

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

***Relazione per la prova finale
«Estensione di un codice open source
per l'identificazione di reticoli di
nanofili metallici»***

Tutor universitario: Prof.ssa Lucia Nicola

Laureando: Sergio Veglia

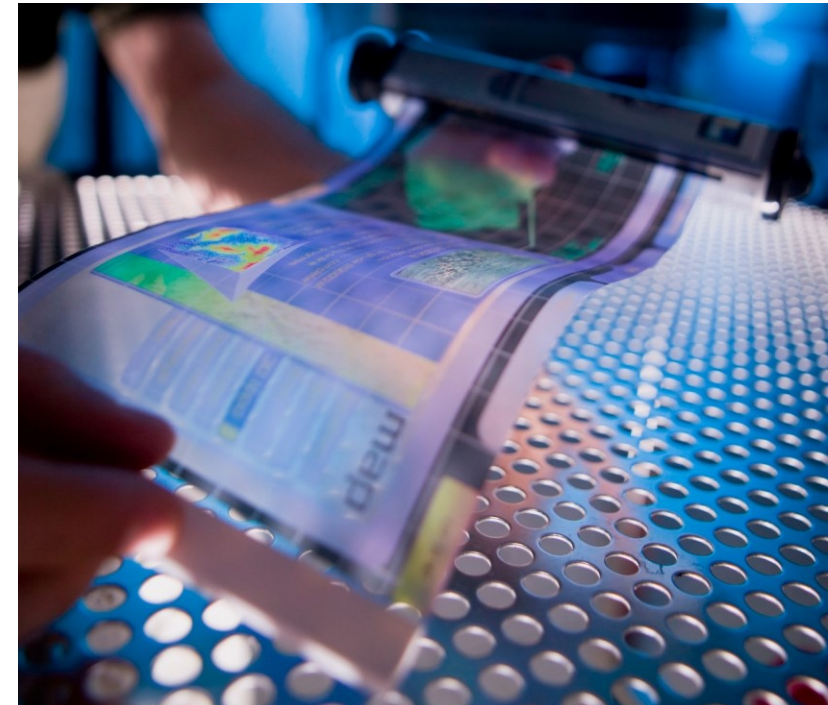
Co-tutor universitario: Dott. Davide Grazioli

Padova, 05/07/2023

Reticoli di nanowire di argento hanno proprietà degne di nota:

- Conducibilità
- Flessibilità
- Trasparenza

Qualità interessanti per la
produzione di elettrodi



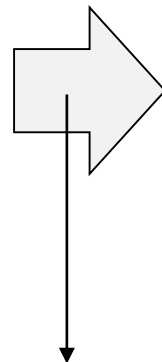
Per creare tali elettrodi dei nanowire di argento vengono depositati casualmente su una superficie



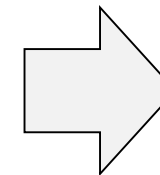
Tali simulazioni sono solitamente condotte su distribuzioni di nanowire generate sinteticamente

È di interesse simulare le proprietà di un reticolo di nanowire
realmente esistente

