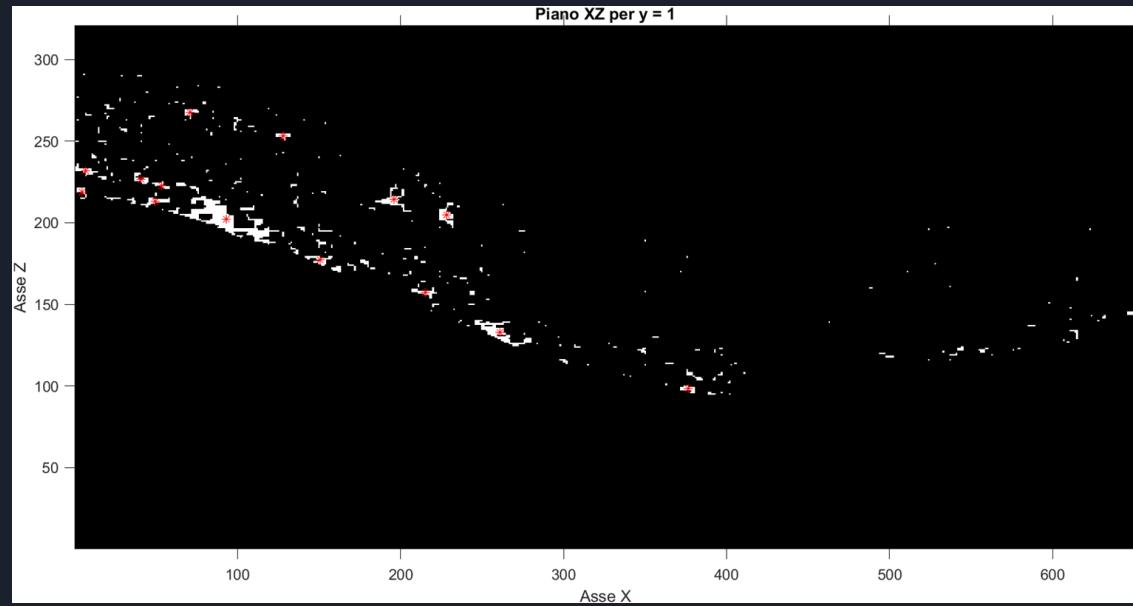


## Il metodo CCM: Binarizzazione: Calcolo del vettore fine binarizzazione

- Si sceglie il valore di fine come la media delle iterazioni in corrispondenza dei primi due picchi.

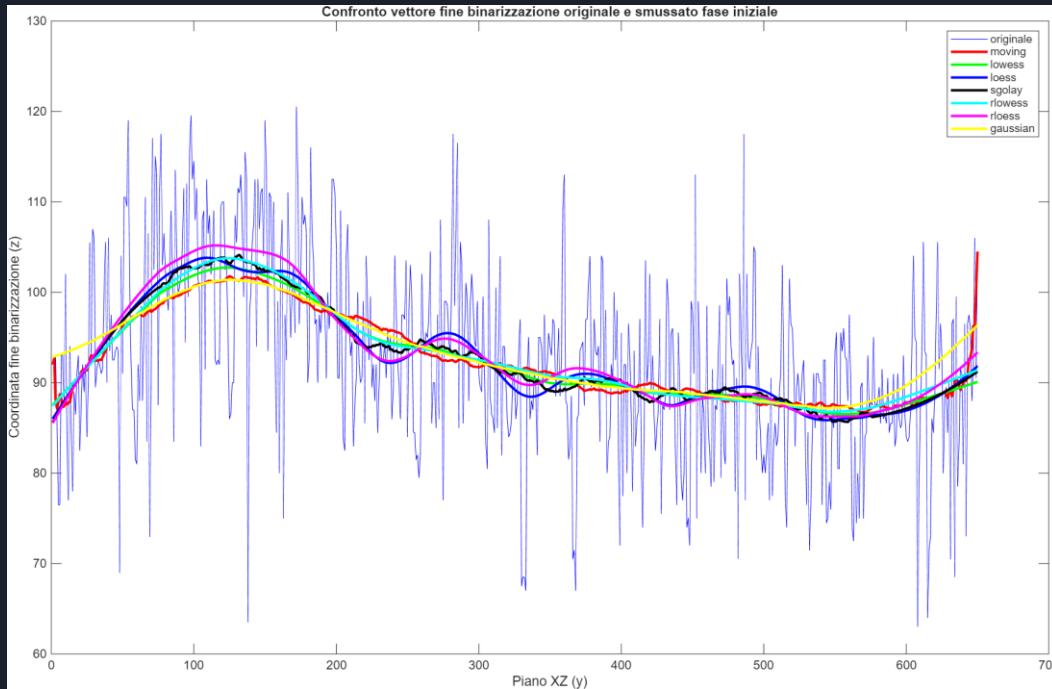
**Valore di fine scelto per questo piano**

palmo (Z)