Immagine
sperimentale di
reticolo reale



Ricostruzione
digitale del reticolo
nanowire per
nanowire

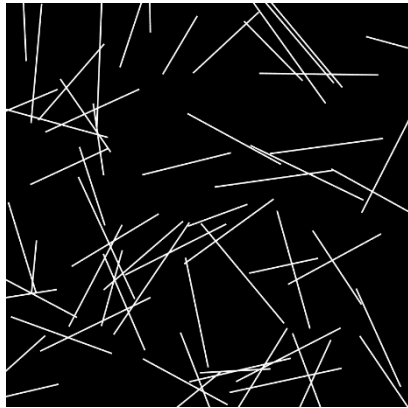


Simulazione
tramite elementi
finiti di risposta
elettrica e
meccanica

OBIETTIVO: *Stesura di uno script*
che possa rendere automatico
questo passaggio

Generazione
numerica di
geometrie

Visualizzazione
geometria



Stesura iniziale del codice



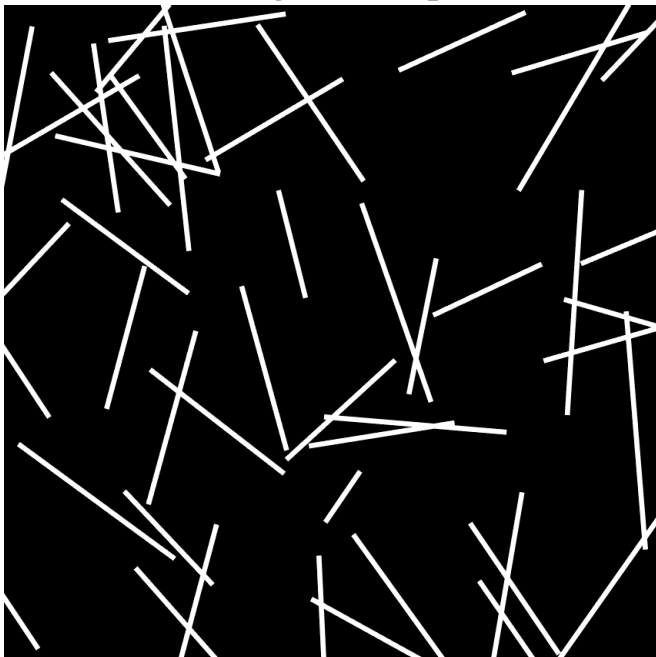
Geometria riconosciuta
dallo script

Confronto

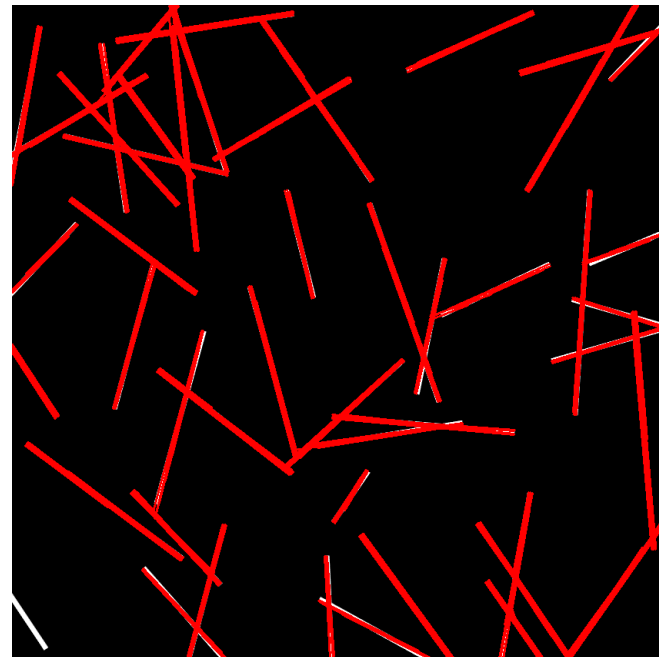
Misura dello
scostamento tra
geometria generata
e riconosciuta

- OpenCV è una libreria open source di computer vision in Python
- La trasformata di Hough è una tecnica in grado di riconoscere **segmenti rettilinei** in un'immagine
- Per ogni nanowire vengono riconosciuti più segmenti che vanno **uniti** **in postprocessing**

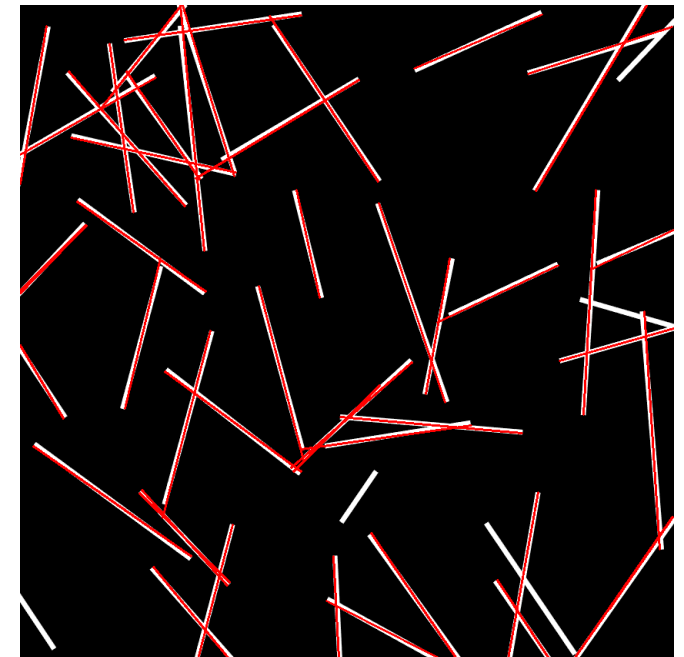
Immagine di input



Segmenti riconosciuti da Hough

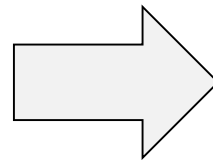
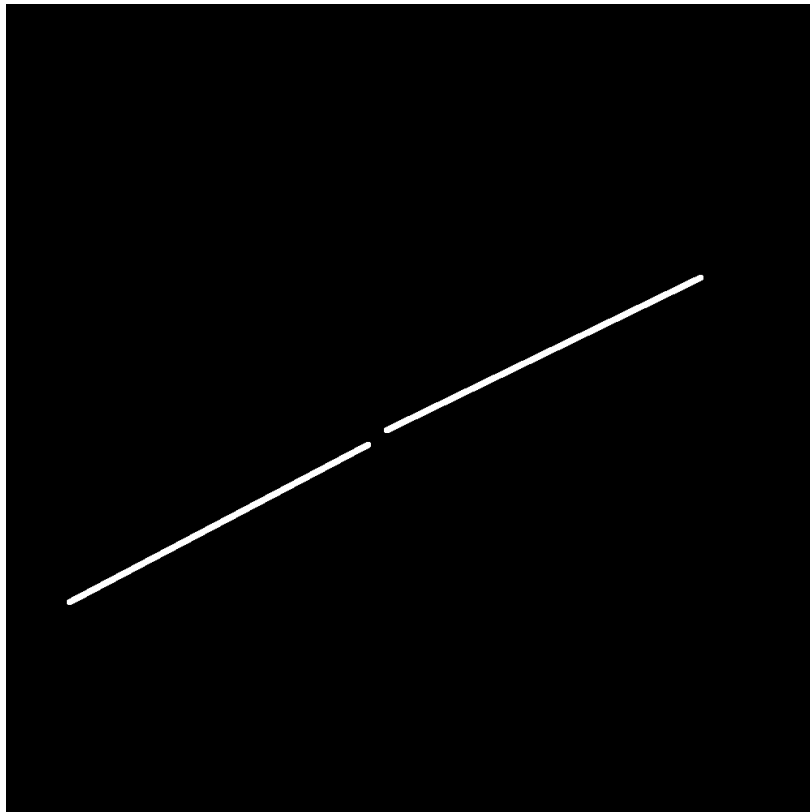


Nanowire ricostruiti

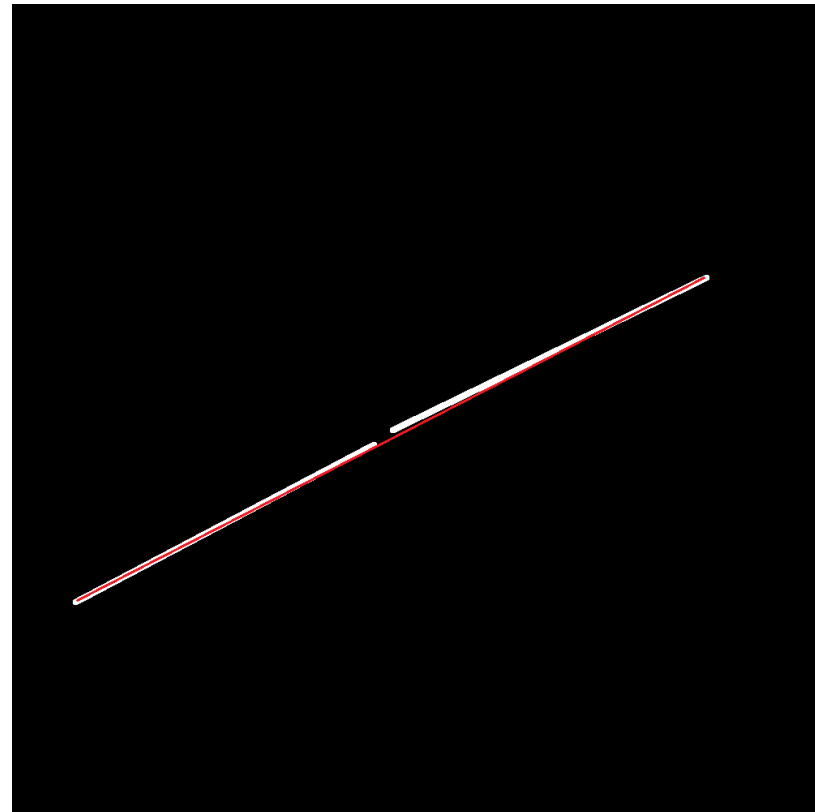


- La trasformata di Hough riconosce segmenti in base ai due parametri di **posizione e angolo**
- Due nanowire vicini con orientazione simile possono essere erroneamente **riconosciuti come un segmento unico**

Nanowire quasi collineari

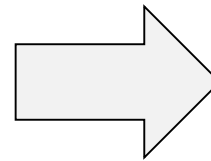
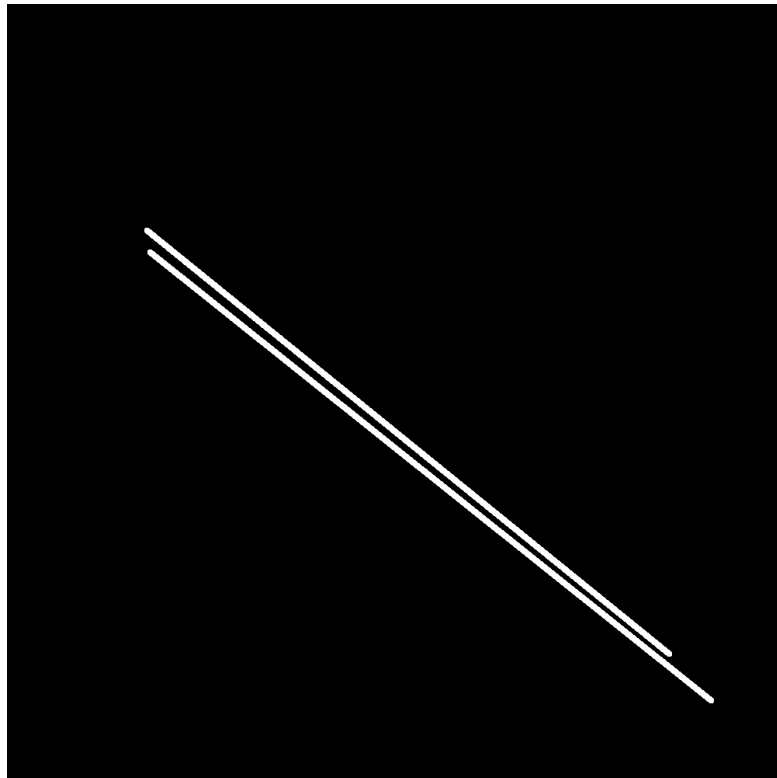


Riconoscimento errato di un segmento singolo

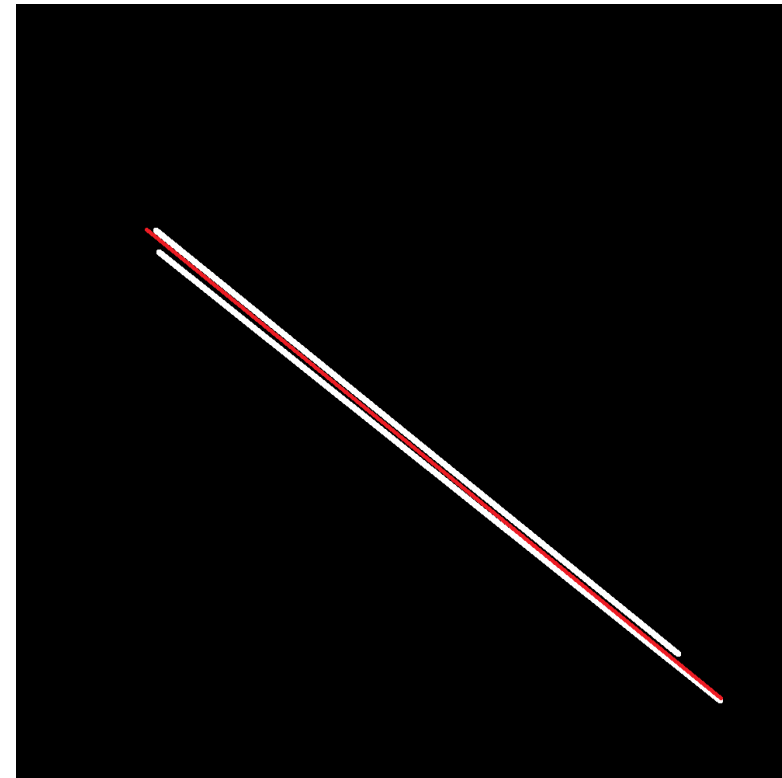


- Lo step di processing **confronta distanza e angolo** per valutare se due segmenti riconosciuti appartengono allo stesso nanowire
- Due nanowire paralleli vicini possono essere **erroneamente uniti**