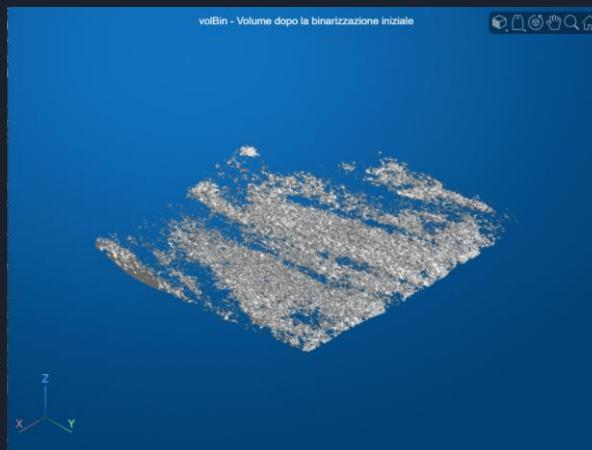
## Il metodo CCM: Binarizzazione: Calcolo del vettore fine binarizzazione

- Si procede con le precedenti operazioni per tutti i 650 BSCAN
- Si stampa infine il grafico rappresentante i valori di fine calcolati per ogni BSCAN
- Si sceglie un operatore di smoothing da applicare



## Il metodo CCM: Binarizzazione: Binarizzazione iniziale e pulizia morfologica

- Effettuo la prima binarizzazione del volume con
  - Coordinata Z di inizio binarizzazione pari a quella del palmo
  - Coordinata Z di fine binarizzazione calcolata prima
  - Soglia di binarizzazione pari a 250





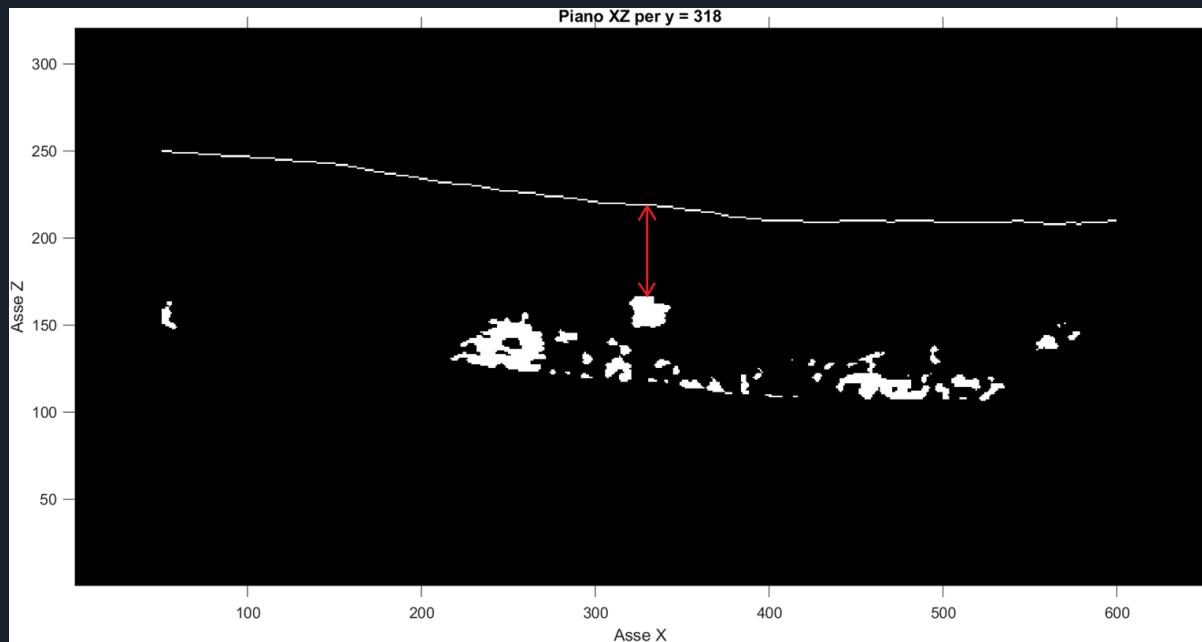
Il metodo CCM: Binarizzazione: Stima distanze vene–palmo e stima dei diametri



Assunzione 2: Partendo dal palmo della mano e dirigendosi verso il basso i primi voxel che si incontrano con intensità molto basse rappresentano delle vene.

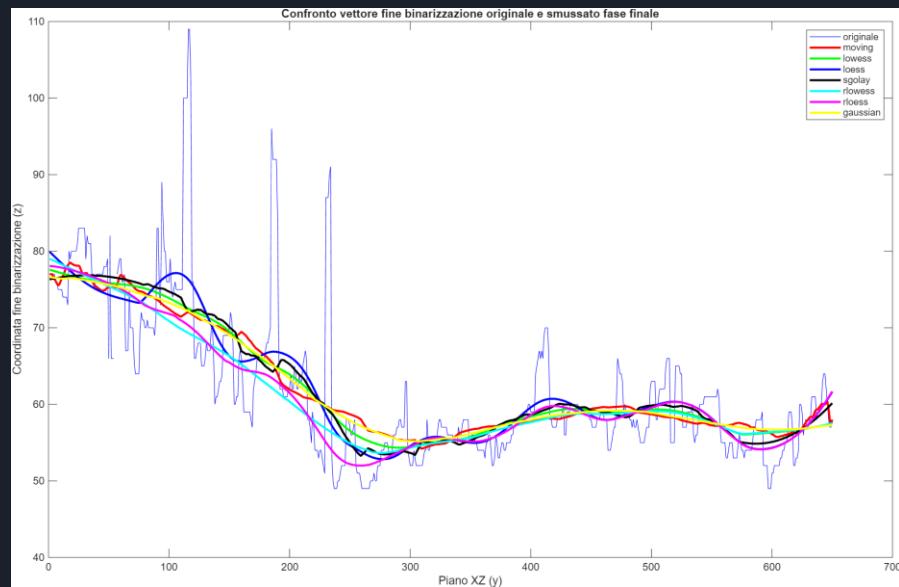
## Il metodo CCM: Binarizzazione: Stima distanze vene–palmo e stima dei diametri

- Se si calcola la distanza minima vene-palmo, allora è possibile calcolare con precisione dove inizia il pattern venoso



## Il metodo CCM: Binarizzazione: Stima distanze vene–palmo e stima dei diametri

- Viene smussato anche il vettore distanze per ottenere un andamento più regolare e senza *NaN*





## Il metodo CCM: Binarizzazione: Stima automatica della soglia iniziale

Assunzione 3: Le vene sottili sono costituite da valori di intensità maggiori rispetto a quelle massicce profonde e si trovano più in superficie.





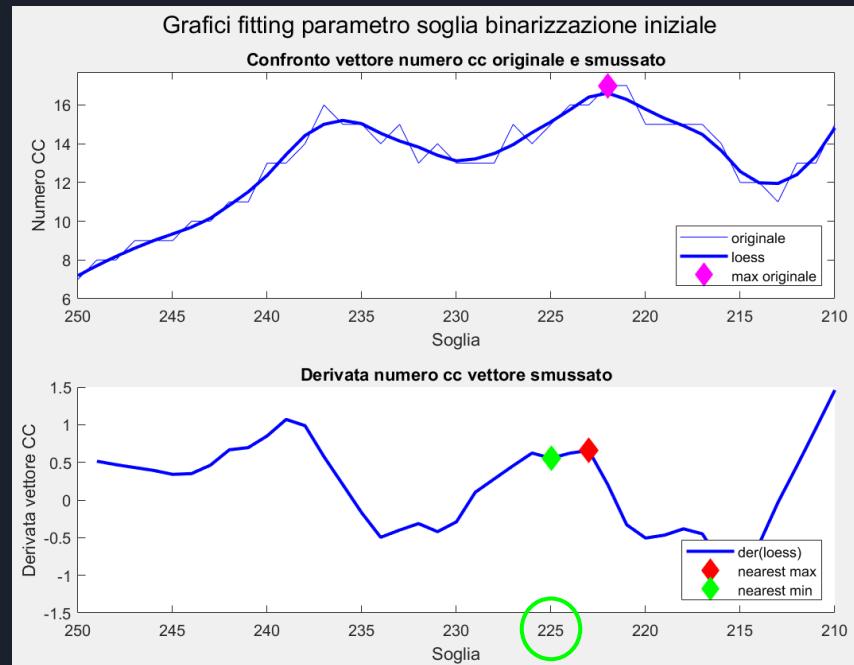
## Il metodo CCM: Binarizzazione: Stima automatica della soglia iniziale

- Vengono provati diversi valori di soglia per vedere quale permette di raccogliere il maggior numero di vene
  - Binarizzazione iterativa con soglia compresa tra 210 e 250
- 