Nanowire paralleli e vicini

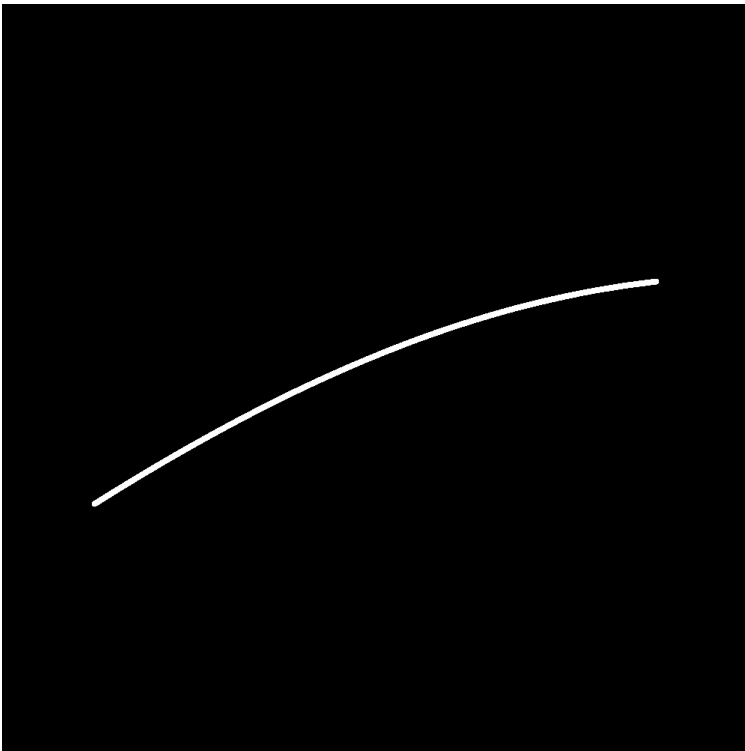


Ricostruzione errata come singolo nanowire

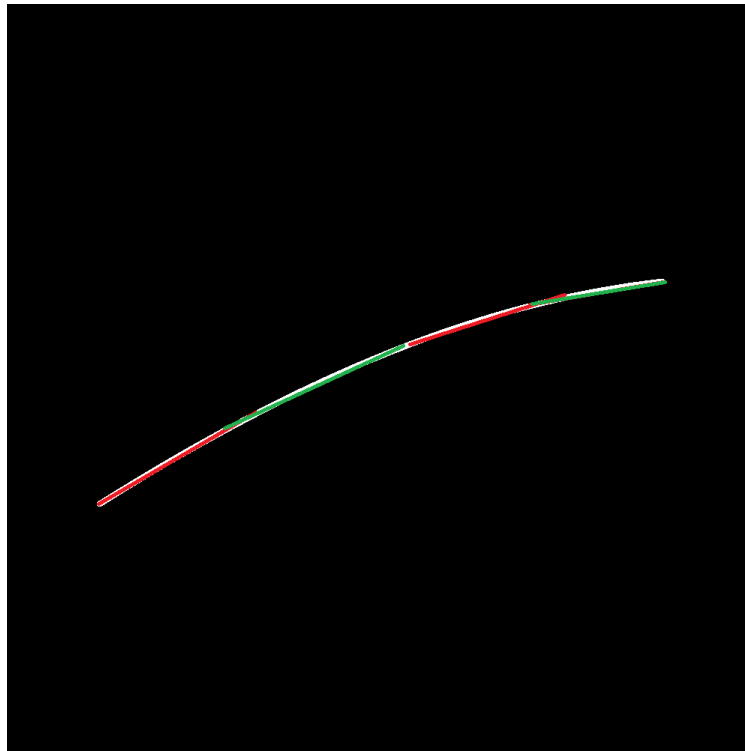


- Nei reticoli reali i nanowire sono **curvi**
- Poter riconoscere solo segmenti rettilinei limita la flessione massima studiabile
- Lo step di ricostruzione elimina ogni informazione sulla forma effettiva dei nanowire

Nanowire curvo



Segmenti rettilinei riconosciuti da Hough

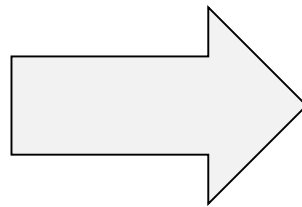
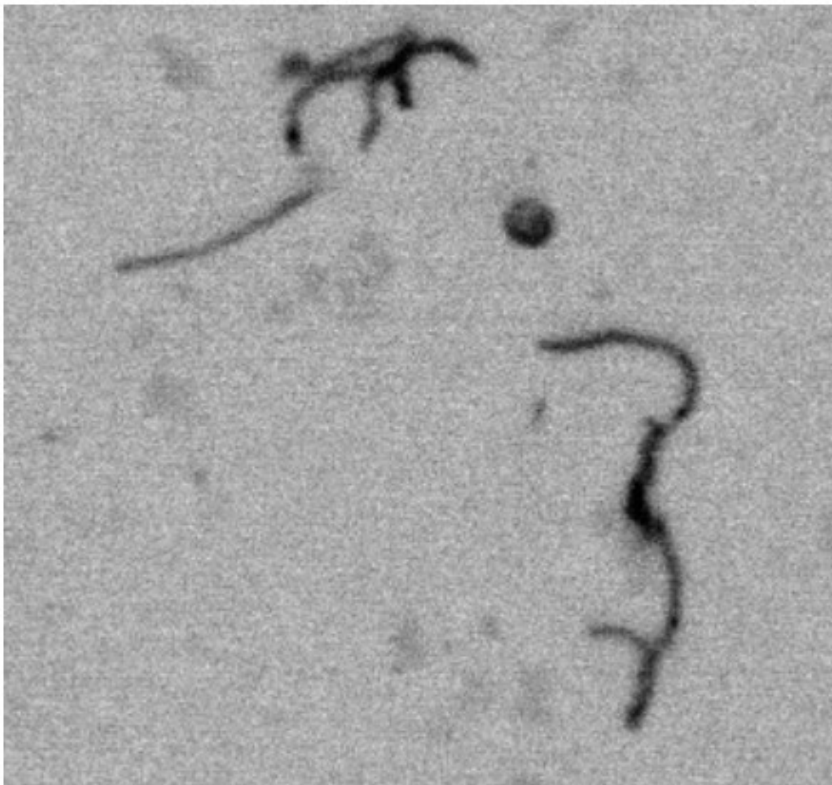


Nanowire ricostruito

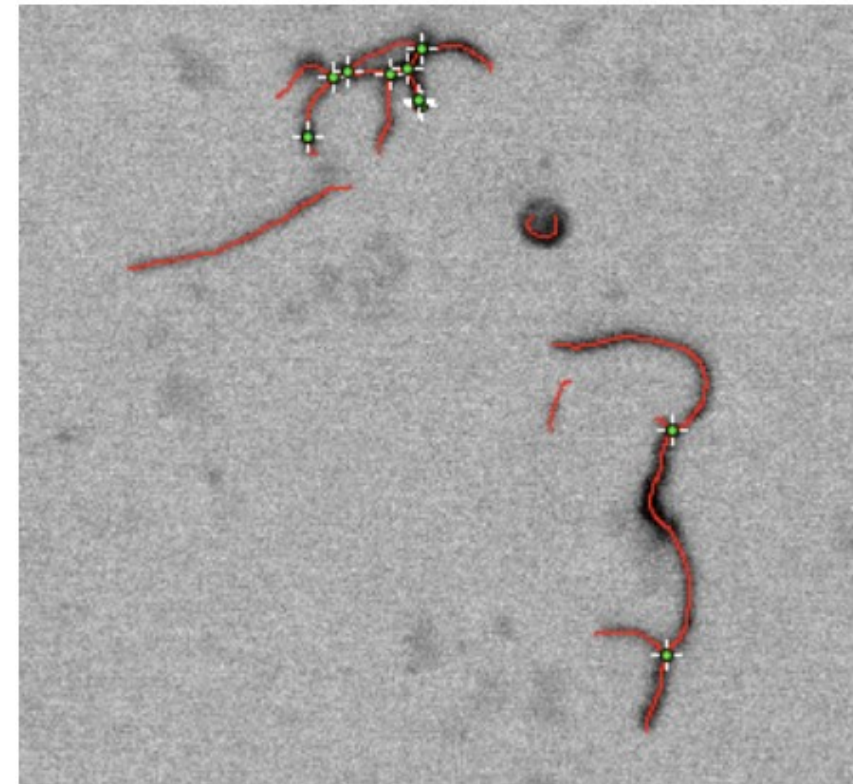


- ImageJ è un programma di Image Processing a base Java
- Viene usato il plugin open source «*Ridge Detection Plugin for ImageJ*» scelto perché in grado di **riconoscere linee anche curve**

Immagine di input

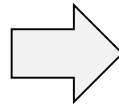


Linee riconosciute



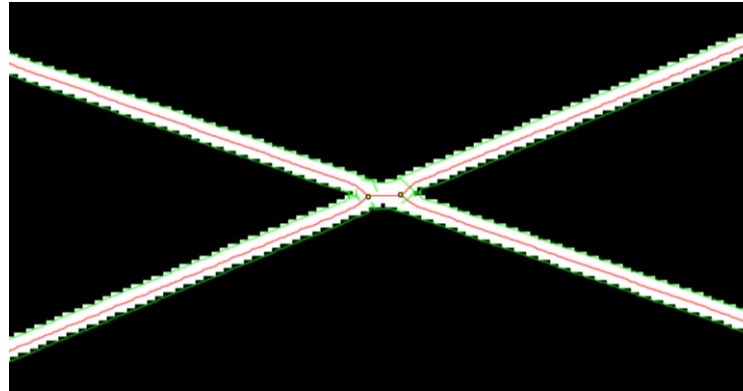
ImageJ ridge detection

- Lista di linee riconosciute
- Lista di giunzioni tra linee

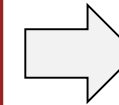
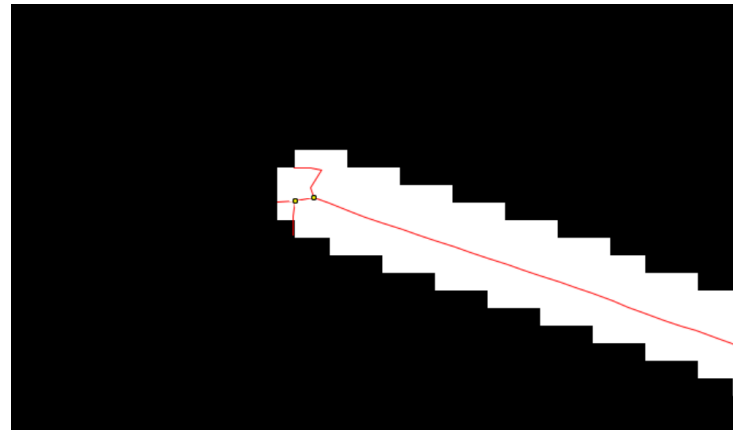