## Il metodo CCM: Binarizzazione: Stima automatica della soglia iniziale

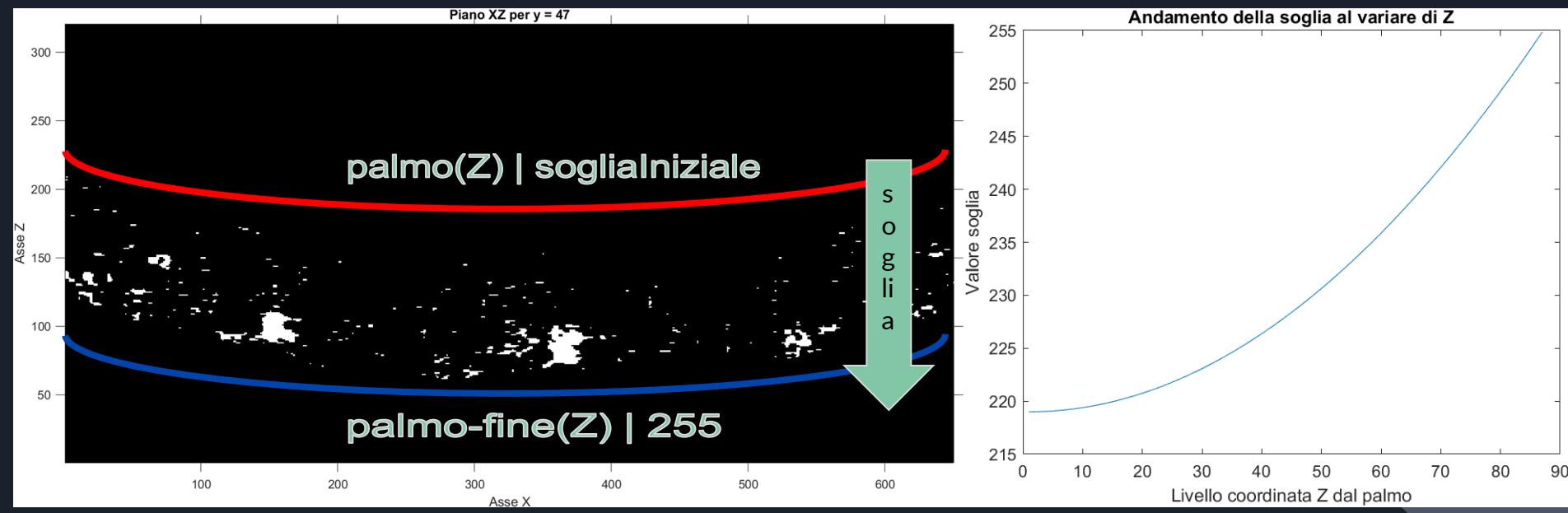
- Viene stampato il grafico delle cc valide per ogni iterazione
- Si sceglie la soglia ottima come il minimo locale della derivata più vicino al massimo locale della derivata più vicino al massimo assoluto del vettore

1. Trovo il valore della **soglia** in cui si è raggiunto il **massimo assoluto** del numero delle componenti connesse
2. Si applica un operatore di smoothing al vettore contenente il numero delle cc per iterazione
3. Si calcola la derivata del vettore smussato contenente il numero delle cc
4. Si trovano gli indici dei massimi locali della derivata
5. Si trovano gli indici dei minimi locali della derivata
6. Viene individuata la **soglia** in corrispondenza del **massimo** locale della derivata più vicina alla soglia trovata al punto 1
7. Viene individuata la **soglia** in corrispondenza del **minimo** locale della derivata più vicina alla soglia trovata al punto 6



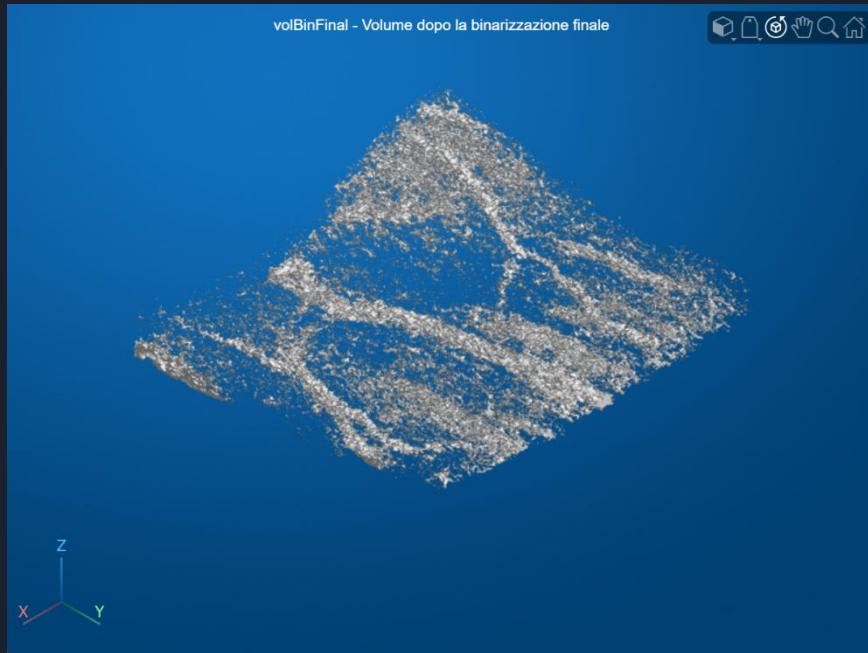
# Il metodo CCM: Binarizzazione: Binarizzazione finale

- Livello start : coordinata Z del palmo
- Livello end : coordinata Z della fine
- Soglia start: soglia iniziale
- Soglia end: 255



# Il metodo CCM: Binarizzazione: Binarizzazione finale

- Risultato finale del processo di binarizzazione



# Il metodo CCM: Isolamento del pattern venoso

- L'isolamento avviene tramite una sequenza di operazioni morfologiche e di analisi delle componenti connesse, strutturata in tre passaggi principali:
  1. Nel primo passaggio viene applicata una rimozione delle cc piccole;
  2. Nel secondo passaggio viene applicata un'operazione di apertura morfologica;
  3. Infine viene eseguito un secondo filtraggio delle cc, più severo in termini di soglia dimensionale.



# Il metodo CCM: Ispessimento del pattern venoso

- L'ispessimento realizza una post-elaborazione volumetrica, composta da più fasi:
  1. Erosione iniziale che riduce contributi instabili e rumore sottile;
  2. Filtraggio gaussiano che ricompone e regolarizza le strutture;
  3. Filtraggio finale con una soglia che estrae un pattern venoso più compatto e utilizzabile.