Script MATLAB

- Ricongiungimento nanowire



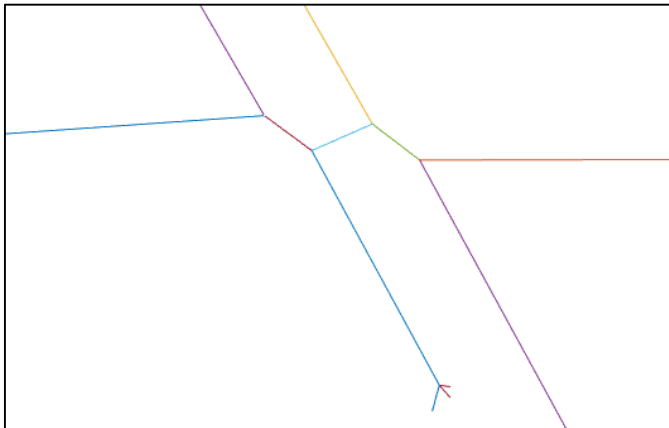
- Pulizia estremità



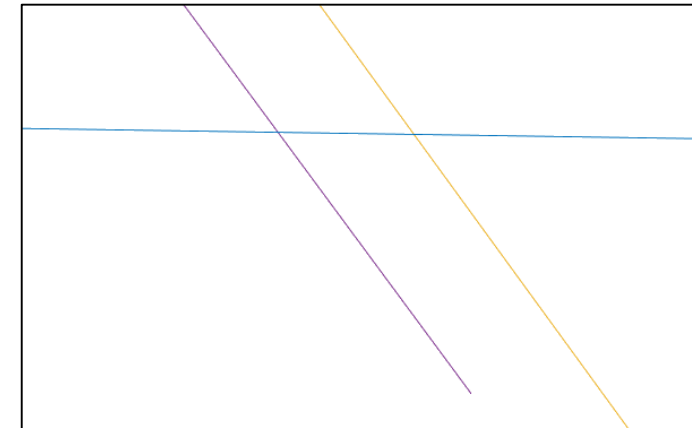
Output

- Lista di nanowire ricostruiti
- Coordinate dei punti che li compongono

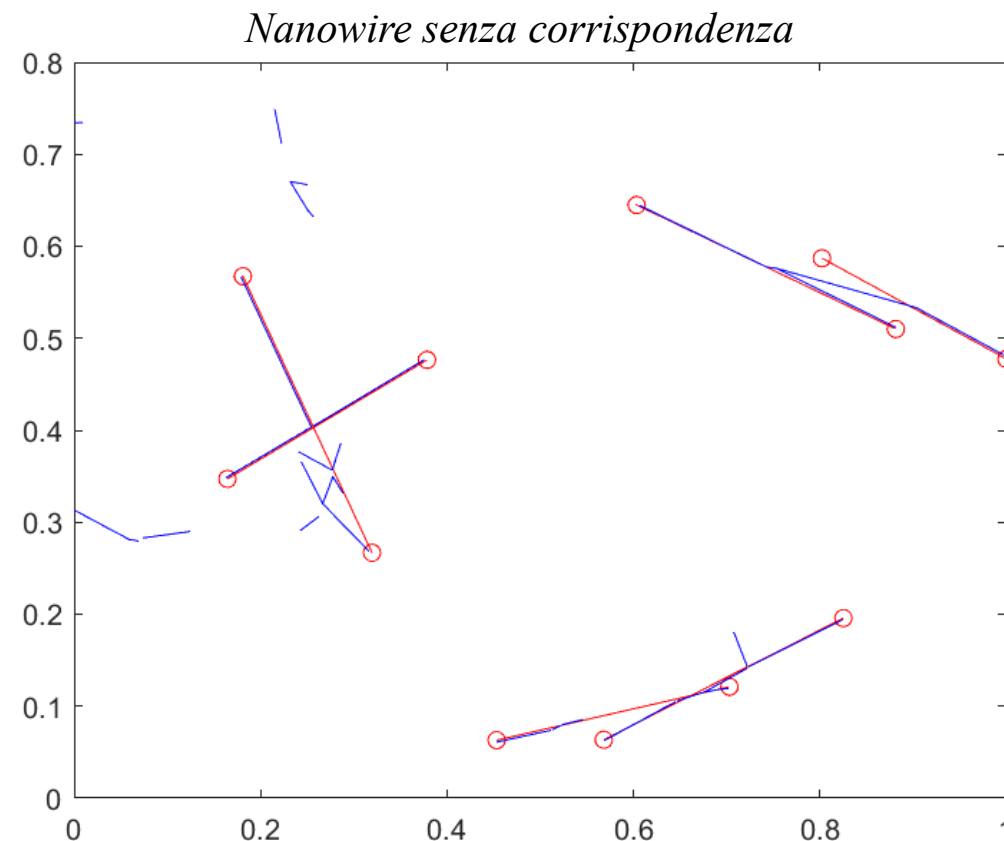
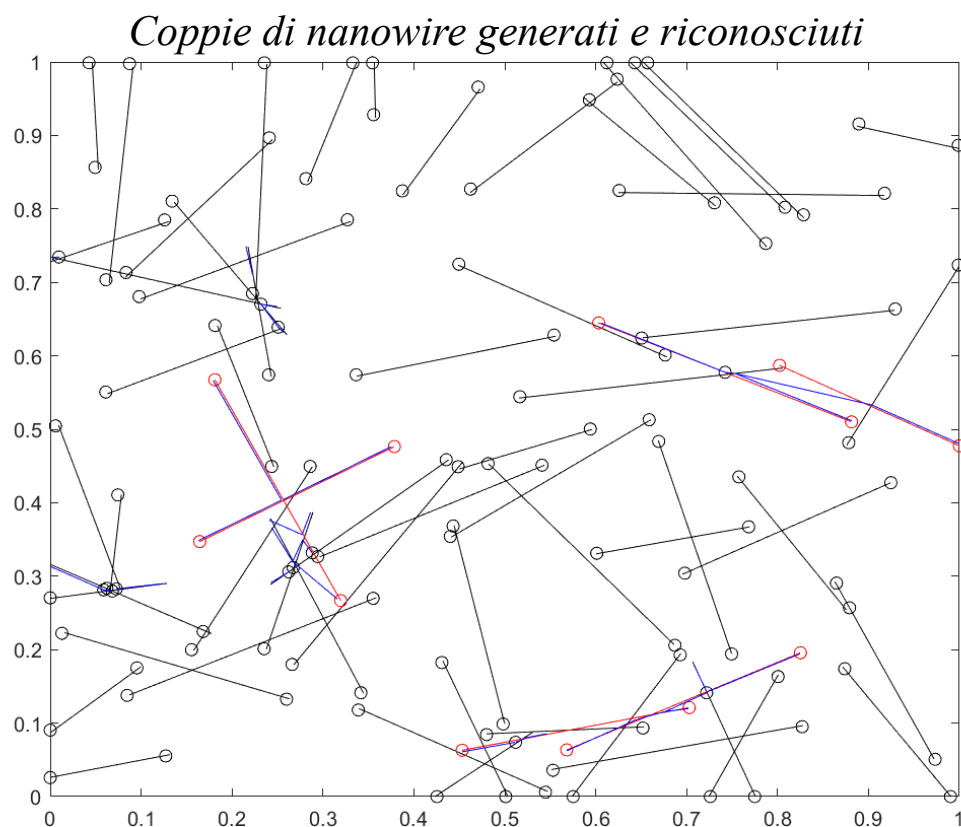
Output grezzo di ImageJ



Fibre ricostruite e ripulite



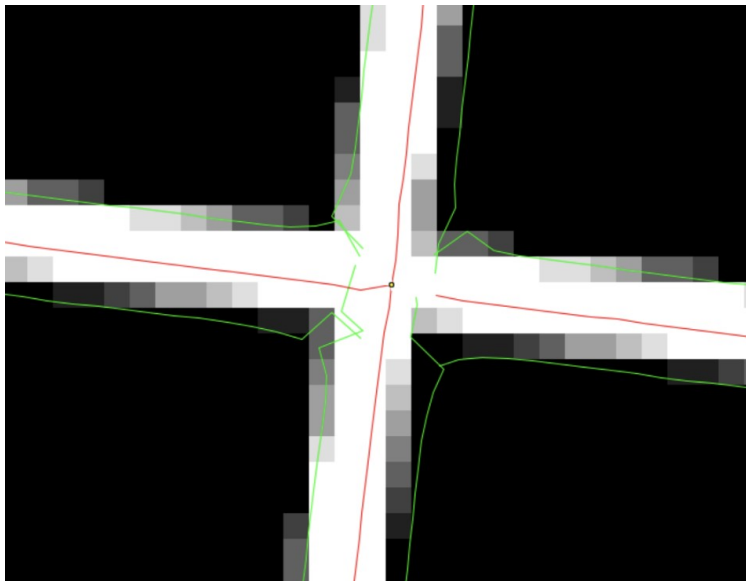
È stato sviluppato anche uno script di benchmark per **confrontare**
l'output e la geometria inizialmente generata



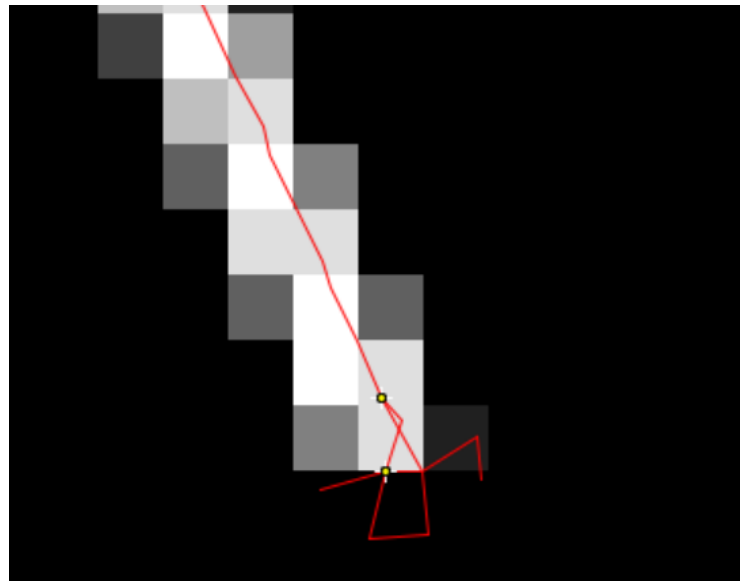
Alcune **imperfezioni nel processo di Ridge Detection** rendono difficile ricostruire il reticolo a posteriori:

1. In alcune intersezioni **una delle linee risulta separata** e va quindi ricollegata manualmente alle altre aggiungendo le giunzioni mancanti alla lista fornita da ImageJ
2. Le **linee riconosciute alle estremità** possono creare strutture con molte giunzioni e quindi complesse da distinguere rispetto ai reali segmenti di giunzione
3. In zone ad alta densità di intersezioni linee successive appartenenti a uno stesso nanowire tendono ad avere un **andamento a zig-zag** rendendo più difficile riconoscerle in seguito come consecutive in base al loro angolo