## Il metodo CCM: Filtraggio delle componenti connesse: Addestramento di un classificatore binario

Viene addestrato un modello di classificazione binaria. Per fare ciò è necessario un processo composto dai passi seguenti:

1. Creazione del dataset di addestramento;
  2. Features engineering;
  3. Etichettatura;
  4. Addestramento;
  5. Calcolo e valutazione dell'accuracy.
- 

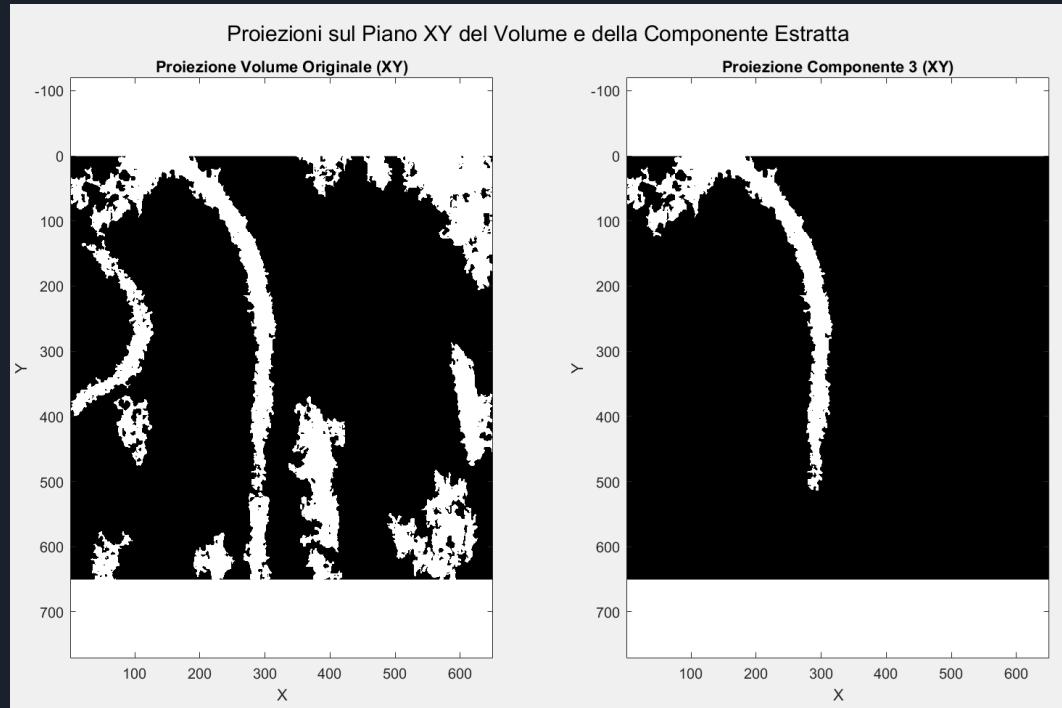
## Il metodo CCM: Filtraggio delle componenti connesse: Addestramento di un classificatore binario

- Creazione del dataset
- Features ingegnerizzate tramite la funzione regionprops3. Divisibili in due categorie:
  - Ottenute
  - Ricavate

Ottenute	Ricavata
Volume	rapportoAssiYZ
PrincipalAxisLength	rapportoAssiXZ
EquivDiameter	rapportoAssiXY
Extent	rapportoVolumeY
Solidity	rapportoVolumeX
SurfaceArea	rapportoVolumeZ
Centroid	rapportoSurfaceYDim
	rapportoSurfaceXDim
	rapportoSurfaceZDim
	rapportoSurfaceVolume
	rappDimXCentX
	rappDimYCentY
	rappDimZCentZ
	DistCentroidPelle
	RappFineBinDistCP

## Il metodo CCM: Filtraggio delle componenti connesse: Addestramento di un classificatore binario

- Etichettatura delle componenti
- Tre acquisizioni per utente come dati di training



## Il metodo CCM: Filtraggio delle componenti connesse: Addestramento di un classificatore binario

- Addestramento di un modello di bagging basato su alberi decisionali
- Tuning automatico degli hyperparametri
- 80% dei dati usati come training set contro il 20% dei dati usati come test set
- Calcolo della Confusion Matrix per valutare le performance

# Dataset

Extent	Solidity	rapportoSurfaceVolume	rapportoAsuY2	rapportoAsuXZ	rapportoAsuXY	rapportoVolumeY	rapportoVolumeX	rapportoSurfaceYDim	rapportoSurfaceXDim	rapportoSurfaceZDim	rapportoFineBinDistCP	rapportoXCentrY	rapportoZCentrY	aiVena
Nu.	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number
1	Extent	0.2197...	0.1454...	0.0805...	0.4359...	13.6717...	0.7439...	0.7275...	0.6932...	0.39685...	0.0503...	0.373888...	0.2245...	1.0731...
2	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	122.0571...	124.0...	124.0...	2410.15...	165.98...	165.68...	151.4572...	58.75...	1160.39...
3	0.051	0.1572	0.1667...	0.2043...	0.2043...	27.3406...	69.677...	114.336...	0.2991...	0.2726...	142.1...	181.388...	25.2548...	103.85...
4	0.023	0.2263	0.3735...	0.5625...	0.5625...	13.1177...	158.157...	158.157...	0.0496...	0.0252...	21.35...	36.990...	75.185...	149.91...
5	0.057	0.2263	0.4394...	0.5688...	0.5688...	2.0862...	300.72...	7084...	0.2169...	0.1743...	189.73...	190.73...	104.10...	173.0...
6	0.045	0.2038	0.5087...	0.9448...	0.9448...	2.6462...	490.385...	5654...	0.1893...	0.1754...	417.85...	726.76...	703.74...	212.59...
7	0.044	0.1159	0.1679...	0.1961...	0.1961...	1.9169...	199.59...	124.81...	0.5020...	0.3033...	165.90...	196.07...	119.52...	103.25...
8	0.044	0.1484	0.1769...	0.4807...	0.4807...	1.5366...	263.847...	7764...	0.4605...	0.4445...	209.77...	247.0...	181.0...	102.8...
9	0.056	0.2812	0.4249...	0.7970...	0.7970...	5.7214...	63.637...	104.07...	0.4009...	0.1859...	106.53...	141.71...	109.9...	108.5...
10	0.068	0.2359	0.5278...	0.7409...	0.7409...	1.6369...	50.589...	5741...	0.1801...	0.1595...	60.6...	62.5...	58.6...	53.9...
11	0.077	0.2401	0.4468...	0.5494...	0.5494...	1.74...	10.10...	15.10...	0.2481...	0.2151...	10.10...	12.10...	10.10...	9.10...
12	0.084	0.2401	0.4689...	0.5494...	0.5494...	4.4891...	10.17...	10.17...	0.0417...	0.0391...	19.30...	21.84...	19.30...	17.90...
13	0.138	0.2614	0.6351...	0.6996...	0.6996...	3.2459...	651.1568...	5894...	0.5562...	0.5258...	1.70...	3.90...	3.90...	1.70...
14	0.019	0.1225	0.1730...	0.2453...	0.2453...	3.5204...	40.407...	49.002...	0.1391...	0.1248...	46.0...	77.03...	71.65...	20.98...
15	0.028	0.1895	0.3644...	0.3885...	0.3885...	12.799...	242.25...	227.03...	0.6768...	0.5708...	1.80...	2.08...	1.80...	1.20...
16	0.011	0.1913	0.4618...	0.5650...	0.5650...	7.616...	158.60...	130.30...	0.2803...	0.2403...	13.97...	18.74...	16.19...	10.69...
17	0.077	0.2149	0.6986...	0.7685...	0.7685...	1.618...	303.30...	706.93...	0.7630...	0.5857...	19.30...	24.07...	21.69...	13.99...
18	0.061	0.2581	0.5517...	0.5945...	0.5945...	1.6397...	277.35...	318.84...	0.3841...	0.3538...	21.90...	24.81...	21.90...	15.67...
19	0.125	0.2960	0.7409...	0.9936...	0.9936...	2.2005...	27.05...	47.05...	0.0201...	0.0201...	14.73...	20.47...	14.73...	12.05...
20	0.030	0.1236	0.1888...	0.3163...	0.3163...	2.6767...	81.72...	156.75...	0.3250...	0.2501...	46.0...	77.03...	71.65...	20.98...
21	0.081	0.1963	0.1795...	0.6491...	0.6491...	2.8911...	205.25...	213.18...	0.3025...	0.2778...	39.3...	70.94...	71.65...	19.64...
22	0.144	0.0464	0.1732...	0.2152...	0.2152...	6.8103...	79.04...	83.71...	0.8549...	0.8514...	24.0...	28.43...	23.02...	16.28...
23	0.039	0.1428	0.6573...	0.7487...	0.7487...	2.087...	26.07...	26.07...	0.7509...	0.7509...	19.61...	28.02...	21.90...	10.04...
24	0.076	0.1428	0.6573...	0.7487...	0.7487...	1.40...	1.40...	1.40...	0.7509...	0.7509...	1.40...	1.40...	1.40...	1.40...
25	0.041	0.1428	0.6573...	0.7487...	0.7487...	1.40...	1.40...	1.40...	0.7509...	0.7509...	1.40...	1.40...	1.40...	1.40...
26	0.084	0.1543	0.6583...	0.7180...	0.7180...	1.5589...	29.91...	59.51...	0.4559...	0.4267...	1.55...	30.91...	29.91...	15.89...
27	0.029	0.1337	0.5709...	0.7182...	0.7182...	3.4323...	56.67...	115.21...	0.0573...	0.0398...	24.87...	59.81...	57.65...	14.25...
28	0.014	0.1407	0.5307...	0.5467...	0.5467...	8.7475...	56.19...	134.44...	0.0308...	0.0315...	12.50...	19.44...	12.50...	7.00...
29	0.100	0.2200	0.1726...	0.2453...	0.2453...	4.4771...	11.69...	16.06...	0.0889...	0.0859...	48.49...	77.88...	45.84...	12.67...
30	0.081	0.3428	0.5735...	0.5938...	0.5938...	5.7463...	83.73...	159.55...	0.0380...	0.0351...	39.74...	79.19...	78.17...	15.96...
31	0.056	0.1918	0.2299...	0.4937...	0.4937...	1.2899...	78.86...	88.65...	0.0366...	0.0345...	55.3...	60.68...	56.23...	20.98...
32	0.054	0.2491	0.5646...	0.7394...	0.7394...	11.64...	26.07...	26.07...	0.0301...	0.0348...	1.28...	24.07...	23.02...	10.04...
33	0.046	0.1382	0.6770...	0.7487...	0.7487...	1.2899...	26.07...	26.07...	0.0301...	0.0348...	1.28...	24.07...	23.02...	10.04...
34	0.097	0.1951	0.1705...	0.2484...	0.2484...	1.3305...	49.07...	90.37...	0.0309...	0.0349...	10.1...	31.73...	17.95...	7.00...
35	0.057	0.1392	0.8203...	0.8731...	0.8731...	1.2897...	49.07...	90.37...	0.0309...	0.0349...	10.1...	31.73...	17.95...	7.00...
36	0.021	0.1053	0.2409...	0.4922...	0.4922...	2.0409...	49.05...	90.32...	0.0343...	0.0351...	10.6...	20.87...	12.07...	4.07...
37	0.099	0.2718	0.6389...	0.7799...	0.7799...	1.3968...	49.05...	90.32...	0.0343...	0.0351...	10.6...	20.87...	12.07...	4.07...
38	0.032	0.1580	1.3962...	1.3962...	1.3962...	1.3962...	49.05...	90.32...	0.0311...	0.0319...	1.39...	21.87...	20.72...	5.05...