Linea separata dalla giunzione



Linee riconosciute alle estremità



Zona ad alta densità di intersezioni

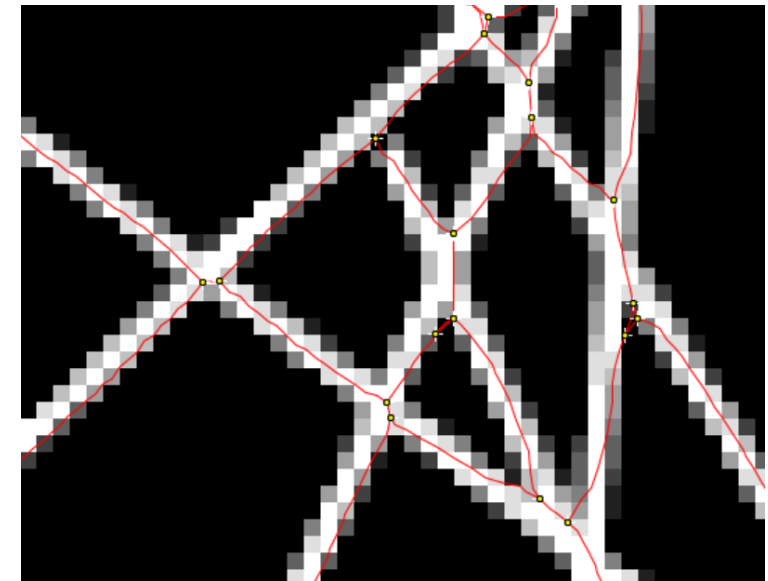
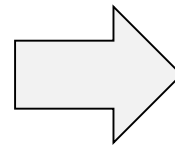
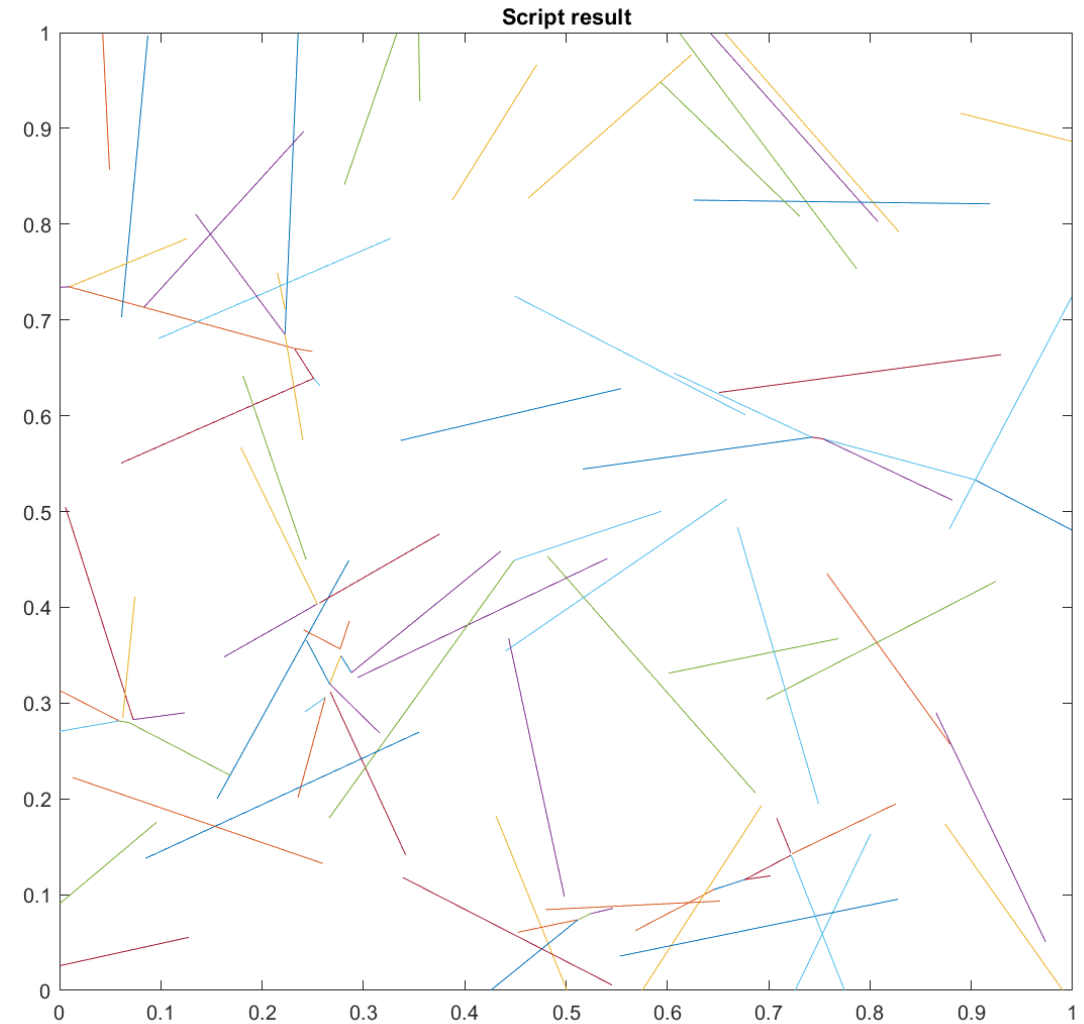


Immagine di input iniziale



Output finale di MATLAB



L'approccio tramite trasformata di Hough **non è adatto**
al problema:

1. L'algoritmo usato ha **difficoltà a distinguere nanowire vicini**
2. La ricostruzione dei nanowire basata solo su distanza e angolo tra segmenti riconosciuti porta a molti **falsi positivi** e **limita la risoluzione** possibile
3. **Non è possibile espandere questo approccio a nanowire curvi** senza rendere ancora più gravi questi problemi

L'approccio tramite Ridge Detection sembra essere **più promettente**:

1. Ricostruire i nanowire tramite la lista di giunzioni data da ImageJ risulta molto più semplice e preciso rispetto che con Hough
2. Gli errori di riconoscimento dello script di Ridge Recognition sono risolvibili durante la procedura di ricostruzione dei nanowire, ma va fatta attenzione all'interazione di linee fittizie riconosciute alle estremità e veri segmenti di giunzione
3. Dato che si ha una descrizione punto per punto delle linee trovate è possibile adattare lo script in modo da riconoscere nanowire curvi risolvendo intersezioni tramite angolo di approccio
4. ImageJ può essere direttamente utilizzato anche per il pre-processing di immagini di reticoli reali in modo da prepararli per lo step di ridge detection

Allo stato attuale rimane comunque **impossibile ottenere risultati veramente attendibili** per densità di nanowire anche poco superiori al percolation threshold

Volendo proseguire nello sviluppo futuro del lavoro svolto si consiglia di:

1. Evitare l'approccio tramite algoritmo di Hough
2. Continuare con il plugin di Ridge Detection cercando di raffinare lo script MATLAB facendo particolare attenzione all'interazione tra intersezioni di nanowire e artefatti creati dal processo di riconoscimento, in modo da poter garantire attendibilità a maggiori densità
3. Se tale risultato non dovesse risultare soddisfacente si propone come nuovo approccio quello di sviluppo di uno script black box tramite machine learning partendo da training su dati di reticoli generati sinteticamente e relative rappresentazioni