# Performance

	P	N	TP	86
	P	N	TN	204
	N	P	FP	14
	N	P	FN	5
Accuracy	93,85%			

## Il metodo CCM: Filtraggio delle componenti connesse: Filtraggio ricorsivo con il classificatore binario

- Viene utilizzato il modello addestrato per fare le previsioni e filtrare quegli elementi non considerati come vene dal classificatore





## Il metodo CCM: Affinamento delle vene

- La fase di affinamento ha l'obiettivo di rifinire il volume binario ottenuto dagli step precedenti, riducendo i disturbi residui e migliorando la continuità delle strutture venose. Il flusso combina tre strategie complementari:
    1. Rimozione locale di artefatti con analisi slice-by-slice;
    2. Filtraggio globale guidato da feature geometriche e di posizione tramite classificatore binario;
    3. Recupero controllato di porzioni scartate e “filling” selettivo delle zone troppo sottili.
- 

# Il metodo CCM: Affinamento delle vene

- La prima fase si divide a sua volta in diverse sotto-fasi come segue:
  - Split iniziale: CC piccole conservate per possibili recuperi; CC grandi affinate;
  - Affinamento locale (CC grandi): per ogni CC, pulizia per piani;
  - Classificazione RF + regolarizzazione: sulle vene robuste si applica il classificatore; le vene accettate vengono regolarizzate con un filtro gaussiano;
  - Pulizia globale: vengono scartate CC incoerenti usando estensione lungo Y, contatto bordo, distanza palmo–vena e pendenza lungo Y;
  - Recupero pezzi: vengono reinseriti solo i frammenti che riducendo il numero di CC migliorano la connettività.

# Il metodo CCM: Affinamento delle vene

- Il risultato ottenuto dopo la prima fase è il seguente:





## Il metodo CCM: Affinamento delle vene

- La seconda fase invece si divide nelle seguenti sotto-fasi:
    - Smoothing e chiusura morfologica;
    - Rimozione di CC “corte”;
    - Ultimo filtraggio tramite il classificatore binario
- 

# Il metodo CCM: Affinamento delle vene

- Il risultato ottenuto dopo la seconda fase è il seguente:





## Il metodo CCM: Affinamento delle vene

- Infine la terza fase si divide nelle seguenti sotto-fasi:
    - Per ogni CC finale, viene eseguito un affinamento locale;
    - Vengono stimati indicatori di spessore, raccolti in un vettore di diametri lungo Y;
    - Da questo vettore si ricava una soglia di “tratto sottile” come media tra mediana e minimo;
    - La componente viene poi scheletrizzata e si calcola la distanza interna dal bordo;
    - I voxel dello skeleton che cadono in zone con distanza inferiore alla soglia vengono identificati come porzioni sottili; solo queste vengono dilatate e riunite alla componente originale
- 



## Il metodo CCM: Affinamento delle vene

- Il risultato finale è il seguente:





# Analisi critica del metodo CCM

- Il metodo CCM si è verificato essere piuttosto efficace nell'estrazione del pattern venoso per quegli individui in cui esso è sufficientemente spesso e la vena principale è anche sufficientemente profonda.
  - Soffre però di alcune limitazioni legate soprattutto alle assunzioni fatte a monte dello sviluppo del codice, unite anche a scelte implementative discutibili o poco generali.
  - Verranno analizzate le principali "categorie" di limitazioni, dato che spesso una limitazione si presenta in diversi punti del metodo.
- 



## Analisi critica del metodo CCM: Soglie prefissate a un valore specifico

- Quello delle soglie prefissate a un valore specifico è sicuramente il problema più presente nel metodo.
  - Il problema insito nel fissare a monte una soglia a un valore specifico risiede nel fatto che andrebbe dimostrata l'efficacia di tale valore in diverse situazioni e casistiche.
  - Di conseguenza queste soglie impediscono al metodo CCM di essere autoesplicativo e generale.
- 

## Analisi critica del metodo CCM: Soglie prefissate a un valore specifico

- Sono stati proposti diversi metodi alternativi per il calcolo/sostituzione di queste soglie. Ognuno di questi metodi è stato scelto valutando il contesto di applicazione della soglia e valutando la letteratura:
  - Sostituzione della soglia: da una soglia locale a una soglia globale tipo Otsu, perché automatica, semplice e robusta.
  - Conversione della soglia: da una soglia riferita a slice del volume a una soglia riferita a mm. In questo modo si possono utilizzare range anatomici tipici come range/soglie plausibili.
  - Conversione della soglia: da una soglia fissata a una adattiva come una *quantile threshold*, in cui il quantile è scelto in maniera *data – driven*;
  - Conversione della soglia: da una soglia statistica ingegnerizzata ad-hoc ad una soglia statistica ampiamente studiata e validata tipo MAD (Median Absolute Deviation).

## Analisi critica del metodo CCM: Calcolo non standard del valore ottimo di una soglia adattiva

- In questo caso si tratta di soglie adattive. Vengono provate tutte le soglie possibili.
- Per ogni soglia viene calcolata una metrica, in genere il numero di componenti connesse 2D o 3D.
- Infine viene generata una curva che mette in relazione *soglia* e #CC.
- Il problema risiede nei meccanismi che poi vengono utilizzati per la selezione della soglia ottima. Anzitutto perché passano per forti sessioni di smoothing della spezzata che la rendono meno variabile e si perde di conseguenza molta informazione. E infine perché il valore ottimo viene selezionato con metodi non standard e creati ad-hoc.
- Anche in questo caso queste soglie, scelte in tal modo, impediscono al metodo CCM di essere autoesplicativo e generale.

## Analisi critica del metodo CCM: Calcolo non standard del valore ottimo di una soglia adattiva

- Sono stati proposti due metodi alternativi. Ognuno di questi metodi è ampiamente utilizzato in diversi contesti di ottimizzazione di curve analitiche:
  - Si individua un intervallo in cui la metrica varia poco. Questa individuazione viene fatta con una misura di sensibilità locale. Si ricerca un intervallo sufficientemente lungo in cui la misura rimanga sotto una soglia piccola (plateau). A questo punto la soglia può essere scelta in due modi: (i) al centro del plateau; (ii) all'inizio del plateau.
  - Si ordina in maniera crescente la funzione. Si normalizzano ambo gli assi in modo che abbiano valori compresi nell'intervallo  $[0, 1]$ . Si cerca il ginocchio con un algoritmo di knee detection come Kneedle; la soglia corrispondente al ginocchio sarà la soglia cercata.

## Analisi critica del metodo CCM: Assunzioni non sufficientemente generali

- Come qualsiasi teoria o metodo anche il metodo CCM pone delle assunzioni a monte delle sue elaborazioni teoriche e implementative.
- Il fatto di porre alcune assunzioni come fondamento di un lavoro non è un problema, fintantoché tali assunzioni siano sufficientemente generali.
- Il problema è che 2 delle 3 assunzioni del metodo CCM sono poco generali.
- La seconda assunzione dice:

«Partendo dal palmo della mano e dirigendosi verso il basso i primi voxel che si incontrano con intensità molto basse rappresentano delle vene»

Però non è detto che i primi voxel scuri incontrati siano vene, poiché tali voxel potrebbero, e spesso è così, essere rumore.



## Analisi critica del metodo CCM: Assunzioni non sufficientemente generali

- Infine la terza assunzione dice:

«Le vene sottili sono costituite da valori di intensità maggiori rispetto a quelle massicce profonde e si trovano più in superficie»

La relazione intensità–diametro–profondità è dipendente dal setup ecografico e dalla variabilità anatomica; in alcune acquisizioni vene di grande calibro possono trovarsi relativamente superficiali, violando l'ipotesi.





## Conclusioni

- Il metodo CCM, è un metodo di feature extraction utile nell'estrazione del pattern venoso del palmo di una mano. Si è rivelato piuttosto efficace sul dataset di test proposto dagli autori.
  - Ha però alcune limitazioni.
  - Quelle teoriche sono di difficile mitigazione poiché rappresentano la base su cui è stato sviluppato il metodo, e quindi cambiarle richiederebbe ristrutturare il metodo stesso.
  - Quelle implementative invece sono di più facile mitigazione, e per queste sono state anche proposte delle soluzioni più standard e robuste, che andrebbero implementate e testate.
- 